



DIOCESI DI COMO

P.zza Grimoldi, 5
22100 Como (CO)
www.diocesidicomo.it

SANTUARIO MADONNA DI GALLIVAGGIO

Comune di S. Giacomo Filippo (SO)

RECUPERO, RESTAURO, CONSOLIDAMENTO CONSERVATIVO DEL SANTUARIO DI GALLIVAGGIO A SEGUITO DEI DANNI PROVOCATI DAL MOVIMENTO FRANOSO DEL 29 MAGGIO 2018

CUP: J47B21000010003

COMMITTENTE: DIOCESI DI COMO

RTC: arch. Alessandro Campera responsabile arte sacra: Don Andrea Straffi responsabile del procedimento: Arch. Elisabetta Gandola

PROGETTISTI e COLLABORATORI:

Progetto restauro architettonico :
arch. Mauro De Giovanni

Progetto recupero strutturale
e coordinatore in fase di
progettazione:
ing. Virgilio Scalco



Progetto impianti
elettrici:
Per. Ind. Nicola Mazza



Progetto impianti
meccanici:
Ing Virgilio Scalco

Light designer:
Arch. Ronchetti Gianni

4				
3				
2				
1	29/06/2023	Revisione: recepimento osservazioni validatori	VS	VS
0	21/04/2023	Prima Emissione	VS	VS
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato



Ing. SCALCO VIRGILIO +39 335 670 5843
e-mail: virgilio@studiotecnicodgs.it - PEC: virgilio.scalco@ingpec.eu
Arch. DE GIOVANNI MAURO +39 335 670 6008
e-mail: mauro@studiotecnicodgs.it - PEC: mauro.degiovanni@archiworldpec.it

Elaborato N.

G-043

Oggetto
PROGETTO ESECUTIVO

Scala:
-
Data
21/04/2023

Descrizione elaborato
**CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO: SPECIFICHE
TECNICHE RECUPERO STRUTTURE - ARCHITETTONICO**

Commessa
GALL
Nome file
EGALL-G-043-1-CSASpTecRS-A

INDICE

1	PARTE PRIMA: GENERALITÀ	6
1	PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI E PARTICOLARI	7
1.1	Disegni costruttivi di cantiere	7
1.2	Autorizzazione all'esecuzione	7
1.3	Norme, decreti, disposizioni di legge e regolamenti	8
1.3.1	Generalità	8
1.3.2	Priorità dei documenti tecnici	9
1.3.3	Documentazione di progetto ed approvazioni	9
1.4	Collaudi.....	11
2	INCLUSIONI ED ESCLUSIONI.....	12
3	ATTIVITA' A CARICO DELL'APPALTATORE.....	13
3.1	Fornitura in opera	13
3.2	Consegna dei lavori.....	13
3.3	Predisposizioni del cantiere	13
3.4	Prestazioni ambientali.....	14
3.5	Tracciamenti.....	14
4	PARTE SECONDA: SPECIFICAZIONE DELLE PRESCRIZIONI TECNICHE	16
5	CAPO I PREMESSE E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA.....	17
6	CAPO II NORME PER LA MISURAZIONE E LA VALUTAZIONE DEI LAVORI.....	27
6.1	Lavori a misura	27
6.2	Lavori a corpo	28
6.3	Lavori in economia	28
6.4	Valutazione dei manufatti e dei materiali a piè d'opera	29
6.5	Norme per la misurazione e valutazione dei lavori	29
6.5.1	Scavi in genere.....	29
6.5.2	RILEVATI E RINTERRI	30
6.5.3	RIMOZIONI E DEMOLIZIONI.....	30
6.5.4	MURATURE IN GENERE	31
6.5.5	MURATURE IN PIETRA DA TAGLIO	31
6.5.6	PARAMENTI IN FACCIA-VISTA.....	31
6.5.7	CENTINATURE DELLE VOLTE	31
6.5.8	CALCESTRUZZI	31

6.5.9	CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO.....	32
6.5.10	COPERTURE A FALDA (SOLAI INCLINATI).....	32
6.5.11	MANTO DI COPERTURA.....	32
6.5.12	POSA IN OPERA DEI MARMI, PIETRE NATURALI ED ARTIFICIALI	33
6.5.13	INTONACI	33
6.5.14	TINTEGGIATURE, COLORITURE E VERNICIATURE	33
6.5.15	APPARATI DECORATIVI	34
6.5.16	OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO	35
6.5.17	OPERAZIONI DI PULITURA	35
6.5.18	OPERAZIONI DI DISERBO E TRATTAMENTO DA ATTACCHI BIOLOGICI.....	35
6.5.19	OPERAZIONI DI DISTACCO E RIADESIONE DI SCAGLIE, FRAMMENTI E PARTI PELLICOLANTI O CADUTE	35
6.5.20	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO.....	36
6.5.21	OPERAZIONI DI STUCCATURA, MICROSTUCCATURA E PRESENTAZIONE ESTETICA (COMPRENDE ANCHE LE INTEGRAZIONI PITTORICHE E LE PROTEZIONI SUPERFICIALI)	36
6.5.22	OPERAZIONI DI INTEGRAZIONI DI PARTI MANCANTI	36
6.5.23	OPERAZIONI DI PROTEZIONE.....	37
6.5.24	LAVORI IN LEGNO.....	37
6.5.25	LAVORI IN METALLO	37
6.5.26	LATTONERIE.....	37
6.5.27	COIBENTAZIONI	37
6.5.28	IMPERMEABILIZZAZIONI	37
6.5.29	MANODOPERA	38
6.5.30	IMPIANTI ELETTRICO	38
6.5.31	OPERE DI ASSISTENZA AGLI IMPIANTI	38
6.5.32	MANODOPERA	39
6.5.33	PONTEGGI	39
6.5.34	NOLEGGI.....	39
6.5.35	TRASPORTI.....	40

7	CAPO III QUALITÀ E PROVENIENZA DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI	41
7.1	Generalità	41
7.2	Materiali in genere	41
7.3	Acqua, calci, gesso	42
7.3.1	ACQUA.....	42
7.3.2	CALCI.....	42
7.3.3	GESSO.....	46
7.4	Cementi, cementi speciali	47
7.4.1	CEMENTI	47
7.4.2	CEMENTI SPECIALI	50
7.5	Leganti sintetici.....	51
7.6	Materiali inerti per malte, stucchi e conglomerati	52
7.7	Elementi di laterizio e calcestruzzo	55
7.8	Materiali ferrosi e metalli vari.....	58
7.8.1	MATERIALI FERROSI	58
7.8.2	METALLI VARI	59
7.9	Prodotti a base di legno – Generalità.....	60
7.9.1	LEGNAMI E MATERIALI DERIVATI DAL LEGNO	60
7.9.2	LEGNO LAMELLARE INCOLLATO	64
7.10	Pietre naturali e ricostruite.....	65
7.11	Materiali per pavimentazione e rivestimenti - Generalità	68
7.11.1	PRODOTTI DI LEGNO	69
7.11.2	PRODOTTI DI PIETRE NATURALI O RICOSTRUITE.....	69
7.12	Colori e vernici - Generalità.....	70
7.12.1	PIGMENTI.....	71
7.12.2	TINTE.....	72
7.12.3	PITTURE.....	72
7.12.4	VERNICI.....	73
7.13	Additivi	74
7.14	Materiali diversi (sigillanti, adesivi, geo-tessuti, tessuti-non-tessuti).....	75

7.15	Solventi.....	76
7.16	Materiali per la pulizia di manufatti lapidei - Generalità	77
7.16.1	ACQUA PER LAVORI DI PULITURE	78
7.16.2	SPUGNE PER PULITURE A SECCO	78
7.16.3	CARTA GIAPPONESE	78
7.16.4	PRODOTTI CHIMICI.....	78
7.16.5	CARBONATO E BICARBONATO DI AMMONIO	80
7.16.6	TENSIOATTIVI E DETERGENTI.....	80
7.16.7	RESINE A SCAMBIO IONICO.....	80
7.16.8	ADDENSANTI E SUPPORTANTI.....	81
7.16.9	POLPA DI CELLULOSA	81
7.16.10	ARGILLE ASSORBENTI.....	81
7.16.11	IMPACCHI BIOLOGICI	81
7.16.12	APPARECCHIATURA LASER.....	82
7.16.13	BIOCIDI.....	82
7.17	Materiali impregnanti - Generalità	84
7.17.1	IMPREGNANTI PER IL CONSOLIDAMENTO	84
7.17.2	IMPREGNANTI PER LA PROTEZIONE E L'IMPERMEABILIZZAZIONE	88
7.17.3	IMPREGNANTI PER INTERVENTI DI DEUMIDIFICAZIONE	90
7.18	Materiali vari	90
7.18.1	MATERIALI VARI PER CONSOLIDAMENTO	90
7.18.2	MATERIALI VARI PREMISCELATI	91
7.19	Materiali compositi FRCM	92
7.19.1	LASTRE DI PIETRA NATURALE	93
7.20	Materiali per impermeabilizzazione – Generalità	93
7.20.1	MEMBRANE LIQUIDE O IN PASTA	94
7.20.2	MEMBRANE BUGNATE.....	95
7.21	Vetri e cristalli	95
7.22	Materiali per rivestimenti e/o trattamento lacune interni ed esterni	95

8	CAPO IV GLI ACCERTAMENTI ANALITICI E DIAGNOSTICI	99
8.1	Gli accertamenti analitici e diagnostici - Generalità	99
8.1.1	SAGGI E VERIFICHE SUI MATERIALI E SUI METODI DI APPLICAZIONE (ESECUZIONE PROVE DI PULITURA).....	100
8.2	Indagini in situ atte ad approfondire la conoscenza sulle stratificazioni dell'edificato e sulle caratteristiche strutturali e costruttive.....	100
8.2.1	INDAGINE STRATIGRAFICA	100
8.2.2	INDAGINE TERMOGRAFICA (O TERMOVISIONE)	101
8.2.3	INDAGINE ENDOSCOPICA	102
8.2.4	INDAGINE MAGNETOMETRICA (O MAGNETOSCOPIA)	103
8.2.5	INDAGINE GEORADAR	104
8.2.6	INDAGINE TOMOGRAFICA SONICA	105
8.2.7	INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA	105
8.2.8	INDAGINE COLORIMETRICA.....	106
8.2.9	INDAGINE SONICA (AUSCULTAZIONE SONICA)	106
8.2.10	INDAGINE ULTRASONICA	107
8.3	Tecniche per la misurazione dell'umidità - Generalità	108
8.3.1	MISURE IGROMETRICHE	108
8.3.2	MISURE DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA	109
8.3.3	MISURE DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE	109
8.3.4	RILEVATORI DI CONDENSAZIONE	109
8.3.5	MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA NELLE STRUTTURE.....	109
8.3.6	MISURE CONTEMPORANEE DI DIFFERENTI VARIABILI.....	110
8.4	Monitoraggio rilievo dinamico.....	110
8.4.1	TELERILEVAMENTO.....	110
8.4.2	MONITORAGGIO DEL QUADRO FESSURATIVO	112
8.4.3	MONITORAGGIO AMBIENTALE (RILEVAZIONI DELLE CONDIZIONI TERMOIGRONOMETRICHE E MICROCLIMATICHE)	113
8.5	Indagini meccaniche in situ al fine di determinare le caratteristiche tensionali dei materiali e delle strutture	114

8.5.1	CAROTAGGIO	114
8.5.2	INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO O DOPPIO (FLAT-JACK TEST)	115
8.5.3	PROVE SCLEROMETRICHE	116
8.5.4	PROVE DI LABORATORIO PER ACCETTAZIONE MATERIALI E CAMPIONATURE.....	116
8.5.5	COLLAUDO SPINOTTI E BARRE DI ANCORAGGIO	116
8.5.6	TESATURA TIRANTI CON ADEGUATO MARTINETTO DA LABORATORIO	117
9	CAPO V PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO E DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE	118
10	PARTE I - PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO	119
10.1	SCAVI.....	119
10.1.1	OPERAZIONI DI SCAVI E RINTERRI	119
10.1.1.1	Generalità.....	119
10.1.1.2	Scavi di fondazione a sezione obbligata.....	119
10.1.1.3	Scavi di accertamento e ricognizione	120
10.1.1.4	Scavi archeologici	120
10.1.1.5	Armature degli scavi (sbatacchiature)	121
10.1.1.6	Rilevati e rinterri	122
10.2	ASPORTAZIONI.....	122
10.2.1	OPERAZIONI DI ASPORTAZIONE, DEMOLIZIONE E SMONTAGGIO.....	123
10.2.2	PRECONSOLIDAMENTI	130
10.2.3	OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO DEI MATERIALI LAPIDEI	130
10.3	PULITURE.....	132
10.3.1	Operazioni di Pulitura materiali lapidei	132
10.3.2	OPERAZIONE DI PULITURA MATERIALI LIGNEI	146
10.4	AGGIUNTE, INTEGRAZIONI	147
10.4.1	OPERAZIONI DI STUCCATURA, INTEGRAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI (AGGIUNTE)	148
10.4.2	OPERAZIONI DI INTEGRAZIONE PITTORICA IN DIPINTI MURARI (AFFRESCHI, GRAFFITI E PITTURE A SECCO)	163
10.4.3	OPERAZIONI DI INTEGRAZIONE, STUCCATURA MATERIALI LIGNEI	164
10.4.4	CONSOLIDAMENTI.....	164
10.4.5	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI MATERIALI LAPIDEI	165
10.4.6	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DIPINTI MURARI (AD AFFRESCO ED A SECCO)	173
10.4.7	PROTEZIONI	175
10.4.8	OPERAZIONI DI PROTEZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI.....	175
10.4.9	OPERAZIONI DI PROTEZIONE DI MATERIALI LIGNEI	186
10.5	DEUMIDIFICAZIONE	189
10.5.1	OPERAZIONI DI DEUMIDIFICAZIONE DI APPARECCHI MURARI	190
10.6	DOCUMENTAZIONE	201
10.6.1	DOCUMENTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO.....	201
10.6.2	DEFINIZIONI.....	202
11	PARTE II - PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE	203
11.1	CONSOLIDAMENTO MURATURE.....	203
11.1.1	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO APPARECCHI MURARI	203
11.2	CONSOLIDAMENTO SOLAI	219
11.2.1	CONSOLIDAMENTO STRUTTURE VOLTATE	219
11.2.1.1	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MURATURA (LATERIZIO E/O PIETRA)	219
11.3	CONSOLIDAMENTO COPERTURE	229
11.3.1	OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI COPERTURE IN LEGNO	230
11.4	IMPERMEABILIZZAZIONE COPERTURE	234
11.4.1	OPERAZIONI DI BARRIERA AL VAPORE E VENTILAZIONE.....	234
12	PROVE DI LABORATORIO PER ACCETTAZIONE MATERIALI E CAMPIONATURE	236
13	ASSISTENZE MURARIE IN GENERE.....	237

14	PARTE TERZA - PRESCRIZIONI TECNICHE PER OPERE PROVVISORIALI, ESECUZIONE DI NOLI, TRASPORTI, MATERIALI A PIE' D'OPERA, MANO D'OPERA, COMPENSI INCLUSI NEL PREZZO A CORPO E A MISURA E RELATIVE DISPOSIZIONI	238
14.1	OPERE PROVVISORIALI	238
14.2	NOLEGGI	238
14.3	TRASPORTI	238
14.4	MATERIALI A PIE' D'OPERA	238
14.5	MANO D'OPERA.....	238
14.6	COMPENSI INCLUSI NEL PREZZO A CORPO ED A MISURA	239
14.7	DISPOSIZIONI RELATIVE AL PREZZO A CORPO ED A MISURA	240
15	PARTE QUARTA - DISPOSIZIONI PARTICOLARI RIGUARDANTI LA PROGETTAZIONE COSTRUTTIVA DELLE OPERE E LA DOCUMENTAZIONE FINALE	241
15.1	REDAZIONE DEGLI ELABORATI "COME COSTRUITO" (AS BUILT) E DELLE CERTIFICAZIONI IN GENERE E SPECIALISTICHE DA PROFESSIONISTA ANTINCENDIO.	241
15.2	CONTENUTI DEL PROGETTO COSTRUTTIVO	241
15.3	AGGIORNAMENTO DEL PIANO DEL MANUTENZIONE DELLE OPERE	242
15.4	DOCUMENTAZIONE TECNICA PER IL RILASCIO DEL CERTIFICATO DI PREVENZIONE INCENDI.....	242

1 PARTE PRIMA: Generalità

1 PRESCRIZIONI TECNICHE GENERALI E PARTICOLARI

1.1 Disegni costruttivi di cantiere

I disegni allegati sono parte integrante del presente capitolato tecnico e viceversa; i particolari indicati sui disegni ma non menzionati nella specifica e viceversa, devono essere eseguiti come se fossero menzionati nella specifica stessa ed indicati sui disegni.

I disegni esecutivi di progetto dovranno essere sempre integrati e/o sostituiti, quando necessario, dai disegni costruttivi di cantiere. In caso di discordanza tra i disegni comunali e quelli esecutivi valgono le indicazioni riportate su questi ultimi.

1.2 Autorizzazione all'esecuzione

Premesso che tutti gli allegati sono parte integrante della presente specifica, perciò tutto ciò che in essi è contenuto deve essere in ogni modo realizzato, l'Appaltatore prima di eseguire qualunque lavoro dovrà sottoporre alla STAZIONE APPALTANTE, per ottenere dalla stessa il benestare all'esecuzione, i disegni costruttivi completi di tutti i dettagli di installazione con le soluzioni che s'intendono adottare nelle diverse situazioni.

In ogni caso il BENESTARE o l'APPROVAZIONE da parte della STAZIONE APPALTANTE, non solleva l'Appaltatore da alcuna responsabilità o lacune che in sede di collaudo fossero riscontrate.

1.3 Norme, decreti, disposizioni di legge e regolamenti

1.3.1 Generalità

Le opere devono essere realizzate a "perfetta regola d'arte" ed in osservanza a tutte le leggi, prescrizioni e norme che regolano la qualità, la sicurezza e le modalità di esecuzione delle stesse.

In particolare dovranno essere osservate le seguenti leggi, regolamenti e norme:

- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 legge 6 luglio 2002, n.137";
- Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008.
- Legge n. 1086/1971 e s.m.i. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e a struttura metallica".
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni" e Circolare applicativa 21 gennaio 2019" n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Per il calcolo dei rinforzi realizzati con materiali FRP (Fiber Reinforced Polymer) il riferimento normativo sono "LINEE GUIDA per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di interventi di rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP", pubblicate dal C.S.LL.PP. il 24/07/2009, unitamente al Documento Tecnico n. 200/04 del C.N.R. ultima revisione 2013 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati".
- Ai fini del pieno rispetto di quanto richiesto al paragrafo 11.1 GENERALITA' del Capitolo 11 delle NTC 2018, tutti i materiali FRP dovranno essere muniti di certificazioni ai fini dell'accettazione degli stessi secondo il D.P.del C.S.LL.PP. n. 293 del 29/05/2019 "Linee guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".
- Per il calcolo dei rinforzi realizzati con materiale FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) il riferimento normativo sono le Norme di Calcolo CNR-DT (Documento tecnico) 215/2018 "Istruzioni per la progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica".
- Ai fini del pieno rispetto di quanto richiesto al paragrafo 11.1 GENERALITA' del Capitolo 11 delle NTC 2018, tutti i materiali FRCM dovranno essere muniti di certificazioni ai fini dell'accettazione degli stessi secondo il D.P.del C.S.LL.PP. n. 1 del 08/01/2019 "Linee guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti".
- DPR n.380 del 2001 testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia aggiornato al DL n. 301 del 2002.

- Legge n. 109 del 11.02.1994 – “Legge quadro in materia di lavori pubblici”.
- D.P.R. n. 412 del 30.08.2000 – “Regolamento recante disposizioni integrative del Decreto del Presidente della Repubblica n. 554 del 21.12.1999, concernente il regolamento di attuazione della legge quadro sui lavori pubblici”.
- DLgs n. 50 del 18.04.2016 – “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione della direttiva 2004/17/CE e 2004/18/CE”.
- D.P.R. n. 207 del 5.10.2010 – “Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, (...)”
- Decreto Legge 9 aprile 2008 n. 81 “Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”.
- Direttiva 89/106/CEE del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione.

1.3.2 Priorità dei documenti tecnici

In caso di conflitto tra le prescrizioni contenute nei diversi documenti tecnici facente parte o citati nel presente capitolato, l'ordine di priorità sarà il seguente:

1°) le NORME

2°) il presente capitolato ed i disegni allegati al capitolato

1.3.3 Documentazione di progetto ed approvazioni

Documentazione di progetto della stazione appaltante

Essa è costituita da tutte le documentazioni contenute nel presente Capitolato; l'Appaltatore dovrà controllarla in tutte le sue parti verificandone la congruità e la completezza, assumendone la completa responsabilità, con dichiarazione scritta in sede di offerta, assorbendone quindi tutti gli oneri, omissioni e quant'altro non conforme alle norme e/o alle prescrizioni particolari di Enti preposti, per competenza, ad avere giurisdizione sugli impianti oggetto del presente Appalto.

Documentazione di progetto dell'appaltatore

L'Appaltatore dovrà fornire tutta la documentazione già fornita dalla Stazione Appaltante, opportunamente revisionata secondo le esigenze costruttive, i complementi, le integrazioni e gli aggiornamenti necessari.

L'Appaltatore dovrà produrre una relazione comprensiva di tutti i calcoli che possono servire per poter verificare la validità delle soluzioni e dei dimensionamenti previsti.

Inoltre è fatto obbligo all'Appaltatore di produrre tutta quella documentazione che si renderà necessaria per l'esecuzione degli impianti oggetto del presente capitolato od alla definizione delle interfacce e/o interferenze con altri impianti o opere eseguite da altri Appaltatori.

Documentazione finale

Alla fine dei lavori e comunque prima del collaudo provvisorio, l'Appaltatore dovrà consegnare tutta la documentazione di progetto aggiornata sulla base di quanto effettivamente installato come di seguito precisato.

Tutta la documentazione deve essere raccolta in un manuale di istruzione, per permettere al personale che non conosce gli impianti di operare correttamente su di essi ed eseguirne la manutenzione.

Manuale di istruzione

Il manuale deve presentarsi come segue:

a) Descrizione delle opere

nella quale devono essere illustrate le caratteristiche tecniche ed i vari componenti, accompagnata da tutti i documenti di progetto;

b) Modalità di utilizzazione

delle opere facendo riferimento agli schemi ed ai disegni planimetrici;

c) Elenco dei fornitori

dei materiali e dei componenti più significativi;

d) Istruzioni di manutenzione

suddivise in:

- d1) Istruzione di manutenzione preventive, nelle quali devono essere indicati i programmi, le ispezioni periodiche richieste
- d2) Istruzioni di riparazione o messa a punto, nelle quali devono essere indicate le istruzioni per la localizzazione dei guasti e le procedure per rimuovere e sostituire i componenti.

Il "Manuale d'istruzione", eventualmente suddiviso in diversi fascicoli, deve avere copertine robuste e di tipo che consenta l'inserzione e l'asportazione dei documenti senza dover disfare i fascicoli stessi.

Ogni fascicolo deve indicare in copertina quanto segue:

- il nome del Cliente;
- la località dell'impianto;
- il nome dell'impianto;
- il titolo dell'argomento a cui si riferisce il manuale ed il fascicolo in particolare;
- il numero d'ordine del contratto d'appalto;
- Il nome dell'Appaltatore.

1.4 Collaudi

Le operazioni di collaudo dovranno essere concluse entro sei mesi dalla data di ultimazione dei lavori. L'Impresa si impegna a dare esecuzione con la massima sollecitudine possibile a tutti i lavori che, nel corso delle operazioni di collaudo, risulteranno necessari per rendere le opere conformi al progetto ed alle prescrizioni di contratto.

Il collaudo potrà essere concluso solo una volta che sia stata accertata la piena e positiva funzionalità degli impianti non ritenendosi al riguardo sufficiente il mero accertamento dell'esecuzione degli impianti in conformità al progetto.

L'Impresa si impegna a dare completa e gratuita garanzia sugli impianti per due anni dopo il collaudo. L'Impresa dovrà inoltre fornire i disegni aggiornati degli impianti eseguiti, completi di dettagli tecnici e dei cataloghi delle apparecchiature.

È infine previsto un periodo di gratuita manutenzione a partire dalla data di ultimazione dei lavori fino a quella del certificato di collaudo e sarà, in ogni caso, non inferiore a centottanta giorni.

Il collaudo delle lavorazioni di posa di barrotti, Spinotti, tiranti e fissaggi in genere sarà effettuato dal LABORATORIO PROVE MATERIALI "PIETRO PISA" – UNIVERSITA' DI BRESCIA DICATAM – Via Branze 36/38 – 25123 BRESCIA", che sarà incaricato a parte dalla S.A. a cui spetta il rimborso delle note per le stesse.

2 INCLUSIONI ED ESCLUSIONI

- Anche quando non espressamente specificato, le opere edili devono essere realizzate in modo completo e con esecuzione a regola d'arte. Costituiscono in ogni caso onere dell'appaltatore:
 - ogni opera principale e provvisoria di qualunque tipo;
 - ogni fornitura, e relativa posa in opera;
 - ogni consumo;
 - i noli di macchinari (gru, autogrù, automezzi, ponti sollevanti, sega circolare, compressori, etc.) e i ponteggi (esterni ed interni);
 - l'intera mano d'opera ed ogni trasporto;
 - le cesate di delimitazione del cantiere e relativa illuminazione;
 - le cesate di separazione delle zone di intervento dei reparti in attività (tali cesate dovranno garantire la massima protezione dalla polvere e dai rumori);
 - eventuali interruzioni temporanee di lavorazioni pesanti e rumorose in rapporto alle esigenze dei pazienti presenti;
 - le assistenze alla posa di tutte le forniture in opera;
 - opere e oneri per lo smaltimento di materiali tossici e pericolosi rinvenuti;
 - il trasporto delle macerie al piano di carico, il carico su idoneo mezzo di trasporto, il trasporto ed eventuali oneri di smaltimento in discarica;
- La realizzazione delle opere edili descritte nella presente relazione dovrà essere fatta rispettando un costante coordinamento con il montaggio degli impianti previsti nell'immobile al fine di ottenere sia una buona integrazione generale salvaguardando la funzionalità sia un buon risultato estetico. Pertanto l'Appaltatore deve assumere, in accordo con gli altri Appaltatori coinvolti, la corresponsabilità del coordinamento e della buona realizzazione dell'insieme dei sistemi, concordando, ogniqualvolta si ritenesse necessario, le soluzioni più idonee.
- Restano a carico dell'impresa gli oneri relativi alla realizzazione del basamento della gru, al tiro al piano dei materiali, e all'occupazione del suolo.
- I materiali smantellati devono essere allontanati alla pubblica discarica, mentre quelli recuperati o riutilizzabili a giudizio della Stazione Appaltante verranno consegnati alla stessa.

3 ATTIVITA' A CARICO DELL'APPALTATORE

3.1 Fornitura in opera

Nella dizione "fornitura in opera", si intendono comprese tutte le operazioni di progettazione costruttiva, rilievo di misure in luogo, segnalazione e operazione di demolizione o collegamento, dei disegni costruttivi e di dettaglio, e la realizzazione di tutte le pratiche necessarie per denunce o ottenimento di pareri da parte di organi di controllo quali , l'A.S.L., i l'I.S.P.E.S.L., e altri, approvvigionamento dei materiali, costruzione, prefabbricazione, lavorazione, assemblaggio, trasporto in cantiere, sollevamento al piano di posa e successiva messa in opera a perfetta regola d'arte, collaudi finali, certificazioni e pratiche autorizzative all'uso, compresa assistenza muraria, materiali, mezzi d'opera, noleggi e mano d'opera generica e/o specializzata e di tutto quanto contrattualmente richiesto. Va inoltre ribadito che quando si prescrive negli articoli precedenti o seguenti una lavorazione "a cura e spese dell'Appaltatore" o con dicitura simile, si intende che il relativo onere è remunerato all'interno dei prezzi unitari costituenti il contratto.

3.2 Consegna dei lavori

Le operazioni di consegna dei lavori all'Appaltatore saranno intraprese con le modalità e nei termini fissati nel Capitolato Speciale d'Appalto.

Con la consegna dei lavori l'appaltatore sarà immesso nel possesso dell'area destinata alla formazione del cantiere ed alla esecuzione delle opere appaltate. Si precisa che l'area è quella indicata negli allegati grafici con i vincoli in essi segnalati.

Le operazioni di consegna dei lavori saranno condotte dalla Direzione Lavori, ad esse dovrà presenziare costantemente l'Appaltatore od un suo rappresentante munito dei necessari poteri per il contraddittorio e per l'accettazione. Dette operazioni saranno continuative, anche se occorresse formare i relativi accertamenti di stato in più luoghi od in tempi successivi.

3.3 Predisposizioni del cantiere

Successivamente alla consegna dell'area ed alla individuazione degli allineamenti e dei capisaldi di riferimento, l'Appaltatore dovrà provvedere a recintare tutta l'area.

L'area di cantiere così recintata dovrà essere custodita a cura e spese dell'Appaltatore e per essa valgono le norme proprie delle aree di lavoro.

Con la formazione del cantiere, a cura e spese dell'Appaltatore dovrà essere predisposta una baracca di dimensioni non inferiori a 15 mq., arredata con un tavolo ed una scrivania, sei sedie, un armadio, un attaccapanni e un portaombrellino. Tale baracca da destinare alla Direzione Lavori ed alla quale devono essere consegnate le chiavi dovrà essere dotata di impianto di riscaldamento invernale, di telefono. La baracca dovrà essere mantenuta pulita a cura e spese dell'Appaltatore.

Tutto il materiale utilizzato alla fine del cantiere dovrà essere rimosso e resterà all'Impresa.

L'Appaltatore durante i lavori dovrà provvedere alla predisposizione di tutti i passaggi pedonabili o carrabili necessari.

Tali passaggi dovranno rispettare le normative antinfortunistiche vigenti ed essere corredati di opportune segnalazioni luminose e visive al fine di permettere la frequentazione pubblica in assoluta sicurezza.

3.4 Prestazioni ambientali

Ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi, l'impresa durante le attività di cantiere è tenuta a garantire le seguenti prestazioni:

- per tutte le attività di cantiere e trasporto dei materiali devono essere utilizzati mezzi che rientrano almeno nella categoria EEV (veicolo ecologico migliorato)
- gli impatti sul clima non minimizzabili (con mezzi ibridi; elettrici a metano o a GPL) che derivano dalle emissioni dei gas di scarico dei trasporti e mezzi di cantiere saranno compensati con lo sviluppo di progetti CDM (Clean Development Mechanism) e/o JI (Joint Implementation), ovvero eventuale partecipazione a un carbon fund.

Per impedire fenomeni di diminuzione di materia organica, calo della biodiversità, contaminazione locale o diffusa, salinizzazione, erosione del suolo, ecc, dovranno essere attuate le seguenti azioni a tutela del suolo:

- accantonamento in sito e successivo riutilizzo dello strato del terreno vegetale per una profondità di 60 cm;
- tutti i rifiuti prodotti dovranno essere selezionati e conferiti nelle apposite discariche autorizzate quando non sia possibile avviarli al recupero.
- eventuali aree di deposito provvisori di rifiuti non inerti devono essere opportunamente impermeabilizzate e le acque di dilavamento devono essere depurate prima del convogliamento verso i recapiti idrici finali.

3.5 Tracciamenti

L'Appaltatore sarà ritenuto il solo ed unico responsabile dei vari tracciamenti delle opere oggetto dell'appalto.

Prima di dare inizio ai tracciamenti, l'Appaltatore dovrà verificare l'esattezza dei punti fissi, delle quote e degli allineamenti riferiti al progetto.

Facendo riferimento ai capisaldi fissati durante la consegna dei lavori, l'Appaltatore dovrà effettuare il tracciamento fissandone i vertici e gli allineamenti.

ABBREVIAZIONI

- D.P.R. n. 207 del 2010: decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207 - Regolamento di esecuzione ed attuazione del Codice dei contratti pubblici, per le parti ancora in vigore;

- Capitolato generale d'appalto (decreto ministeriale - lavori pubblici - 19 aprile 2000, n. 145);

- R.U.P. (Responsabile unico del procedimento di cui all'articolo 31 del D. Lgs n.50 del 18/04/2016 e degli articoli 9 e 10 del decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207);

- Decreto n. 81 del 2008 (decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro);

- DURC (Documento unico di regolarità contributiva): il documento attestante la regolarità contributiva previsto dall'articolo 90, comma 9, lettera b), decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e dall'allegato XVII, punto 1, lettera i), allo stesso decreto legislativo, nonché dall'articolo 2 del decreto-legge 25 settembre 2002, n. 210, convertito dalla legge 22 novembre 2002, n. 266, nonché dagli articoli 6 e 196 del decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207;

- attestazione SOA: documento che attesta la qualificazione per una o più categorie, nelle pertinenti classifiche, rilasciato da una Società Organismo di Attestazione, in applicazione degli articoli da 60 a 96 del decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207.

4 PARTE SECONDA: Specificazione delle prescrizioni tecniche

5 CAPO I Premesse e caratteristiche generali dell'opera

Il Santuario della Madonna di Gallivaggio è di proprietà della Parrocchia dell'Apparizione di Maria Vergine in Gallivaggio - Comune di San Giacomo Filippo (SO), ubicato lungo la Strada Statale per il passo dello Spluga, a metà strada fra Chiavenna e Campodolcino nella val San Giacomo, in un punto in cui la valle si presenta molto stretta fra pareti rocciose, irte e soggette a molti crolli di massi, in sinistra orografica del Fiume Liro.

In data 29/06/2018 è avvenuto un crollo di massi dalla vicina parete rocciosa ad est che ha provocato una frana di notevoli dimensioni provocando gravi danni al complesso del Santuario.

In conseguenza a tale evento è stato redatto il progetto esecutivo degli interventi di recupero e restauro strutturale, architettonico ed artistico per la messa in pristino dell'intero complesso monumentale a seguito dei danni subiti.

DANNI RIPORTATI ED INTERVENTI IN PROGETTO

I danni riportati in seguito al crollo sono di tipo diretto ed indiretto; fra i primi vi sono numerosi fori causati dall'impatto dei massi, soprattutto alla parete a nord ed alla volta della navata centrale e laterale destra. (questi ultimi avvenuti dopo lo sfondamento del tetto)

La gragnuola di sassi di diverse dimensioni che ha impattato la Chiesa ha causato anche varie ammaccature / rotture di elementi costruttivi ed architettonici.

Fra i danni indiretti basti menzionare la nuvola di polvere che si è depositata su tutta la superficie interna del Santuario annidandosi sulle parti di grande pregio artistico quali decorazioni, affreschi, stucchi, parti lignee, lapidee ed organo. La polvere riveste le superfici da più di cinque anni accentuando il degrado generale.

Anche le infiltrazioni di acqua dai buchi causati dalla frana, ha generato danni collaterali importanti, nonostante si sia proceduto alla temporanea copertura con teli del tetto e delle parti interessate, non appena le condizioni di sicurezza lo hanno permesso.

Le opere di tipo strutturale previste riguardano: i tetti e le coperture, le volte, i maschi murari ed i tiranti oltre agli intonaci esterni da rimuovere e ricostruire perché danneggiati o interessati dagli interventi sulle testate dei maschi murari.

Si riportano di seguito le opere previste da realizzare con il suddetto progetto

INTERVENTI DEL PROGETTO STRUTTURALE

In base al quadro fessurativo emerso si sono valutate diverse tecniche di consolidamento per la riparazione dei danni causati dal sisma al fine di ottenere il rafforzamento della struttura, garantire le condizioni minime richieste dalla Normativa vigente per i carichi e sovraccarichi sulle strutture portanti (D.M.17/01/18) ed effettuare una serie di Interventi di Miglioramento Sismico specifici per edifici storici di carattere monumentale come quello in oggetto.

Gli interventi sono concepiti in modo tale da evitare l'inutile dispersione di risorse economiche e raggiungere l'ottimizzazione dei risultati del consolidamento con il minimo coinvolgimento della struttura originale.

Come per il quadro fessurativo, per semplificare la definizione degli interventi di consolidamento, si suddivide la realizzazione delle opere per livelli, fermo restando che operativamente in diversi casi si dovrà intervenire in un'unica soluzione o secondo priorità per ottimizzare la gestione delle risorse economiche.

Sulla base del quadro fessurativo descritto in precedenza, si è sviluppato un progetto di consolidamento che interessasse l'intero immobile andando a risolvere localmente e di volta in volta le vulnerabilità, ottenendo così un miglioramento di insieme che coinvolgesse il comportamento globale della costruzione.

INTERVENTI SUL TETTO

Il progetto del tetto prevede la rimozione di tutto il tetto con il recupero parziale delle tegole che saranno riutilizzate ed integrate per quelle mancanti con tegole di recupero da altri vecchi tetti della zona e in caso di mancanza d'altro, con nuove della medesima tipologia, materiale e fattura.

Il pacchetto del tetto è stato organizzato in modo tale che l'orditura principale sia costituita da travi / capriate, terzere – colmo – dormiente, pannello Xlam con funzione di diaframma di piano. Le terzere – dormiente – colmo sono sostenuti da travi principali ad eccezione della copertura della navata centrale – altare che ha capriate.

A seguire l'orditura secondaria di supporto costituita da membrana impermeabile traspirante freno al vapore, quindi rigoni in legno di abete a formazione di camera d'aria ed infine assito.

L'essenza del legno è abete massiccio C 24 per le terzere e dormiente.

Fanno eccezione le capriate e le travi principali dei sottotetti delle navate laterali, sacrestia, museo e centrale termica che sono in lamellare GL 28h. Questa scelta è dovuta al fatto che il tetto esistente è abbastanza recente (ricostruito nel 1986) senza nulla conservare del precedente, realizzato "in economia" senza essere rispettoso della normativa, né tantomeno delle nuove NTC 2018 e non ha nessun motivo di essere conservato. Inoltre di tale legname non si conoscono le caratteristiche meccaniche.

INTERVENTI CORONAMENTO DEI MASCHI MURARI

Per questa lavorazione occorre premettere che le dimensioni del volume di smontaggio e rimontaggio e del consolidamento con l'indicazione della superficie interessata dallo smontaggio dell'intonaco sono da intendersi indicative e ottenute dalle osservazioni in posto durante la prima fase di emergenza.

L'entità dell'intervento di smontaggio e rimontaggio del coronamento, compreso il volume del consolidamento della muratura, dovrà essere concordato di volta in volta con la D.L. e la Soprintendenza, individuando, dopo la fase di rimozione del tetto, fino a dove deve essere spinto lo smontaggio del coronamento dei maschi murari, il volume e le modalità del consolidamento e le successive fasi di posa del livellamento in malta di calce idraulica, posa di malta di calce idraulica NHL 3,5 con due strati di rete in fibra naturale di basalto e geosteel grid 400 a formare il sistema FRCM certificato e l'esecuzione di intonaco di finitura sempre con malta di calce. Il consolidamento del coronamento dei maschi murari avviene tramite lo smontaggio della parte sommitale per circa 50 cm della muratura esistente in quanto inconsistente, composta da diversi materiali, tra cui prismi di calcestruzzo, non organizzata tessitualmente. Il coronamento attuale è stato così ricostruito durante il rifacimento completo dei tetti negli anni '80. Tutto il coronamento è in corrispondenza dei sottotetti e pertanto le superfici risultano intonacate all'esterno ed in raso pietra all'interno del sottotetto. Solo quello in corrispondenza della navata laterale di valle e della sacrestia presenta una gronda lavorata finita ad intonaco in malta di calce, che sarà interessata dalle lavorazioni solamente nella parte terminale per circa cm 20 per evidenti motivi dovuti alla rimozione di tutto il pacchetto del tetto.

Quindi verrà rimontato il coronamento mediante recupero del pietrame eventualmente integrato con materiali analoghi del posto e malta di calce idraulica, previa posa di diatoni in acciaio galvanizzato a fiocco da inglobare nella muratura sempre con malta di pura calce idraulica iniettata e certificata. Si preferisce questo tipo di diatono anziché le barre in fibra di vetro perché il legante è a base di pura calce idraulica compatibile con l'esistente anziché le resine epossidiche previste per le barre in fibra di vetro.

In questa operazione saranno predisposti gli alloggiamenti delle testate delle travi lignee, dei nodi delle capriate, dei tirafondi e spinotti di collegamento con il pannello Xlam costituente il diaframma di piano per la realizzazione del "coperchio" dell'effetto "scatola".

Per completare il rimontaggio del coronamento conferendogli caratteristiche meccaniche significative in grado di realizzare il nodo strutturale muro / tetto, si procederà ad un rinforzo mediante placcaggio diffuso con doppia rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox in malta certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3,5, a formare uno spessore di cm 2 mediamente oltre al livellamento della facciata muraria.

Per collegare il tutto meccanicamente al corpo murario sottostante sarà rimosso anche per ulteriori cm 30 l'intonaco esterno di malta di calce con finitura a frattazzo in intonachino di malta di calce / bastarda. Internamente non è necessario perché l'intonaco è assente. Questa operazione si rende necessaria per poter spingere il placcaggio sulla muratura sottostante sana, ancorandosi ad essa tramite spinotti in fiocco di rete di acciaio inox. Questo sistema dovrà essere conforme alle Linee Guida per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica, denominati FRCM, approvate con DPCSLP n. 1 del 08/01/2019, impiegati per il consolidamento strutturale, risultando compatibili con le linee guida MIBACT. Il tutto come ampiamente descritto nelle tavole dei particolari costruttivi allegati al progetto esecutivo.

Per le facciate della navata laterale di valle con la sacrestia, che presentano una gronda lavorata ad intonaco, come precedentemente detto non è prevista lo smontaggio dell'intonaco, perché il consolidamento avverrà semplicemente mediante formazione di fori con carotatrice a secco a sola rotazione ed iniezione di malta di calce idraulica come sopra.

Verrà successivamente posato l'ariccio di intonaco in malta di pura calce e/o come l'esistente per la successiva finitura con intonachino sempre secondo quanto contenuto nelle operazioni di restauro e recupero degli intonaci esterni di cui alla relazione dei Restauratori (V. Tav. B. Seguirà la riequilibratura cromatica per uniformarsi alla facciata. Non sarà applicato alcun protettivo finale non filmogeno resistente ai raggi UV:

INTERVENTI VOLTE

E' previsto il rimontaggio delle porzioni delle volte danneggiate con fori passanti utilizzando i sassi recuperati e le tecniche costruttive originarie utilizzate durante la costruzione del Santuario, previa mappatura puntuale delle superfici decorate danneggiate.

Dalla valutazione del quadro fessurativo e del danno sulle volte, si è potuto determinare la soluzione per la

messa in pristino e miglioramento strutturale delle stesse. Vengono solamente integrate queste tecniche con soluzioni FRCM che risultano compatibili con l'apparato murario preesistente utilizzando malta a base di pura calce idraulica NHL 3,5 con sistema certificato secondo le Linee Guida per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica, denominati FRCM, approvate con DPCSLP n. 1 del 08/01/2019.

La ricostruzione dovrà avvenire come indicato nei particolari costruttivi delle tavole grafiche allegate, rispettando la gerarchia dei diversi strati di applicazione degli intonaci all'intradosso fino alla stesura del livellamento superficiale con malta strutturale idraulica NHL al fine di poter successivamente nel II LOTTO riaderire i frammenti degli intonaci, affrescati e non, al supporto murario ricostruito.

Si evidenzia l'impossibilità di poter operare liberamente dall'intradosso, vista la presenza di affreschi pregevoli. Ciò ha richiesto la necessità di individuare le modalità di intervento che sono specificate nei particolari costruttivi allegati (TAV S-124). In particolare è previsto un sistema di cassetatura che permetta di non arrecare danni agli intonaci affrescati sul contorno dell'intervento e contemporaneamente di garantire la posa dei successivi strati delle malte di livellamento per la successiva fase nel II LOTTO di riadesione dei frammenti crollati, recuperati e catalogati.

Il tutto preceduto da una stuccatura "salvabordi" dell'intonaco affrescato e / o decorato per le zone in via di distacco.

INTERVENTI DI RINFORZO SISMICO DELLE VOLTE

Dall'esame dei meccanismi locali di collasso in fase sismica emerge che ai soli fini delle forze inerziali sismiche orizzontali la volta della navata centrale deve essere direttamente agganciata ai correnti longitudinali del diaframma di piano corrispondente.

Tale obiettivo è stato raggiunto mediante un sistema di tiranti pretensionati che dai correnti agganciano la volta della navata centrale / altare mediante una adeguata fascia della larghezza di 60 cm in lamierino metallico spessore mm 6 agganciato all'estradosso della volta mediante spinotti in barre di acciaio Ø 20 inghisati. Il tutto posato su supporto fresco in malta di calce idraulica strutturale tipo Geocalce F antisismico con inglobato uno strato di tessuto tipo Geosteel 600 previa posa di livellamento con Geocalce G antisismico. Il tutto preceduto dalla pulizia superficiale dell'estradosso (V. Tav. S-122). Si sottolinea il fatto che dalla medesima Tavola grafica si evince che la seconda campitura della volta oggetto di punzonamento da massi, si sfrutta il placcaggio extradossale con rete diffusa Geosteel Grid 400 anziché la fascia in tessuto Geosteel 600.

Le volte a crociera delle navate laterali, non potendo essere sospese ai correnti di falda per mancanza di spazi fisici fra l'estradosso delle volte e la copertura, sono state predisposte per un rinforzo a fasce in tessuto tipo Geosteel G600 posato come già descritto su malta di calce idraulica strutturale tipo Geocalce F antisismico con inglobato il suddetto strato di tessuto tipo Geosteel 600 previa posa di livellamento con Geocalce G antisismico. Il tutto preceduto dalla pulizia superficiale dell'estradosso (V. Tav. S-122).

INTERVENTI SUI TIRANTI

I nuovi tiranti previsti in progetto (v. Tav. S-123) sono riassunti nella tabella seguente. Si faccia riferimento alle tavole del progetto per le posizioni esatte e la localizzazione degli ancoraggi.

Posizione	Descrizione
1 (longitudinale sottotetto navate laterali)	2 tiranti dywidag ϕ 32 (inghisato in testa - fori per passaggio ϕ 40) a quota cornicione navata centrale e posti nel sottotetto navate laterali in posizione NON visibile
2 (trasversali facciata e dietro altare)	2 tiranti in acciaio S275 B/C dim. mm 65x25 a vista / ϕ 44 inghisato nella muratura in foro ϕ 80 di lunghezza spessore muro a quota cornicione (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.)
3 (arco trionfale centrale)	1 tirante in acciaio S275 B/C dim. mm 65x25 a vista / ϕ 44 inghisato nella muratura per ml. 4,20 in foro ϕ 80 a quota superiore trave legno crocifisso (Foto 93 bis)
4 (museo)	1 tirante in acciaio S275 B/C dim. mm 40x20 a vista / ϕ 32 inghisato nella muratura ml. 1.60 in foro ϕ 55 in sostituzione del precedente tirante tranciato dall'impatto di un masso (Foto 93 ter)
5 (arco trionfale laterale)	2 tiranti in acciaio S275 B/C dim. mm 40x20 a vista / ϕ 32 nella parte inghisata nella muratura. Ancorato con piastra in facciata ed inghisato sulla testata interna per ml. 1.00 in foro ϕ 55 (Foto 93 quater)
6	2 tiranti in acciaio S275 B/C dim. mm 60x25 a vista / ϕ 44 inghisato nelle

(longitudinali sopra capitelli colonnato, quota +4,30)	murature sulla testata lato altare per ml. 6,00, bloccato con piastra sulla facciata esterna. passante sopra i capitelli delle colonne. Tutto in foro ϕ 80 arcate navate (rif. vedi sez. 1 -1 e Tav s-121 ÷ 124) (Foto 93 e 93 quinquies)
7 (longitudinale cornicione navata centrale)	2 tiranti in acciaio S275 B/C dim. mm 80x25 mm. a vista / ϕ 54 inghisato nella muratura lato altare in foro ϕ 80 (per tutta la lunghezza spessore muro) a quota cornicione e spinottato nella muratura longitudinale con fazzoletti dim. mm 80x25 a vista / ϕ 54 nella muratura (rif. vedi sez. 1 -1 e Tav s-121 ÷ 124) (Foto 93)

INTERVENTI DEL PROGETTO DI RESTAURO

I principali fenomeni di degrado riscontrati, oltre quelli prettamente strutturali, sono i seguenti:

DEPOSITO SUPERFICIALE: presenza di materiale estraneo di varia natura, es. polvere, ragnatele

DISTACCO: degradazione di porzione di intonaco anche rilevanti che può consistere in:

- Perdita della totalità degli strati con messa in luce del supporto murario;
- Perdita di una parte degli strati con messa in luce dello strato a contatto con il supporto murario;
- Tendenza al distacco con processi di sollevamento di porzioni di forma irregolare dello strato superficiale.

UMIDITÀ DI RISALITA: presenza di periodica di umidità per risalita capillare. A tale fenomeno si associano distacchi ed erosione di intonaco, efflorescenze e rigonfiamenti di decorazioni a scagliola dei basamenti delle paraste interne e degli altari.

PATINE BIOLOGICHE: presenza di muschi, licheni e altre patine biologiche per il ristagno di umidità

Inoltre a seguito di saggi stratigrafici eseguiti sui paramenti murari si è verificata lo stato conservativo dello strato di finitura a tempera non originale, che risulta essere indebolito e allo stato pulverulento.

DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

A fronte delle analisi morfologico-critica e delle patologie di degrado e del quadro fessurativo si è considerato di proporre una serie di interventi localizzati e distinti per macro aree, omogenee dal punto di vista di stato di degrado delle superfici e qualità delle relative finiture, specificate in schede di intervento facenti parte del progetto.

Le proposte analizzate di seguito si considerano come valutazione da perfezionare e/o concordare con le Autorità competenti in corso d'opera, fase in cui sarà possibile a ponteggi montati e con le adeguate opere per poter lavorare in sicurezza, effettuare ulteriori saggi, indagini conoscitive e scientifiche dei materiali e dello stato di degrado presenti.

RESTAURO E RECUPERO APPARATO DECORATIVO IN STUCCO

Le decorazioni in stucco, le numerose cornici sulle volte gli arconi che contornano i dipinti, i bassorilievi e i rosoni, delle navate delle cappelle e del presbiterio oggetto della presente scheda d'intervento, alternano superfici monocrome a linee dorate, di forme semplici e lineari nella navata centrale che si arricchisce di conchiglie e rosoni e di bassorilievi raffiguranti cariatidi tra cornice e capitelli (1884). Nel presbiterio le cornici tendono a riempire i vuoti tra gli affreschi, sono intervallate da testine alate, conchiglie e rosette, monocrome e dorate come nell'aula ma molto aggettanti e piene (1605). La cariatide centrale a destra fu rifatta nel 1983 in quanto si staccò dal supporto frantumandosi a terra.

Lo stato conservativo degli ornati plastici tende a diversificarsi tra presbiterio, cappelle laterali, navate e nelle zone che hanno subito direttamente il trauma della frana del 2018.

Notevoli le sedimentazioni di depositi incoerenti e polverosi, in alcune aree compattati e divenuti coerenti a causa dell'umidità ambientale.

Le cornici del presbiterio, eseguite in situ, sono ben conservate, se si esclude l'accumulo di incoerenti e le diffuse cavillature e fessurazioni dovute al naturale impoverimento della materia costitutiva. Non sono visibili distacchi, tuttavia non se ne esclude la presenza. Durante la frana il lato destro dell'abside è stato colpito in modo rilevante, la muratura e gli intonaci risultano danneggiati ed è mancante buona parte della cornice dell'angolo in basso a sinistra del dipinto raffigurante l'adorazione dei re magi. I frammenti sono stati raccolti e catalogati da restauratrice abilitata a seguito del sinistro.

Le cornici delle cappelle laterali sempre di origine seicentesca hanno caratteristiche conservative simili a quelle del presbiterio, tuttavia la cappella dedicata all'annunciazione, nella parete a monte presenta situazioni di degrado: efflorescenze saline, distacco della pellicola pittorica, distacco di porzioni della cornice dal supporto e mancanza di frammenti, causati da migrazioni di umidità /umidità nel supporto.

Gli ornati plastici delle navate, sono stati realizzati a terra e applicati sulle superfici, incollando le cornici tramite punti di materia compositiva "stucco" la cui composizione materica andrà indagata in fase operativa. Sono visibili numerosi distacchi causati dalle vibrazioni della frana, ma anche dalla situazione conservativa preesistente. Lo scialbo pittorico ed anche la doratura, in molte porzioni sono in distacco dal supporto. Le fessurazioni e cavillature sono presenti in maniera diffusa con andamento netto non ramificato.

L'obiettivo dell'intervento è il consolidamento delle porzioni di cornici in distacco, al ricollocamento degli elementi caduti e recuperati, alla rimozione delle situazioni di degrado ed al consolidamento degli strati pittorici e delle dorature. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 1)

RESTAURO E RECUPERO DIPINTI MURALI DEL 1884, DIPINTI FIGURATIVI E FINTI ORNATI PLASTICI, CAMPITURE OMOGENEE TRA I DIPINTI

Nel 1884 in previsione del quarto centenario dell'apparizione di Maria furono commissionati al pittore-restauratore Luigi Tagliaferri di Pagnona, (Lecco) i dipinti figurativi sulla volta della navata centrale: l'ovale centrale, e la lunetta vicina all'arco trionfale, i tondi, le ricadute delle volte e le vele. Nelle volte delle navate laterali : i medaglioni (tre per navata), le lunette verso le cappelle laterali e il dipinto parietale della navata di sinistra. Indicati nel dettaglio nella scheda storico iconografica di periodizzazione localizzazione dei dipinti . La superficie pittorica è particolarmente scabrosa, la tecnica pittorica che l'artista ha utilizzato sembrerebbe un mezzo fresco o un fresco secco, non sono visibili le giornate di lavoro tipiche dell'affresco, tuttavia l'analisi accurata delle componenti costitutive determinerà con esattezza i materiali utilizzati dal Tagliaferri . Le superfici dipinte dell'aula non versano in buono stato conservativo. Oltre al naturale invecchiamento, lo sporco incoerente, che in molte aree si è concretizzato appesantendo e offuscando lo scialbo pittorico, vi sono molte situazioni di alterazione. In particolare le superfici colpite dalla frana del 2018 presentano, lacune, distacchi d'intonaco e tra gli strati di esso e della pellicola pittorica, dilavamento dello scialbo pittorico per infiltrazione di acqua piovana. L'ingresso d'umidità ha provocato la creazione di efflorescenze saline e micro- caduta della pellicola pittorica a carattere puntiforme. Diffuse su tutte le superfici fenditure da ritiro ed alcune lesioni che dovranno essere indagate in fase operativa, su di esse negli scorsi anni sono stati applicati "vetrini" con malta a titolo di verifica delle stesse. Da alcune fessure è percolata acqua creando colaticci di polvere. Si rileva su tutte le superfici un'alterazione cromatica molto diffusa, sembrerebbe trattarsi da macchia d'umidità causata, si suppone, dalle caratteristiche chimico fisiche della malta costitutiva del supporto. Le stelline visibili nelle campiture della volta in navata centrale, sono in lamina metallica dorata incollata su un supporto simile al cartoncino, sono state applicate sulla superficie intonacata e colorata.

La procedura di recupero e restauro prevederà un intervento di pulitura leggero e un importante fase di preconsolidamento al fine di conservare le superfici dipinte. Rimosse le situazioni di grave degrado si procederà alla rimozione dello sporco coerente, al reintegro delle lacune d'intonaco e alla presentazione estetica (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 2)

RESTAURO E RECUPERO DIPINTI MURALI DEL 1605 – PRESBITERIO E CAPPELLE LATERALI

Si tratta di dipinti realizzati ad affresco dal pittore Gian Domenico Caresana datati 1605.

L'apparato pittorico del presbiterio e delle due cappelle laterali è costituito da dipinti a carattere figurativo , realizzati dall'artista Gian Domenico Caresana, pittore stuccatore svizzero-italiano, i suoi dipinti subivano l'influenza dei modelli figurativi dell'[arte della Controriforma](#) e dell'ultimo [manierismo milanese](#). La tecnica esecutiva indicata nei testi è l'affresco, sulla superficie sono visibili "giornate" lavorative d'intonaco, esse sono molto ampie e generiche, la pellicola pittorica è molto corposa e spessa, durante le fasi conoscitive andrà verificata la tecnica pittorica esecutiva. Le superfici delle cappelle e dell'abside sono state oggetto di restauro nel 1979 dal restauratore Vincenzo Villa di Bergamo (l'impresa di restauro Villa è ancora attiva). Gli interventi sono visibili nelle lacune in "neutro" nel ritocco pittorico a rigatino e nelle superfici compatte e trattate con consolidante. Viene inoltre indicato un'ulteriore intervento di restauro sui dipinti del Caresana, intorno agli anni 2000.

I dipinti seicenteschi in generale, sono in buono stato conservativo, con esclusione delle porzioni pittoriche nelle pareti a Valle. Nel presbiterio vi è infatti un'enorme lacuna causata dall'ingresso di pietre a seguito della

frana, che ha provocato la fratturazione dell'angolo sinistro del dipinto "adorazione dei magi". I frammenti sono stati raccolti e mappati da restauratore incaricato e sono a disposizione nel santuario. Anche la cappella dell'annunciazione presenta situazioni di degrado, l'umidità ha causato l'insorgere di efflorescenze saline che a loro volta hanno staccato la pellicola pittorica e decoeso le porzioni di cornici in gesso.

Tutte le superfici pittoriche sono appesantite dallo sporco incoerente e coerente che negli anni si è depositato su di esse e concretizzato a causa dell'umidità, acuito in particolare negli ultimi anni e dopo la frana del 2018. Vi sono numerose fenditure da ritiro, dovute anche allo spessore materico della pellicola pittorica, in corrispondenza di queste fessurazioni in alcune zone si è verificato anche il sollevamento dello scialbo pittorico limitrofo.

La procedura prevederà un intervento di pulitura leggero e un importante fase di preconsolidamento al fine di conservare le superfici dipinte. Rimosse le situazioni di degrado si procederà alla rimozione dello sporco coerente e alla ricostruzione della porzione distrutta.
(per le specifiche vedi scheda di intervento n. 3)

RESTAURO E RECUPERO PARETI NAVATE LATERALI E CAMPITURE OMOGENEE (intonaci scialbati)

Le pareti laterali che rispettivamente corrispondono alle superfici a monte e a valle del santuario, sono tinteggiate con scialbo omogeneo bruno e vi è una zoccolatura in finto marmo (finta breccia) con superficie sopra livello rispetto alla parete per circa un centimetro, con finitura lucida. Anche le paraste sono dipinte a finto marmo, grigio chiaro per la cornice esterne e simil breccia nel riquadro centrale.

La parete a monte è caratterizzata da numerosi degradi diretti e indiretti, causati dalla frana del 2018. Vi sono enormi lacune passanti nella parete causate dai massi franati dalla montagna. Dalle lesioni e dalle lacune è migrata verso l'interno acqua piovana e umidità, provocando la formazione di consistenti efflorescenze saline. In corrispondenza dei Sali si è verificato il distacco della pellicola pittorica superficiale. Le pareti delle navate sono state oggetto di tinteggio in data sconosciuta, la caduta dello scialbo superficiale lascia intravedere le cromie originali (foto 2). Alcune porzioni della zoccolatura in finta pietra sono state ricostruite e il rifacimento pittorico risulta essere sommario ed esteticamente incongrua (foto 1). Come tutte le superfici della chiesa lo sporco incoerente è una delle manifestazioni di degrado tra le più ragguardevoli per entità. Sulle paraste e in generale in corrispondenza delle lacune si verifica distacco dell'intonaco dal supporto o dagli strati d'intonaco sottostanti. Diffusi elementi impropri, chiodi e fili d'impianti acustici o altro non ben definibili.

~~La parete a monte è caratterizzata da numerosi degradi diretti e indiretti, causati dalla frana del 2018. Vi sono enormi lacune passanti nella parete causate dai massi franati dalla montagna. Dalle lesioni e dalle lacune è migrata verso l'interno acqua piovana e umidità, provocando la formazione di consistenti efflorescenze saline. In corrispondenza dei Sali si è verificato il distacco della pellicola pittorica superficiale.~~

L'intervento è volto alla rimozione dello sporco superficiale e i fenomeni di degrado causati dai Sali. Verranno colmate le lacune e ritinteggiate le pareti avendo cura di mantenere le filettature delle finte cornici originali.
(per le specifiche vedi scheda di intervento n. 4)

RESTAURO E RECUPERO SUPERFICI IN FINTO MARMO

Nel 1884, quando il Santuario fu decorato anche nelle navate, le pareti del presbiterio furono rivestite con finto marmo. Anche i lati dell'altare maggiore, settecentesco e la zoccolatura nelle navate laterali sono in finto marmo. Le pareti in finto marmo così come i fianchi dell'altare maggiore sono caratterizzati da depositi incoerenti sedimentati nel tempo e compattati sulla superficie. Anche queste superfici sono state oggetto di restauro durante l'intervento che venne effettuato nel 1979 o altra data non nota, particolarmente visibili le ricostruzioni pittoriche del finto marmo su una porzione dell'altare maggiore (foto 1). Poco diffusi, ma presenti difetti di coesione e adesione delle superfici al substrato. Sono presenti piccole lacune e graffi ed efflorescenze saline.

L'intervento sarà indirizzato principalmente alla rimozione dei depositi incongrui e compattati che appesantiscono offuscando le superfici, la stuccatura delle piccole lacune e la reintegrazione cromatica delle stuccature e dei graffi. Visto il buono stato di conservazione delle finiture non si ritiene indispensabile rimuovere il protettivo superficiale lucido che è presente su tutte le superfici. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 5)

RESTAURO E RECUPERO MANUFATTI LAPIDEI

Nel Santuario vi sono diverse tipologie di lapidei: i marmi policromi dell'altare maggiore di chiaro stile barocco realizzate nel 1741 dai marmorai Giudice di Saltrio, i paliotti degli altari laterali, le balaustre e i gradini . Più storici i lapidei delle sei colonne monolitiche in pietra locale granitica attualmente facciavista, ma dal 1885 al 1977 esse furono ricoperte da intonachino/stucco rifinito a finto marmo. Nel presbiterio vi sono, in pietra ollare, gli stipiti degli armadi a muro per le reliquie e in pietra locale quello per gli oli degli infermi . Sempre in pietra locale sono gli stipiti delle porte interne del presbiterio e i basamenti delle lesene e il pavimento della chiesa. Le superfici lapidee del santuario sono differenti sia come materiale costitutivo che come lavorazione e così il loro degrado, comune a tutte l'ingrignimento delle superfici causato dalla deposizione secca di polveri .

Gli altari, le balaustre i gradini e i paliotti settecenteschi, sono in marmo lucido e intarsi di marmo (per lo più brecce), presentano piccole fessurazioni. Le porzioni in intarsio marmoreo in alcune aree sono in distacco. Alcune colonnine delle balaustre sono fratturate anche se stabili, quelle della cappellina dell'annunciazione hanno subito un sommario intervento di consolidamento con resine/mastici , percolati sulle superfici limitrofe. Numerose le piccole mancanze di materia e le "sbeccature" della pietra. Sull'altare maggiore vi sono porzioni architettoniche dorate, es capitelli il cui stato conservativo andrà analizzato attentamente in modo ravvicinato.

Le colonne e i basamenti delle lesene e gli stipiti delle porte del presbiterio sono in pietra locale scabra e sono quindi quelle maggiormente appesantite dallo sporco incoerente che è penetrato nelle irregolarità della superficie. Alcuni basamenti e gli stipiti del presbiterio, in particolare quelli che si trovano a contatto con la parete del santuario a monte presentano fenomeni di esfoliazione e di Sali superficiali. I blocchi di pietra che costruiscono l'architettura degli stipiti delle porte del presbiterio, sono stati stuccati e la materia è stata estesa anche alle superfici circostanti alla commessura.

L'armadio a muro con stipite in pietra ollare che era posto sulla parete con lato a monte è andato distrutto quasi completamente a seguito della frana del 2018, i frammenti sono stati recuperati.

L'intervento è volto alla rimozione dello sporco incoerente e coerente che ricopre gli elementi lapidei . La pulitura si articolerà in fasi successive a partire da tecniche più blande . Verranno rimossi i Sali solubili e consolidata la materia esfoliata. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 6)

RESTAURO E RECUPERO ARREDI E SCULTURE LIGNEE, DIPINTI E DORATI

I manufatti lignei dipinti e/o dorati presenti nel Santuario sono molteplici e di diversi periodi storici e caratteristiche materiche.

Dietro l'altare maggiore, addossata alla parete di fondo al presbiterio vi è l'ancona d'impianto tardomanieristico, in legno intagliato , dipinta e dorata e decorata con cariatidi femminili e festoni vegetali. Il legno è stato intagliato imprimito e dorato su superficie preparata con bolo rosso e infine brunita con pietra d'agata.

Sopra l'altare maggiore vi sono alcune statue in legno dipinte, a sovrastare l'altare un mezzo busto raffigurante il Padre Eterno, al di sotto i raggi e la colomba dello spirito santo a destra e sinistra sullo stesso livello architettonico due angeli seduti sulle volute marmoree. Sopra la nicchia che contiene la statua di Maria, due angeli in volo che sorreggono la corna della Vergine. Posto al centro dell'arco trionfale sulla longarina rivestita da legno dorato con iscrizione c'è l'imponente crocifisso scolpito e dipinto.

Addossato alla controfacciata nel 1759, l'organo seicentesco del 1673, formato da una cassa lignea e una balconata in legno decorato. Al centro della balconata, usata come "cartiglio" una tela ovale con due angeli laterali dipinti, sopra la quale vi è l'epigrafe della donazione e le date di creazione e trasporto. Opera donata dai Valligiani emigrati a Palermo, ha caratteristiche stilistiche siciliane, nei colori e negli elementi intagliati. Il legno intagliato è stato dipinto senza imprimiture, direttamente sull'essenza legnosa.

L'intervento si pone come primario obiettivo la verifica dell'efficienza strutturale dei manufatti in particolare per la balaustra e la cassa d'organo. Il fine è la restituzione dei manufatti limitando i fenomeni di degrado e correttamente puliti, avendo cura di preservare le patine del tempo e le caratteristiche originarie del manufatto. Le riparazioni strutturali dovranno essere effettuate se necessario prima delle operazioni di pulitura, in ogni caso sarà indispensabile eseguire operazioni previsionali al fine di preservare le parti in distacco e la finitura superficiale.

L'intervento dovrà essere differenziato in corso d'opera per tipologia di manufatto e a seguito delle indagini preliminari che permettono una corretta identificazione delle superfici e delle finiture. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 7)

RESTAURO E RECUPERO ARREDI LIGNEI

All'interno del santuario vi sono arredi amovibili e inamovibili :

i confessionali in noce sono 4 : nelle navate laterali i due più lineari , recano intarsiati nel fastigio il monogramma di Cristo e il confessionale di sinistra la data 1716. I due confessionali addossati alla controfacciata di fattura più elaborata rispetto a quelli delle navate, realizzati rispettivamente quello a sinistra nel 1759 e quello a destra nel 1763 .

Sul presbiterio i settecenteschi Stalli corali in noce , come i due seggi con intarsi floreali e geometrici sugli schienali.

Sempre in noce le porte del presbiterio che portano alla sagrestia e alla cappella Guanella.

Nella sagrestia un grande armadio in legno di noce intagliato e intarsiato, del 1717 . Realizzato su misura e collocato contro le tre pareti a occidente.

Nella navata di sinistra, In legno, la copertura coperchio della fonte battesimale ed un imponente armadio dipinto con richiami cromatici nella cornice al finto marmo della cassa dell'organo.

Anche la bussola della porta d'ingresso è in legno.

Inoltre sono presenti: 2 basamenti lignei di colonna, 1 banco per offerte e avvisi, 2 leggio, 6 supporti per candele votive, 24 panche lunghe 2,50 mt (due fratturate), 16 panche lunghe 1,40 mt, 3 panche lunghe 1,50 mt.

Tutti gli arredi sono rivestiti da una notevole quantità di sporco incoerente , il confessionale posto nella navata a destra contro la parete a monte, ha subito durante l'evento del 2018 la rottura del fastigio, recuperato e depositato nella cappella Guanella. Anche la porta che dal presbiterio introduce alla cappella Guanella è stata colpita dai sassi entrati nel santuario e presenta delle scalfitture e segni di urti.

Alcune panche sono fratturate mentre le altre si trovano accatastate, ma sembrerebbero in buono stato conservativo.

L'intervento si pone il principale obiettivo di preservare gli arredi durante le fasi di restauro del Santuario. Gli arredi che hanno subito danneggiamenti saranno riparati e tutte le superfici verranno accuratamente pulite dallo sporco incoerente. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 8)

RESTAURO E RECUPERO SUPERFICI MURALI SAGRESTIA E CAPPELLA SAN. LUIGI GUANELLA

La sagrestia è una stanza con pareti e volta intonacate e tinteggiate con campiture omogenee. Buona parte delle pareti a occidente sono coperte dall'enorme armadio in noce settecentesco.

La cappella dedicata a San Luigi Guanella è costituita da una piccola aula con volta a cupola su pennacchi e sopra di essa un'ulteriore volta a cupola, le superfici architettoniche sono definite da cornici in gesso , così come gli archi e i capitelli che disegnano l'architettura delle pareti. Sul fondo dall'arco, salendo un gradino, si apre una cappellina con volta a crociera . Tutte le superfici sono tinteggiate con colori omogenei differenziati per superfici architettoniche. All'interno della cappella sono conservati in cassette, differenziati per nome i frammenti degli stucchi e dei dipinti del santuario oltre che arredi vari e altro materiale da catalogare. Le superfici dei due ambienti sono state recentemente oggetto di tinteggio e in buono stato conservativo, almeno apparentemente. Sulla volta della sagrestia sono visibili alcune fessurazioni con contestuale caduta del colore . Mentre la volta a cupola della cappella è rimasta perforata da un masso caduto durante la frana del 2018. Non si è potuto ispezionare in modo ravvicinato le superfici per verificarne gli intonaci in quanto entrambe hanno all'interno un discreto quantitativo di mobili e oggetti.

L'intervento è volto alla rimozione dello sporco superficiale e i fenomeni di degrado. Verranno colmate le lacune e ritinteggiate le pareti. (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 9)

RICOSTRUZIONE DIPINTI

A seguito della frana del 2018 alcune porzioni di dipinti seicenteschi e ottocenteschi sono crollati .

Nel presbiterio, l'angolo in basso a sinistra "dell'adorazione dei magi", dipinto nel 1605 dal pittore Caresana

Nella volta della navata centrale al centro, entro il grande ovale il dipinto " l'incoronazione di Maria" e la vela , seconda a destra, con litanìa mariana "janua coeli", dipinti nel 1884 dal pittore restauratore Tagliaferri

Nella prima volta della navata a destra porzioni di finto stucco, dipinti nel 1884 dal Tagliaferri e/ o dai suoi collaboratori.

Il materiale crollato a terra a seguito della frana è stato cernito e raccolto in situ da una restauratrice locale. Nella cappella dedicata a San Luigi Guanella sono depositate le cassette con i frammenti recuperati, su ognuna vi è indicato il materiale raccolto suddiviso per settori di ritrovamento, tipologia (es: volta navata centrale intonaci dipinti stelle oro , stucchi, affreschi ecc.).

L'obiettivo dell'intervento è la ricostruzione delle porzioni di dipinto tramite l'utilizzo dei frammenti raccolti secondo le specifiche tecniche indicate nel progetto (per le specifiche vedi scheda di intervento n. 10)

SAGGI STRATIGRAFICI

La scheda di intervento n. 11 individua la localizzazione di saggi stratigrafici che dovranno essere effettuati preliminarmente per definire con maggior precisione gli interventi di restauro.

INTERVENTI COMPLEMENTARI

Organo

L'organo del Santuario Madonna di Gallivaggio, è stato mantenuto dalla antica ditta organara cav. Emilio Piccinelli di Ponteranica (BG) fino al periodo pre frana. Dopo l'evento calamitoso lo strumento ha subito danni indiretti causati dal polverone che si è depositato sul materiale fonico e sulle parti mobili creando problematiche funzionali e soprattutto sonore.

E' previsto un accurato intervento di pulitura e di conseguenza di riaccordatura dell'organo da eseguirsi nelle seguenti fasi:

1. Smontaggio di tutte le canne di metallo prima dell'inizio dei lavori murari all'interno del Santuario onde non peggiorare lo stato di fatto. Accurato imballaggio e trasporto nel nostro laboratorio per le opportune operazioni di pulitura e revisione.
2. Copertura accurata di somieri e mantici per permettere un più agevole intervento di pulitura del prospetto ligneo di facciata.
3. La consolle di comando presente in chiesa non sembra danneggiata, la polvere che in parte minore rispetto l'organo è presente all'interno di tastiera e centralini verrà rimossa localmente, si dovrà invece provvedere per la salvaguardia della stessa prima dell'inizio dei lavori a ricoprirla con un parallelepipedo ligneo e cellophane onde proteggerla da qualsiasi ulteriori danni.
Stessa protezione si richiede anche per la matassa di cavi elettrici di collegamento con l'organo in cantoria che sporge dal pavimento e potrebbe essere danneggiata nelle operazioni murarie.
4. Al termine dei restauri interni del Santuario si provvederà a pulitura e revisione delle parti in loco e del ricollocamento delle canne con la riaccordatura dello strumento.

IMPIANTO ELETTRICO

Le opere elettriche interessano l'edificio adibito a Santuario Mariano, e prevedono la realizzazione di nuovi impianti e/o il ripristino dell'impianto elettrico. Nello specifico gli impianti in oggetto sono:

- Quadri elettrici (smantellamento e nuova realizzazione)
- Distribuzione principale e terminale (smantellamento e nuova realizzazione)
- Illuminazione ordinaria (smantellamento e nuova realizzazione)
- Illuminazione di sicurezza (smantellamento e nuova realizzazione)
- Impianto di diffusione sonora (ripristino dell'esistente)

Le opere oggetto della presente riguardano la realizzazione dei seguenti sottoimpianti:

- impianto elettrico di illuminazione ordinaria e F.M.;
- fornitura e posa degli apparecchi di illuminazione degli ambienti interni;

RISPETTO DI LEGGI, DECRETI, REGOLAMENTI, ecc.

L'Appaltatore nella realizzazione delle opere in progetto osserverà tassativamente e inderogabilmente tutte le norme in vigore di ambito nazionale, regionale o locale, attinenti l'opera in oggetto, siano esse leggi, decreti, regolamenti, circolari, normative, istruzioni e prescrizioni di qualunque tipo, nonché usi e consuetudini che, a qualsiasi titolo, possano creare obbligazioni o costituire oneri.

La Appaltatore si impegna ad applicare le suddette normative di legge in vigore, sia nella fase progettuale, che in quella realizzativa e fino al definitivo collaudo e presa in consegna da parte dell' Appaltante di tutte le opere e di tutti gli impianti meccanici.

La Appaltatore si impegna :

a tenere sollevato l' Appaltante da oneri di qualsivoglia natura, derivanti dall'osservanza delle norme di cui sopra o conseguenti al mancato rispetto delle medesime, in qualunque modo riconducibili alla realizzazione dell'opera, limitatamente alle opere comprese nella fornitura della Appaltatore.

a segnalare all'Appaltante, durante la esecuzione dei lavori, con la massima tempestività, qualunque mutamento nel quadro normativo che, in qualunque modo, possa avere conseguenze sull'esecuzione o sulla condotta dei lavori, limitatamente alle opere comprese nella fornitura della Appaltatore.

Le opere eventualmente eseguite in contrasto con la normativa di legge in vigore, saranno ovviamente demolite e rifatte a totale carico dell'Appaltatore.

CAMPIONATURE

I materiali che l'Appaltante indicherà alla Appaltatore dovranno essere campionati a cura e spese dell'Appaltatore stessa per l'approvazione dell'Appaltante.

L'Appaltatore eseguirà a suo rischio le opere non conformi a quanto indicato nelle tavole del progetto esecutivo, sottoscritto per accettazione dall'Appaltante.

CONTROLLO LAVORI

L'Appaltatore, al fine di consentire all'Appaltante di controllare l'andamento dei lavori ed il rispetto delle caratteristiche progettuali, s'impegna a:

consentire o far consentire l'ingresso in cantiere dei tecnici dell'Appaltante o dallo stesso designati in qualsiasi momento richiesto;

preavvertire o far preavvertire l'Appaltante di ogni collaudo, sia statico che degli impianti meccanici, che sia eseguito nel corso dell'opera, con facoltà per l'Appaltante di presenziare a mezzo di propri tecnici (o di tecnici dallo stesso designati) a detti collaudi e di esporre eventuali osservazioni.

Su richiesta saranno fornite copie complete di tutti gli elaborati tecnici costruttivi delle opere realizzate.

CERTIFICAZIONI E DOCUMENTAZIONI

Al momento della consegna dell'immobile, l' Appaltatore dovrà collaborare con la DL, per quanto di competenza, al fine di ottenere e fornire all'Appaltante copia dei seguenti certificati e documenti:

Denuncia C.A. con deposito al Comune per opere strutturali;

Collaudo opere strutturali (sarà onere dell'Appaltatore l'esecuzione delle prove sui materiali e l'assistenza ad eventuali prove di carico)

Documentazione tecnica dei materiali utilizzati – marchiatura CE

Relazione finale del restauratore sia per quanto riguarda i restauri architettonici (pareti e volte con interventi su intonaci e dipinti, interventi su stucchi e cornici, su apparati lignei fissi e mobili, vetrate, ecc).

I certificati di conformità di impianti elettrici e meccanici.

Le certificazioni necessarie per la chiusura della pratica di prevenzione incendi.

Tutta la documentazione necessaria al fine di certificare l'esecuzione a regola d'arte dei lavori.

Tutte le documentazioni richieste dalle NTC 17/01/2018.

Per quanto riguarda gli impianti elettrici e gli impianti meccanici, i collegamenti impiantistici l'Appaltatore fornirà i disegni "as-built" completi delle opere realizzate (copia cartacea e cd/rom con disegni in formato DWG).

CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI – SCADENZE TEMPORALI

TEMPISTICA DEL CANTIERE

L'Appaltatore dovrà organizzare il proprio programma lavori sulla base del Cronoprogramma indicativo proposto dalla D.L. Si consideri che:

l'inizio lavori è programmato per il

il tempo utile è stimato in 27 mesi;

la fine lavori è programmata per il

6 CAPO II Norme per la misurazione e la valutazione dei lavori

Per tutte le opere dell'Appalto a corpo, esse verranno pagate come da prezzi di contratto. Per quelle previste a misura le varie quantità di lavori saranno determinate con misure geometriche, in base alle norme riportate qui di seguito, alle altre specificate in elenco prezzi ed a quelle previste nel Capitolato Speciale Tipo del Ministero dei LL.PP., per quanto non in contrasto con le presenti: i rilievi delle opere saranno fatti dalla Direzione Lavori in concorso con l'Impresa e saranno iscritti nei Registri Contabili con firme ed eventuali riserve delle Parti.

Onde far luogo al pagamento delle rate, saranno dal Direttore dei Lavori spediti appositi certificati di pagamento accompagnati da un conto riassuntivo di tutti i lavori eseguiti tanto a corpo quanto a misura, da cui risulti il credito dell'Appaltatore, sotto le deduzioni delle prescritte ritenute.

Per la formazione del conto suddetto si osservano le norme dei successivi articoli:

6.1 Lavori a misura

1. La misurazione e la valutazione dei lavori a misura sono effettuate secondo le specificazioni date nel presente capitolato speciale e nell'enunciazione delle singole voci in elenco; in caso diverso sono utilizzate per la valutazione dei lavori le dimensioni nette delle opere eseguite rilevate in loco, senza che l'Appaltatore possa far valere criteri di misurazione o coefficienti moltiplicatori che modifichino le quantità realmente poste in opera.

2. Qualora in corso d'opera debbano essere introdotte variazioni ai lavori ai sensi degli articoli 44 o 45 del presente capitolato, e per tali variazioni ricorrano le condizioni di cui all'art. 45, comma 9, del Reg. 554/19999, per cui risulti eccessivamente oneroso individuarne in maniera certa e definita le quantità e pertanto non sia possibile la loro definizione nel lavoro "a corpo", esse possono essere preventivate a misura. Le relative lavorazioni sono indicate nel provvedimento di approvazione della perizia con puntuale motivazione di carattere tecnico e con l'indicazione dell'importo sommario del loro valore presunto e della relativa incidenza sul valore complessivo del contratto.

3. Nei casi di cui al comma 1, qualora le stesse variazioni non siano valutabili mediante i prezzi unitari rilevabili dagli atti progettuali o di gara, si procede mediante la formazione dei nuovi prezzi ai sensi dell'art. 46 del presente Capitolato, fermo restando che le stesse variazioni possono essere predefinite, sotto il profilo economico, con atto di sottomissione "a corpo".

4. Non sono comunque riconosciuti nella valutazione delle opere ingrossamenti o aumenti dimensionali di alcun genere non rispondenti ai disegni di progetto se non saranno stati preventivamente autorizzati dal Direttore dei Lavori.

5. Nel corrispettivo per l'esecuzione degli eventuali lavori a misura s'intende sempre compresa ogni spesa occorrente per dare l'opera compiuta sotto le condizioni stabilite dal Capitolato Speciale d'Appalto e secondo i tipi indicati e previsti negli atti progettuali.

6. La contabilizzazione delle opere e delle forniture dei lavori a misura è effettuata applicando alle quantità eseguite i prezzi unitari netti previsti dall'Elenco Prezzi Unitari, ribassati della percentuale di sconto offerta dall'Appaltatore in sede di gara. In ogni caso, l'importo delle lavorazioni e forniture previste per l'esecuzione delle opere è comprensivo, oltre che di tutti gli oneri previsti dal presente capitolato speciale d'appalto e negli altri documenti costituenti il contratto, delle seguenti prestazioni:

a) Per i materiali. Ogni spesa, nessuna esclusa, per forniture, confezioni, trasporti, cali, perdite, sprechi, imposte e tasse, ecc. e ogni prestazione occorrente per darli pronti all'impiego, a piè d'opera o in qualsiasi punto del lavoro;

b) Per gli operai ed i mezzi d'opera. Ogni spesa per prestazioni di utensili ed attrezzi, spese accessorie di ogni specie, trasporti, baracche per alloggi, ecc., nonché la spesa per l'illuminazione dei cantieri nel caso di lavoro notturno e le quote per assicurazioni sociali;

c) Per i noli. Ogni spesa per dare macchinari e mezzi di lavori a piè d'opera, pronti all'uso con gli accessori e quanto occorre al loro regolare funzionamento ed alla loro manutenzione (carburanti, lubrificanti, pezzi di ricambio, ecc.), nonché l'opera degli operatori e conducenti necessari al loro funzionamento, compresi anche gli oneri di trasporto, sia in andata che in ritorno, dal deposito dell'Appaltatore al luogo di impiego;

d) Per i lavori. Tutte le spese per i mezzi d'opera e per assicurazioni di ogni genere; tutte le forniture occorrenti; la lavorazione dei materiali e loro impiego secondo le specificazioni contenute nel Capitolato Speciale d'Appalto; le spese generali; le spese per eventuali occupazione di suolo pubblico o privato, ecc.

7. I suddetti prezzi sono invariabili ed indipendenti da ogni eventualità.

8. Devono inoltre intendersi sempre compresi tutti gli oneri per l'esecuzione dei lavori e la conseguente adozione di tutte le misure di sicurezza prescritte, la segnaletica, le opere di protezione ed in genere tutte le spese per opere provvisorie, nessuna esclusa; carichi, trasporti, scarichi e quanto occorre per dare i lavori compiuti a perfetta regola d'arte.

9. Tutti gli oneri e gli obblighi specificati nel presente articolo e negli altri del presente del Capitolato Speciale di Appalto, nonché nei documenti facenti parte integrante del contratto, si intendono accettati dall'Appaltatore in base ai suoi calcoli di convenienza.

10. L'Appaltatore si impegna a tenere fissi e costanti i prezzi unitari per tutta la durata del presente contratto, rinunciando espressamente sin d'ora alla possibilità di apportare agli stessi eventuali modifiche o maggiorazioni.

11. Gli eventuali oneri per la sicurezza che fossero individuati a misura in relazione alle variazioni di cui al comma 1, sono valutati sulla base dei relativi prezzi di elenco, ovvero formati ai sensi del comma 2, con le relative quantità.

PROVVISTE: Le provviste dei materiali esistenti nel cantiere, riconosciute ed accettate dal Direttore dei Lavori, vi saranno pure comprese, per la metà del loro valore e sotto la deduzione/aumento del ribasso/aumento d'asta, nei limiti indicati dall'art. 34 del Capitolato Generale.

OPERE NON PREVISTE: Per i lavori non descritti nell'Elenco succitato sarà applicato il prezzo stabilito con le norme di cui all'art. 22 del vigente Regolamento per la Direzione, Contabilità e Collaudazione delle opere dipendenti dal Ministero dei LL.PP., Regolamento che trova integrale applicazione nei lavori di cui al presente Capitolato.

6.2 Lavori a corpo

1. La valutazione del lavoro a corpo è effettuata secondo le specificazioni date nell'enunciazione e nella descrizione del lavoro a corpo, nonché secondo le risultanze degli elaborati grafici e di ogni altro allegato progettuale; il corrispettivo per il lavoro a corpo resta fisso e invariabile senza che possa essere invocata dalle parti contraenti alcuna verifica sulla misura o sul valore attribuito alla quantità di detti lavori.
2. Nel corrispettivo per l'esecuzione dei lavori a corpo s'intende sempre compresa ogni spesa occorrente per dare l'opera compiuta sotto le condizioni stabilite dal Capitolato Speciale d'Appalto e secondo i tipi indicati e previsti negli atti progettuali. Pertanto nessun compenso può essere richiesto per lavori, forniture e prestazioni che, ancorché non esplicitamente specificati nella descrizione dei lavori a corpo, siano rilevabili dagli elaborati grafici o viceversa. Lo stesso dicasi per lavori, forniture e prestazioni che siano tecnicamente e intrinsecamente indispensabili alla funzionalità, completezza e corretta realizzazione dell'opera appaltata secondo le regole dell'arte.
3. La contabilizzazione dei lavori a corpo è effettuata applicando all'importo netto di aggiudicazione le percentuali convenzionali relative alle singole categorie di lavoro indicate nella tabella «B», contenuta all'art. 2 comma 1 del presente Capitolato Speciale per farne parte integrante e sostanziale, di ciascuna delle quali va contabilizzata la quota parte in proporzione al lavoro eseguito.
4. L'elenco dei prezzi unitari e il computo metrico hanno validità ai soli fini della determinazione del prezzo a base d'asta in base al quale effettuare l'aggiudicazione.
5. La lista delle categorie relative ai lavori a corpo non ha validità ai fini del presente articolo, in quanto l'appaltatore è tenuto, in sede di partecipazione alla gara, a verificare le voci e le quantità richieste per l'esecuzione completa dei lavori progettati, ai fini della formulazione della propria offerta e del conseguente corrispettivo.
6. Gli oneri per la sicurezza di cui all'art. 2, comma 1 (colonna b) della Tabella «A») del presente Capitolato, come evidenziato al rigo 20) della tabella «B», contenuta nel medesimo art. 2, sono valutati in base all'importo previsto separatamente dall'importo dei lavori negli atti progettuali e sul bando di gara, secondo la percentuale stabilita nella predetta tabella «B», intendendosi come eseguita e liquidabile la quota parte proporzionale a quanto eseguito. La liquidazione di tali oneri è subordinata all'assenso del coordinatore per la sicurezza e la salute in fase di esecuzione.

6.3 Lavori in economia

1. La contabilizzazione dei lavori in economia, di cui all'art. 2 comma 1 (Tabella «A») del presente Capitolato, è effettuata secondo i prezzi unitari contrattuali per l'importo delle prestazioni e delle somministrazioni fatte dall'impresa stessa, con le modalità previste dall'art. 153 del Reg. 554/1999.
2. Gli oneri per la sicurezza, di cui all'art. 2, comma 1 (colonna b) Tabella «A») del presente Capitolato, come evidenziato al rigo 20) della tabella «B», contenuta nel medesimo art. 2, per la parte eseguita in economia, sono contabilizzati separatamente con gli stessi criteri.
3. I lavori in economia saranno eseguiti:
 - in amministrazione diretta o per cottimi, se la spesa complessiva;
 - non è superiore a 50.000 e (art. 125, comma 5 del DLgs 163/2006);
 - per cottimi, se la spesa complessiva è pari o superiore a 40.000 e fino a 200.000 e; in tal caso l'affidamento avverrà previa consultazione di almeno cinque operatori economici (se sussiste un numero tale di soggetti idonei), individuati sulla base di indagini di mercato ovvero tramite elenchi di operatori economici predisposti dalla stazione appaltante (art. 125, comma 8, del DLgs 163/2006);
 - con affidamento diretto da parte del responsabile del procedimento, senza cioè che venga predisposta neanche una gara informale, per lavori di importo inferiore a 40.000 e (art. 125, comma 8, del DLgs 163/2006).
4. La Stazione Appaltante ha facoltà di richiedere all'Appaltatore, nei limiti previsti dalla legislazione e dalla normativa vigente con le modalità previste dall'art. 179 del Regolamento DPR n. 207/2010, mediante singoli ordini di servizio, la fornitura di manodopera in economia o l'acquisto di materiali da liquidare su fattura, come segue:
 - a) per quanti riguarda i materiali, applicando il ribasso contrattuale ai prezzi unitari determinati ai sensi del successivo articolo 40;
 - b) per quanto riguarda i trasporti, i noli e il costo del personale o della manodopera, secondo i prezzi vigenti al momento della loro esecuzione, incrementati delle percentuali per spese generali e utili (se non già comprese nei prezzi vigenti) ed applicando il ribasso contrattuale esclusivamente su queste due ultime componenti.
5. Gli eventuali oneri per la sicurezza individuati in economia sono valutati senza alcun ribasso, fermo restando che alle componenti stimate o contabilizzate in termini di manodopera, noli e trasporti, si applicano i prezzi vigenti al momento della loro esecuzione incrementati delle percentuali per spese generali e utili nelle misure di cui al comma 3.
6. Ai fini di cui al comma 1, lettera b) e dal comma 2, le percentuali di incidenza delle spese generali e degli utili, sono

determinate nella misura prevista dalle analisi dei prezzi integranti il progetto a base di gara o, in assenza di queste, nelle misure minime previste dall'articolo 32, comma 2, lettere b) e c), del D.P.R. n. 207 del 2010.

6.4 Valutazione dei manufatti e dei materiali a piè d'opera

1. La contabilità dei lavori verrà tenuta secondo le norme previste dall'art. 180 e seguenti del DPR n. 207/2010.

2. L'Appaltatore dovrà predisporre gli elaborati grafici necessari alla redazione della contabilità ed alla predisposizione delle misure, a tale scopo è tenuto a fornire il personale tecnico richiesto dalla Direzione Lavori.

Non saranno tenuti in alcun conto i lavori eseguiti irregolarmente o non conformi al contratto, nonché quelli eseguiti in contraddizione agli ordini di servizio della Direzione Lavori, che tuttavia si riserva la facoltà di contabilizzare anche l'importo dei materiali a piè d'opera, in misura non superiore alla sua metà, ai sensi dell'art. 180, comma 5, del DPR n. 207/2010.

Nel caso di compilazione di stato d'avanzamento lavori, la rata di acconto va commisurata all'importo del lavoro regolarmente ed effettivamente eseguito, misurato e registrato, in concorso e in contraddittorio con il tecnico incaricato dall'Appaltatore, a cui vanno aggiunti gli oneri di sicurezza e detratte le ritenute di legge.

3. Le unità di misura dei lavori compiuti al fine della contabilizzazione saranno le seguenti:

metro (m), metro quadrato (m²), metro cubo (m³), kilogrammo (kg), cadauno (cad), ora lavorativa (ora).

4. Le unità di misura per la mano d'opera qualificata/specializzata al fine della contabilizzazione saranno le seguenti: a ora di lavoro effettivo;

Gli operai dovranno essere idonei al lavoro per il quale sono richiesti e dovranno essere provvisti dei necessari attrezzi.

L'Appaltatore è obbligato, senza compenso alcuno, a sostituire tutti quegli operai che non siano di gradimento alla Direzione dei lavori.

5. Le unità di misura per la contabilizzazione dei noleggi di macchinari saranno a ore di lavoro effettivo.

Gli autocarri, le macchine, ecc. debbono essere in perfetto stato di servibilità e provvisti di tutti gli accessori necessari per il loro regolare funzionamento.

Sono a carico esclusivo dell'Appaltatore la manutenzione degli autocarri, delle macchine, ecc.

Il prezzo di noleggio delle macchine, attrezzi, ecc. comprende gli oneri relativi alla mano d'opera, al combustibile, ai lubrificanti, ai materiali di consumo, alle spese per il trasporto a piè d'opera, all'eventuale montaggio, smontaggio ed allontanamento di dette macchine, attrezzi, ecc....

Per gli autocarri il prezzo verrà corrisposto soltanto per le ore di effettivo lavoro, rimanendo escluso ogni compenso per qualsiasi altra causa o perditempo.

Nei prezzi del noleggio degli autocarri è compresa anche la spesa per i materiali di consumo, la mano d'opera del conducente, e ogni altra spesa occorrente.

Tutti i mezzi per i lavori in economia debbono essere forniti in pieno stato di efficienza e corrispondere alle prescritte caratteristiche.

6. In sede di contabilizzazione delle rate di acconto di cui all'art. 29 del presente Capitolato, all'importo dei lavori eseguiti è aggiunta la metà di quello dei materiali provvisti a piè d'opera, destinati ad essere impiegati in opere definitive facenti parte dell'appalto ed accettati dal Direttore dei Lavori, da valutarsi a prezzo di contratto o, in difetto, ai prezzi di stima.

7. I materiali e i manufatti portati in contabilità rimangono a rischio e pericolo dell'appaltatore, e possono sempre essere rifiutati dal Direttore dei Lavori ai sensi dell'art. 18, comma 1 del Cap. Gen. 145/2000.

6.5 Norme per la misurazione e valutazione dei lavori

Le norme di misurazione per la contabilizzazione sono le seguenti.

6.5.1 Scavi in genere

In aggiunta ai particolari obblighi emergenti dal presente articolo, con i prezzi di elenco per gli scavi in genere, l'Appaltatore dovrà ritenersi compensato per tutti gli oneri che dovrà affrontare:

- per taglio di piante, estirpazione di ceppaie, radici ecc.;
- per il taglio e lo scavo con qualsiasi mezzo delle materie sia asciutte che bagnate, di qualsiasi consistenza ed anche in presenza d'acqua;
- per paleggi, innalzamento, carico, trasporto e scarico a rinterro od a rifiuto entro i limiti previsti in elenco prezzi, sistemazione delle materie di rifiuto, deposito provvisorio e successiva ripresa;
- per la regolazione delle scarpate o pareti, per lo spianamento del fondo, per la formazione di gradoni, attorno e sopra le condotte di acqua od altre condotte in genere, e sopra le fognature o drenaggi secondo le sagome definitive di progetto;
- per puntellature, sbatacchiature ed armature di qualsiasi genere ed entità, secondo tutte le prescrizioni contenute nel presente Capitolato compresi, le composizioni, scomposizioni, estrazioni ed allontanamento, nonché sfridi, deterioramenti, perdite parziali o totali del legname o dei ferri;
- per impalcature, ponti e costruzioni provvisorie, occorrenti sia per il trasporto delle materie di scavo sia per la formazione di rilevati, per passaggi, attraversamenti ecc.;
- per ogni altra spesa necessaria per l'esecuzione completa degli scavi.

La misurazione degli scavi dovrà essere effettuata nei seguenti modi:

a) -il volume degli scavi di sbancamento dovrà essere determinato col metodo delle sezioni ragguagliate, in base ai rilevamenti eseguiti in contraddittorio con l'Appaltatore, prima e dopo i relativi lavori;

b) -gli *scavi di fondazione* (di sbancamento, a sezione obbligata o a sezione ristretta) saranno computati, per un volume uguale a quello risultante dal prodotto della base di fondazione per la sua profondità sotto il piano degli scavi di sbancamento; oppure dal terreno naturale, quando lo scavo di sbancamento non verrà effettuato. Al volume così calcolato si applicheranno i vari prezzi fissati nell'elenco per tali scavi; vale a dire che essi saranno valutati sempre come eseguiti a pareti verticali poichè, ogni maggiore scavo, si riterrà già compreso e compensato col prezzo unitario di elenco. Nel caso di scampanature messe in opera nella parte inferiore degli scavi, i relativi volumi dovranno essere valutati geometricamente, suddividendoli in figure elementari semplici ovvero, applicando il metodo delle sezioni ragguagliate; inoltre, per gli scavi di fondazione da eseguire con impiego di sbatacchiature, paratie o simili strutture, sarà incluso nel volume di scavo per fondazione anche lo spazio occupato dalle strutture stesse. I prezzi di elenco, relativi agli scavi di fondazione, saranno applicabili unicamente e rispettivamente ai volumi di scavo compresi fra piani orizzontali consecutivi, stabiliti per diverse profondità, nello stesso elenco dei prezzi. Pertanto la valutazione dello scavo risulterà definita, per ciascuna zona, dal volume ricadente nella zona stessa e dall'applicazione ad esso del relativo prezzo di elenco;

c) -*scavi subacquei*: i sovrapprezzi per questo tipo di scavi, in aggiunta al prezzo degli scavi di fondazione dovranno essere pagati al metro cubo secondo le precedenti modalità (lett. b) con appositi sovrapprezzi relativamente alle zone sommerse, a partire dal piano orizzontale posto a quota 0,20 m sotto il livello normale dell'acqua, procedendo verso il basso. Il nolo della motopompa, utilizzata al fine di eseguire i prosciugamenti, sarà pagato all'Appaltatore a parte;

d) -*scavi archeologici*: i sovrapprezzi per questo tipo di scavi, in aggiunta al prezzo degli scavi di fondazione dovranno essere pagati al metro cubo secondo le modalità indicate alla lett. b) del presente articolo con opportuni sovrapprezzi relativi alla specifica morfologia del sito. L'onere del vaglio del terriccio e la custodia dei reperti in appositi contenitori, sarà compreso nel prezzo indicato.

6.5.2 RILEVATI E RINTERRI

Il volume dei rilevati o rinterri dovrà essere determinato con il metodo delle sezioni ragguagliate, in base a rilevamenti eseguiti come per gli scavi di sbancamento. I rinterri di scavi a sezione ristretta saranno valutati a m³ per il loro volume effettivo misurato in opera. Nei prezzi di elenco sono previsti tutti gli oneri per il trasporto dei terreni da qualsiasi distanza e per gli eventuali indennizzi a cave di prestito.

RIEMPIMENTO CON MISTO GRANULARE A SECCO

Il riempimento con misto granulare a ridosso delle murature per drenaggi, vespai ecc., sarà valutato a metro cubo per il suo volume effettivo misurato in opera.

6.5.3 RIMOZIONI E DEMOLIZIONI

I prezzi relativi ai lavori che ammettono demolizioni, anche parziali, dovranno intendersi sempre compensati di ogni onere per il recupero del materiale riutilizzabile e per il carico e trasporto a rifiuto di quello non riutilizzabile.

a) -*Demolizione di murature*: verrà, in genere, pagata a volume di muratura concretamente demolita, comprensiva di intonaci e rivestimenti a qualsiasi altezza; tutti i fori, pari o superiori a 2 m², verranno sottratti. Potrà essere accreditata come demolizione in breccia quando il vano utile da ricavare non supererà la superficie di 2 m², ovvero, in caso di demolizione a grande sviluppo longitudinale, quando la larghezza non supererà i 50 cm.

-L'appaltatore potrà reimpiegare i materiali di recupero, valutandoli come nuovi, in sostituzione di quelli che egli avrebbe dovuto approvvigionare ossia, considerando lo stesso prezzo fissato per quelli nuovi oppure, in assenza del prezzo, utilizzando il prezzo commerciale detratto, in ogni caso, del ribasso d'asta. L'importo complessivo dei materiali così valutati verrà detratto dall'importo netto dei lavori.

b) -*Demolizione di tramezzi*: dovrà essere valutata secondo l'effettiva superficie (m²) dei tramezzi, o delle porzioni realmente demolite, comprensive degli intonaci o rivestimenti; detraendo eventuali aperture dimensionalmente pari o superiori a 2 m².

c) -*Demolizione di intonaci e rivestimenti*: la demolizione, a qualsiasi altezza, degli intonaci dovrà essere computata secondo l'effettiva superficie (m²) asportata detraendo, eventuali aperture dimensionalmente pari o superiori a 2 m², misurata la luce netta, valutando a parte la riquadratura solo nel caso in cui si tratti di murature caratterizzate da uno spessore maggiore di 15 cm.

d) -*Demolizione di pavimenti*: dovrà essere calcolata, indipendentemente dal genere e dal materiale del pavimento per la superficie compresa tra le pareti intonacate dell'ambiente; la misurazione comprenderà l'incassatura dei pavimenti nell'intonaco. Il prezzo sarà comprensivo dell'onere della, eventuale, demolizione dello zoccolino battiscopa indipendentemente dalla natura.

e) -*Rimozione e/o demolizione dei solai*: questa operazione dovrà essere valutata a superficie (m²) in base alle luci nette delle strutture. Nel prezzo delle rimozioni e/o demolizioni dei solai saranno comprese:

- la demolizione del tavolato con sovrastante cretonato o sottofondo e dell'eventuale soffitto su arellato o rete se si tratta di struttura portante in legno;

- la demolizione completa del soffitto e dei pavimenti, salvo che non risulti prescritta e compensata a parte la rimozione accurata del pavimento, se si tratta di struttura portante in ferro;

- la demolizione del pavimento e del soffitto, salvo che non risulti prescritta la rimozione accurata del pavimento se si tratta del tipo misto in c.a. e laterizio.

f) -*Rimozione della grossa orditura del tetto*: dovrà essere computata al metro quadrato misurando geometricamente la superficie delle falde del tetto senza detrarre eventuali fori. Nel caso la rimozione interessi singoli elementi o parti della grossa orditura, verrà computata solamente la parte interessata; nel prezzo dovrà essere compensato anche l'onere della rimozione di eventuali dormienti.

6.5.4 MURATURE IN GENERE

Tutte le murature in genere, salvo le eccezioni di seguito specificate, dovranno essere misurate geometricamente, a volume od a superficie, in riferimento alla specifica categoria e in base a misure prese sul vivo ovvero escludendo gli intonaci. Dovranno essere detratti tutti i vuoti di luce superiore a 1,00 m² e i vuoti di canne fumarie, canalizzazioni ecc., caratterizzati da una sezione superiore a 0,25 m², in quest'ultimo caso rimarrà all'Appaltatore, l'onere della loro eventuale chiusura con materiale in cotto. Dovrà, inoltre, essere detratto il volume corrispondente alla parte incastrata di pilastri, piattabande ecc., di strutture diverse, nonché di pietre naturali od artificiali, da pagarsi con altri prezzi di tariffa.

I prezzi unitari delle murature di qualsiasi genere, qualora non debbano essere eseguite con paramento di faccia vista, s'intenderanno comprensivi di rinzafo delle facce visibili dei muri. Il rinzafo dovrà essere sempre eseguito e sarà compreso nel prezzo unitario, anche nel caso di muri che dovranno essere poi caricati a terrapieni; per questi ultimi dovrà, inoltre, essere compresa la, eventuale, formazione di feritoie regolari e regolarmente disposte per lo scolo delle acque ed in generale quella delle ammorsature e la costruzione di tutti gli incastri per la posa in opera della pietra da taglio od artificiale. I prezzi della muratura di qualsiasi specie si intenderanno compresi di ogni onere per la formazione di spalle, sginci, canne, spigoli, strombature, incassature per imposte di archi, volte e piattabande.

Le murature, qualunque sia la loro curvatura in pianta o in sezione anche se costruite sotto raggio, non potranno essere comprese nella categoria delle volte; dovranno essere pertanto, valutate con i prezzi delle murature rotte senza alcuna maggiorazione di compenso.

Le ossature di cornici, cornicioni, lesene, pilastri ecc., di oggetto superiore a 5 cm sul filo esterno del muro, dovranno essere valutate per il loro volume effettivo in oggetto con l'applicazione dei prezzi di tariffa stabiliti per le murature.

Per le ossature di oggetto inferiore a 5 cm non verrà applicato alcun sovrapprezzo.

Quando la muratura in oggetto è diversa da quella del muro sul quale insiste, la parte incastrata dovrà essere considerata della stessa natura della muratura.

Le murature di mattoni ad una testa od in foglio dovranno essere misurate a vuoto per pieno, al rustico, deducendo soltanto le aperture di superficie uguale o superiore a 1 m², intendendo nel prezzo compensata la formazione di sordini, spalle, piattabande ecc., nonché eventuali intelaiature in legno che la D.L. ritenga opportuno di ordinare allo scopo di fissare i serramenti al telaio, anziché alla parete.

Le volte, gli archi e le piattabande, in conci di pietra o mattone in spessore superiore ad una testa, dovranno essere pagati a volume (m³) e, a secondo del tipo, struttura e provenienza dei materiali impiegati, con i prezzi di elenco con i quali si intendono remunerate tutte le forniture, e le lavorazioni per fornire la struttura voltata finita con tutti i giunti delle facce viste frontali e dell'intradosso profilati e stuccati. Le volte, gli archi e le piattabande in mattoni in foglio o ad una testa dovranno essere liquidate a superficie (m²), come le analoghe murature.

6.5.5 MURATURE IN PIETRA DA TAGLIO

La pietra da taglio da pagarsi a volume dovrà essere sempre valutata al metro cubo in base al volume del primo parallelepipedo retto rettangolare, circoscrivibile a ciascun pezzo. Le lastre, i lastroni e gli altri pezzi da pagarsi a superficie (m²), dovranno essere valutati in base al minimo rettangolo circoscrivibile.

Per le pietre di cui una parte viene lasciata grezza, si comprenderà anche questa nella misurazione, non tenendo però alcun conto delle eventuali maggiori sporgenze della parte non lavorata in confronto delle dimensioni assegnate dai tipi prescritti.

Nei prezzi relativi di elenco si intenderanno sempre compresi tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione.

6.5.6 PARAMENTI IN FACCIA-VISTA

I prezzi stabiliti per le lavorazioni faccia a vista, da pagare separatamente dalle murature, comprendono il compenso per i piani di posa e di connessura, per la lavorazione faccia vista e qualunque altro eventuale costo del pietrame di rivestimento allorché questo sia previsto di qualità e provenienza differente da quello del materiale impiegato per la costruzione della muratura interna.

La misurazione dei paramenti in pietrame e delle cortine in mattoni verrà eseguita per la loro superficie effettiva (m²), dedotti i vuoti e le parti occupate da pietra da taglio o artificiale.

6.5.7 CENTINATURE DELLE VOLTE

Nel caso in cui dovessero essere liquidate separatamente dalle volte, i prezzi stabiliti in elenco per le centinature, dovranno contenere anche la spesa relativa all'armatura, ai castelli o mensole di appoggio, nonché quella per la rimozione delle centinature relative ai sostegni. Qualunque sia la foggia, l'apparecchio e lo spessore della volta, sia essa costruita in mattoni o in materiale lapideo ovvero in cls, le centinature dovranno essere pagate al metro quadro di superficie d'intradosso delle volte stesse.

6.5.8 CALCESTRUZZI

I calcestruzzi per fondazioni, murature, volte, ecc. e le strutture costituite da getto in opera, dovranno essere in genere pagati a metro cubo e misurati in opera in base alle dimensioni prescritte, esclusa quindi ogni eccedenza, ancorché

inevitabile, dipendente dalla forma degli scavi aperti e dal modo di esecuzione dei lavori.

Nei relativi prezzi oltre agli oneri delle murature in genere, s'intenderanno compensati tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione.

6.5.9 CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

Il conglomerato per opere in cemento armato di qualsiasi natura e spessore sarà valutato per il suo volume effettivo, senza detrazione del volume del ferro che verrà pagato a parte.

Quando si tratta di elementi a carattere ornamentale gettati fuori opera (pietra artificiale), la misurazione dovrà essere effettuata in ragione del minimo parallelepipedo retto a base rettangolare circoscrivibile a ciascun pezzo, e il relativo prezzo dovrà intendersi compreso, oltre che del costo dell'armatura metallica, di tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione, nonché la posa in opera, sempreché non sia pagata a parte.

I casseri, le casseforme e le relative armature di sostegno, se non comprese nei prezzi di elenco del conglomerato cementizio, dovranno essere computati separatamente con i relativi prezzi di elenco. Pertanto, per il compenso di tali opere, bisognerà attenersi a quanto previsto nell'Elenco dei Prezzi Unitari.

Nei prezzi del conglomerato saranno inoltre compresi tutti gli oneri derivanti dalla formazione di palchi provvisori di servizio,

Ogni altro tipo di solaio, qualunque sia la forma, dovrà invece essere pagato al metro quadrato di superficie netta misurato al rustico delle murature perimetrali (ovvero all'interno di eventuali cordoli e/o travi di calcestruzzo) esclusi, quindi, la presa e l'appoggio sulle murature portanti o cordoli perimetrali o travi di calcestruzzo.

dall'innalzamento dei materiali, qualunque sia l'altezza alla quale l'opera di cemento armato dovrà essere eseguita, nonché per il getto e la vibratura.

Il ferro tondo per armature di opere di cemento armato di qualsiasi tipo (nonché la rete elettrosaldata) sarà valutato secondo il peso effettivo; nel prezzo, oltre alla lavorazione e allo sfrido, sarà compreso l'onere della legatura dei singoli elementi e la posa in opera dell'armatura stessa.

Il ferro tondo per armature di opere di cemento armato di qualsiasi tipo (nonché la rete elettrosaldata) sarà valutato secondo il peso effettivo; nel prezzo, oltre alla lavorazione e allo sfrido, sarà compreso l'onere della legatura dei singoli elementi e la posa in opera dell'armatura stessa.

I solai interamente di cemento armato (senza laterizi) dovranno essere valutati al metro cubo come ogni altra opera di cemento armato.

Nei prezzi dei solai in genere risulterà compreso l'onere per lo spianamento superiore della caldana, nonché ogni opera e materiale occorrente per dare il solaio completamente finito, come prescritto nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione. Nel prezzo dei solai misti in cemento armato e laterizio, o tipo prefabbricato (anche predalles) saranno escluse la fornitura, lavorazione e posa in opera del ferro occorrente, sarà, al contrario, compreso il noleggio delle casseforme e delle impalcature di sostegno di qualsiasi entità, con tutti gli oneri specificati per le casseforme dei cementi armati.

Il prezzo al metro quadrato dei solai suddetti verrà applicato senza alcuna maggiorazione anche a quelle porzioni in cui, per resistere a momenti negativi, il laterizio viene sostituito da calcestruzzo; in questo caso però dovranno essere pagati a parte tutti i cordoli perimetrali relativi ai solai stessi.

Nel prezzo dei solai con profilati in ferro e voltine od elementi in laterizio (tavole, tavelloni, volterrane ecc.) dovrà essere inclusa l'incombenza per ogni armatura provvisoria per il rinfiacco, nonché per ogni opera e materiale necessario per fornire il solaio completamente finito e pronto per la pavimentazione e per l'intonaco intradossale; resteranno esclusi i profilati di ferro che dovranno essere pagati a parte (vedi lavori in metallo).

Nel prezzo dei solai lignei resta fuori il legname per le travi principali che dovrà essere liquidato a parte sarà invece compreso ogni onere per fornire il solaio completo e finito a regola d'arte.

6.5.10 COPERTURE A FALDA (SOLAI INCLINATI)

I solai inclinati (ossia le coperture in genere) dovranno essere computati al metro quadrato, determinando le dimensioni della proiezione orizzontale della superficie delle falde del tetto senza sottrarre i vani adibiti a comignoli, abbaini, lucernari o ad altre parti sporgenti dalla copertura, purché non eccedenti, ciascuno di essi, la superficie di 1 m²; in questo caso dovranno essere sottratti per intero. Non dovranno essere considerate sovrapposizioni ed adiacenze dei giunti. Nel prezzo delle coperture saranno compresi tutti gli oneri specificati nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione salvo la grossa armatura (capriate, puntoni, arcarecci, terzere, colmi ecc.), l'isolamento termico, l'impermeabilizzazione, le gronde ed i pluviali che verranno valutati a parte.

6.5.11 MANTO DI COPERTURA

Il manto di copertura dovrà essere computato al metro quadrato, misurando geometricamente le superfici delle falde del tetto, senza sottrarre i vani adibiti a comignoli, abbaini, lucernari ed altre parti sporgenti dalla copertura, purché non eccedenti, ciascuno di essi, la superficie di 1 m²; in questo caso dovranno essere sottratti per intero. Le eventuali lastre di piombo, zinco o ferro messe in opera sulla copertura per i compluvi ovvero all'estremità delle falde, intorno ai lucernari, agli abbaini, ai comignoli ecc., saranno pagate a parte coi prezzi fissati in elenco per questi materiali.

6.5.12 POSA IN OPERA DEI MARMI, PIETRE NATURALI ED ARTIFICIALI

I prezzi della posa in opera dei marmi e delle pietre naturali od artificiali, previsti in elenco, saranno applicati alle superfici ovvero ai volumi effettivi, dei materiali in opera, determinati con i criteri descritti per le "murature in pietra da taglio".

Ogni onere derivante dall'osservanza delle norme, prescritte nel presente Capitolato, si intenderà compreso nei prezzi.

Nello specifico detti prezzi, comprenderanno gli oneri per la fornitura, lo scarico in cantiere, il deposito e la relativa provvisoria protezione, la ripresa, il successivo trasporto ed il sollevamento dei materiali a qualunque altezza, con eventuale protezione, copertura o fasciatura; per ogni successivo sollevamento e per ogni ripresa con boiacca di cemento od altro materiale, per la fornitura di lastre di piombo, di grappe, staffe, regolini, chiavette, perni occorrenti per il fissaggio; per ogni occorrente scalpellamento delle strutture murarie e per la successiva chiusura e ripresa delle stesse, per la stuccatura dei giunti, per la pulizia accurata e completa, per la protezione a mezzo di opportune opere provvisorie delle pietre già collocate in opera, e per tutti i lavori che risultassero necessari per la perfetta rifinitura dopo la posa in opera. Resteranno escluse, dal suddetto prezzo, le prestazioni dello scalpellino e del marmista per gli eventuali ritocchi agli elementi da montare allorché le pietre e/o i marmi non fossero forniti dall'appaltatore stesso.

I prezzi di elenco risultano comprensivi dell'onere dell'imbottitura dei vani dietro i pezzi, fra i pezzi stessi o comunque tra i pezzi e le opere murarie da rivestire, in modo da ottenere un buon collegamento, e, dove richiesto, un incastro perfetto.

Il prezzo previsto per la suddetta posa in opera dei marmi e pietre, anche se la fornitura sarà affidata all'Appaltatore, comprenderà altresì l'onere dell'eventuale posa in opera in periodi di tempo diversi, a prescindere dall'ordine di arrivo in cantiere dei materiali forniti all'Appaltatore dalla stazione appaltante compreso, inoltre, ogni eventuale onere per spostamento di ponteggi e di apparecchiature di sollevamento.

6.5.13 INTONACI

I prezzi degli intonaci dovranno essere applicati alla superficie effettivamente intonacata, procedendo quindi alla detrazione delle aperture per porte e finestre superiori a 1 m², senza tener conto delle superfici laterali di risalti, lesene, cornici, parapetti, architravi ecc.; tali superfici laterali, sia piane che curve, dovranno essere valutate quando la loro larghezza supera i 5 cm. L'esecuzione di gusci di raccordo, se richiesti negli angoli fra pareti e soffitto e fra pareti e pareti, con raggio non superiore a 15 cm, risulterà compresa nel prezzo; anche in questo caso gli intonaci verranno misurati alla stregua degli spigoli vivi.

Il prezzo degli intonaci comprenderà l'onere della ripresa, dopo la chiusura, di tracce di qualunque genere, della muratura di eventuali ganci al soffitto e delle riprese contropavimenti, zoccolature e serramenti.

I prezzi dell'elenco varranno anche per intonaci applicati su murature di mattoni forati dello spessore di una testa, essendo essi comprensivi dell'onere dell'intasamento dei fori dei laterizi.

Gli intonaci interni sui muri di spessore superiore a 15 cm saranno computati a vuoto per pieno, a compenso dell'intonaco nelle riquadrature dei vani, che non saranno perciò sviluppate; tuttavia, per i vani di superficie superiore a 4 m², dovranno essere detratti i vuoti e le zone mancanti valutando a parte la riquadratura di detti vani.

Gli intonaci interni su tramezzi in foglio o ad una testa saranno computati per la loro superficie effettiva; dovranno essere, pertanto, detratti tutti i vuoti di qualunque dimensione essi siano, ed aggiunte le loro riquadrature.

La superficie di intradosso delle volte, di qualsiasi forma e monta, verrà determinata moltiplicando la superficie della loro proiezione orizzontale per il coefficiente 1,20. Nessun compenso speciale sarà dovuto per gli intonaci eseguiti a piccoli tratti anche in corrispondenza di spalle e mazzette di vani di porte e finestre.

L'intonaco dei pozzetti di ispezione delle fognature dovrà essere computato per la superficie di pareti senza detrarre la superficie di sbocco delle fogne, in compenso delle profilature e dell'intonaco sulle grossezze dei muri.

6.5.14 TINTEGGIATURE, COLORITURE E VERNICIATURE

Nei prezzi delle tinteggiature, coloriture e verniciature in genere risulteranno compresi tutti gli oneri prescritti nelle norme sui materiali e sui modi di esecuzione del presente Capitolato oltre a quelli per mezzi d'opera, trasporto, sfilatura e rinfilatura d'infissi ecc.

Le tinteggiature interne ed esterne per pareti e soffitti saranno, di norma, misurate con le stesse norme sancite per gli intonaci.

L'esecuzione di coloritura o verniciatura degli infissi dovrà ottemperare alle seguenti norme:

a) *-le porte, bussole e simili*, (x 2) dovranno essere computate due volte la luce netta dell'infisso, oltre alla mostra o allo sguincio, se presenti, non detraendo l'eventuale superficie del vetro. Così facendo, risulterà compresa anche la verniciatura del telaio per muri grossi o del cassonetto tipo romano per tramezzi e dell'imbotto tipo lombardo, sempre per tramezzi. La misurazione della mostra e dello sguincio sarà eseguita in proiezione su piano verticale parallelo a quello medio della bussola (chiusa) senza tener conto di sagome, risalti o risvolti;

b) *le finestre persiane*, (x 3) ma con controportelli, dovranno essere computate tre volte la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compensata anche la coloritura dei controportelli e del telaio (o cassettone);

c) *-le finestre senza persiane e senza controportelli*, (x 1) dovranno essere computate una volta sola la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura della soglia e del telaio (o cassettone);

d) *-le persiane comuni*, (x 3) dovranno essere computate tre volte la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura del telaio;

e) *- le persiane avvolgibili*, (x 2,50) dovranno essere computate due volte e mezzo la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura del telaio ed apparecchio a sporgere, ad eccezione del pagamento della coloritura

del cassonetto coprirullo che dovrà essere fatta a parte;

f) - *il cassettoni completo tipo romano*, (x 6) ovvero con controportelli e persiane, montati su cassettoni, dovrà essere computato sei volte la luce netta dell'infisso, in questo modo risulterà compresa anche la coloritura del cassettoni e della soglia;

g) - *le opere in ferro semplici e senza ornati*, (x 0,75) quali finestre grandi a vetrate e lucernari, serrande avvolgibili a maglia, infissi per vetrine di negozi, dovranno essere computati i tre quarti della loro superficie complessiva, misurata sempre in proiezione, in questo modo potrà essere ritenuta compensata la coloritura dei sostegni, grappe e simili accessori, dei quali non si terrà conto alcuno nella misurazione;

h) - *le opere in ferro di tipo normale a disegno*, (x 1) quali ringhiere, cancelli anche riducibili, inferriate e simili, dovranno essere computate una volta per l'intera loro superficie, misurata con le norme e con le conclusioni di cui alla lettera precedente;

i) - *le opere in ferro ornate*, (x 1,5) cioè come alla lettera precedente, ma con ornati ricchissimi, nonché per le pareti metalliche e le lamiere stirate, dovranno essere computate una volta e mezzo la loro superficie misurata come sopra;

j) - *le serrande da bottega*, (x 3) in lamiera ondulata o ad elementi di lamiera, dovranno essere computate due volte e mezzo la luce netta del vano, in altezza, tra la soglia e la battitura della serranda, in questo modo risulterà compensata anche la coloritura della superficie non in vista;

k) - *i radiatori dei termosifoni* dovranno essere pagati ad elemento, indipendentemente dal numero delle colonne di ogni elemento e dalla loro altezza.

Tutte le coloriture o verniciature s'intenderanno eseguite su ambo le facce con i rispettivi prezzi di elenco; inoltre si intenderà compensata la coloritura, o verniciatura di notte, braccioletti e simili accessori.

6.5.15 APPARATI DECORATIVI

Per gli apparati decorativi, trattandosi di interventi specialistici che interesseranno il reale sviluppo superficiale del manufatto, andranno esclusi i sistemi di misurazione che implicheranno proiezioni in piano o valutazioni vuoto per pieno. Si procederà, pertanto come di seguito specificato:

a) *manufatti da valutare a corpo*: tutti quei manufatti complessi, costituiti da materiali di natura diversa, di dimensioni ridotte, di forma complessa o che presentino finiture particolarmente e finemente lavorate;

b) *manufatti da valutare a misura*: secondo le seguenti prescrizioni.

– *-Cornici, fasce, mostre modanature, balaustre di altari* per manufatti di fattura complessa e fortemente lavorati dovrà essere calcolata la superficie inscritta in forma geometrica regolare moltiplicata per la lunghezza. Per manufatti semplici dovrà essere calcolata la superficie effettiva tramite lo sviluppo del profilo per la lunghezza della loro membratura più sporgente. Il prezzo dovrà comprendere il compenso per la lavorazione degli spigoli. A compenso della maggiore forma dei risalti, la misura di lunghezza verrà aumentata di 0,40 m per ogni risalto. Saranno considerati risalti quelli determinati da lesene, pilastri e linee di distacco architettonico che impongano un doppio profilo.

– *-Bugnati, anteridi e cassettoni*: i bugnati e le anteridi comunque gettati, ed i cassettoni, qualunque sia la loro profondità, verranno misurati secondo la loro proiezione su di un piano parallelo al paramento di fondo, senza tenere conto dell'incremento di superficie prodotto dall'oggetto delle bugne ovvero dei cassettoni. I prezzi dei bugnati resteranno validi ed immutabili qualunque sia la grandezza, la configurazione delle bozze e la loro disposizione in serie (continua o discontinua).

– *-Sculture a tutto tondo*: per le sculture a tutto tondo dovrà essere misurata la superficie laterale del cilindro medio circoscrittibile incrementato del 20% per sculture di decoro semplice, del 40% per sculture di decoro complesso. Il cilindro medio dovrà essere misurato rilevando la circonferenza in almeno quattro punti significativi escludendo quelle minime (collo, caviglia, polso ecc.). Le parti molto aggettanti non dovranno essere incluse nel cilindro medio, ma calcolate con gli stessi criteri e ad esso sommate. Nel caso di sculture cave, la valutazione sarà da esprimersi a corpo.

– *-Rilievi, fregi*: il manufatto andrà inquadrato in una o più forme geometriche piane e regolari. Lo sviluppo della superficie sarà incrementato del 20% per *bassorilievi*, del 40% per *rilievi medi*, del 60% per *altorilievi*. Per altorilievi molto aggettanti l'incremento andrà valutato a seconda del caso. Potranno eventualmente essere assimilabili a sculture a tutto tondo o richiedere incrementi sino al 100%.

– *-Dipinti*: se non riconducibili in forme geometriche semplici e di facile valutazione si dovrà ricorrere al calcolo della loro superficie effettiva con le formule più idonee della geometria.

– *-Manufatti archeologici*: i manufatti (sia oggetti integri sia frammenti) riconducibili a semplici forme geometriche, saranno inquadrati nella suddetta forma di riferimento. Per tutti gli altri manufatti, la superficie verrà computata moltiplicando lo sviluppo del loro profilo per la circonferenza del minimo cilindro circoscrittibile. Gli elementi applicati dovranno essere valutati con gli stessi criteri e sommati. Il computo metrico dovrà comprendere anche la misura della superficie interna misurabile.

Nel prezzo di tutte le decorazioni dovrà essere compreso l'onere per l'ossatura (nei casi in cui gli elementi non superino l'oggetto di 5 cm), per l'abbozzatura dei bugnati, per l'arriciatura della malta, per l'intonaco di stucco perfettamente profilato ed eventualmente levigato, per le *modine*, i calchi, le forme, per l'esecuzione dei campioni-modello nonché tutto quanto occorra a condurre le opere in stucco perfettamente a termine.

Per lavorazioni particolarmente disagiati potranno essere valutati i seguenti incrementi:

– *-Interventi su volte, soffitti, settori circolari* si calcolerà l'effettivo sviluppo geometrico aumentato del 10% nel caso di volte e soffitti (maggiore onere per superfici rivolte verso il basso).

– *-Ambienti disagiati (ad es., ipogei, ambienti urbani ad alta densità di traffico)* si applicherà l'incremento previsto in

progetto per disagi conseguenti alla distanza del sito o a particolari condizioni climatiche e/o ambientali. Tale incremento sarà da valutare anche per opere ubicate in siti isolati di difficile accesso.

6.5.16 OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO

La valutazione di dette operazioni (ristabilimento parziale della coesione di materiale lapideo, ristabilimento della coesione degli intonaci per mezzo di pennelli, siringhe e pipette), data l'evidente difficoltà di stabilire l'esatta misura delle porzioni di materiale che necessitano l'esecuzione di questo intervento, verrà espressa secondo diversi criteri:

- a metro quadrato con un prezzo distinto secondo la percentuale di diffusione del fenomeno di degrado;
- -a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato cui vanno riportati i casi al di sotto di questa misura;

La stesura di uno strato protettivo a base di malta idraulica su superfici disgregate lapidee o mosaici verrà valutata a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato.

L'applicazione e la rimozione di bendaggi protettivi sarà valutata con un prezzo al decimetro quadrato nel caso di preconsolidamento su materiale lapideo e mosaici al metro quadrato nel caso di stucchi, intonaci e dipinti murari. Data la funzione di sostegno, la superficie da bendare dovrà sempre eccedere l'estensione del fenomeno di degrado che ne richiederà l'applicazione. La superficie minima sarà pari a un decimetro quadrato nel caso di materiale lapideo e mosaici ovvero, pari a 0,5 m² per stucchi, intonaci e dipinti murari a cui andranno riportati anche i casi di bendaggi al disotto di queste misure.

Il ristabilimento dell'adesione e della coesione della pellicola pittorica sarà stimato in metri quadrati o parti di metro quadrato delle porzioni di materiale interessato in maniera diffusa da distacchi o disgregazioni.

Il puntuale bloccaggio delle tessere mobili della superficie mosaicata sarà valutato a singolo intervento.

6.5.17 OPERAZIONI DI PULITURA

La valutazione di tutte le operazioni di pulitura eseguite su materiale lapideo, stucchi, dipinti murari, intonaci e mosaici (con sostante solventi a tampone o a pennello, a secco, ad umido, con impacco ecc.) sarà eseguita al metro quadrato o parti di metro quadrato delle porzioni di materiale interessate in maniera diffusa da strati e/o depositi soprammessi. Le rifiniture saranno valutate al decimetro quadrato per materiali lapidei ovvero al metro quadrato per stucchi e dipinti murari. Nel caso di puliture di dipinti murari nel suddetto prezzo sarà esclusa l'incidenza del risciacquo con acqua distillata e l'applicazione di materiale assorbente per l'estrazione di sali solubili e dei residui dei sali utilizzati per l'operazione di pulitura; le suddette operazioni saranno valutate al metro quadrato.

Allorché si parli di cicli di applicazione questi dovranno essere intesi come l'insieme di operazioni costituito dall'applicazione del prodotto indicato secondo il metodo descritto dalla D.L. e dalla successiva rimozione meccanica o manuale delle sostanze da esso solubilizzati.

Nell'uso della nebulizzazione o dell'automazione per puliture di materiali lapidei saranno a carico dell'appaltatore ed inclusi nel prezzo la canalizzazione delle acque di scarico e la protezione delle superfici circostanti mediante gomme siliconiche, teli di plastica e grondaie.

6.5.18 OPERAZIONI DI DISERBO E TRATTAMENTO DA ATTACCHI BIOLOGICI

Alla rimozione di vegetazione superiore saranno riferiti due diversi tipi di valutazione uno al metro quadrato uno al metro lineare tra loro alternativi; ciò in considerazione del fatto che questo fenomeno può verificarsi sia su ampie zone di diffusione sia lungo elementi rettilinei quali cornici, angoli, marcapiani oppure lungo fratture o fessure.

OPERAZIONI DI RIMOZIONI DI STUCCATURE O DI ELEMENTI NON IDONEI APPLICATI IN PRECEDENTI INTERVENTI

La valutazione del prezzo per la rimozione di stuccature (profondità massima 3 cm) non idonee eseguite nel corso di precedenti interventi seguirà tre criteri:

- *al metro nei casi di stuccature con forma lunga e molto sottile servite per chiudere o sigillare fessurazioni;*
- al metro quadrato nei casi di stuccature o rifacimenti abbastanza estesi (oltre il metro quadrato);
- -al decimetro quadrato nei casi di stuccature con estensione al di sotto del metro quadrato sarà in ogni caso utile dare tre diverse stime ovverosia entro 5 dm² tra 5 e 20 dm² tra 20 e 1 m².

La durezza del materiale utilizzato per le stuccature (gesso, calce, cemento, resina ecc.) resterà un criterio fondamentale di distinzione dei costi in quanto inciderà direttamente e sensibilmente sui relativi tempi di esecuzione così come lo stato di conservazione del manufatto modificherà, altrettanto sensibilmente, il tempo necessario alla rimozione.

Per l'asportazione di elementi metallici la valutazione sarà espressa per ciascuno elemento rimosso e sarà altresì differenziata a seconda dell'adesivo con cui saranno stati vincolati e della lunghezza degli stessi elementi.

La rimozione temporanea di inserti in pietra o di fasce, cerchiature o grosse staffe sarà valutata per ogni singolo intervento (previo eventuale progetto).

6.5.19 OPERAZIONI DI DISTACCO E RIADESIONE DI SCAGLIE, FRAMMENTI E PARTI PELLICOLANTI O CADUTE

Le operazioni in oggetto saranno valutate a singolo frammento in linea generale potranno essere individuate due categorie

con relative valutazioni: frammento di dimensioni limitate che comprenderà sia la scaglia sia il pezzo più pesante ma comunque maneggiabile da un singolo operatore, frammento di grandi dimensioni che comprenderà un complesso di operazioni preparatorie e collaterali. In entrambi i casi qualora si rivelasse necessaria un'operazione di bendaggio preliminare questa sarà contabilizzata a parte secondo le indicazioni fornite alla relativa voce. Saranno altresì esclusi gli oneri di eventuali controforme di sostegno che dovranno essere aggiunti al costo dell'operazione.

La riadesione di frammenti di dimensioni limitate già distaccati o caduti, sarà valutata sempre al pezzo singolo e prevedrà una differenziazione di difficoltà nel caso di incollaggi semplici e di incollaggi con inserzioni di perni. In questo ultimo caso saranno contemplate ulteriori valutazioni dovute alla possibilità o meno di sfruttare eventuali vecchie sedi di perni, alla diversa lunghezza e al diverso materiale dei perni (titanio, acciaio inox, carbonio ecc.).

Il consolidamento di grosse fratture mediante iniezione di consolidanti e adesivi (organici ed inorganici) avrà una valutazione al metro, tuttavia per l'elevata incidenza delle fasi preparatorie verrà contemplata una superficie minima di 0,5 m a cui andranno riportati anche i casi di fatturazioni al di sotto di tale misura.

6.5.20 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO

Nell'operazione di consolidamento mediante impregnazione (ristabilimento della coesione di materiale lapideo, mosaici, ristabilimento della coesione della pellicola pittorica o doratura/argentatura all'intonaco per mezzo di pennelli, siringhe e pipette), data l'evidente difficoltà di stabilire l'esatta misura delle porzioni di materiale che necessitano l'esecuzione di questo intervento, verrà espressa secondo diversi criteri:

- -a metro quadrato con un prezzo distinto secondo la percentuale di diffusione del fenomeno di degrado overrosia entro il 30% in un metro quadrato, tra il 30% e il 50% e tra il 50% ed il 100%.
- -a singolo intervento per una diffusione del fenomeno entro il decimetro quadrato cui vanno riportati i casi al disotto di questa misura.

Nell'operazione di ristabilimento dell'adesione tra supporto murario ed intonaco e tra i diversi strati di intonaco l'esecuzione di questo intervento verrà espressa:

- -a singolo intervento per distacchi contenuti in precise dimensioni ed espresse in decimetri quadrati;
- -a metro quadrato per distacchi di dimensioni più limitate ma diffuse sulla superficie secondo percentuali differenti.

Nell'operazione di consolidamento ad impacco il costo verrà valutato al metro quadrato, sarà contemplata una superficie minima di 1 m² a cui andranno riportati anche quei casi di impacchi al di sotto di questa misura. Il costo della manodopera sarà minore nel caso di oggetti a tutto tondo, dove l'impacco sarà sostenuto facilmente da una fasciatura, mentre aumenterà nel caso di superfici che richiederanno il sostegno dell'impacco con controforme e puntellature.

Il ristabilimento dell'adesione nei fenomeni di scagliatura ed esfoliazione su materiali lapidei eseguito in maniera puntuale mediante incollaggi con resine sintetiche, sarà valutato a singolo intervento, nel caso di ristabilimento dell'adesione eseguito mediante infiltrazione di malta idraulica verrà contemplata una superficie minima pari a 1 dm² a cui andranno riportati anche i casi di intervento al di sotto di questa misura.

Le operazioni di puntellatura provvisoria di applicazione di perni di distacco e di collocamento di piccole parti saranno da valutare a singolo intervento.

6.5.21 OPERAZIONI DI STUCCATURA, MICROSTUCCATURA E PRESENTAZIONE ESTETICA (COMPREDENDO ANCHE LE INTEGRAZIONI PITTORICHE E LE PROTEZIONI SUPERFICIALI)

Le operazioni di stuccatura, in considerazione della diversa morfologia e delle dimensioni delle lacune saranno valutate secondo tre criteri:

- al metro lineare nei casi di stuccature con forma lunga e molto sottile al fine di chiudere o sigillare fessurazioni;
- -al metro quadrato nei casi di stuccature o rifacimenti abbastanza estesi (oltre il metro quadrato). Nel caso di dipinti murari saranno individuate tre diverse valutazioni che prevedranno su ogni metro quadrato di superficie una diversa percentuale di estensione di velature o reintegrazioni non idonee: entro il 70%, entro il 30% ed entro il 15%;
- -al decimetro quadrato nei casi di stuccature con estensione al di sotto del metro quadrato sarà in ogni caso utile dare tre diverse stime overrosia entro 5 dm² tra 5 e 20 dm² tra 20 e 1 m².

La microstuccatura (ovvero la sigillatura di zone degradate per fenomeni di scagliature, esfoliazione, pitting, microfessurazione o microfratturazioni) sarà valutata al metro quadrato distinguendo tre percentuali di diffusione del fenomeno sul supporto: entro il 70%, entro il 30% ed entro il 15%.

La revisione estetica per l'equilibratura di stuccature ed integrazioni (ovvero la possibilità di assimilare al colore della pietra originale tutte le parti non equilibrate) verrà valutata al metro quadrato delle porzioni di materiale interessate in maniera diffusa dal fenomeno di squilibrio.

6.5.22 OPERAZIONI DI INTEGRAZIONI DI PARTI MANCANTI

L'integrazione delle lacune sarà differenziata secondo le tipologie di intervento e la valutazione di queste sarà al decimetro quadrato (dm²) per superfici comprese entro i 50 dm² e al metro quadrato per superfici superiori al metro quadrato.

6.5.23 OPERAZIONI DI PROTEZIONE

Le operazioni di protezioni dovranno essere valutate a superficie effettiva (m²) con detrazione dei vuoti o delle parti non interessate al trattamento con superficie singola superiore a 0,5 m².

Operazioni di stacco ed applicazioni nuovi supporti

Le operazioni saranno valutate al metro quadrato per interventi compresi entro i 2,5 m², oltre tale misura saranno valutate in riferimento al singolo progetto.

6.5.24 LAVORI IN LEGNO

Nella valutazione dei legnami non dovrà essere tenuto conto degli incastri e dei nodi necessari per l'unione dei diversi pezzi, allo stesso modo non dovranno essere detratte le relative mancanze o intagli. I prezzi inerenti, la lavorazione e la posizione in opera dei legnami saranno comprensivi di ogni compenso per la fornitura di tutta la chioderia, delle staffe, dei bulloni ecc. occorrente per gli sfridi, per l'esecuzione degli incastri e degli innesti di qualunque specie, per palchi di servizio e/o per qualunque altro mezzo provvisorio e lavoro per il sollevamento il trasporto e la posa in opera.

La grossa armatura dei tetti (capriate, arcarecci, terzere, puntoni ecc.) e dei solai (travi principali) dovrà essere misurata in metri cubi di legname in opera, nel suddetto prezzo saranno comprese e compensate la ferramenta, la catramatura delle teste, nonché tutti gli oneri elencati sopra.

6.5.25 LAVORI IN METALLO

Tutti i lavori in metallo dovranno essere, in generale, valutati a peso; i relativi prezzi verranno applicati a lavorazione completamente ultimata, al peso effettivo dei metalli determinato prima della loro posa in opera, con pesatura diretta fatta in contraddittorio ed a spese dell'appaltatore, escludendo dal peso le verniciature e coloriture.

Nei prezzi dei lavori in metallo sarà compreso ogni compenso per forniture accessorie, per lavorazioni, montatura e posizione in opera; saranno pertanto anche compresi e compensati l'esecuzione dei necessari fori e degli incastri nelle murature e pietre da taglio, le piombature, le sigillature e le malte.

prezzi dei profilati in ferro (a doppio "T", ad "H", ad "L" a "C" o con qualsiasi altro profilo) per solai, piattabande, collegamenti ecc., varranno anche in caso di eccezionale lunghezza, considerevole ampiezza di sezione e specifica tipologia per cui sia richiesta un'apposita fabbricazione. Saranno altresì compensati, oltre il trasporto in alto o la discesa in basso, tutte le provviste, tagli, lavorazioni ecc., necessari per congiungere le teste di tutte le travi dei solai con tondini, tiranti, cordoli in cemento armato ossia applicazione di chiavi, coprichiavi, chiavarde, staffe, bulloni, chiodature ecc. nonché tutte le procedure necessarie al fine di garantire le travi ai muri d'ambito ovvero per collegare due o più travi tra loro. Sarà inoltre, compensato ogni altro lavoro prescritto dalla D.L. per la perfetta riuscita del solaio e per far esercitare alle travi la funzione di collegamento sui muri d'ambito.

Nel prezzo del ferro per armature di opere in cemento armato, oltre alla lavorazione e ad ogni sfrido sarà compreso l'onere per la legatura di ogni singolo elemento con filo di ferro, la fornitura del filo di ferro e la posa in opera dell'armatura stessa.

6.5.26 LATTONERIE

Le opere da lattoniere quali, canali di gronda, scossaline, converse, pluviali, saranno misurate a peso. Nel prezzo sarà compresa la fornitura di cicogne, tiranti, grappe, cravatte, armille, collari. I tubi in ghisa si valuteranno a peso; i tubi in PVC, cemento amianto, cemento, grès ceramico, saranno valutati a metro lineare.

6.5.27 COIBENTAZIONI

Verranno valutate a superficie, a volume ovvero a metro lineare a seconda delle indicazioni delle singole voci, con detrazione dei vuoti e delle zone non protette con superficie superiore a 0,5 m². In linea generale si utilizzerà il metro quadrato per solai o pareti di appoggio ed il metro lineare per il rivestimento isolante di tubazioni (salvo nel caso di isolanti a lastre nel qual caso si utilizzerà il metro quadrato). Nel prezzo è compreso ogni e qualunque compenso per forniture accessorie, per lavorazioni, montatura e posizione in opera.

6.5.28 IMPERMEABILIZZAZIONI

Le impermeabilizzazioni dovranno essere valutate a superficie effettiva (m²) con detrazione dei vuoti o delle parti non impermeabilizzate con superficie singola superiore a 0,5 m². I risvolti da realizzare per l'impermeabilizzazione del raccordo con le superfici verticali verranno calcolati al metro quadrato solo quando la loro altezza, rispetto al piano orizzontale di giacitura della guaina, sia superiore a 15 cm. Nel prezzo è compreso ogni e qualunque compenso per forniture accessorie, per lavorazioni, montatura e posizione in opera; saranno pertanto anche compresi e compensati la sigillatura a caldo delle sovrapposizioni, la creazione di giunti e connessioni e quanto altro richiesto.

6.5.29 MANODOPERA

Gli operai per i lavori in economia dovranno essere idonei al lavoro per il quale sono richiesti e dovranno essere provvisti dei necessari attrezzi.

L'Appaltatore è obbligato, senza compenso alcuno, a sostituire tutti quegli operai non graditi alla D.L.

Circa le prestazioni di manodopera saranno osservate le disposizioni e convenzioni stabilite dalle Leggi e dai contratti collettivi di lavoro, stipulati e convalidati a norma delle leggi sulla disciplina giuridica dei rapporti collettivi cioè quanto disposto dalla legge 300/1970 (Statuto dei lavoratori), ed in particolare quanto previsto dall'art. 36 della suddetta legge.

6.5.30 IMPIANTI ELETTRICO

a) *Canalizzazioni e cavi*

– I tubi di protezione, le canalette portacavi, i condotti sbarre, il piatto di ferro zincato per le reti di terra, saranno valutati al metro lineare misurando l'effettivo sviluppo lineare in opera.

Sono comprese le incidenze per gli sfridi e per i mezzi speciali per gli spostamenti, raccordi, supporti, staffe, mensole e morsetti di sostegno ed il relativo fissaggio a parete con tasselli ad espansione.

– I cavi multipolari o unipolari di MT e di BT saranno valutati al metro lineare misurando l'effettivo sviluppo lineare in opera, aggiungendo 1 m per ogni quadro al quale essi sono attestati.

Nei cavi unipolari o multipolari di MT e di BT sono comprese le incidenze per gli sfridi, i capi corda ed i marca cavi, esclusi i terminali dei cavi di MT.

– I terminali dei cavi a MT saranno valutati a numero. Nel prezzo dei cavi di MT sono compresi tutti i materiali occorrenti per l'esecuzione dei terminali stessi.

– I cavi unipolari isolati saranno valutati al metro lineare misurando l'effettivo sviluppo in opera, aggiungendo 30 cm per ogni scatola o cassetta di derivazione e 20 cm per ogni scatola da frutto.

Sono comprese le incidenze per gli sfridi, morsetti volanti fino alla sezione di 6 mm², morsetti fissi oltre tale sezione.

– Le scatole, le cassette di derivazione ed i box telefonici, saranno valutati a numero secondo le rispettive caratteristiche, tipologia e dimensione.

Nelle scatole di derivazione stagne sono compresi tutti gli accessori quali passacavi, pareti chiuse, pareti a cono, guarnizioni di tenuta, in quelle dei box telefonici sono comprese le morsettiere.

b) *Apparecchiature in generale e quadri elettrici*

– Le apparecchiature in generale saranno valutate a numero secondo le rispettive caratteristiche, tipologie e portata entro i campi prestabiliti.

Sono compresi tutti gli accessori per dare in opera l'apparecchiatura completa e funzionante.

– I quadri elettrici saranno valutati a numero secondo le rispettive caratteristiche e tipologie in funzione di:

- superficie frontale della carpenteria e relativo grado di protezione (IP);
- numero e caratteristiche degli interruttori, contattori, fusibili, ecc.

Nei quadri la carpenteria comprenderà le cerniere, le maniglie, le serrature, i pannelli traforati per contenere le apparecchiature, le etichette, ecc.

Gli interruttori automatici magnetotermici o differenziali, i sezionatori ed i contattori da quadro, saranno distinti secondo le rispettive caratteristiche e tipologie quali:

- a) il numero dei poli;
- b) la tensione nominale;
- c) la corrente nominale;
- d) il potere di interruzione simmetrico;
- e) -il tipo di montaggio (contatti anteriori, contatti posteriori, asportabili o sezionabili su carrello); comprenderanno l'incidenza dei materiali occorrenti per il cablaggio e la connessione alle sbarre del quadro e quanto occorre per dare l'interruttore funzionante.

– I corpi illuminanti saranno valutati a numero secondo le rispettive caratteristiche, tipologie e potenzialità.

Sono comprese le lampade, i portalampade e tutti gli accessori per dare in opera l'apparecchiatura completa e funzionante.

– I frutti elettrici di qualsiasi tipo saranno valutati a numero di frutto montato.

Sono escluse le scatole, le placche e gli accessori di fissaggio che saranno valutati a numero.

6.5.31 OPERE DI ASSISTENZA AGLI IMPIANTI

Le opere e gli oneri di assistenza di tutti gli impianti compensano e comprendono le seguenti prestazioni:

– -scarico dagli automezzi, collocazione in loco compreso il tiro in alto ai vari piani e sistemazione in magazzino di tutti i materiali pertinenti agli impianti;

– -apertura e chiusura di tracce, predisposizione e formazione di fori ed asole su murature e strutture di calcestruzzo armato;

– -muratura di scatole, cassette, sportelli, controtelai di bocchette, serrande e griglie, guide e porte ascensori;

– -fissaggio di apparecchiature in genere ai relativi basamenti e supporti;

– -formazione di basamenti di calcestruzzo o muratura e, ove richiesto, la interposizione di strato isolante, baggioli, ancoraggi di fondazione e nicchie;

– -manovalanza e mezzi d'opera in aiuto ai montatori per la movimentazione inerente alla posa in opera di quei materiali

che per il loro peso e/o volume esigono tali prestazioni;

- i materiali di consumo ed i mezzi d'opera occorrenti per le prestazioni di cui sopra;
- il trasporto alla discarica dei materiali di risulta delle lavorazioni;
- scavi e rinterri relativi a tubazioni od apparecchiature poste interrate;
- ponteggi di servizio interni ed esterni;
- le opere e gli oneri di assistenza agli impianti dovranno essere calcolati in ore lavoro sulla base della categoria della manodopera impiegata e della quantità di materiali necessari e riferiti a ciascun gruppo di lavoro.

6.5.32 MANODOPERA

Gli operai per i lavori in economia dovranno essere idonei al lavoro per il quale sono richiesti e dovranno essere provvisti dei necessari attrezzi.

L'Appaltatore è obbligato, senza compenso alcuno, a sostituire tutti quegli operai che non riescano di gradimento alla Direzione dei Lavori.

Circa le prestazioni di manodopera saranno osservate le disposizioni e convenzioni stabilite dalle leggi e dai contratti collettivi di lavoro, stipulati e convalidati a norma delle leggi sulla disciplina giuridica dei rapporti collettivi.

Nell'esecuzione dei lavori che formano oggetto del presente appalto, l'impresa si obbliga ad applicare integralmente tutte le norme contenute nel contratto collettivo nazionale di lavoro per gli operai dipendenti dalle aziende industriali edili ed affini e negli accordi locali integrativi dello stesso, in vigore per il tempo e nella località in cui si svolgono i lavori anzidetti.

L'impresa si obbliga altresì ad applicare il contratto e gli accordi medesimi anche dopo la scadenza e fino alla sostituzione e, se cooperative, anche nei rapporti con i soci.

I suddetti obblighi vincolano l'impresa anche se non sia aderente alle associazioni stipulanti o receda da esse e indipendentemente dalla natura industriale della stessa e da ogni altra sua qualificazione giuridica, economica o sindacale. L'impresa è responsabile in rapporto alla stazione appaltante dell'osservanza delle norme anzidette da parte degli eventuali subappaltatori nei confronti dei rispettivi loro dipendenti, anche nei casi in cui il contratto collettivo non disciplini l'ipotesi del subappalto.

Il fatto che il subappalto sia o non sia stato autorizzato, non esime l'impresa dalla responsabilità di cui al comma precedente e ciò senza pregiudizio degli altri diritti della stazione appaltante.

Non sono, in ogni caso, considerati subappalti le commesse date dall'impresa ad altre imprese:

- a) per la fornitura di materiali;
- b) -per la fornitura anche in opera di manufatti ed impianti speciali che si eseguono a mezzo di ditte specializzate.

In caso di inottemperanza agli obblighi precisati nel presente articolo, accertata dalla stazione appaltante o ad essa segnalata dall'Ispettorato del Lavoro, la stazione appaltante medesima comunicherà all'Impresa e, se del caso, anche all'Ispettorato suddetto, l'inadempienza accertata e procederà ad una detrazione del 20% sui pagamenti in acconto, se i lavori sono in corso di esecuzione, ovvero alla sospensione del pagamento del saldo, se i lavori sono stati ultimati, destinando le somme così accantonate a garanzia dell'adempimento degli obblighi di cui sopra.

Il pagamento all'impresa delle somme accantonate non sarà effettuato sino a quando dall'Ispettorato del Lavoro non sia stato accertato che gli obblighi predetti sono stati integralmente adempiuti.

Per le detrazioni e sospensione dei pagamenti di cui sopra, l'impresa non può opporre eccezioni alla stazione appaltante, né ha titolo al risarcimento di danni.

6.5.33 PONTEGGI

I ponteggi esterni ed interni di altezza sino a 4,50 m dal piano di posa si intenderanno sempre compensati con la voce di elenco prezzi relativa al lavoro che ne richiama l'installazione. Ponteggi di maggior altezza, quando necessari, si intenderanno compensati a parte, una sola volta, per il tempo necessario alla esecuzione delle opere di riparazione, conservazione, consolidamento, manutenzione.

6.5.34 NOLEGGI

Le macchine e gli attrezzi dati a noleggio debbono essere in perfetto stato di servibilità e provvisti di tutti gli accessori necessari per il loro regolare funzionamento.

Sono a carico esclusivo dell'Appaltatore la manutenzione degli attrezzi e delle macchine. Il prezzo comprende gli oneri relativi alla mano d'opera, al combustibile, ai lubrificanti, ai materiali di consumo, all'energia elettrica e a tutto quanto occorre per il funzionamento delle macchine.

Con i prezzi di noleggio delle motopompe, oltre la pompa sono compensati il motore, o la motrice, il gassogeno e la caldaia, la linea per il trasporto dell'energia elettrica ed, ove occorra, anche il trasformatore.

I prezzi di noleggio di meccanismi in genere, si intendono corrisposti per tutto il tempo durante il quale i meccanismi rimangono a piè d'opera a disposizione dell'Amministrazione, e cioè anche per le ore in cui i meccanismi stessi non funzionano, applicandosi il prezzo stabilito per meccanismi in funzione soltanto alle ore in cui essi sono in attività di lavoro; quello relativo a meccanismi in riposo in ogni altra condizione di cose, anche per tutto il tempo impiegato per riscaldare la caldaia e per portare a regime i meccanismi.

Nel prezzo del noleggio sono compresi e compensati gli oneri e tutte le spese per il trasporto a piè d'opera, montaggio, smontaggio ed allontanamento dei detti meccanismi.

Per il noleggio dei carri e degli autocarri il prezzo verrà corrisposto soltanto per le ore di effettivo lavoro, rimanendo escluso ogni compenso per qualsiasi altra causa o perditempo.

6.5.35 TRASPORTI

Con i prezzi dei trasporti s'intende compensata anche la spesa per i materiali di consumo, la mano d'opera del conducente, e ogni altra spesa occorrente. I mezzi di trasporto per i lavori in economia debbono essere forniti in pieno stato di efficienza e corrispondere alle prescritte caratteristiche.

La valutazione delle materie da trasportare è fatta, a seconda dei casi, a volume o a peso, con riferimento alla distanza.

7 CAPO III Qualità e provenienza dei materiali e dei componenti

Si precisa che per evitare descrizioni che potrebbero risultare difficilmente rappresentabili, in alcuni articoli del presente capitolato sono stati prescritti alcuni materiali da costruzione con l'indicazione del tipo previsto dal progettista: ciò non costituisce forma di propaganda né costituisce un obbligo di approvvigionamento nei confronti dell'Impresa, la quale è libera di rifornirsi dove meglio le aggrada, ma costituisce un riferimento circa la tipologia e le caratteristiche dei materiali da porre in opera, per quanto riguarda sia le dimensioni sia le proprietà fisiche sia le proprietà meccaniche; i materiali utilizzati dovranno pertanto essere qualitativamente equivalenti o superiori ed in nessun caso inferiori a quelli prescritti.

Si fa presente che con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo con i documenti UNINorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

7.1 Generalità

I materiali e le forniture che saranno impiegati nelle opere da eseguire dovranno possedere le caratteristiche stabilite dalle leggi e dai regolamenti vigenti in materia ed inoltre corrispondere alla specifica normativa del presente Capitolato o degli altri atti contrattuali-

Si richiamano peraltro, espressamente, le prescrizioni degli artt. 4, 7, 8, 9 del Capitolato Generale.

Salvo diversa indicazione, i materiali e le forniture proverranno dai produttori che l'appaltatore riterrà di sua convenienza, purché, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, ne sia riconosciuta l'idoneità e la rispondenza ai requisiti prescritti. Per i lavori di ampliamento di strutture esistenti e con particolare riferimento alle forniture che richiedono ricambi manutentivi, si dovrà dare preferenza a tipi e marche, purché ancora rispondenti alle norme e all'uso, equivalenti a quelle esistenti.

Nel caso, con particolare anticipo si dovrà provvedere alla campionatura dei materiali con caratteristiche equivalenti a quelli esistenti. La Direzione Lavori dovrà visionare gli stessi 45 giorni prima del tempo ritenuto necessario per provvedere all'approvvigionamento.

L'Appaltatore è obbligato a prestarsi, in qualsiasi momento, ad eseguire od a far eseguire presso gli stabilimenti di produzione o presso gli Istituti autorizzati, tutte le prove prescritte dal presente Capitolato o dalla Direzione Lavori sui materiali impiegati o da impiegarsi, nonché sui manufatti, sia prefabbricati che formati in opera, e sulle forniture in genere. Il prelievo dei campioni verrà effettuato in contraddittorio e sarà appositamente verbalizzato.

Dei campioni potrà essere ordinata la conservazione presso la sede che la Direzione Lavori riterrà più opportuna, munendoli dei sigilli e delle firme del Direttore Lavori e dell'Impresa, nei modi più adatti a garantirne l'autenticità.

Saranno a totale carico dell'Appaltatore le spese di prelievo, di invio dei campioni agli Istituti autorizzati e quelle per l'esecuzione delle prove stesse.

L'Appaltatore farà sì che tutti i materiali abbiano, durante il corso dei lavori, le medesime caratteristiche riconosciute ed accettate dalla Direzione Lavori.

Qualora durante il corso dei lavori i materiali e le forniture non fossero più rispondenti ai requisiti prescritti, ovvero venissero a mancare e si presentasse quindi la necessità di cambiamenti negli approvvigionamenti, nessuna eccezione potrà accampare l'Appaltatore né avrà diritto ad alcuna variazione dei prezzi, fermi restando gli obblighi di cui al primo capoverso. Le provviste non accettate dalla Direzione Lavori, in quanto ad insindacabile giudizio non riconosciute idonee, dovranno essere immediatamente allontanate dal cantiere, a cura e spese dell'Appaltatore, e sostituite con altre rispondenti ai requisiti richiesti.

In merito al rispetto dei "CAM" si precisa che tutti i materiali utilizzati dovranno rispondere ai Criteri Ambientali Minimi di cui al Decreto 23 giugno 2022 del Ministero della Transizione Ecologica.

Si precisa inoltre che i riferimenti commerciali dei prodotti richiamati nel progetto (es. anelli e fondo per pozzetti della Ditta Moretta Prefabbricati, etc.) non sono da considerarsi vincolanti e che potranno essere utilizzati prodotti con caratteristiche analoghe o superiori.

L'Appaltatore resta comunque totalmente responsabile in rapporto ai materiali forniti la cui accettazione, in ogni caso, non pregiudica i diritti che l'Amministrazione si riserva in sede di collaudo finale.

7.2 Materiali in genere

È regola generale intendere che i materiali, i prodotti ed i componenti occorrenti, realizzati con materiali e tecnologie tradizionali e/o artigianali, necessari per i lavori di conservazione, restauro, risanamento o manutenzione da eseguirsi sui manufatti potranno provenire da quelle località che l'Appaltatore riterrà di sua convenienza, purché, ad insindacabile giudizio della Direzione dei Lavori e degli eventuali organi competenti preposti alla tutela del patrimonio storico, artistico, architettonico, archeologico e monumentale, siano riconosciuti della migliore qualità, simili, ovvero il più possibile compatibili con i materiali preesistenti, così da non risultare incompatibili con le proprietà chimiche, fisiche e meccaniche dei manufatti oggetto di intervento.

Nel caso di prodotti industriali (ad es., malte premiscelati) la rispondenza a questo capitolato potrà risultare da un attestato di conformità rilasciato dal produttore e comprovato da idonea documentazione e/o certificazione.

L'Appaltatore avrà l'obbligo, durante qualsivoglia fase lavorativa, di eseguire o fare effettuare, presso gli stabilimenti di

produzione e/o laboratori ed istituti in possesso delle specifiche autorizzazioni, tutte le campionature e prove preliminari sui materiali (confezionati direttamente in cantiere o confezionati e forniti da ditte specializzate) impiegati e da impiegarsi (in grado di garantire l'efficacia e la non nocività dei prodotti da utilizzarsi) prescritte nel presente capitolato e/o stabilite dalla Direzione Lavori. Tali verifiche dovranno fare riferimento alle indicazioni di progetto, alle normative UNI e alle raccomandazioni NorMaL recepite dal Ministero per i Beni Culturali con decreto 11 novembre 1982, n. 2093. Il prelievo dei campioni (da eseguirsi secondo le prescrizioni indicate nelle raccomandazioni NorMaL) dovrà essere effettuato in contraddittorio con l'Appaltatore e sarà appositamente verbalizzato.

In particolare, su qualsiasi manufatto di valore storico-architettonico-archeologico, ovvero sul costruito attaccato, in modo più o meno aggressivo da agenti degradanti, oggetto di intervento di carattere manutentivo, conservativo o restaurativo, e se previsto dagli elaborati di progetto l'Appaltatore dovrà mettere in atto una serie di operazioni legate alla conoscenza fisico materica, patologica in particolare:

- determinazione dello stato di conservazione del costruito oggetto di intervento;

individuazione degli agenti patogeni in aggressione;

- individuazione delle cause dirette e/o indirette nonché i meccanismi di alterazione.

Nel caso che la Direzione dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, non reputasse idonea tutta o parte di una fornitura di materiale sarà obbligo dell'Appaltatore provvedere prontamente e senza alcuna osservazione in merito, alla loro rimozione (con altri materiali idonei rispondenti alle caratteristiche ed ai requisiti richiesti) siano essi depositati in cantiere, completamente o parzialmente in opera. Sarà inteso che l'Appaltatore resterà responsabile per quanto ha attinenza con la qualità dei materiali approvvigionati anche se valutati idonei dalla D.L., sino alla loro accettazione da parte dell'Amministrazione in sede di collaudo finale.

7.3 Acqua, calci, gesso

7.3.1 ACQUA

L'acqua per l'impasto con leganti idraulici od aerei (UNI EN 1008) dovrà essere dolce e limpida con un pH neutro (compreso tra 6 ed 8) con una torbidezza non superiore al 2%, priva di sostanze organiche o grassi ed esente di sali (particolarmente solfati, cloruri e nitrati in concentrazione superiore allo 0,5%) in percentuali dannose e non essere aggressiva per l'impasto risultante. In caso di necessità, dovrà essere trattata per ottenere il grado di purezza richiesto per l'intervento da eseguire. In taluni casi dovrà essere, altresì, additivata per evitare l'instaurarsi di reazioni chimico – fisiche che potrebbero causare

la produzione di sostanze pericolose (DM 9 gennaio 1996 – Allegato I).

Tutte le acque naturali limpide (con l'esclusione di quelle meteoriche o marine) potranno essere utilizzate per le lavorazioni. Dovrà essere vietato l'uso, per qualsiasi lavorazione, di acque provenienti da scarichi industriali o civili. L'impiego di acqua di mare, salvo esplicita autorizzazione della D.L., non sarà consentito e, sarà comunque tassativamente vietato l'utilizzo di tale acqua per calcestruzzi armati, e per strutture con materiali metallici soggetti a corrosione.

7.3.2 CALCI

Le calci aeree ed idrauliche, dovranno rispondere ai requisiti di accettazione di cui al RD n. 2231 del 16 novembre 1939, "Norme per l'accettazione delle calci" e ai requisiti di cui alla normativa europea UNI EN 459-1:2001 "Calci da costruzione. Definizione, specifiche criteri di conformità"; UNI EN 459-2:2001 "Calci da costruzione. Metodi di prova"; UNI EN 459-3:2001 "Calci da costruzione. Valutazione di conformità".

CALCI AEREE

Le calci aeree (costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio con quantità minori di magnesio, silicio, alluminio e ferro) sono classificate in base al loro contenuto di $(CaO+MgO)_1$; si distinguono in:

1) -*Calci calciche (CL)* calci costituite prevalentemente da ossido o idrossido di calcio (il calcare calcico è un calcare che dovrà contenere dallo 0% al 5% di carbonato di magnesio UNI 10319) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici;

2) -*Calci dolomitiche (DL)* calci costituite prevalentemente da ossido di calcio e di magnesio o idrossido di calcio e di magnesio (il calcare dolomitico è un calcare che dovrà contenere dal 35% al 45% di carbonato di magnesio) senza alcuna aggiunta di materiali idraulico pozzolanici. Questo tipo di calce potrà essere commercializzato nella versione semi-idratata₂ (S1) o completamente idratata₃ (S2).

Le calci aeree potranno, anche essere classificate in base alla loro condizione di consegna: calci vive (Q) o calci idrate (S).

a) *Calci vive (Q)* calci aeree (includono le calci calciche e le calci dolomitiche) costituite prevalentemente da ossido di calcio ed ossido di magnesio ottenute per calcinazione di rocce calcaree e/o dolomitiche. Le calci vive hanno una reazione esotermica quando entrano in contatto con acqua. Possono essere vendute in varie pezzature che vanno dalle zolle al materiale finemente macinato.

b) *Calci idrate (S)* calci aeree, (calci calciche o calci dolomitiche) ottenute dallo spegnimento controllato delle calci vive. Le calci spente sono prodotte, in base alla quantità di acqua utilizzata nell'idratazione, in forma di polvere secca, di grassello o di liquido (latte di calce):

– -calce idrata in polvere di colore biancastro derivata dalla calcinazione a bassa temperatura di calcari puri con meno del 10% d'argilla; si differenzia dal grassello per la quantità di acqua somministrata durante lo spegnimento della calce viva (ossido di Calcio), nella calce idrata la quantità di acqua impiegata è quella stechiometrica (3,22 parti di acqua per 1 parte di CaO). Può essere utilmente impiegata come base per la formazione di stucchi lucidi, per intonaci interni e per tinteggiature;

– -grassello di calce o calce aerea "spenta" (idrata) in pasta ottenuta per lento spegnimento ad "umido" (cioè in eccesso di acqua rispetto a quella chimicamente sufficiente circa 3-4 volte il suo peso) della calce con impurità non superiori al 5%. Le caratteristiche plastiche ed adesive del grassello, migliorano e vengono esaltate con un prolungato periodo di stagionatura in acqua, prima di essere impiegato. Il grassello, si dovrà presentare sotto forma di pasta finissima, perfettamente bianca morbida e quasi untuosa non dovrà indurire se esposto in ambienti umidi o immerso nell'acqua, indurrà invece in presenza di aria per essiccamento e lento assorbimento di anidride carbonica. La stagionatura minima nelle fosse sarà di 6 mesi per il confezionamento delle malte da allettamento e da costruzione e di 12 mesi per il confezionamento delle malte da intonaco o da stuccatura. Nel cantiere moderno è in uso ricavare il grassello mediante l'aggiunta di acqua (circa il 20%) alla calce idrata in polvere, mediante questa "procedura" (che in ogni caso necessita di una stagionatura minima di 24 ore) si ottiene un prodotto scadente di limitate qualità plastiche, adesive e coesive;

– -latte di calce ovvero "legante" per tinteggi, velature e scialbature ricavato dal filtraggio di una soluzione particolarmente acquosa ottenuta stemperando accuratamente il grassello di calce (o della calce idrata) fino ad ottenere una miscela liquida e biancastra.

Le calci aeree possono essere classificate anche in rapporto al contenuto di ossidi di calcio e magnesio (valori contenuti RD n. 2231 del 16 novembre 1939, "Norme per l'accettazione delle calci"):

a) *calce grassa in zolle*, cioè calce viva in pezzi, con contenuto di ossidi di calcio e magnesio non inferiore al 94% e resa in grassello non inferiore al 2,5 m³/ton;

b) *calce magra in zolle* o calce viva, contenente meno del 94% di ossidi di calcio e magnesio e con resa in grassello non inferiore a 1,5 m³/ton;

1 L'ossido di magnesio nella composizione del calcare rappresenta l'impurità pertanto quanto minore sarà la sua presenza tanto più pura sarà la calce prodotta.

2 Consistente principalmente in idrossido di calcio ed ossido di magnesio.

3 Consistente principalmente in idrossido di calcio ed idrossido di magnesio.

b1) -calce forte legante con deboli doti idrauliche, compresa tra le calci magre quando la presenza di componenti idraulici (presenza di argilla intorno al 5-5,5%) è considerata come impurità;

c) *calce idrata in polvere* ottenuta dallo spegnimento della calce viva, contenuto di umidità non superiore al 3% e contenuto di impurità non superiore al 6%, si distingue in:

– -fiore di calce, quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 91%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 1% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 5%; presenta una granulometria piuttosto fine ottenuta per ventilazione;

– -calce idrata da costruzione quando il contenuto minimo di idrati di calcio e magnesio non è inferiore al 82%; il residuo al vaglio da 900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 2% mentre il residuo al vaglio da 4900 maglie/cm² dovrà essere ≤ 15%; si presenta come un prodotto a grana grossa.

La composizione della calce da costruzione, quando provata secondo la norma UNI EN 459-2, deve essere conforme ai valori della tabella 2 sotto elencata. Tutti i tipi di calce elencati nella tabella possono contenere additivi in modeste quantità per migliorare la produzione o le proprietà della calce da costruzione. Quando il contenuto dovesse superare lo 0,1% sarà obbligo dichiarare la quantità effettiva ed il tipo.

Tabella 2.1 Requisiti chimici della calce (valori espressi come percentuale di massa). I valori sono applicabili a tutti i tipi di calce. Per la calce viva questi valori corrispondono al prodotto finito; per tutti gli altri tipi di calce (calce idrata, grassello e calci idrauliche) i valori sono basati sul prodotto dopo la sottrazione del suo contenuto di acqua libera e di acqua legata. (UNI EN 459-1)

Tipo di calce da costruzione	Sigla	CaO+MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Calce libera %
Calce calcica 90	CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	-
Calce calcica 80	CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce calcica 70	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
Calce dolomitica 85	DL 85	≥ 85	≤ 30	≤ 7	≤ 2	-
Calce dolomitica 80	DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
Calce idraulica 2	HL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 8
Calce idraulica 3,5	HL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 6
Calce idraulica 5	HL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3
Calce idraulica naturale 2	NHL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 15
Calce idraulica naturale 3,5	NHL 3,5	-	-	-	≤ 3	≥ 9
Calce idraulica naturale 5	NHL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3

Nella CL 90 è ammesso un contenuto di MgO fino al 7% se si supera la prova di stabilità indicata in 5.3 della EN 459-2:2001.

Nelle HL e nelle NHL è ammesso un contenuto di SO₃ maggiore del 3% e fino al 7% purché sia accertata la stabilità, dopo 28 giorni di maturazione in acqua, utilizzando la prova indicata nella EN 196-2 "Methods of testing cement: chemical analysis of cement".

Esempio di terminologia delle calci: la sigla EN459-1 CL90Q identifica la calce calcica 90 in forma di calce viva; la sigla EN459-1 DL85-S1 identifica la calce dolomitica 85 in forma di calce semi-idratata.

CALCI IDRAULICHE

Le calci idrauliche oltre che ai requisiti di accettazione di cui al RD 16 novembre 1939, n. 2231 e a quelli della norma UNI 459, devono rispondere alle prescrizioni contenute nella legge 26 maggio 1965, n. 595 "Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici" ed ai requisiti di accettazione contenuti nel DM 31 agosto 1972 "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calci idrauliche" e successive modifiche ed integrazioni. Le calci idrauliche si distinguono in:

- 1) -calce idraulica naturale (NHL) ovverosia il prodotto ottenuto dalla cottura a bassa temperatura (inferiore ai 1000 C°) di marne naturali o calcari più o meno argillosi o silicei con successiva riduzione in polvere mediante spegnimento (con quantità stechiometrica di acqua) con o senza macinazione. Tutte le NHL dovranno avere la proprietà di far presa ed indurire anche a contatto con l'acqua e dovranno essere esenti o quantomeno presentare un bassissimo livello di sali solubili.

Questo tipo di calci naturali potrà a sua volta essere diviso in:

- -calce idraulica naturale bianca, rappresenta la forma più pura: dovrà essere ricavata dalla cottura di pietre calcaree silicee con una minima quantità di impurezze, presentare una quantità bassissima di sali solubili. Risulterà particolarmente indicata per confezionare malte, indirizzate a procedure di restauro che richiedono un basso modulo di elasticità ed un'elevata traspirabilità. In impasto fluido potrà essere utilizzata per iniezioni consolidanti a bassa pressione;
- -calce idraulica naturale "moretta" o "albazzana" a differenza del tipo "bianco" si ricaverà dalla cottura di rocce marnose; risulterà indicata per la confezione di malte per il restauro che richiedono una maggiore resistenza a compressione; il colore naturale di questa calce potrà variare dal nocciolo, al beige, all'avorio fino a raggiungere il rosato;

- 2) -calce idraulica naturale con materiali aggiunti (NHL-Z) in polvere ovverosia, calci idrauliche naturali con materiale aggiunto cioè, quelle calci che contengono un'aggiunta fino ad un massimo del 20% in massa di materiali idraulizzanti a carattere pozzolanico (pozzolana, coccio pesto, trass) contrassegnate dalla lettera "Z" nella loro sigla;

- 3) -calci idrauliche (HL)⁴ ovverosia calci costituite prevalentemente da idrossido di calcio, silicati di calcio e alluminati di calcio prodotti mediante miscelazione di materiali appropriati. Questo tipo di calce dovrà possedere la caratteristica di far presa ed indurire anche in presenza di acqua.

⁴ Le HL (Hydraulic Lime) corrispondono nel mercato italiano a quei leganti che vengono identificati con il termine calce eminentemente idraulica e che commercialmente sono identificati con diciture che declinano, normalmente, con la desinenza CEM o PLAST, in pratica potrebbero essere definiti cementi a bassa resistenza i quali opportunamente "diluiti" con notevole percentuale di materiale inerte macinato finemente (generalmente filler calcareo) e con modeste quantità di additivo aerante, riproducono prestazioni fisico-meccaniche (porosità, resistenza, modulo elastico ecc.) simili a quelle della calce idraulica naturale.

Tabella 2.2 Caratteristiche meccaniche delle calce idrauliche naturali da utilizzare nel restauro

Tipo	NHL 2		NHL 3,5				NHL 5		
Caratteristiche	Calce delicata idonea per lavori su materiali teneri o fortemente decoesi, per legante di tinteggiature alla calce, per stucchi, e strati di finitura per modanature ed intonaci		Calce idonea per interventi su pietre e laterizi, anche parzialmente degradati, intervento di iniezione e sigillature consolidanti, per rappezzi di intonaci, e stillatura di giunti				Calce idonea per la ricostruzione di pietre e modanature, massetti, pavimentazioni, rinzaffi e arricci esposti a contatto con acqua o per betoncino con collaborazione statica		
PROVE	Rapporto impasto		Rapporto impasto				Rapporto impasto		
Resistenza a comp.	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3	1:2	1:2,5	1:3
7 gg. N/mm ²	0,62	0,53	0,47	0,75	0,57	0,53	1,96	1	0,88
7 gg. N/mm ²	REQUISITI UNI EN 459-1 ---		REQUISITI UNI EN 459-1 ---				REQUISITI UNI EN 459-1 ---		
28 gg. N/mm ²	1,48	1,36	1,25	1,88	1,47	1,34	2,20	2,00	1,50
7 gg. N/mm ²	REQUISITI UNI EN 459-1 ≥2 a ≤ 7		REQUISITI UNI EN 459-1 ≥3,5 a ≤ 10				REQUISITI UNI EN 459-1 ≥5 a ≤ 15 (a)		
6 mesi N/mm ²	3,848	3,00	2,88	7,50	5,34	3,94	7,30	5,90	5,31
12 mesi. N/mm ²	4	2,90	2,90	7,50	5,90	3,90	9,28	8,44	6,50
La sabbia avrà una granulometria di 0,075-3 mm									
(a) La NHL 5, con massa volumica in mucchio minore di 0,90 kg/dm ³ , può avere una resistenza a compressione dopo 28 gg fino a 20 MPa									

Tabella 2.3 Caratteristiche fisiche delle calci idrauliche naturali

	NHL 2		NHL 3,5		NHL 5	
PROVE	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA	REQUISITI UNI EN 459-1	MEDIA
Densità	0,4 a 0,8	0,45- 0,55	0,5 a 0,9	0,6-0,66	0,6 a 1,0	0,65-0,75
Finezza a 90 µm	≤ 15%	2 a 5 %	≤ 15%	6,6	≤ 15%	3,12
Finezza a 200 µm	≤ 2	≤ 0,5 %	≤ 5 %	0,48	≤ 5	0,08
Espansione	≤ 2 mm	≤ 1 mm	≤ 2 mm	0,05	≤ 2 mm	0,61 mm
Idraulicità	----	15	---	25	---	43
Indice di bianchezza	---	76	---	72	---	67
Penetrazione	>10 e <20 mm	---	>10 e <50 mm	21	>20 e <50 mm	22,6
Tempo di inizio presa	>1 e <15 h	---	>1 e <15 h	2,5	>1 e < 15 h	3,59
Calce libera	≥ 15 %	50-60%	≥ 9 %	20-25%	≥ 3%	15-20%

Le calci idrauliche sia naturali che artificiali potranno essere classificate anche in rapporto al grado d'idraulicità, inteso come rapporto tra la percentuale di argilla e di calce: al variare di questo rapporto varieranno anche le caratteristiche (valori contenuti nel DM 31 agosto 1972 "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calci idrauliche").

Tabella 2.4 Classificazione calci idrauliche mediante il rapporto di idraulicità (DM 31 agosto 1972)

Calci	Indice di idraulicità	Argilla [%]	Calcare [%]	Presa in acqua [giorni]
Debolmente idraulica	0,10-0,15	5,31-8,20	94,6-91,8	15-30
Mediamente idraulica	0,16-0,31	8,21-14,80	91,7-85,2	10-15
Propriamente idraulica	0,31-0,41	14,81-19,10	85,1-80,9	5-9
Eminentemente idraulica	0,42-0,50	19,11-21,80	80,8-78,2	2-4

7.3.3 GESSO

Il gesso dovrà essere di recente cottura, perfettamente asciutto, di fine macinazione in modo da non lasciare residui sullo staccio di 56 maglie a centimetro quadrato, scevro da materie eterogenee e senza parti alterate per estinzione spontanea. Il gesso dovrà essere conservato in locali coperti, ben riparati dall'umidità e da agenti degradanti; approvvigionato in sacchi sigillati con stampigliato il nominativo del produttore e la qualità del materiale contenuto.

Questo legante non dovrà essere impiegato all'aperto o in ambienti chiusi con elevata umidità relativa, in atmosfere contenenti ammoniaci (ad es., all'interno di stalle) o a contatto con acque ammoniacali, in ambienti con temperature superiori ai 110 °C; infine, non dovrà essere impiegato a contatto di leghe di ferro.

Come legante di colore bianco latte potrà assumere varie caratteristiche a seconda della temperatura di cottura. I gessi per l'edilizia si distingueranno in base alla loro destinazione (per muri, per intonaci, per pavimenti, per usi vari) le loro caratteristiche fisiche (granulometria, resistenza, tempi di presa) e chimiche (tenore solfato di calcio, tenore di acqua di costituzione, contenuto di impurezze) vengono fissate dalla norma UNI 8377 la quale norma fisserà, inoltre, le modalità di prova, controllo e collaudo.

Tabella 2.5 Classificazione dei gessi in base alla temperatura di cottura

Temperature cottura [c°]	Denominazione prodotti	Caratteristiche ed impieghi consigliati
130-160	scagliola gesso da forma	malte per intonaci (macinato più grossolanamente) malte per cornici e stucchi (macinato finemente)
160-230	gesso da stuccatori gesso da intonaci	malte d'allettamento per elementi esenti da funzioni portanti, malte per intonaci, da decorazioni, per confezionare pannelli per murature
230-300	gesso da costruzioni gesso comune	malte d'allettamento o, in miscela con altri leganti, per formare malte bastarde per elementi con funzioni portanti
300-900	gesso morto gesso keene (+ allume)	polvere inerte usata in miscela con leganti organici (colla di pesce o colla animale) per la fabbricazione di stucchi da legno o da vetro o
900-1000	gesso da pavimenti gesso idraulico o calcinato	prodotto che presenta una certa idraulicità con tempi di presa molto lunghi; il gesso, dopo la posa in opera, raggiunge il massimo della

Tabella 2.6 Proprietà dei gessi più comunemente usati

Tipo di gesso	Finezza macinazione		Tempo minimo di presa, (minuti)	Resistenza a trazione minima (kg/cm ²)	Resistenza a flessione minima (kg/cm ²)	Resistenza a compressione minima (kg/cm ²)
	Passante al setaccio da 0,2 mm % (minimo)	Passante al setaccio da 0,09 mm % (minimo)				
scagliola	95	85	15	20	30	40
da costruzione	70	50	7	8	20	50
allumato	90	80	20	12	30	70
da pavimenti	90	80	40			

L'uso di questo legante dovrà essere necessariamente autorizzato dalla D.L.; per l'accettazione di qualsivoglia tipologia di gesso valgono i criteri generali dell'art. 1 del presente Capo e la norma UNI 5371.

7.4 Cementi, cementi speciali

7.4.1 CEMENTI

I cementi, da impiegare in qualsiasi lavorazione, dovranno rispondere ai limiti di accettazione contenuti nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel DM 3 giugno 1968 ("Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi") e successive modifiche e integrazioni (DM 20 novembre 1984 e DM 13 settembre 1993). Tutti i cementi dovranno essere, altresì, conformi al DM n. 314 emanato dal Ministero dell'Industria in data 12 luglio 1999 (che ha sostituito il DM n. 126 del 9 marzo 1988 con l'Allegato "Regolamento del servizio di controllo e certificazione di qualità dei cementi" dell'ICITE - CNR) ed in vigore dal 12 marzo 2000, che stabilisce le nuove regole per l'attestazione di conformità per i cementi immessi sul mercato nazionale e per i cementi destinati ad essere impiegati nelle opere in conglomerato normale, armato e precompresso. I requisiti da soddisfare dovranno essere quelli previsti dalla norma UNI EN 197-2001 "Cemento. Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni" e le norme UNI EN 196/1-7 e 196-21 inerenti i

cementi speciali e la normativa sui metodi di prova ed analisi dei cementi.

A norma di quanto previsto dai decreti sopracitati, i cementi di cui all'art. 1 lett. a) della legge 26 maggio 1965, n. 595 (e cioè i cementi normali e ad alta resistenza Portland, pozzolanico e d'altoforno), se utilizzati per confezionare il conglomerato cementizio normale, armato e precompresso, dovranno essere certificati presso i laboratori di cui all'art. 6 della legge 26 maggio 1965, n. 595 e all'art. 20 della legge 5 novembre 1971, n. 1086. Per i cementi di importazione, la procedura di controllo e di certificazione potrà essere svolta nei luoghi di produzione da analoghi laboratori esteri di analisi. Gli agglomerati cementizi, oltre a soddisfare i requisiti di cui alla legge 595/1965, devono rispondere alle prescrizioni di cui al DM 31 agosto 1972 "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche" e successive modifiche ed integrazioni.

I cementi potranno essere forniti sfusi e/o in sacchi sigillati. Dovranno essere conservati in magazzini coperti, ben ventilati e riparati dall'umidità (preferibilmente sopra pedane di legno) e da altri agenti capaci di degradarli prima dell'impiego. Se sfusi i cementi dovranno essere stoccati in cantiere in appositi silos metallici; i vari tipi e classi di cemento dovranno essere separati ed identificati con appositi cartellini. I prodotti approvvigionati in sacchi dovranno riportare sulle confezioni il nominativo del produttore, il peso, la qualità del prodotto, la quantità d'acqua per malte normali e la resistenza minima a compressione ed a trazione a 28 giorni di stagionatura.

I principali tipi di cemento sono:

1) *cemento Portland (tipo CEM I)*: dovrà presentarsi come polvere fine e pesante, di colore variabile dal grigio bruno al verdognolo, tendente al rossastro nel caso provenga da miscele artificiali; dovrà avere contenuto di costituenti secondari (filler o altri materiali) non superiore al 5%; ovverosia il prodotto ottenuto per macinazione di clinker (consistente essenzialmente in silicati idraulici di calcio) con aggiunto gesso e anidrite (solfato di calcio anidro) dosata nella quantità necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art. 2 legge 595/1965). I cementi Portland, presenteranno scarsa resistenza alle acque marine e, in genere, a tutti gli aggressori di natura solfatica pertanto, quando si opera in località marina o in presenza di corrosivi solfatici (anche di modesta entità) sarà opportuno operare con cementi del tipo III o IV;

2) *cemento Portland con aggiunta, in quantità ridotta, di loppa e/o pozzolana (tipo CEM II)*: detto comunemente cemento Portland rispettivamente alla loppa, alla pozzolana, alle ceneri volanti;

3) *cemento d'altoforno (tipo CEM III)*: dovrà avere contenuto di loppa dal 36% al 95%; la miscela omogenea si otterrà dalla macinazione di clinker Portland e di loppa basica granulata d'altoforno con la quantità di gesso e anidrite necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art. 2 legge 595/1965). Questo cemento, di colore verdognolo, presenterà, grazie alle loppe d'altoforno, un basso calore di idratazione sviluppato durante la presa, una buona resistenza chimica ad attacchi di acque leggermente acide o pure, un modesto ritiro in fase di presa;

4) *cemento pozzolanico (tipo CEM IV)*: con materiale pozzolanico dal 15% al 55%; ovverosia la miscela omogenea si otterrà dalla macinazione del clinker Portland e di pozzolana o di altro materiale a comportamento pozzolanico (tipo argille plastiche torrefatte come ad es. la bentonite) con la quantità di gesso e anidrite necessaria per regolarizzare il processo di idratazione (art. 2 legge 595/1965). Questo tipo di cemento potrà ridurre o eliminare le deficienze chimiche (rappresentate dalla formazione di idrossido di calcio) del cemento Portland. Il calore d'idratazione sviluppato dal cemento pozzolanico risulterà molto inferiore rispetto a quello sviluppato dal Portland di conseguenza, verrà preferito a quest'ultimo per le lavorazioni da eseguirsi in climi caldi ed in ambienti marini;

5) *cemento composito (tipo CEM V)*: si otterrà per simultanea aggiunta di loppa e di pozzolana (dal 18% al 50%);

6) *cemento alluminoso*: (non classificato nella normativa UNI EN 196-1 ma presente nella legge 26 maggio 1965, n. 595 e nel DM 3 giugno 1968) si otterrà dalla macinazione del clinker ottenuto dalla cottura di miscele di calcare e alluminati idraulici (bauxite). I tempi di presa risulteranno simili a quelli dei normali cementi mentre l'indurimento è nettamente più rapido (7 gg. contro i 28 gg.). Questo legante potrà essere impiegato per lavori da eseguire in somma urgenza dove è richiesto un rapido indurimento (disarmo dopo 5-7 gg); dove occorra elevata resistenza meccanica (titolo 52,5); per gettare a temperature inferiori allo 0 °C (fino a -10 °C); per opere in contatto con solfati, oli, acidi e sostanze in genere aggressive per gli altri cementi; per impiego in malte e calcestruzzi refrattari per temperature fino a circa 1300 °C. Dei cementi alluminosi si potrà disporre di due tipi speciali: a presa lenta con ritiro contenuto (inizio presa dopo 15 ore, termine presa dopo altre 15 ore) e a presa rapida (inizio presa dopo 1 ora e termine dopo 2 ore).

Esempio di terminologia del cemento: la sigla CEM II A-L 32,5 R identifica un cemento Portland al calcare con clinker dal 80% al 94% (lettera A) e con calcare dal 6% al 20% (lettera L), classe di resistenza 32,5, con alta resistenza iniziale (lettera R).

Tabella 3.1 -Classificazione tipi di cemento con relativa composizione: le percentuali in massa riferiti al nucleo del cemento, escludendo solfato di calcio e additivi (UNI EN 197-1)

Tipo	Denominazione	Sigla	Clinker	Loppa d'alto forno granulare	Microsilice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato	Calcare	Cost.
						Naturale	Indust.	Silice	Calcica			
			K	S	D	P	Q	V	W			
I	Cemento Portland	I	95-100	---	---	---	---	---	---	---	---	0-5
	Cemento Portland alla loppa	II A-S	80-94	6-20	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		II B-S	65-79	21-35	---	---	---	---	---	---	---	0-5
	Cemento Portland alla microsilice	II A-D	90-94	---	6-10	---	---	---	---	---	---	0-5
	Cemento Portland alla pozzolana	II A-P	80-94	---	---	6-20	---	---	---	---	---	0-5
		II B-P	65-79	---	---	21-35	---	---	---	---	---	0-5
		II A-Q	80-94	---	---	---	6-20	---	---	---	---	0-5
		II B-Q	65-79	---	---	---	21-35	---	---	---	---	0-5
II	Cemento Portland alle ceneri volanti	II A-V	80-94	---	---	---	---	6-20	---	---	---	0-5
		II B-V	65-79	---	---	---	---	21-35	---	---	---	0-5
		II A-W	80-94	---	---	---	---	---	6-20	---	---	0-5
		II B-W	65-79	---	---	---	---	---	21-35	---	---	0-5

	Cemento Portland allo scisto calcinato	II A-T	80-94	---	---	---	---	---	---	6-20	---	0-5
		II B-T	65-79	---	---	---	---	---	---	21-35	---	0-5
	Cemento Portland al calcare	II A-L	80-94	---	---	---	---	---	---	---	6-20	0-5
		II B-L	65-79	---	---	---	---	---	---	---	21-35	0-5
	Cemento Portland composito	II A-M	80-94	6-20								
		II B-M	65-79	21-35								
III	Cemento d'altoforno	III A	35-64	36-65	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		III B	20-34	66-80	---	---	---	---	---	---	---	0-5
		IIIC	5-19	81-95	---	---	---	---	---	---	---	0-5
IV	Cemento pozzolanico	IV A	65-89	---	11-35				---	---	---	0-5
		IV B	45-64	---	36-55				---	---	---	0-5
V	Cemento composito	V A	40-64	18-30	---	18-30			---	---	---	0-5
		V B	30-39	31-50	---	31-50			---	---	---	0-5

I costituenti secondari possono essere filler oppure uno o più costituenti principali, salvo che questi non siano inclusi come costituenti principali del cemento.

La proporzione di microsilice è limitata al 10%.

La proporzione di loppa non ferrosa (pozzolana industriale) è limitata al 15%.

La proporzione di filler silicico nella Cenere Volante è limitata al 5%.

9 I coloranti più usati sono per il nero il nero manganese; per il rosso l'ossido di ferro; per il blu l'oltremare puro o il blu cobalto; per i verdi l'ossido di cromo; per i gialli l'ocra.

I diversi tipi di cemento dovranno essere forniti in varie classi di solidificazione, contrassegnate dal colore dei sacchi d'imballaggio o, nel caso in cui si utilizzi cemento sfuso, dal colore della bolla d'accompagnamento che deve essere attaccata al silo. I cementi appartenenti alle classi di resistenza 32,5 42,5 e 52,5 verranno classificati in base alla resistenza iniziale in cementi con resistenza iniziale normale e resistenza più alta (sigla aggiuntiva R). I cementi normali (portland, pozzolanico o d'altoforno) contraddistinti dalla sigla 22,5 potranno essere utilizzati esclusivamente per sbarramenti di ritenuta.

Tabella 3.2 Classificazione tipi di cemento mediante classi di solidità e colorazione di riconoscimento

Classe di solidità titolo	Resistenza alla tensione di compressione N/mm²				Colorazione di riconoscimento	Colore della scritta	Tempo di inizio presa mm	Espansione mm
	Resistenza iniziale		Solidità normale					
	2 giorni	7 giorni	28 giorni					
32,5	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	Marrone chiaro	Nero	≥ 60	≥ 10
32,5 R	≥ 10	-				Rosso		
42,5	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5	Verde	Nero		
42,5 R	≥ 20	-				Rosso		
52,5	≥ 20	-	52,5	-	Rosso	Nero	≥ 425	
52 5 R	≥ 30	-				bianco		

7.4.2 CEMENTI SPECIALI

Sono così definiti quei cementi che presenteranno resistenze fisiche inferiori o requisiti chimici diversi da quelli stabiliti per i cementi normali, differenze dovute a miscele di particolari composti o da elevate temperature di cottura ovvero dall'uso di additivi tipicamente specifici.

1) *Cementi bianchi*: simili come comportamento agli altri cementi comuni Portland. Dovranno essere ricavati dalla cottura di marne (caolini e calcari bianchi mineralogicamente puri) prive del tutto o con una quantità limitatissima di ossidi di ferro e di manganese; gli eventuali residui dovranno essere eliminati con trattamento fisico-chimico. Il bianco del cemento dovrà essere definito dalle ditte produttrici con tre parametri diversi: brillantezza⁵, lunghezza d'onda dominante⁶ e purezza⁷; inoltre, potrà anche essere definito con l'indice di bianchezza⁸ (contenuto per un cemento industriale tra 70 e 90). Questo tipo di cemento potrà essere utilizzato per opere di finitura quali stucchi ed intonaci, per opere in pietra artificiale è, inoltre, utilizzabile, in piccole quantità negli impasti a base di calce aerea (intonachini, sagramature, copertine creste dei muri ecc.) così da aumentarne la resistenza meccanica ma permettere ugualmente la permeabilità al vapore d'acqua.

2) *Cementi colorati*: dovranno essere ottenuti dai cementi bianchi miscelati con polvere della stessa finezza, costituita da ossidi, pigmenti minerali⁹, o simili in proporzione mai superiore al 10% così da evitare impedimenti di presa ed eccessivi ritiri.

3) *Cementi soprasolfati*: cementi di natura siderurgica che dovranno costituirsi di una miscela di loppa granulata d'altoforno in percentuale dell'80%-85% da gesso o anidrite in percentuale del 10% e da clinker di cemento Portland per circa il 5%. Dovranno essere utilizzati per opere marine e strutture in calcestruzzo a contatto con soluzioni acide. Non risulteranno adatti per operazioni di recupero e/o restauro conservativo.

4) *Cementi ferrici*: dovranno costituirsi di miscele ricche d'ossido di ferro e polvere di allumina, macinando congiuntamente e sottoponendo a cottura mescolanze di calcare, argilla e ceneri di pirite; per questo dovranno contenere più ossido ferrico che allumina, ed essere quasi totalmente privi di alluminato tricalcico. La loro caratteristica preminente, oltre a presentare un buon comportamento con gli aggressori chimici, è quella di avere minor ritiro degli altri cementi ed un più basso sviluppo di calore di idratazione; risulterà adatto per le grandi gettate.

5 Espressa come percentuale tra luce riflessa da una superficie di cemento e quella riflessa da una uguale superficie di ossido di magnesio considerato il corpo bianco ideale.

6 Ovvero la tonalità della sfumatura che caratterizza il bianco, la lunghezza d'onda dominante varia tra il giallo e l'azzurro.

7 Ovvero l'intensità della sfumatura, la purezza sarà misurata dalla percentuale di colore, inferiore al 5%.

8 Ovvero il rapporto tra il coefficiente di riflessione del cemento bianco e quello di solfato di bario assunto come riferimento.

5) *Cementi espansivi*: dovranno essere ricavati da miscele di cemento Portland ed agenti espansivi intesi a ridurre od eliminare il fenomeno del ritiro. Generalmente, potranno essere distinti in due tipi: a ritiro compensato allorché l'espansione sia simile al ritiro (agente espansivo solfoalluminato di tetracalcio), espansivi auto-compresi quando l'espansione risulterà superiore al ritiro (agente espansivo ossido di calcio e/o magnesio). Entrambe le tipologie dovranno essere impiegate miscelandole con l'esatto quantitativo d'acqua consigliato dal produttore, gli sfridi, una volta rappresi, dovranno essere

trasportati a rifiuto. Affinché l'espansione avvenga correttamente sarà necessario provvedere ad una corretta stagionatura in ambiente idoneo.

6) *Cementi a presa rapida o romano*: miscele di cemento alluminoso e di cemento Portland (con rapporto in peso fra i due leganti prossimi a uno da impastarsi con acqua), con idonei additivi tali da permettere le seguenti prestazioni: inizio presa entro un minuto dalla messa in opera e termine presa non più di trenta minuti. L'impiego dovrà essere riservato e limitato ad opere aventi carattere di urgenza o di provvisorietà e con scarse esigenze statiche.

7.5 Leganti sintetici

Le resine sono polimeri ottenuti partendo da molecole di composti organici semplici. In qualsiasi intervento di manutenzione e restauro sarà fatto divieto utilizzare prodotti di sintesi chimica senza preventive analisi di laboratorio, prove applicative, schede tecniche e garanzie da parte delle ditte produttrici. Su manufatti di particolare valore storico-architettonico nonché archeologico il loro utilizzo sarà vietato, salvo comprovata compatibilità fisica, chimica e meccanica con i materiali direttamente interessati all'intervento o al loro contorno. I polimeri organici possono essere disponibili sotto varie forme:

- -leganti sia per incollaggi (adesivi strutturali), stuccature, iniezioni e sigillature di quadri fessurativi, sia sotto forma di resine emulsionabili in acqua per pitture ed intonaci che presentano un basso grado di assorbimento dell'acqua liquida ed una elevata durabilità;
- -additivi per malte e pitture al fine di migliorare l'idrorepellenza, la velocità d'indurimento e le caratteristiche fisico-chimiche dell'impasto ovvero della pittura;
- -impregnanti consolidanti per materiali lapidei quali pietre naturali, laterizi, stucchi, cls ecc.;
- -impregnanti idrorepellenti per materiali lapidei quali pietre naturali, laterizi, stucchi, cls ecc. capaci di costituire una efficace barriera contro l'acqua;
- -impregnanti idro ed oleorepellenti per il trattamento di materiali porosi particolarmente esposti agli agenti inquinanti atmosferici.

Le caratteristiche meccaniche, le modalità applicative e gli accorgimenti antinfortunistici dei leganti sintetici sono regolati dalle norme UNICHIM. Mentre le analisi di laboratorio relative alle indagini preliminari per la scelta dei materiali saranno quelle stabilite dalle indicazioni fornite dalle raccomandazioni NorMaL.

La loro applicazione dovrà sempre essere eseguita da personale specializzato nel rispetto della normativa sulla sicurezza degli operatori/applicatori.

RESINE ACRILICHE

Prodotti termoplastici (molecole a catena lineare); si otterranno polimerizzando gli acidi acrilico, metacrilico e loro derivati. Questa classe di resine, nella maggior parte dei casi solubili in idonei solventi organici, presenterà buona resistenza all'invecchiamento, alla luce, agli agenti chimici dell'inquinamento, ma dimostrerà scarsa capacità di penetrazione tanto, che potrà risultare difficile raggiungere profondità superiori a 0,5-1 cm (con i solventi alifatici clorurati si potranno ottenere risultati migliori per veicolare la resina più in profondità). Possiedono in genere buona idrorepellenza che tenderà però, a decadere nel tempo; se il contatto con l'acqua si protrarrà per tempi superiori alle 90 ore, tenderanno, inoltre, a dilatarsi. I prodotti acrilici sono, di norma commercializzati solidi in polveri, granuli o scaglie, in emulsione acquosa in soluzione di solventi.

Le resine acriliche come del resto le emulsioni acriliche pure (ovvero al 100%) potranno essere utilizzate in dispersione acquosa (ovvero un miscuglio eterogeneo contenente una percentuale variabile di resina acrilica o di emulsione acrilica pura) sia come legante per pigmenti naturali e/o sintetici in polvere, sia come additivo per malte da sigillatura o iniezione (se non diversamente specificato per un impasto di calce ed inerti in rapporto di 1:3 si aggiungerà 5-10% di emulsione acrilica) conferendo a questi impasti un più veloce indurimento in superficie, un miglioramento delle caratteristiche fisico-chimiche (tenacità, durezza, resistenza nel tempo ed agli agenti chimici, resistenza all'abrasione, alla trazione, alla compressione, alla flessione, all'impatto ed agli effetti del gelo) e un netto aumento di adesività su materiali quali laterizio, legno e cemento.

RESINE EPOSSIDICHE

Prodotti termoindurenti (molecole tridimensionali); si otterranno dalla formazione di catene con due tipi di molecole con una gamma illimitata di variazioni possibili (questa caratteristica fa sì che non esista un solo tipo di resina epossidica, ma svariati formulati epossidici che cambieranno di volta in volta le proprie caratteristiche a seconda, sia del rapporto resina-indurente, sia degli eventuali additivi plastificanti, fluidificanti, acceleranti ecc.); presentano il vantaggio di poliaddizionarsi senza produrre sottoprodotti che porterebbero ad un aumento di volume. Si distinguono dalle resine acriliche per l'elevato potere collante che ne giustifica l'uso come adesivo strutturale; presentano una buona resistenza chimica (soprattutto agli alcali), resistano molto bene all'acqua ed ai solventi organici. I maggiori pregi delle resine epossidiche risiederanno nelle loro elevate proprietà meccaniche (resistenze a compressione, a trazione, a flessione), nella perfetta adesione al supporto e nel ritiro molto limitato durante l'invecchiamento (meno di 1%); gli svantaggi sono riconducibili alla difficoltà di penetrazione (dovuta all'elevata viscosità), alla bassa resistenza al calore ed ai raggi ultravioletti (con i conseguenti fenomeni d'ingiallimenti e sfarinamento superficiale).

Gli adesivi epossidici (ovvero resine utilizzate come leganti per ricongiungere frammenti distaccati), normalmente utilizzabili saranno liquide con indurente a lenta o a rapida reattività (da utilizzare per consolidamenti o più spesso per intasamento delle fessure o per impernature) o in pasta lavorabili con indurente a lenta o a rapida reattività (per stuccature, ponti di adesione, piccole ricostruzioni e fissaggio perni) in questo secondo caso si provvederà ad intervenire, in fase di formulazione, aggiungendo additivi tissotropizzanti. Di norma questi adesivi saranno totalmente esenti da solventi, non subiranno ritiro durante l'indurimento e grazie alla loro natura tixotropica potranno essere facilmente applicabili anche su superfici verticali in consistenti spessori.

Orientativamente le caratteristiche richieste in relazione sia allo specifico utilizzo (formulati per iniezione, per impregnazione, per betoncini colabili, per incollaggi strutturali ecc.) sia al materiale (cemento armato, muratura, legno ecc.)

dovranno essere le seguenti:

tipo di formulato	;	
tipo di resina	;	
colore impasto	;	
consistenza impasto	;	
peso specifico (g/cm ³)	;	
punto di infiammabilità °C	;	
ritiro %	;	
viscosità (impasto) mPas	;	
pot life (a + 10 °C)	(a + 24 °C)	(a + 30 °C)
tempo di presa (a + 10 °C)	(a + 24 °C)	(a + 30 °C)
indurimento completo (giorni)	;	
resistenza a trazione (N/mm ²)	;	
allungamento a trazione %	;	
resistenza a flessotrazione (N/mm ²)	;	
resistenza a compressione (N/mm ²)	;	
modulo elastico (N/mm ²)	;	

Nota per il compilatore: completare la scheda e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare, per ogni tipologia di resina epossidica (ovvero per ogni tipologia di utilizzo), le caratteristiche, i valori accettazione ed i metodi di controllo facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

RESINE FLUORURATE

Più precisamente copolimeri fluorurati, presentano notevoli proprietà elastiche e grande stabilità chimica; questi prodotti non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già pre-polimerizzati, pertanto non subiranno alterazioni nel corso dell'invecchiamento e di conseguenza non varieranno le loro proprietà. Disciolti in solventi organici (di norma acetone o acetato di butile) potranno essere utilizzati come legante per isolare in maniera efficace fessure e rotture da stuccature o sigillare; possono inoltre essere impiegati per ripristini da eseguirsi con lo stesso materiale oggetto di restauro. La preparazione dell'impasto, se non diversamente specificato, prevedrà l'unione di una parte in peso di resina a 3 parti di inerte ricavato, preferibilmente, dalla macinazione della stessa pietra. L'impasto dovrà essere ben mescolato fino ad ottenere la consistenza voluta. Sarà consigliabile non eseguire alcun intervento sulla stuccatura prima di 1 ora dalla stesura della stessa. Queste resine sono completamente reversibili in acetone anidro.

RESINE POLIESTERE

Resine derivate dalla reazione di policondensazione dei glicoli con gli acidi bi-basici insaturi o loro anidridi. Prima dell'indurimento potranno essere impastati con fibre di vetro, o sintetiche così da migliorare la resistenza dei prodotti finali. Come riempitivi possono essere usati polveri di varia granulometria di calcari, gesso, o sabbie. La resistenza a raggi solari e U.V. è abbastanza bassa, specialmente per prodotti reticolari con monomeri aromatici, mentre la resistenza meccanica e le proprietà adesive sono abbastanza buone. La resina potrà presentare un certo ritiro del volume (sino ad 8-10%) che la rende non proprio adatta per riempire le fessure del materiale lapideo, al contrario potranno essere utilizzate come collanti per congiungimenti o il fissaggio di perni, barre filettate, tiranti ecc. anche se sarà necessario evitare che la resina raggiunga la superficie estrema poiché per esposizione alla luce darebbe marcate variazioni di colore. Orientativamente il pot life a 20 °C sarà di circa 5-7 minuti e il tempo di fissaggio intorno ai 40-60 minuti.

Le caratteristiche meccaniche, le modalità d'applicazione e gli accorgimenti antinfortunistici sono regolati dalle norme UNICHIM.

7.6 Materiali inerti per malte, stucchi e conglomerati

L'analisi granulometrica, atta a definire la pezzatura di sabbie, ghiaie e pietrischi dovrà essere eseguita utilizzando i crivelli ed i setacci indicati nelle norme UNI 2332-1 e UNI 2334. Sarà, pertanto, obbligo dell'Appaltatore, mettere a disposizione della D.L. detti crivelli così che possa eseguire il controllo granulometrico. Il diametro massimo dei grani dovrà essere scelto in funzione del tipo di lavorazione da effettuare: malta per intonaco, malta per stuccatura, malta per sagramatura, malta per riprese, impasti per getti, impasti per magroni ecc. Gli aggregati per le malte dovranno altresì essere conformi alle norme UNI EN 13139:2003.

GHIAIA E PIETRISCO

Le ghiaie saranno costituite da elementi di forma arrotondata di origine naturale, omogenei pulitissimi ed esenti da materie terrose argillose e limacciose e dovranno provenire da rocce compatte (calcaree o silicee), non gessose ad alta resistenza a compressione, dovrà, inoltre, essere ben assortita. Priva di parti friabili ed, eventualmente, lavata con acqua dolce al fine di eliminare materie nocive. I pietrischi (elementi di forma spigolosa di origine naturale o artificiale) oltre ad essere anch'essi scevri da materie terrose, sabbia e materie eterogenee, potranno provenire dalla spezzettatura di rocce durissime, preferibilmente silicee, a struttura microcristallina, o calcari puri durissimi e di alta resistenza alla compressione (minimo 1200 kg/cm²), all'urto e all'abrasione, al gelo ed avranno spigolo vivo. Entrambe le tipologie di inerti dovranno avere dimensioni massime (prescritte dalla D.L.) commisurate alle caratteristiche di utilizzo. Le loro caratteristiche tecniche dovranno essere quelle stabilite dal DM 9 gennaio 1996, Allegato 1, punto 2 e dalla norma UNI 8520. In ogni caso le dimensioni massime dovranno essere commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed

all'ingombro delle armature.

Nel dettaglio gli elementi costituenti ghiaie e pietrischi dovranno essere di dimensioni tali da:

- -passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 50 mm se utilizzati per lavori di fondazione o di elevazione, muri di sostegno, rivestimenti di scarpata ecc.
- passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 40 mm se utilizzati per volti di getto;
- -passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 30 mm se utilizzati per cappe di volti, lavori in cemento armato, lavori a parete sottile.

In ogni caso, salvo alcune eccezioni, gli elementi costituenti ghiaie e pietrischi dovranno essere tali da non passare attraverso un setaccio con maglie circolari del diametro di 10 mm.

Tabella 5.1 Classificazione della ghiaia e del pietrisco in base alla loro granulometria

Tipo		Granulometria in mm	Utilizzo
Ciottoli o "pillole di fiume"		80-100	pavimentazioni stradali
GHIAIA rocce	grossa o ghiaione	50-80	riempimenti, vespai, massicciate, sottofondi
	mezzana	20-50	riempimenti, solai, getti
	ghiaietto o "pisello"	10-20	riempimenti, solai, getti
	granello o "risone"	7-10	rinzaffi ad alto spessore, zoccolature, bugnati, pavimentazioni, piccoli getti
PIETRISCO rocce	grosso	40/71	riempimenti, vespai, getti
	ordinario	25/40 15/25	pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
	pietrischetto	10/15	pavimentazioni stradali, getti, riempimenti
GRANIGLIA marmo	graniglia grossa	5/20	pavimenti a seminato, a finto mosaico
	graniglia media	2,5/11	pavimenti a seminato, a finto mosaico, battuti
	graniglia minuta	0,5/5	marmette di cemento, pavimenti a seminato, battuti

SABBIE

Le sabbie vive o di cava, di natura silicea, quarzosa, granitica o calcarea ricavate dalla frantumazione di rocce con alta resistenza alla compressione, né gessose, né gelive dovranno essere: ben assortite, costituite da grani resistenti, prive di materie terrose, argillose, limacciose, polverulenti, di detriti organici e sostanze inquinanti; inoltre, avere un contenuto di solfati e di cloruri molto basso. Le sabbie dovranno, altresì essere scricchiolanti alla mano, ed avere una perdita di peso non superiore al 2% se sottoposte alla prova di decantazione in acqua. Sarà assolutamente vietato l'utilizzo di sabbie marine o di cava che presentino apprezzabili tracce di sostanze chimiche attive.

L'appaltatore dovrà mettere a disposizione della direzione lavori i vagli di controllo (stacci) di cui alla citata norma UNI 2332 per il controllo granulometrico. In particolare:

- *-la sabbia per murature* in genere dovrà essere costituita da grani di dimensioni tali da passare attraverso lo staccio 2 (UNI 2332-1);
- *-la sabbia per intonaci, stuccature e murature di paramento* od in pietra da taglio dovrà essere costituita da grani passanti attraverso lo staccio 0,5 (UNI 2332-1);
- *-la sabbia per i conglomerati cementizi* dovrà essere conforme a quanto previsto nell'Allegato 1 del DM 3 giugno 1968 e dall'Allegato 1, punto 1.2, del DM 9 gennaio 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche". I grani dovranno avere uno spessore compreso tra 0,1 mm e 5,0 mm (UNI 2332) ed essere adeguati alla destinazione del getto ed alle condizioni di posa in opera.

Le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno, salvo diverse specifiche di progetto, essere costituite da granuli del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%. La sabbia, all'occorrenza, dovrà essere lavata con acqua dolce, anche più volte, al fine di eliminare qualsiasi sostanza inquinante e nociva. L'accettabilità della sabbia verrà definita con i criteri indicati all'art. 6 del DR 16 novembre 1939, n. 2229, nell'Allegato 1 del DM 3 giugno 1968 e nell'Allegato 1, punto 2 del DM 27 luglio 1985; la distribuzione granulometrica dovrà essere assortita e comunque adeguata alle condizioni di posa in opera.

Tabella 5.2 Classificazione delle sabbie in base alla loro granulometria

	Tipo	Granulometria in mm	Utilizzo
SABBIA silice, calcare	Grossa o sabbione	2/6	malta da costruzione, arriccio, rinzafo (spessore 2-5 cm), calcestruzzi
	media	1/2	malta da rasatura, arriccio, intonachino, malta da allettamento
	fina	0,5/1	finiture, stuccature, iniezioni di consolidamento
	finissima	0,05-0,5	rifiniture, decorazioni, stuccature, iniezioni di consolidamento

POLVERI

Ricavate dalla macinazione meccanica di marmi (carrara, verona, botticino ecc.) e pietre (silice ventilata, silice micronizzata) dovranno possedere grani del diametro di circa 50-80 micron e saranno aggiunte, dove prescritto dal progetto o dalla D.L., alla miscela secca di sabbie in quantitativo, salvo diverse prescrizioni, di circa 10-15% in peso.

La silice micronizzata si presenta come una polvere bianca, amorfa ai raggi X, con grandezza delle particelle primarie di 5-30 nanometri. Le caratteristiche principali sono: effetto addensante, tixotropante, antisedimentante, rinforzante per elastomeri, miglioramento dell'effetto di scorrimento delle povere ed effetto assorbente.

PIETRA MACINATA

Inerti ottenuti dalla frantumazione naturale di rocce calcaree e/o sedimentarie, appartenenti al gruppo delle arenarie, proveniente direttamente da cave o da materiale di recupero della stessa fabbrica in questo caso, preventivamente alla macinazione, sarà cura dell'appaltatore provvedere ad una accurata pulizia seguita da cicli di lavaggio e asciugatura così da rimuovere eventuali tracce di sostanze inquinanti ed impurità varie. La pietra macinata, se non diversamente specificato, dovrà possedere le seguenti caratteristiche: buona resistenza a compressione; bassa porosità così da garantire un basso coefficiente di imbibizione; assenza di composti idrosolubili (ad es. gesso); assenza di sostanze polverose, argillose o di terreno organico.

Il materiale derivato dalla frantumazione delle pietre proveniente da cave (da utilizzare per intonaci e stuccature) dovrà, necessariamente, essere dapprima accuratamente ventilato ed in seguito lavato più volte con acqua dolce così da asportare la polvere di macinazione che ricoprendo i granuli dell'inerte potrebbe compromettere l'utilizzo. L'inerte macinato sarà, di norma, classificato, in base alla sua granulometria, in:

- fine da 0,3 a 1 mm;
- media da 1 a 3 mm;
- grossa da 3 a 5 mm;
- molto grossa da 5 a 10 mm.

Per il controllo granulometrico sarà cura dell'appaltatore fornire alla D.L. i crivelli ed i setacci indicati nelle norme UNI 2332-1 e UNI 2334.

POZZOLANA

Le pozzolane (tufo trachitico poco coerente e parzialmente cementato di colore grigiastro, rossastro o bruno) dovranno essere ricavate da strati mondi da cappellaccio ed esenti da sostanze eterogenee o di parti inerti ed essere di grana fine (dimensione massima dei grani della pozzolana e dei materiali a comportamento pozzolanico inferiore ai 5 mm), asciutte ed accuratamente vagliate, con resistenza a pressione su malta normale a 28 gg di 2,4 N/mm², resistenza a trazione su malta normale a 28 gg. di 0,4 N/mm² e residuo insolubile non superiore al 40% ad attacco acido basico. Qualunque sia la provenienza dovranno rispondere a tutti i requisiti prescritti dal RD 16 novembre 1939, n. 2230.

COCCIO PESTO

Granulato di coccio macinato disidratato, dovrà essere ricavato dalla frantumazione di laterizio a pasta molle, mattoni, tavelle e coppi fatti a mano cotti a bassa temperatura (< a 950°C); a seconda delle zone di provenienza potrà presentare un colore da toni variabile dal giallo al rosso. Risulterà reperibile in diverse granulometria: a grana impalpabile 00-0, polvere 0-1,2 mm, fine 1,2-3 mm, media 3-8 mm, grossa 8-20 mm. La polvere di coccio pesto dovrà essere lavata al fine di eliminare qualsiasi sostanza inquinante e nociva. Per le sue caratteristiche di pozzolanicità e traspirabilità potrà essere usato per la produzione di malte ed intonaci naturali anche con spessori consistenti.

METACAOLINO

Il metacaolino (Al₂O₃2SiO₂), ottenuto per calcinazione a 730 °C del caolino (argilla primaria caratterizzata da un alto contenuto di silice e allumina attive) per le sue caratteristiche di pozzolanicità e traspirabilità potrà essere usato per la produzione di malte ed intonaci a marmorino ma anche per il consolidamento d'intonaci mediante iniezioni in profondità. Caratteristiche: colore bianco (grado 85,5 metodo ISO); ossido di silicio 47%; ossido di alluminio 37,8%; ossido di ferro

0,6%; pH al 10% in acqua $5,0 \pm 0,5$; peso specifico $2,3 \text{ gr/dm}^3$.

ARGILLE ESPANSE

Materiali da utilizzare principalmente come inerti per il confezionamento di calcestruzzi alleggeriti; in genere si ottengono tramite cottura di piccoli grumi ottenuti agglomerando l'argilla con poca acqua. Ogni granulo di colore bruno dovrà presentare: forma rotondeggiante (diametro compreso tra gli 8 e i 15 mm), essere scevro da sostanze organiche, polvere od altri elementi estranei, non essere attaccabile da acidi, e conservare le sue qualità in un largo intervallo di temperatura. Di norma le argille espanse saranno in grado di galleggiare sull'acqua senza assorbirla. Sarà, comunque, possibile utilizzare argille espanse pre-trattate con resine a base siliconica in grado di conferire all'inerte la massima impermeabilità evitando fenomeni di assorbimento di acque anche in minime quantità.

Con appositi procedimenti i granuli potranno anche essere sinterizzati e trasformati in blocchi leggeri (mattoni, mattoni forati) da utilizzare, eventualmente, per pareti isolanti.

POMICE ED ALTRI INERTI NATURALI LEGGERI

Gli inerti leggeri di pomice dovranno essere formati da granuli leggeri di pomice asciutti e scevri da sostanze organiche, polveri od altri elementi estranei. Dovranno possedere la granulometria prescritta dagli elaborati di progetto. Per quanto riguarda gli aggregati leggeri nel caso di utilizzo per miscele strutturali dovranno necessariamente possedere resistenza meccanica intorno ai valori di 15 N/mm^2 .

7.7 Elementi di laterizio e calcestruzzo

Gli elementi resistenti artificiali da impiegare nelle murature (elementi in laterizio ed in calcestruzzo) potranno essere realizzati in laterizio normale, laterizio alleggerito in pasta, calcestruzzo normale, calcestruzzo alleggerito, calcestruzzi cellulari; essere dotati di fori in direzione normale al piano di posa (elementi a foratura verticale) oppure in direzione parallela (elementi a foratura orizzontale).

Gli elementi resistenti, quando impiegati nella costruzione di murature portanti, dovranno, necessariamente, rispondere alle prescrizioni contenute nel DM LLPP n. 103 del 20 novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" (d'ora in poi DM 103/1987). Rientreranno in queste prescrizioni anche i mattoni da "paramento" ovverosia, quelli utilizzati per rivestimenti esterni ma che hanno, contemporaneamente una funzione portante.

Nel caso di murature non portanti, le suddette prescrizioni insieme alle norme UNI 8942 "Prodotti di laterizio per murature" potranno costituire un utile riferimento. Le eventuali prove su detti elementi dovranno essere condotte secondo le prescrizioni di cui alla norma UNI 772 "Metodi di prova per elementi di muratura".

Tabella 6.1 Tipologie degli elementi resistenti artificiali e spessori minimi dei muri (DM 20/11/87)

Tipo di elemento	ϕ	Elementi resistenti in laterizio		Elementi resistenti in calcestruzzo	
		f (cm ²)	Spessore minimo (cm)	f (cm ²)	Nessun limite di spessore
Mattone pieno	$\leq 15\%$	≤ 9	12		
Mattone e blocchi semipieni	15% --- 45%	≤ 12	20	$\leq 0,10 A$	con $A \leq 900 \text{ cm}^2$
Mattone e blocchi forati	45% --- 55%	≤ 15	25	$\leq 0,15 A$	con $A > 900 \text{ cm}^2$
<p>Mattoni = elementi resistenti artificiali aventi forma parallelepipedica Blocchi = elementi resistenti artificiali di grande formato con volume maggiore di circa 5500 cm^3 A = area lorda della faccia forata delimitata dal suo perimetro F = area complessiva dei fori passanti e profondi non passanti f = area media di un foro (solo per il laterizio) j = $100 \times F/A$ = percentuale di foratura</p>					

Saranno considerati **pieni** i mattoni trafilati (tipo A massiccio, tipo B a tre fori), quelli pressati che presentano incavi di limitata profondità destinati ad essere riempiti dal letto di malta, nonché i pressati cellulari (mattoni dotati di fori profondi ma non passanti). Dimensioni UNI $5,5 \times 12 \times 25 \text{ cm}$ e $6 \times 12 \times 24 \text{ cm}$.

Saranno considerati **semipieni** i laterizi per murature destinati, di norma, ad essere messi in opera con i fori verticali, con apprezzabili caratteristiche di resistenza (foratura pesante). I blocchi semipieni potranno essere prodotti con laterizio "alveolato", ovverosia dotato di porosità uniforme tale da ridurre il peso a $1600-1400 \text{ kg/m}^3$. I laterizi semipieni si distingueranno in: mattone semipieno tipo pesante o leggero (dim. $5,5 \times 12 \times 25 \text{ cm}$; $6 \times 12 \times 24 \text{ cm}$; - da paramento - dim. doppio UNI $12 \times 12 \times 25 \text{ cm}$) blocco forato (dim. $12/15 \times 25 \times 25 \text{ cm}$; $20 \times 20 \times 40 \text{ cm}$), e blocco forato ad incastro (dim. $20 \times 25 \times 30 \text{ cm}$; $20 \times 30 \times 45 \text{ cm}$; $20 \times 30 \times 50 \text{ cm}$).

Saranno denominati **forati** i laterizi per murature destinati di norma ad essere posti in opera con i fori orizzontali; se non diversamente specificato si classificheranno in:

- *foratino* o "*stiaccione*" (tre fori dim. $5 \times 15 \times 30 \text{ cm}$);
- *forato comune* (sei fori dim. $8 \times 12 \times 25 \text{ cm}$);
- *foratella* o *tramezza* (otto-dieci fori dim. $8/12 \times 25 \times 25 \text{ cm}$);
- *foratone* (dodici fori dim. $12 \times 24 \times 24 \text{ cm}$, $15 \times 24 \times 30 \text{ cm}$).

A seconda del grado di cottura i laterizi (mattone pieno e semipieno, mezzo mattone, tre quarti, quarto o "bernardino",

mezzolungo o "tozzetto", mezzana, pianella) potranno essere distinti in:

- a) *albasì*, poco cotti, porosi, di colore chiaro (rosa o giallo), scarsamente resistenti, di norma non adatti come materiale per funzioni strutturali;
- b) *mezzanelli dolci*, più rossi dei precedenti, ma con resistenza ancora piuttosto bassa;
- c) *mezzanelli forti*, di colore rosso vivo, poco porosi, con resistenza a compressione, nel caso di mattoni pieni, comprese tra 25 e 40 MPa;
- d) *ferrioli*, troppo cotti, di colore rosso scuro (tendente al bruno), poco porosi in superficie, poco aderenti alle malte.

Il colore, oltre che dalla temperatura di cottura e dalla durata di tale trattamento, dipenderà anche dal tenore degli ossidi di ferro, dei silicati e del calcare presente nella miscela argillosa, e potrà variare dal giallo al rosso, più o meno cupo.

Prodotti comuni: i mattoni pieni per uso corrente dovranno essere a forma di parallelepipedo regolare, di lunghezza doppia della larghezza, di modello costante, avere una colorazione il più uniforme possibile nonché presentare, sia all'asciutto che dopo la prolungata immersione nell'acqua, una resistenza alla compressione non inferiore a quella indicata dalla norma UNI vigente.

Per i mattoni pieni e i mattoni e blocchi semipieni per uso corrente ai fini dell'accettazione di un elemento saranno ammesse:

- -1 fessura interna nella direzione dei fori interessante tutta la dimensione dell'elemento per elementi con una sezione fino a 700 cm²;
- -2 fessure per sezioni maggiori di 700 cm²;
- -4 fessure nella direzione dei fori sulle pareti esterne, non maggiori del 200% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa;
- -2 fessure ortogonali alla direzione dei fori sulle pareti e sulle facce esterne, non maggiori del 10% della dimensione dell'elemento misurata secondo la direzione della fessura stessa (due fessure concorrenti in uno spigolo sono da considerarsi una fessura sola).

-In ogni caso il numero totale delle fessure ammesse sulla superficie esterna complessiva dell'elemento non deve superare il valore 4 non saranno da considerarsi nel computo lesioni aventi una estensione > 5% della lunghezza dell'elemento, misurata secondo la direzione della lesione stessa.

Per ciascun elemento non sarà tollerata, sulla sua superficie, nessuna protuberanza o scagliatura di diametro medio > di 30 mm; protuberanze e scagliature di diametro minore non dovranno essere sistematiche. La quantità di elementi non conformi, ammessa complessivamente nel campione, per fessure, scagliature e protuberanze dovrà risultare > a **21**.

Prodotti faccia a vista e da rivestimento: le liste in laterizio per rivestimenti murari a colorazione naturale o colorate con componenti inorganici, potranno presentare nel retro, tipi di riquadri in grado di migliorare l'aderenza con le malte o, essere foggiate con incastro a coda di rondine. Il loro potere di imbibizione non dovrà superare il 10% in peso di acqua assorbita ed il loro contenuto di Sali solubili non dovrà essere superiore a 0,05% o a 0,03%, a seconda dei tipi. Nel caso in cui il colore superficiale dell'elemento risultasse diverso da quello del supporto interno non sarà ammessa alcuna mancanza di rivestimento sulla superficie destinata a restare a vista che renda visibile il corpo ceramico di base.

Per quanto concerne le facce non destinate a rimanere a vista resteranno validi i requisiti enunciati per i prodotti comuni; diversamente, se destinate a restare a vista, i difetti superficiali (lunghezza, fessure, dimensioni scagliature e scheggiature) dovranno avere dimensioni tali da non eccedere i limiti riportati in tabella.

Tabella 6.2 (UNI 8942/86)

Tipo	Facce in vista (ammessa una sola imperfezione per dm ² di superficie)	Spigoli
Liscio	5 mm	6 mm
Rigato, sabbiato ecc.	10 mm	12 mm

La resistenza meccanica degli elementi dovrà essere dimostrata attraverso certificazioni contenenti i risultati delle prove e condotte da laboratori ufficiali negli stabilimenti di produzione, con le modalità previste nel DM 103/1987 in caso di muratura portante e con quelle previste dalla norma UNI 8942 se si tratta di semplice rivestimento.

La fornitura dovrà essere accompagnata da dichiarazione del produttore che attesta la conformità dei mattoni e della stessa fornitura ai limiti di accettazione della norma UNI 8942 (semplice rivestimento) e DM 103/1987 (in caso di muratura portante). Sarà, in ogni caso, facoltà del Direttore dei Lavori richiedere un controllo di accettazione, avente lo scopo di accertare se gli elementi da mettere in opera abbiano realmente le caratteristiche dichiarate dal produttore.

Tabella 6.3 -Limiti di accettazione dei prodotti faccia a vista e da rivestimento per murature non portanti. All'interno della tabella non sono considerati, data la varietà dei valori delle caratteristiche, i prodotti formati a mano. I suddetti valori potranno essere concordati alla fornitura (UNI 8942)

CARATTERISTICA	LIMITI E/O TOLLERANZE
Dimensioni	
Lunghezza nel senso dei fori	$\pm 3\%$ (max ± 3 mm)
Altre dimensioni	$\pm 2\%$ (max ± 5 mm)
Spessore pareti	
Interne	6 mm minimo
Esterne	15 mm minimo
Forma e massa volumica	
Planarit� facce lungo le diagonali	fino a 10 cm ± 2 oltre 10 cm $< 2\%$ (max ± 5 mm)
Rettilinearit� degli spigoli	fino a 10 cm ± 2 oltre 10 cm $\pm 2\%$
Ortogonalit� degli spigoli	fino a 10 cm ≤ 2 oltre 10 cm $\leq 2\%$
CARATTERISTICA	LIMITI E/O TOLLERANZE
Dimensioni	
Percentuale foratura	nominale $- 2 + 5\%$
Massa volumica	nominale $\pm 8\%$
Densit� apparente	Da concordare
Resistenza meccanica	
Resistenza caratteristica a compressione	nominale $- 8\%$
Coefficiente di variazione resistenza a compressione	$\leq 20\%$
Trazione per taglio	da concordare
Flessione per taglio	da concordare
Altre determinazioni	
Inclusioni calcaree	massimo 1 cratere $3 < \phi < 5$ mm per dm ² ; diametro medio crateri < 5 mm;
Efflorescenze	Dopo 4 giorni di immersione in acqua gli elementi, lasciati asciugare non ne dovranno presentare
Imbibizione	8 – 20 g/dm ²
Assorbimento acqua (quantit�)	10 – 25%
Rischio gelivit�	Comportamento “non gelivo” l’elemento dovr� resistere ad almeno 20 cicli di gelo e disgelo tra i $+ 50^\circ$ e i $- 20^\circ \text{C}$

Gli elementi speciali di laterizio per l’esecuzione di solai ovverosia le **pignatte** (avente funzione statica collaborante) e le **volterrane** (avente funzione principale di alleggerimento) dovranno presentare i seguenti spessori minimi: pareti superiori e perimetrali a 8 mm; setti interni 7 mm; raggio minimo di raccordatura 3 mm. Per gli elementi collaboranti alti h cm (altezza variabile da 12 a 24 cm) l’altezza minima della zona rinforzata (S) sar  5 cm per $h \geq 25$ e $h/5$ cm per $h \leq 25$, in ogni caso S non potr  essere inferiore a 4 cm. L’altezza complessiva di entrambi questi blocchi di laterizio potr  variare da 12 cm a 24 cm mentre l’interasse varier  da un minimo di 33 cm ad un massimo di 50 cm. La resistenza meccanica dei suddetti elementi dovr  essere dimostrata attraverso certificazioni contenenti i risultati delle prove condotte da laboratori ufficiali negli stabilimenti di produzione, con le modalit  previste dalla normativa vigente.

Tabella 6.4 Resistenza caratteristica a compressione

Tipo blocchi	Volterrane di alleggerimento Kg/cm ²	Pignatte collaboranti Kg/cm ²
R _k parallela ai fori	150	300
R _k trasversale ai fori	50	150
P punzonamento	150	50

Le **tegole piane** (embrici o tegole marsigliesi) o **curve** (coppi o canali), di qualunque tipo siano, dovranno essere esattamente adattabili le une sulle altre, senza sbavature e presentare tinta uniforme; appoggiate su due regoli posti a 20 mm dai bordi estremi dei due lati corti, dovranno sopportare, sia un carico concentrato nel mezzo gradualmente crescente fino a 120 kg, sia l’urto di una palla di ghisa del peso di 1 kg cadente dall’altezza di 20 cm. Sotto un carico di 50 mm d’acqua mantenuta per 24 ore le tegole dovranno risultare impermeabili (UNI EN 538-539). Le tegole piane, infine, non dovranno presentare difetto alcuno nel nasello.

7.8 Materiali ferrosi e metalli vari

7.8.1 MATERIALI FERROSI

I materiali ferrosi da impiegare nei lavori dovranno essere esenti da scorie, soffiature, breccie, paglie o da qualsiasi altro difetto prescritto di fusione, laminazione, trafilatura, fucinatura e simili.

Essi dovranno rispondere a tutte le condizioni previste dal citato DM 30 maggio 1974 ed alle norme UNI vigenti nonché presentare, a seconda della loro qualità, i seguenti requisiti:

1) **Ferro**: il ferro comune di colore grigio con lucentezza metallica dovrà essere di prima qualità, eminentemente duttile e tenace e di marcatissima struttura fibrosa. Esso dovrà essere malleabile, liscio alla superficie esterna, privo di screpolature, senza saldature aperte, e senza altre soluzioni di continuità.

2) **Acciaio trafilato o laminato**: tale acciaio, che potrà essere del tipo I (ossia extradolce e dolce il cosiddetto ferro omogeneo, con contenuto di carbonio inferiore a 0,1% per il primo e compreso tra 0,1% e 0,2% per il secondo; gli acciai saranno indicati con i simboli Fe 33 C10 o C16, e Fe 37 C20), o del tipo II (ossia semiduro e duro compresi tra il Fe 52 e il Fe 65 con contenuto di carbonio compreso tra 0,3% e 0,65%), dovrà essere privo di difetti, di screpolature, di bruciature e di altre soluzioni di continuità. In particolare, per la prima varietà, saranno richiesti perfetta malleabilità e lavorabilità a freddo e a caldo, senza che ne derivino screpolature o alte razioni. Esso dovrà, inoltre, essere saldabile e non suscettibile di prendere la temperatura; alla rottura dovrà presentare struttura lucente e finemente granulare. Rientreranno in questa categoria le piastre, le lamiere (sia lisce sia ondulate, sagomate ovvero grecate o microdogate), le staffe e le cravatte per il consolidamento delle travi in legno, i fogli ed i nastri di vari spessori e dimensioni.

3) **Acciaio profilato per strutture di armatura**: rientreranno in questa categoria sia i prodotti ottenuti per estrusione i cosiddetti "profilati" a sezione più o meno complessa secondo le indicazioni di progetto (a "T" UNI 5681, a "doppio T o IPE" UNI 5398; ad "H o HE" UNI 5397; ad "L"; ad "U" ecc.) sia quelli a sezione regolare detti anche barre, "tondini" o "fili" se trafilati più sottili. I tondini di acciaio per l'armatura del calcestruzzo siano essi lisci (Fe B32 k) o ad aderenza migliorata (Fe B38 k o Fe B44 k) dovranno rispondere alle prescrizioni contenute nel DM del 9 gennaio 1996 "Norme tecniche per il collaudo e l'esecuzione delle strutture delle opere di c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche" attuativo della legge n. 1086 del 5 novembre 1971 e relative circolari esplicative, nonché alle norme UNI vigenti. In linea generale il materiale dovrà essere privo di difetti ed inquinamenti che ne pregiudichino l'impiego o l'aderenza ai conglomerati. È fatto divieto di impiegare acciai non qualificati all'origine.

Tabella 7.1 Caratteristiche meccaniche minime per barre nervate e per reti di acciaio elettrosaldate (DM 9/01/96)

Tipo di acciaio		Fe B38 k	Fe B44 k
Diametro		5 ÷ 30 mm	5 ÷ 26 mm
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	N/mm ²	≥ 375	≥ 375
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	N/mm ²	≥ 450	≥ 540
Allungamento A5	%	≥ 14	≥ 12
Fino a 12 mm piegamento a 180° su mandrino avente diametro		3 Φ	4 Φ
Oltre 12 mm fino ai 18 mm		6 Φ	8 Φ
Oltre 18 mm fino a 25 mm	piega e raddrizzamento su	8 Φ	10 Φ
mandrino avente diametro			
Oltre 25 mm fino a 30 mm		10 Φ	12 Φ

4) **Reti in acciaio elettrosaldato**: le reti di tipo "normale" avranno diametri compresi tra i 4 mm e i 12 mm, potranno su richiesta essere zincate in opera; quelle di tipo inossidabile dovranno essere ricoperte da più strati di zinco (circa 250 g/m²) perfettamente aderente alla rete. Tutte le reti utilizzate in strutture di cemento armato dovranno avere le caratteristiche richieste dal DM 27 luglio 1985 e dal DM 9 gennaio 1996 nonché delle norme UNI vigenti (UNI 8926-27 e UNI ISO 10287).

Tabella 7.2 Caratteristiche meccaniche per reti di acciaio elettrosaldate (DM 9 gennaio 1996)

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} ovvero $f_{0,2k}$	N/mm ²	≥ 390
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	N/mm ²	≥ 440
Rapporto dei diametri dei fili dell'ordito	Φ min/ Φ max	≥ 0,60
Allungamento A ₁₀	%	≥ 8
Rapporto f_{tk}/f_{yk}		≥ 1,10

5) **Acciai inossidabili austenitici** (UNI 3158-3159; 3161): dovranno corrispondere per analisi chimica alle norme AISI (*American Iron Steel Institute*) 304 e 316 (cioè ai rispettivi tipi UNI X5 Cr-Ni 1810 e X5 Cr-Ni-Mo 1712), e AISI 304L e 316L (rispettivi tipi UNI X2 Cr-Ni 1811 e X2 Cr-Ni-Mo 1712), aventi composizione chimiche sostanzialmente uguali alle precedenti a parte per la percentuale di carbonio sensibilmente inferiore che permetterà di migliorare ulteriormente le rispettive caratteristiche di resistenza alla corrosione a fronte, però, di una leggera diminuzione delle caratteristiche di resistenza meccanica (il carico unitario di snervamento R_s scende da 250 MPa a 220 MPa per il tipo 304 e da 260 MPa a 240 MPa per il tipo 316). Nell'acciaio AISI 316 l'utilizzo di molibdeno permetterà di migliorare sensibilmente le

caratteristiche alla corrosione in particolare di quella per violatura (il PRE cioè l'indice di resistenza alla violatura *Pitting Resistance Equivalent* del tipo 316 è pari a 23-29 contro il 17-22 di tipo 304). Il tipo di acciaio a cui si farà riferimento per le caratteristiche meccaniche è il Fe B 44 k. Le modalità di prelievo e le unità di collaudo di tale acciaio seguiranno le medesime prescrizioni previste per gli acciai comuni per armature in c.a. Il peso dell'acciaio inox ad aderenza migliorata ad elevato limite elastico (*low carbon*) verrà determinato moltiplicando lo sviluppo lineare dell'elemento per il peso unitario del tondino di sezione nominale corrispondente determinato in base al peso specifico di 7,95 kg/dm³ per il tipo AISI 304L e di 8,00 kg/dm³ per il tipo AISI 316L.

Tabella 7.3 Caratteristiche fisico-meccaniche degli acciai inossidabili

Materiale	Indice resistenza	Conducibilità termica	Modulo elastico GPa	Carico di snervamento kg/mm ²	Allungam. minimo %	Strizione minima %
AISI 304	17-22	15	200	25	55	65
AISI 304L	18-21	15	200	22	55	70
AISI 316	23-29	15	193	26	55	70
AISI 316L	23-29	15	193	24	55	70
AISI 430	16-18	26	203	50	18	50

6) Acciaio fuso in getti: l'acciaio fuso in getti per cuscinetti, cerniere, rulli o per qualsiasi altro lavoro, dovrà essere di prima qualità, esente da soffiature e da qualsiasi altro difetto.

7) Ghisa: (UNI 5330) la ghisa dovrà essere di prima qualità e di seconda fusione, dolce, tenace, leggermente malleabile, facilmente lavorabile con la lima e con lo scalpello; di fattura grigia finemente granosa e perfettamente omogenea, esente da screpolature, vene, bolle, sbavature, asperità ed altri difetti capaci di menomare la resistenza. Dovrà essere inoltre perfettamente modellata. Dovrà essere assolutamente escluso l'impiego di ghise fosforose. Le caratteristiche dovranno adempiere i parametri elencati in tabella.

Tabella 7.4 Proprietà meccaniche delle ghise

Tipo	Carico a rottura (minimo) MPa	Allungamento a rottura (minimo) %	Numero durezza Brinell	Resilienza Charpy KJ/m2	Modulo Elastico MPa
Ghisa grigia ordinaria UNI G 15	147	1	150	40	84000

8) Titanio: il titanio e le sue leghe dovranno rispondere, per le loro caratteristiche, alle normative di riferimento del paese di produzione (UNI 10258). Questo specifico metallo dovrà possedere le seguenti caratteristiche: elevata leggerezza, elevata resistenza meccanica in relazione ad una bassa densità, elevata resistenza alla corrosione, basso coefficiente di dilatazione termica e basso coefficiente di conducibilità termica. Grazie al suo modulo elastico (pari a circa 100 GPa ovvero quasi la metà degli acciai inossidabili) risulterà un metallo facilmente abbinabile ai materiali lapidei, ceramici o, in ogni caso da costruzione. Con un peso specifico di circa 4,5 g/cm³ ed un carico di rottura simile a quello degli acciai il titanio, con le sue leghe fornisce tra i migliori rapporti resistenza meccanica/peso. La norma ASTM B625 identifica in ordine crescente le caratteristiche in classi da 1 a 4, il più usato è il 2, mentre la lega più utilizzata sarà la Ti-6Al-4V contenente il 6% di alluminio, il 4% di vanadio ed il 90% di titanio.

Tabella 7.5 Caratteristiche fisico-meccaniche del titanio e della lega Ti-6Al-4V

Materiale	Densità g/cm ³	Punto di fusione °C	Coeff. dilataz. Termica	Modulo elastico GPa	Carico di rottura kg/cm ²	Carico di snervamento kg/cm ²	Allungamento %
Titanio	4,5	1668	8,4 x 10	106	3400	2800	20
Ti-6Al-4V	4,4	1650	8,6 x 10	120	900	8300	---

7.8.2 METALLI VARI

Il piombo, lo zinco, lo stagno, il rame, il bronzo, l'ottone, l'alluminio, l'alluminio anodizzato, e tutti gli altri metalli o leghe metalliche da impiegare nelle costruzioni dovranno essere delle migliori qualità, ben fusi o laminati a seconda della specie

di lavori a cui saranno destinati, e scevri da ogni impurità o difetto che ne vizi la forma, o ne alteri la resistenza ovvero la durata.

7.9 Prodotti a base di legno – Generalità

Si intenderanno prodotti a base di legno quelli derivanti dalla semplice lavorazione e/o dalla trasformazione del legno e che si presenteranno sotto forma di segati, pannelli, lastre ecc.

I prodotti verranno di seguito considerati al momento della loro fornitura ed indipendentemente dalla destinazione d'uso. Il Direttore dei Lavori, ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura oppure richiedere un attestato di conformità della stessa alle prescrizioni di seguito indicate. Per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d'uso (strutturale, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni del progetto.

Tabella 8.1 Tensioni nominali in MPa (N/mm²) per legno massiccio

Specie legnose		Categoria Legname	Flessione	Trazione		Compressione		Taglio	Torsione	Modulo elastico
				0	90	0	90			
	Abete rosso	1	11	11	0,05	10	2	1	1	12.500
		2	9	9	0,05	8	2	0,9	1	11.500
		3	7	6	0	6	2	0,8	0	10.500
	Abete bianco	1	11,5	11	0,05	1	2	0,9	1	13.500
		2	10	9	0,5	9	2	0,8	1	12.500
		3	7,5	6	0	7	2	0,7	0	11.500
	Larice	1	13	12	0,05	12	2,5	1,1	1	15.500
		2	11	9,5	0,05	10	2,5	1	1	14.500
		3	8,5	7	0	7,5	2	0,9	0	13.500
	Pino silvestre	1	12	11	0,05	11	2	1	1	13.500
		2	10	9	0,05	9	2	0,9	1	12.500
		3	8	6	0	7	2	0,8	0	11.500
	Douglas	1	12	10,2	0,05	11	2	0,9	1	
		2	10	8,5	0,05	8,5	2	0,9	1	
		3	7	6	0	6	2	0,9	0	
	Quercia, Faggio	1	12	45	0,05	12	3	1,2	1	13.500
		2	11	10	0,05	10	2,5	1	1	12.500
		3	8,5	7	0	7,5	2,2	0,9	0	11.500
	Robinia	1	13,5	13	0,05	12	3	1,2	1,6	14.000
		2	11,5	11	0,05	10	2,5	1	1,6	13.000
		3	9	7	0	7,5	2,2	0,9	0	12.000
	Castagno, Olmo, Frassino	1	12	11	0,05	11	2	0,8	1,3	10.000
		2	10	9	0,05	9	2	0,7	1,3	9.000
		3	8	6	0	7	2	0,6	0	8.000
	Pioppo	1	10,5	9	0,05	10	1,5	0,6	1	9.000
		2	8,5	7	0,05	8	1,5	0,5	1	9.000
		3	8,6	4,5	0	6	1,5	0,4	0	7.000
0 sta ad indicare parallela alla fibratura										
90 sta ad indicare ortogonale alla fibratura										

7.9.1 LEGNAMI E MATERIALI DERIVATI DAL LEGNO

I legnami da impiegare in opere stabili o provvisorie, di qualunque essenze essi siano dovranno rispondere a tutte le prescrizioni di cui al DM 30 ottobre 1912, DPR 24 dicembre 1969, DM del 6 marzo 1986 e alle norme UNI vigenti verranno selezionati, tra le diverse possibilità di scelta, le qualità appartenenti alla categoria prescritta se non presenteranno difetti incompatibili con l'uso per cui sono destinati.

Una classificazione commerciale e pratica, basata sulla forma, distingue i legnami in:

- legname tondo o “tondame”
- legname segato
- legname lavorato a squadratura con sezione quadrata o rettangolare (travi, travicelli ecc.)
- legname segato in tavolame
- legname squadrato

Il legname rotondo: dovrà provenire dal tronco dell'albero e non dai rami, dovrà essere sufficientemente diritto, in modo che la congiungente i centri delle due basi non debba uscire in alcun punto dal palo; dovrà essere scortecciato per tutta la lunghezza e conguagliato alla superficie; la differenza fra i diametri medi dalle estremità non dovrà oltrepassare i 15 millesimi della lunghezza né il quarto del maggiore dei 2 diametri. L'umidità massima tollerabile per questi materiali dovrà essere del 25%.

Tabella 8.2 Denominazione e misure dei principali prodotti ricavati da legname tondo

Denominazione	Diametro (cm)	Lunghezza (cm)	Note ed usi comuni
Abetelle o stili (antenne, candele)	12-25	200	Classe media della paleria, solo scortecciati e privati dell'alburno. Utilizzati per ponti di servizio
Pali	15-30	200-600 fino a 900	Classe grossa della paleria di essenza forte e dura sono tronchi privati della scorza e dell'alburno. Utilizzati per fondazione e consolidamento dei terreni

Il legname segato a spigolo vivo: dovrà essere lavorato e squadrato a sega con le diverse facce esattamente spianate, senza rientranze o risalti, con gli spigoli tirati a filo vivo (saranno comunque ammissibili lievi tolleranze sugli smussi), senza alburno ovvero potrà essere tollerata la moderata presenza di alburno nel legname strutturale.

Tabella 8.3 Denominazione e misure dei principali prodotti ricavati da legname lavorato a squadratura o segato

Denominazione	Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Note ed usi comuni
Travi o bordonali	400 fino a 1000-1200	20-45 fino a 50	14-35 fino a 40	Elementi squadrati a filo vivo o con tolleranza di smussi. Utilizzati come elemento principale della orditura di sostegno di coperture o solai.
Travicelli	350-550	12-18	8-15	Elementi squadrati a filo vivo utilizzati come struttura secondaria di solai o coperture
Morali o Correnti (arcarecci, terzere)	400-900	8-10	10-14	Travicelli utilizzati per l'orditura longitudinale delle coperture
Correntini o listelli	300-800	5-8	3,5-5	Correnti di minori comunque squadrati e utilizzati specialmente per l'ossatura delle coperture
Piane	non inferiore a 300	4-9	4-6	Travicelli piani e squadrati utilizzati per soffitti, tramezze e simili

Il tavolame dovrà essere ricavato dalle travi più dritte, affinché le fibre non riescano mozzate dalla sega e si ritirino nelle sconnessioni; le tavole potranno essere *non refilate* (ovvero ottenute dal solo taglio longitudinale del fusto), *refilate rastremate* (ovvero smussate seguendo la rastrematura) *parallele* (ovvero a spigoli paralleli) la larghezza delle tavole ordinarie potrà variare da 16 cm a 30 cm e da 8 cm a 15 cm per le sottomisure, la lunghezza varierà da 200 cm a 400 cm.

Tabella 8.4 Classificazione delle tavole parallele ricavate da tronchi segati

Denominazione	Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Note ed usi comuni
Panconi	400 ma sovente le misure variano da 300 a 600	25-40	8-15	Tavole molto grosse utilizzate per lavori di fondazione e per impalcature robuste
Tavoloni	400 può oscillare da 250 a 500	20-40	5-8	Tavole di grossezza media
Tavole o assi	300-600	15-35 con gradazioni di 2	2,5-6	Utilizzate per lavori di falegnameria e nei lavori di legname minuto
Assicelle	variabile circa 250	15-25	1,2-2,5	Tavole sottili
Denominazione	B. Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	C. Note ed usi comuni
Scurette	variabile	15-20	1	
Sciaveri o scorzoni	variabile	variabile	variabile	Scarti di segagione provenienti dalla parte
				periferica del tronco con un lato rettilineo e l'altro a porzione di circonferenza
Piallacci	variabile	variabile	0,1-0,2	Fogli di legno di essenza nobile utilizzati per
				impiallacciare legni meno pregiati

Il legname squadrato, ottenuto dai fusti mediante tagli, oltre alla squadratura a spigoli vivi paralleli potrà dar luogo ad altri due tipi di legni:

– -legname grossolanamente squadrato a spigolo smussato lavorato a sega o ad ascia, dove tutte le facce dovranno essere spianate senza essere scarnite, saranno tollerati l'alburno o lo smusso in misura non maggiore di un sesto del lato della sezione trasversale;

– -travi con squadratura "uso Trieste" ovvero lavorazione, eseguita su piante intere con una squadratura parziale senza spigolo vivo ottenuta attraverso il processo di piallatura superficiale, mantenendo la conicità del tronco originario.

I legnami per pavimentazioni siano essi listoni che tavolette dovranno necessariamente essere stagionati, ben piallati, esenti da nodi, fenditure, tarlature ed altri difetti che ne alterino l'aspetto, la durata e la possibilità di montarli a perfetta regola d'arte.

I legnami destinati alla costruzione degli infissi dovranno essere di prima categoria, di struttura e fibra compatta e resistente, non deteriorata, perfettamente sana, dritta e priva di spaccature sia in senso radicale che circolare. Essi dovranno essere ben stagionati con un contenuto d'acqua non superiore al 15%; le specie ammissibili nella categoria degli infissi saranno elencati nelle tabelle UNI 2853-54. Tali legni dovranno presentare limitati difetti: sarà prescritta una densità di almeno 3 anelli per cm (con l'esclusione di alburno), non dovranno essere presenti nodi, cipollature, buchi, od altre malfatture palesi, dovranno, inoltre, presentare colore e venatura uniforme.

Per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d'uso (strutturale, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni del progetto.

SEGATI DI LEGNO

I segati di legno dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 844). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intendono forniti con le seguenti caratteristiche:

– -tolleranze sulla lunghezza e larghezza: ± 10 mm; tolleranze sullo spessore: ± 2 mm; (misurata secondo la norma UNI EN 1313);

– -umidità non maggiore del 15%, (misurata secondo la norma UNI 8829);

– -difetti visibili ammessi....., misurati secondo.....;

– -difetti da essiccazione, (misurati secondo la norma UNI 8947);

– -qualità di essiccazione (valutata secondo la norma UNI 9030);

- trattamenti preservanti con metodo e comunque
- resistenti ai , misurati secondo.....
- impregnato con sostanza protettiva contro parassiti del legno e sostanze ignifughe

PANNELLI DI FIBRE DI LEGNO (LEGNI RICOSTRUITI O RIGENERATI)

1) *Pannelli con struttura uniforme*: tenuta strutturale che si otterrà mediante feltratura delle fibre (legno tondo debole e residuo delle segherie) ed azione adesiva delle forze leganti proprie del legno o di collanti aggiunti (resine sintetiche o resine naturali). Il materiale dovrà risultare omogeneo, con proprietà meccaniche uniformi nelle varie direzioni. Detti pannelli potranno essere del tipo extraduro (fabbricati per via umida), duro (fabbricati per via umida o per via semi secca) entrambi molto resistenti utilizzabili anche per la fabbricazione di travi composte; semiduro (fabbricati per via secca) e/o porosi (fabbricati per via umida) da impiegare per pareti isolanti e tramezzi leggeri.

2) *Pannelli MDF (Medium Density Fibreboard)*: pannelli a base di fibra di legno. Le fibre verranno essiccate in misura maggiore che nei pannelli di media durezza. La struttura si presenterà contemporaneamente fine e fitta su tutta la sezione, i pannelli possono venire lavorati e rivestiti come il legno massiccio.

I pannelli di fibre dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 316 e UNI EN 622). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intendono forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: ± 3 mm; tolleranze sullo spessore: $\pm 0,5$ mm; (misurate secondo la norma UNI EN 9363);

- umidità non maggiore dell'8%, misurata secondo

- massa volumica: per tipo tenero, minore di 350 kg/m^3 ;

per tipo semiduro, tra 350 e 800 kg/m^3 ;

per tipo duro, oltre $800-1000 \text{ kg/m}^3$,

per tipo extraduro, oltre 1000 kg/m^3 ,

(misurata secondo la norma UNI EN 323).

La superficie potrà essere:

- grezza (se mantenuta come risulta dalla pressatura)

- levigata (quando ha subito la levigatura)

- rivestita su una o due facce mediante: (placcatura, carte impregnate, smalti altro).

- impregnata con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti del legno

- impregnata con prodotti ignifughi

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- assorbimento di acqua di massimo

(misurato secondo la norma UNI EN 382);

- rigonfiamento dello spessore dopo immersione in acqua massimo,

(misurato secondo la norma UNI EN 317);

- resistenza a trazione di minimo

(misurata secondo la norma UNI EN 319);

- resistenza a compressione di minimo

(misurata secondo la norma UNI ISO 3132 e UNI ISO 3787);

- resistenza a flessione di minimo

(misurata secondo la norma UNI EN 1058).

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo per ogni singola tipologia di pannello, facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

PANNELLI DI PARTICELLE (LASTRE DI AGGLOMERATO LIGNEO)

Pannelli di particelle pressati piani: pannelli a base di trucioli di legno tondo o legno per uso industriale legati per mezzo di resine sintetiche, l'orientamento dei trucioli sarà parallelo al piano del pannello. I pannelli potranno essere monostrato o multistrato (normalmente a 3 o a 5 strati) entrambi i tipi dovranno essere rifiniti con squadratura dei bordi e levigatura. Al fine di migliorare la resistenza alla flessione e il modulo di elasticità i pannelli dovranno contenere particelle dello strato di copertura più piatte;

Pannelli di particelle a estrusione: pannelli, legati con resine sintetiche, nei quali l'orientamento delle particelle dovrà, prevalentemente, essere verticale al piano. I pannelli potranno essere monostrato (pannelli non rivestiti) o multistrato con rivestimento costituito da sfogliati, pannelli di fibre dure, materiali multistrato o sintetici contenenti fibre di vetro;

Pannelli di particelle legate con leganti minerali: pannelli composti da miscela ad alta compressione composta per il 25% circa del peso da particelle di legno e per il 65% da leganti minerali (cemento Portland, magnesite o gesso), acqua, additivi (acceleranti di indurimento) ed eventuali materiali inerti. I pannelli potranno essere forniti grezzi non trattati o rivestiti con fogli di materiale sintetico, vernici disperdenti od intonaci di malta (UNI EN 633-634, UNI EN 1128, UNI EN 1328);

Pannelli OSB (Oriented Strand Board): pannelli a base di particelle di legno con trucioli grandi, relativamente lunghi e orientati. L'orientamento delle particelle sarà ottenuto mediante speciali dispositivi di distribuzione longitudinalmente o trasversalmente alla direzione di fabbricazione del pannello; nel caso di struttura a tre strati l'orientamento delle particelle dell'anima solitamente trasversale e delle particelle dello strato di copertura parallelo alla direzione di fabbricazione.

I pannelli di particelle dovranno essere forniti in opera conformemente alle norme UNI vigenti (in particolare UNI EN 309 e UNI EN 312). A compimento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulle lunghezza e larghezza: ± 5 mm;

- tolleranze sullo spessore: $\pm 0,5$ mm;

- umidità del 10% \pm 3%;
- massa volumica: kg/m³; misurata secondo la norma UNI EN 323;
- superficie: grezza o; levigata o; rivestita con
- resistenza al distacco degli strati esterni N/mm² minimo.

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- rigonfiamento dopo immersione in acqua: 12% massimo (oppure 16%), misurata secondo la norma UNI EN 317 ;
- assorbimento d'acqua.....% massimo, misurato secondo..... ;
- resistenza a flessione di N/mm² minimo, misurata secondo
- resistenza a flessione di N/mm² minimo, misurata secondo
- impregnato con prodotti ignifughi
- resistenza a flessione di N/mm² minimo, misurata secondo

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo per ogni singola tipologia di pannello, facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

PANNELLI DI LEGNO COMPENSATO

1) multistrato: pannelli con struttura simmetrica composta da un numero di fogli di piallaccio (spessore da 2/10 mm a 3 mm) dispari (a partire da 3 strati), in caso di numero pari i due fogli interni dovranno essere disposti paralleli alla fibratura; le direzioni delle fibratura dovranno essere ruotate reciprocamente in modo perpendicolare. Per usi di tipo strutturale dovranno essere utilizzati pannelli di tipo bilanciato spessore minimo 22 mm, con struttura simmetrica composta da almeno 7 fogli di piallaccio. Il compensato multistrato con almeno 5 strati e spessore superiore a 12 mm è denominato multiplex. Le facce esterne dei pannelli potranno anche essere rivestite con fogli di legno pregiato, così da migliorare l'aspetto estetico del manufatto: l'accoppiamento con tali strati di finitura è detto anche impiallacciatura.

Tabella 8.5 Spessori pannelli compensati multistrati

Spessore nominale in mm	Numero minimo di strati
3-4-5-6	3
8-10-12-15	5
18-20-22	7
25-28-30	9

2) *A liste e listelli "paniforti"*: realizzato incollando (mediante resine sintetiche) almeno uno sfogliato di copertura su ogni lato ed un foglio centrale su liste o listelli di legno massello disposti uno affianco all'altro; lo spessore varia da 10 mm a 45 mm. Gli strati saranno disposti perpendicolarmente tra loro. Sui due lati dello strato centrale dovrà essere posto uno sfogliato di copertura (pannello a 3 strati) ovvero uno strato di isolante e uno sfogliato di copertura (pannello a 5 strati). L'anima del compensato a liste sarà formata da liste di legno massiccio segate larghe da 24 mm a 30 mm; mentre quella del compensato a listelli sarà costituita da strisce di sfogliato disposte a coltello con uno spessore compreso tra 50 mm e 80 mm.

Per i compensati multistrato e per i paniforti le definizioni, le classificazioni, la composizione, le caratteristiche, i difetti, le dimensioni e gli impieghi saranno contemplati nelle norme UNI vigenti (UNI EN 313). A complemento di quanto specificato nel progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: \pm 5 mm; tolleranze sullo spessore: \pm 1 mm; (misurate secondo la norma UNI EN 315);
- umidità non maggiore del 12%, misurata secondo
- numero di strati
- finitura esterna
- grado di incollaggio (da 1 a 10), (misurato secondo UNI EN 314-1 e UNI EN 314-2).

Funzionalmente avranno le seguenti caratteristiche:

- resistenza a trazione N/mm², (misurata secondo la norma UNI 6480);
- resistenza a flessione statica N/mm² minimo, (misurata secondo la norma UNI EN 1072);
- impregnazione degli sfogliati con prodotti protettivi contro l'attacco di parassiti del legno e sostanze ignifughe;
- impregnazione degli sfogliati con prodotti ignifughi

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo per ogni singola tipologia di compensato, facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

7.9.2 LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

Il legno lamellare disponibile sotto forma di travi, di pannelli in multistrati o di sezioni sagomate di varia natura proveniente dalle migliori zone di accrescimento (con raccordi fra le parti mediante piccoli raggi di curvatura il raggio non può essere inferiore a 160 volte lo spessore della lamella di specie resinosa e 200 volte per lamelle di specie dure) dovrà essere fornito in opera conformemente alle norme UNI (in particolare UNI EN 386-397, UNI EN 390-392 e UNI EN 1194) e/o CNR vigenti ed in loro mancanza quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

Ogni pezzatura dovrà essere selezionata qualitativamente e dimensionalmente, stagionata, giuntata di testa e piallata sulle quattro facce, formando le lamelle nelle misure richieste dagli elaborati di progetto. Le lamelle, (di norma spessore £ di 5 cm, larghezza £ di 25 cm, area massima 60 cm² per specie resinose, 40 cm² per specie dure) assemblate per

incollaggio eseguito con collanti di tipo strutturale (a base di resorcina formaldeide o di urea), dovranno essere del tipo impregnato con sostanze atte a garantire l'assoluta inattaccabilità da parte di insetti, funghi, agenti atmosferici e chimici. Le strutture portanti dovranno, grazie all'elevata coibenza termica, impedire la creazione di ponti termici ed eliminare fenomeni di condensa.

Le caratteristiche tecniche richieste al legno lamellare sono:

- categorie di legnami utilizzati: resinoso o duro di I° e II° categoria;
- -giunzione longitudinale: fitta dentellatura "a pettine" o "a becco di flauto" sfalsata nell'altezza della sezione complessiva;
- colle utilizzate: colle alla resorcina-formolo (per strutture esposte agli agenti atmosferici) o all'urea-formolo;
- trattamenti antimuffa, fungicida, antiparassitario;
- resistenza al fuoco: classe 30/120;
- rapporto altezza/base: < 10.

Le tensioni ammissibili dichiarate dal produttore dovranno essere quelle riportate in tabella.

Tabella 8.5 Tensioni ammissibili (kg/cm²)

Tipo di sollecitazione		Categoria I		Categoria II	
		Duro	Resinoso	Duro	Resinoso
Compressione assiale	σ'	140	135	112	107
Compressione trasversale	σ_t'	46	26	41	20
Trazione assiale	σ	168	157	101	90
Trazione trasversale	σ_t	12	8	10	6
Flessione	σ_f	152	146	129	112
Taglio	τ	20	15	15	12
Taglio longitudinale nel piano d'incollaggio	τ	12		– Con colle alla resorcina-formolo – Con colle all'urea-formolo o fenolo-formolo	
	τ	10			
Razione ortogonale al piano d'incollaggio	σ_t	6		– Con colle alla resorcina-formolo – Con colle all'urea-formolo o fenolo-formolo	
	σ	5			
Categoria I classe A: tutte le lamelle con tavole di I scelta; categoria I classe B: 15% di lamelle, per parte (con un minimo di due lamelle per bordo esterno) di I scelta e nucleo centrale di lamelle di II scelta.					
Categoria II tutte le lamelle con tavole di II scelta					

Per il controllo della qualità e della costanza della produzione si dovranno eseguire le seguenti prove:

- di delaminazione;
- di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio;
- di controllo degli elementi;
- laminati verticalmente;
- controllo delle sezioni giuntate.

La determinazione della resistenza a taglio e delle proprietà meccaniche perpendicolari alla fibratura e di altre proprietà fisiche e meccaniche saranno effettuate secondo le prescrizioni di cui alle norme UNI EN 408.

7.10 Pietre naturali e ricostruite

La terminologia utilizzata ha il significato di seguito riportato: le denominazioni commerciali dovranno essere riferite a campioni, atlanti ecc.; i prodotti di seguito elencati dovranno, qualora non diversamente specificato, rispondere al RD del 16 novembre 1939, nn. 2229-2232, e 3334 alle norme UNI alle norme tecniche del CNR nonché alle raccomandazioni NorMaL vigenti.

ARDESIA

Roccia metamorfica filiate argilloscista con elevato contenuto di quarzo, facile da dividersi in lastre sottili possiedono elevata scistosità, grana fine e tinte dal grigio al nero. In lastre per copertura dovrà essere di prima scelta e di spessore uniforme: le lastre dovranno essere sonore, di superficie piuttosto rugosa che liscia ed esenti da inclusioni e venature. Elevata resistenza a compressione con carico di rottura di 1500 kg/cm².

ARENARIA

Roccia sedimentaria clastica composta per cementazione naturale di una sabbia silicea o silicatica. Il cemento potrà essere di natura silicea, argilloso, argilloso-calcareo (macigno), gessoso ma, più frequente sarà quello misto. In funzione della natura di tale cemento ed al tipo di diagenesi subito, le arenarie potranno essere più o meno compatte, forti o friabili; di norma si presentano con giacitura a strati, hanno resistenza alla compressione di 600-1000 kg/cm², peso specifico da 2,5 a 2,7, colore variabile anche all'interno di una stessa formazione: tinta predominante grigio, bruno-giallastro, rossastro, grana fine non lucidabile. Generalmente di facile lavorazione, ed in rapporto alla consistenza, potranno essere impiegate come pietra da taglio, per elementi architettonici, rivestimenti ed anche per pavimentazioni stradali. Alcune varietà sono

gelive.

CALCARE

Roccia sedimentaria o metamorfica costituita prevalentemente, da calcite, ovvero da carbonato di calcio, generalmente con associazione d'impurezze ed altre sostanze che ne modificano le caratteristiche tecniche. La loro formazione potrà essere di due tipi: sedimentaria di deposito chimico (travertini, alabastrini calcarei, tufi calcarei o calcareniti ecc.) o alterazione chimica e deposito meccanico, cioè da deposito di prodotti di disgregazione di altre rocce ricimentatesi (conglomerati come brecce a scheletro di pezzatura spigolosa e puddinghe sempre con pezzatura grossa ma a carattere arrotondato); di tipo metamorfica con processo di ricristallizzazione (marmi). I calcari, possiedono, di norma, durezza media (3 Mohs), peso specifico da 1,7 a 2,8 ton/m³; resistenza alla compressione da buona ad ottima, non sono gelivi. I calcari teneri non risultano suscettibili di lucidatura, hanno grana fine ed omogenea; potranno essere utilizzati sia per apparecchi portanti sia per elementi decorativi. I calcari compatti sono, normalmente, lucidabili, avranno struttura microcristallina e proprietà superiore a quelle di marmi.

GRANITO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia eruttiva intrusiva composta prevalentemente da minerali di durezza Mohs da 6 a 7 (quali quarzo, feldspati, e da scarsi minerali ferri), compatta, di difficile lavorabilità, manterrà a lungo la lucidatura se esposta all'esterno. La rottura del granito non avverrà per scorrimento dei piani reticolari, ma per reciproco distacco dei grani tra loro. I graniti potranno essere utilizzati per decorazione e per costruzione (grazie alle loro buone caratteristiche meccaniche e di resistenza all'abrasione e al gelo); di colore biancastro, grigiastro, rossastro frequentemente con macchiettature più scure (il colore dipenderà soprattutto dal contenuto di feldspato e di ferro), hanno una composizione chimica acida con abbondanza di silice in percentuale variabile tra il 70% e l'80%. La struttura tipica è granulare olocristallina con cristalli di dimensione variabile da minuti (1-2 mm) a medio grandi (10-20 mm), peso specifico relativamente modesto.

A questa categoria, appartengono:

- i graniti propriamente detti (rocce magmatiche intrusive acide fanero-cristalline, costituite da quarzo, feldspati sodico-potassici emiche);
- altre rocce magmatiche intrusive (dioriti, granodioriti, sieniti, gabbri ecc.);
- le corrispettive rocce magmatiche effusive, a struttura porfirica;
- alcune rocce metamorfiche di analoga composizione come gneiss e serizzi.

MARMO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia metamorfica le cui rocce originarie sono costituite da calcari di qualsiasi origine ovvero deposito meccanico, di deposito fisico-chimico ed organico. Dal punto di vista geologico per marmo sarà da intendersi un calcare (in genere organogeno) cristallino metamorfosato, di struttura compatta, lucidabile, caratterizzato da una cristallinità rilevabile ad occhio nudo. I marmi potranno essere utilizzati per decorazione e per costruzione, prevalentemente saranno costituiti da minerali di durezza Mohs da 3 a 4 (quali calcite, dolomite, serpentino). A differenza dei calcari compatti microcristallini, i marmi presentano la caratteristica di traslucità che ne determina un maggiore valore estetico. A questa categoria appartengono:

- i marmi propriamente detti (calcari metamorfici ricristallizzati), i calcefiri ed i cipollini;
- i calcari, le dolomie e le brecce calcaree lucidabili;
- gli alabastrini calcarei;
- le serpentine;
- oficalciti.

I marmi dovranno essere soggetti alla lavorazione superficiale e/o le finiture indicate dal progetto, le dimensioni nominali concordate e le relative tolleranze nonché essere esenti da alcun difetto (bucce, vene, lenti, scaglie, peli, nodi, piccole cavità o taroli, macrosità, fessurazioni, inclusioni ecc.).

Specifiche caratteristiche richieste:

.....
.....
.....

PIETRA (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia compatta e resistente, di natura ed origine varia da impiegarsi sia nelle costruzioni sia nelle decorazioni, di norma non lucidabile. Sotto questa categoria potranno essere classificate rocce di composizione mineralogica svariatissima non inseribili in alcuna classificazione, comunque riconducibili ad uno dei due gruppi seguenti:

- -rocce tenere e/o poco compatte, come varie rocce sedimentarie (calcareniti, arenarie a cemento calcareo ecc.), varie rocce piroclastiche (peperini, tufi ecc.);
- -rocce dure e/o compatte come le pietre a spacco naturali (quarziti, micascisti, gneiss lastroidi, ardesie ecc.) e talune vulcaniti (basalti, trachiti, leucititi ecc.).

Le pietre naturali da impiegarsi nella muratura e per qualsiasi altro lavoro, dovranno essere a grana compatta, esenti da piani di sfaldamento, da screpolature, peli, venature, interclusioni di sostanze estranee; dovranno avere dimensioni adatte al particolare loro impiego, offrire una resistenza proporzionata all'entità della sollecitazione cui devono essere soggette, ed avere una efficace adesività alle malte. Dovranno essere, in assoluto, scartate le pietre marnose e quelle alterabili all'azione degli agenti atmosferici e dell'acqua corrente.

Le caratteristiche fisico-meccaniche delle pietre naturali da impiegare nella costruzione (in relazione sia alla natura della roccia prescelta sia dell'impiego) dovranno corrispondere alle norme di cui ai Regi Decreti 16 novembre 1939, n. 2229 e n. 2232, nonché alle norme UNI vigenti.

PIETRA DA TAGLIO

Oltre a possedere i requisiti ed i caratteri generali sopra indicati, dovranno avere struttura uniforme, essere scevre da fenditure, cavità e litoclasti, sonore alla percussione, e di perfetta lavorabilità e/o lucidabilità. Le forme, le dimensioni ed i

sistemi di lavorazione dei pezzi, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, verranno man mano indicati dalla D.L. Le lavorazioni da adottare per le pietre da taglio se non diversamente specificato saranno le seguenti:

- a semplice sbazzatura;
- a punta grossa; a punta mezzana; a punta fine;
- a martellina grossa; a martellina fina;
- a bocciarda grossa; a bocciarda media; a bocciarda fine;
- a gradina media; a gradina fine;
- a scalpellino medio; a scalpellino fine.

Le facce delle pietre da taglio, anche se unicamente sbazzate, dovranno venir lavorate sotto regolo, così da non perdere mai sinuosità maggiori di 1 *cm*; le pietre lavorate a punta grossa non dovranno presentare sinuosità maggiori di 5 mm. Nei conci lavorati a punta mezzana ed a punta fina, i letti di posa dovranno essere ridotti a perfetto piano e le facce dovranno presentare spigoli ben vivi e ben rifilati così che le giunture celate non superino la larghezza di 8 mm e quelle in vista di 4 mm. Allorché sia comandata la lavorazione a martellina, le superfici lavorate dovranno essere a “pelle” piana e liscia, senza sinuosità e sporgenze alcuna e le attaccature non dovranno essere superiore ai 2 mm.

Per le opere a “faccia a vista” dovrà essere vietato l’impiego di materiali con venature disomogenee o, in genere, di brecce. Per questo specifico utilizzo dovranno essere utilizzate pietre caratterizzate da una buona resistenza a compressione ed a flessione, capacità di resistenza agli agenti atmosferici ed alle sostanze inquinanti, nonché presentare una buona tenacità (resistenza agli urti).

TRAVERTINO (TERMINE COMMERCIALE)

Roccia sedimentaria di deposito chimico con caratteristica strutturale vacuolare, da impiegare in rivestimenti esterni ed interni, in pavimenti, marcapiani, elementi architettonici in genere; alcune varietà sono lucidabili. È una roccia concrezionata, a struttura microcristallina; la sedimentazione delle concrezioni potrà risultare molto evidenziata da stratificazioni parallele a bande e zonature talvolta anche molto marcate determinate da variazioni di colore e porosità.

TUFO

Roccia sedimentaria piroclastica e coerente formata da lapilli. Dovrà essere di struttura litoide, compatta ed uniforme, dovrà essere escluso il tufo pomicioso e quello facilmente friabile. Modesta resistenza a compressione (30-50 kg/cm²), peso specifico di 1,3-1,5.

I prodotti di cui sopra dovranno rispondere a quanto segue:

- 1) appartenere alla denominazione commerciale e/o petrografica indicata nel progetto, oppure avere origine dal bacino di estrazione o zona geografica richiesta, essere conformi ai campioni di riferimento precedentemente selezionati. Dovranno, altresì, essere della migliore qualità, ed essere esenti di scaglie, brecce, vene, spaccature, nodi, peli, crepe, discontinuità o altri difetti che li potrebbero rendere fragili, poco omogenei e non adatti alla specifica funzione. Non saranno tollerati: stuccature, tasselli, rotture e scheggiature;
- 2) avere lavorazione superficiale e/o finiture indicate nel progetto e/o rispondere ai campioni di riferimento; avere le dimensioni nominali concordate e le relative tolleranze;
- 3) delle seguenti caratteristiche il fornitore dichiarerà i valori medi (ed i valori minimi e/o la dispersione percentuale):
 - massa volumica reale ed apparente, (misurata secondo);
 - coefficiente di imbibizione della massa secca iniziale, (misurato secondo);
 - resistenza a compressione, (misurata secondo);
 - resistenza a flessione, (misurata secondo);
 - resistenza all’abrasione, (misurata secondo);
 - ;
- 4) per le prescrizioni complementari da considerare in relazione alla destinazione d’uso (strutturale per murature, pavimentazioni, coperture ecc.) si rinvia agli appositi articoli del presente capitolato ed alle prescrizioni di progetto. I valori dichiarati saranno accettati dalla D.L. anche in base ai criteri generali dell’art. 1 del presente Capo.

Tabella 9.1 Proprietà fisiche delle pietre naturali

Rocce	Massa volumica (peso sp. app.) ton/m³	Massa volumica appar. (peso in mucchio) ton/ m³	Porosità assoluta % del volume	Porosità appar. volume %	Coefficiente d'imbibizione in peso %
a) intrusive					
Granito, Sienite	2,60-2,80	1,3-1,4	0,4-1,5	0,4-1,4	0,2-0,5
Diorite, Gabbro	2,80-3,00	1,4-1,5	0,5-1,6	0,5-1,5	0,2-0,4
b) effusive					
Porfido quarzifero,	2,55-2,80	1,3-1,4	0,4-1,8	0,4-1,5	0,2-0,7
Porfite, Andesite					
Basalto, Melafiro	2,95-3,00	1,4-1,5	0,2-0,9	0,3-0,7	0,1-0,3
Rocce	Massa volumica (peso sp. app.) ton/m³	Massa volumica appar. (peso in mucchio) ton/ m³	Porosità assoluta % del volume	Porosità appar. volume %	Coefficiente d'imbibizione in peso %
c) detritiche					
Pomice	50-1,10	0,5-0,9	30-70	25-60	30-70
Tufo vulcanico	1,80-2,00	0,6-1,0	20-30	12-30	6-15
a) clastiche					
Arenaria	2,60-2,65	1,3-1,4	0,4-0,2	0,4-1,3	0,2-0,5
b) organogene					
Calcare tenero, inclusi	1,70-2,60	1,3-1,4	0,5-30	0,5-25	1,0-25
i conglomerati					
Calcare compatto	2,65-2,85	1,3-1,4	0,4-2,0	0,5-1,8	2,0-4,0
c) chimica					
Dolomia	2,30-2,85	1,3-1,4	0,4-2,0	0,5-1,8	2,0-4,0
Travertino	2,40-2,50	1,1-1,2	5,0-12	4,0-10	2,0-5,0
Gneiss	2,65-3,00	1,3-1,5	0,4-2,0	0,3-1,8	0,1-0,6
Scisti (lavagna)	2,70-2,80		1,6-2,5	1,4-1,8	0,5-0,6
Marmo	2,70-2,80	1,3-1,4	0,5-3,0	0,5-2,0	0,0-1,0
Quarziti	2,60-3,65	1,3-1,4	0,4-2,0	0,2-0,6	0,2-0,6

Tabella 9.2 Proprietà meccaniche delle pietre naturali

Travertino	20-60	4-10	24.500-49.000	60-100	7-12
Gneiss	157-275	---	49.000-69.000	40-100	1-2
Scisti (lavagna)	30-100	---	19.500-59.000	40-80	4-8
Marmo	100-176	6-15	39.000-69.000	70-100	4-8
Quarziti	145-295	---	49.000-69.000	110-180	1-1,5
Granito, Sienite	157-235	10-20	49.000-59.000	110-120	1
Diorite, Gabbro	167-295	10-21	78.400-98.000	130-180	1-1,5
Porfido quarzifero,	176-295	15-20	49.000-69.000	130-240	1-1,5
Porfite, Andesite					
Basalto, Melafiro	245-395	12-25	88.000-118.000	160-300	1-2
Tufo vulcanico	5-20	0,7	9.800-29.500	---	---
Arenaria	120-200	4-9	30.000-40.000	150-260	
Calcare tenero	20-88	5-10	29.000-59.000	70-110	4-9
Calcare compatto	78-176	6-15	39.000-69.000	70-110	4-8

7.11 Materiali per pavimentazione e rivestimenti - Generalità

Si definiscono prodotti per pavimentazione quelli che potranno essere utilizzati per realizzare lo strato di rivestimento dell'intero sistema di pavimentazione. Per la realizzazione di integrazioni parziali o totali del sistema di pavimentazione si rinvia all'articolo specifico inerente l'esecuzione delle pavimentazioni.

I prodotti verranno di seguito considerati al momento della fornitura; il Direttore dei Lavori, ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura oppure richiedere un attestato di conformità della

fornitura alle prescrizioni di seguito indicate. Tutti i prodotti dovranno essere contenuti in appositi imballi ed accompagnati da schede informative. I manufatti, prima della posa, andranno attentamente controllati avendo l'accortezza di mischiare i materiali contenuti in più imballi o appartenenti a lotti diversi.

7.11.1 PRODOTTI DI LEGNO

Tavolette, listoni, mosaico di lamelle, blocchetti ecc. in legno di acero, afrormosia, ciliegio, doussie, faggio, iroko, jatobà, rovere, sucupira, teak, ulivo ecc. si intendono denominati nelle loro parti costituenti come indicato nella letteratura tecnica (UNI 4373-76). Se non diversamente specificato gli elementi sopraindicati dovranno presentare le seguenti dimensioni:

- *-tavolette* (laminato) larghezza 40-60 mm, spessore 9-11 mm, lunghezza 220-320 mm nelle seguenti essenze
- *-listoncini* larghezza 60-80 mm, spessore 14-17 mm, lunghezza 350-500 mm nelle seguenti essenze
- *-listoni* larghezza 70-120 mm, spessore 22 mm, lunghezza 500-1000 mm, lavorati a maschio e femmina per incastro, nelle seguenti essenze
- *-quadretti di legno* a lamelle larghezza 20-40 mm, spessore 8 mm, dimensioni 120x120/160x160 mm, nelle seguenti essenze

I prodotti di cui sopra dovranno rispondere a quanto segue:

- a) essere composti da legni stagionati ed essiccati di essenza legnosa adatta all'uso e prescritta nel progetto;
- b) saranno ammessi i seguenti difetti visibili sulle facce in vista:
 - b1) qualità I: piccoli nodi sani con diametro minore di 2 mm se del colore della specie (minore di 1 mm se di colore diverso) purché presenti su meno del 10% degli elementi del lotto; imperfezioni di lavorazione con profondità minore di 1 mm e purché presenti su meno del 10% degli elementi;
 - b2) qualità II:
 - piccoli nodi sani con diametro minore di 5 mm se del colore della specie (minore di 2 mm se di colore diverso) purché presenti su meno del 20% degli elementi del lotto;
 - imperfezioni di lavorazione come per la classe I;
 - piccole fenditure;
 - alborno senza limitazioni ma immune da qualsiasi manifesto attacco di insetti;
 - b3) qualità III: esenti da difetti che potrebbero comprometterne l'impiego (in caso di dubbio varranno le prove di resistenza meccanica). Alborno senza limitazioni, ma immune da qualsiasi manifesto attacco di insetti;
- c) avere contenuto di umidità tra il 10 ed il 15%;
- d) tolleranze sulle dimensioni e finitura:
 - d1) listoni: 1 mm sullo spessore; 2 mm sulla larghezza; 5 mm sulla lunghezza;
 - d2) tavolette: 0,5 mm sullo spessore; 1,5% sulla larghezza e lunghezza;
 - d3) mosaico, quadretti ecc.: 0,5 mm sullo spessore; 1,5% sulla larghezza e lunghezza;
 - d4) le facce a vista ed i fianchi da accertare saranno lisci;
- e) resistenza meccanica a flessione minima (misurata secondo la norma UNI EN 1533);
- f) resistenza alla penetrazione minima (misurata secondo la norma UNI EN 1534);
- g) stabilità dimensionale (misurata secondo la norma UNI EN 1910);
- h) elasticità e resistenza all'usura per abrasione (misurata secondo la norma UNI EN 13696);
- i) resistenza agli agenti chimici (misurata secondo la norma UNI EN 13442).

I prodotti dovranno essere contenuti in appositi imballi che li proteggano da azioni meccaniche, umidità nelle fasi di trasporto, deposito e manipolazione prima della posa. Nell'imballo un foglio informativo dovrà indicare, oltre al nome del fornitore e contenuto, l'essenza legnosa nonché le caratteristiche di cui sopra.

7.11.2 PRODOTTI DI PIETRE NATURALI O RICOSTRUITE

I prodotti che rientrano in questa categoria si intendono definiti come segue:

- a) *elemento lapideo naturale*: elemento costituito integralmente da materiali lapidei (senza aggiunta di leganti);
- b) *elemento lapideo ricostituito* (conglomerato): elemento costituito da frammenti lapidei naturali legati con cemento o con resine;
- c) *elemento lapideo agglomerato ad alta concentrazione di agglomerati*: elemento il cui volume massimo del legante risulterà minore del 21% nel caso di lapidei agglomerati con aggregati di dimensione massima fino a 0,8 mm, e minore del 16%, nel caso di lapidei agglomerati con aggregati di dimensione massima maggiore;
- d) *blocco informe*: blocco la cui conformazione non risulterà ridotta ad una forma geometrica regolare;
- e) *blocco squadrato*: blocco la cui conformazione risulterà ridotta ad una forma geometrica regolare tendenzialmente parallelepipedica, destinata a successivo taglio e segazione in lastre;
- f) *lastra*: elemento semilavorato avente una dimensione (lo spessore) notevolmente minore delle altre due (la lunghezza e la larghezza), determinato da due facce principali nominalmente parallele. In riferimento allo spessore si distinguerà in: *sottile* (spessore minore a 20 mm) o *spessa* (spessore maggiore di 80 mm); mentre, in riferimento agli strati di finitura superficiale si distinguerà in:
 - *-lastra a piano sega* ovvero lastra la cui faccia a vista non avrà subito una lavorazione di rifinitura successiva alla segazione (ad es., lucidatura o bocciardatura);
 - *-lastra a paramento lavorato* ovvero lastra la cui faccia a vista avrà subito una lavorazione di rifinitura successiva alla segazione;
 - *-lastra a spacco* ovvero lastra con facce nello stato di finitura che si presenterà dopo l'operazione di spacco;
 - *lastrame* ovvero lastre con facce a piano naturale di cava.

A riguardo della conformazione planimetrica delle facce le lastre potranno distinguersi in:

- *lastre da telaio* ovvero con bordi laterali irregolari aventi conformazione planimetrica assimilabile ad un rettangolo;
- *lastre informi* ovvero con contorno irregolare, con facce indifferentemente lavorate;
- g) *lastra rifilata*: (definita anche marmetta) elemento lastriforme tagliato nella conformazione e nelle misure richieste per la posa in opera; a richiesta potrà essere calibrata (lavorata meccanicamente per mantenere lo spessore entro le tolleranze dichiarate). Le suddette lastre potranno essere a misura fissa, a misura fissa di serie, a misura fissa a casellario o a correre (cioè di larghezza fissata e lunghezza non definita, variabile entro limiti stabiliti);
- h) *massello*: elemento semilavorato non lastriforme di conformazione parallelepipedica. Il massello si potrà distinguere in: *massello a spacco* (avente cioè le facce ricavate con spacco cava); *massello rifilato* (con le facce ricavate con lavorazione meccanica); *massello a correre* (avente larghezza e spessore fissate e lunghezza non definita variabile entro limiti stabiliti);
- i) *cubetto*: elemento semilavorato di forma pressoché cubica ottenuto, per spaccatura meccanica il cui spigolo è variabile a seconda del tipo classificato. Tali materiali verranno distinti, a seconda della lunghezza in centimetri di detto spigolo nei seguenti assortimenti: 4/6, 6/8, 8/10, 10/12, 12/14 e 14/18; la tolleranza dovrà essere non superiore a 1 cm. i vari spigoli del cubetto non dovranno essere necessariamente uguali e le facce spaccate non saranno necessariamente ortogonali tra loro. La superficie del cubetto dovrà essere a piano naturale di cava e non dovrà presentare eccessive ruvidità. Le quattro facce laterali saranno ricavate a spacco e non segate, si presenteranno, pertanto, con superficie più ruvida ed in leggera sottosquadro. I cubetti devono essere costituiti da porfidi, graniti basalti o da altre rocce particolarmente dure e tenaci, preferibilmente a grana non troppo fine. Ogni assortimento dovrà comprendere cubetti di varie dimensioni entro i limiti che definiscono l'assortimento stesso con la tolleranza prevista. I cubetti dovranno rispondere alle norme prescritte dalla Circolare Ministeriale LL.PP. 13 gennaio 1955, n. 98.

Per gli altri termini specifici dovuti alle lavorazioni, finiture ecc., si rimanda alla norma UNI 9379 e UNI 10330.

I prodotti sopra descritti dovranno rispondere alle prescrizioni del progetto (dimensioni, tolleranze, aspetto ecc.) ed a quanto prescritto nell'art. 9 "Pietre naturali o ricostruite" del presente Capo. In mancanza di tolleranze su disegni di progetto si intenderà che le lastre grezze conterranno la dimensione nominale; le lastre finite, marmette ecc. avranno tolleranza 1 mm sulla larghezza e lunghezza e 2 mm sullo spessore (per prodotti da incollare le tolleranze predette saranno ridotte).

Le lastre ed i quadrelli di marmo o di altre pietre dovranno, qualora non diversamente specificato, rispondere ai Regi Decreti del 16 novembre 1939, n. 2234 e n. 2232 e alle norme CNR-UNI vigenti.

Le forniture dovranno essere fatte su *pallets* ed i prodotti, dovranno essere opportunamente legati ed eventualmente protetti dall'azione di sostanze estranee. Il foglio informativo indicherà almeno le caratteristiche di cui sopra e le istruzioni per la movimentazione, sicurezza e posa.

7.12 Colori e vernici - Generalità

Dovrà essere fatto obbligo all'appaltatore di utilizzare colori e vernici di recente produzione, che non presentino fenomeni di sedimentazione o di addensamento, gelatinizzazioni o di qualsiasi altro difetto. Dovranno essere forniti in cantiere in recipienti sigillati recanti l'indicazione della ditta produttrice, il tipo, la qualità, le modalità d'uso e di conservazione del prodotto nonché la data di scadenza. L'appaltatore dovrà aprire i contenitori solo al momento dell'utilizzo ed in presenza della D.L. che avrà l'obbligo di controllarne il contenuto. La stessa D.L. potrà procedere anche a lavori iniziati a ulteriori controlli (anche parziali) su campioni della fornitura. I prodotti, se non diversamente richiesto da indicazioni di progetto e/o prescrizioni della D.L., dovranno essere pronti all'uso (ad eccezione delle eventuali diluizioni previste dalle ditte produttrici seguendo i rapporti indicati o le specifiche prescrizioni della D.L.); dovranno assolvere le funzioni di protezione e/o decorazione, conferire alle superfici l'aspetto previsto dal progetto e mantenere tali proprietà nel tempo.

Per quanto riguarda i prodotti per la tinteggiatura di strutture murarie saranno da utilizzarsi esclusivamente, se non diversamente specificato, prodotti non pellicolanti secondo le definizioni delle norme UNI 8752-8758 recepite anche dalla raccomandazione NorMaL 04/85. I prodotti da utilizzarsi dovranno, in ogni caso, avere ottima penetrabilità, compatibilità con il supporto, garantendogli buona traspirabilità; tali caratteristiche dovranno risultare indiscutibilmente prevalenti rispetto alla durabilità dei cromatismi.

Secondo la norma UNI/EDL 8752 si intendono con i termini:

- *pittura*: rivestimento riportato filmogeno avente potere coprente dotato di proprietà protettive e decorative ed eventualmente di proprietà tecniche particolari;
- *tinta*: rivestimento riportato non filmogeno avente potere coprente dotato di proprietà decorative e non necessariamente di proprietà protettive o proprietà tecniche particolari;
- *vernice*: rivestimento riportato filmogeno trasparente, incolore o colorato.

Tutti i prodotti dovranno essere conformi alle norme UNI e UNICHIM vigenti.

In ogni caso i prodotti da utilizzarsi dovranno avere ottima penetrabilità e compatibilità con il supporto, così da garantire una buona traspirabilità. Tali caratteristiche dovranno risultare prevalenti rispetto alla durabilità dei cromatismi.

Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura e/o verniciatura di fabbriche, ovvero manufatti di dichiarato interesse storico, artistico, archeologico, o documentario posti sotto tutela, o su manufatti soggetti ad interventi di conservazione e restauro, sarà obbligo procedere dietro specifica autorizzazione della D.L. e degli organi competenti. In questi casi dovrà essere assolutamente vietato utilizzare prodotti a base di resine sintetiche senza una specifica autorizzazione della D.L., ovvero degli organi preposti alla tutela del bene oggetto di intervento.

Per i prodotti di comune impiego dovranno essere osservate, salvo diverse precisazioni, le seguenti prescrizioni:

- a) *olio di lino cotto*: l'olio di lino cotto dovrà essere ben depurato, presentare un colore bruno rossastro perfettamente limpido, un odore forte ed amarissimo al gusto, essere scevro da adulterazioni con olio minerale, olio di pesce ecc. Non dovrà lasciare alcun deposito né essere rancido, e disteso sopra una lastra di vetro o di metallo dovrà essiccare completamente nell'intervallo di 24 ore. L'acidità massima ammessa dovrà essere in misura del 7%, impurità non superiore al 1% ed alla temperatura di 15 °C presenterà una densità compresa fra 0,91 e 0,93;
- b) *acquaragia* (senza essenza di trementina): solvente apolare usato come diluente di altri solventi o di vernici, o come

solvente per resine sintetiche. Dovrà essere limpida, incolore, di odore gradevole e molto volatile. La sua densità a 15 °C dovrà essere di 0,87. È consigliabile il suo uso in ambiente aerato;

c) *bianco di zinco*: il bianco di zinco dovrà presentarsi come polvere finissima, bianca, costituita da ossido di zinco, non dovrà contenere più del 4% di sali di piombo allo stato di solfato, né più del 1% di altre impurità; l'umidità non dovrà superare il 3%. Dovrà essere utilizzato principalmente nella preparazione di prodotti vernicianti per interni;

d) *bianco di titanio*: biossido di titanio dovrà presentare un ottimo potere coprente e opacizzante, normalmente presente nella quasi totalità dei prodotti vernicianti in tinta bianca;

e) *latte di calce*: il latte di calce dovrà essere ricavato dal filtraggio di una soluzione particolarmente acquosa ottenuta stemperando accuratamente grassello di calce fino ad ottenere una miscela liquida e biancastra. Vi si potrà aggiungere la quantità di nero fumo strettamente necessaria per evitare la tinta giallastra. Per tinteggi, scialbatura o velature su murature di particolare valore storico-artistico dovrà essere vietato ricavare il latte di calce stemperando calce idrata in polvere.

7.12.1 PIGMENTI

Potranno essere definiti pigmenti i materiali (di granulometria molto fine dell'ordine di millesimi di millimetro) che, già colorati di per sé, risulteranno in grado di colorarne altri, se applicati sopra, inglobati o meno in apposite matrici. La natura chimica determinerà le caratteristiche proprie del pigmento; il potere colorante dovrà essere in relazione alla capacità maggiore o minore di un pigmento di conferire colore, mentre il potere coprente dovrà essere in relazione alla capacità di un pigmento di celare il supporto sottostante e dipenderà dalle caratteristiche stesse del pigmento. I pigmenti potranno essere di struttura chimica organica od inorganica (cioè minerale) e di origine naturale o artificiale. Per le superfici architettoniche risulteranno particolarmente adatti i pigmenti inorganici in quanto stabili al contatto con la calce presente nella tinta o nel supporto. I

Pigmenti di origine inorganica dovranno essere costituiti in prevalenza da composti dei metalli (ferro, manganese, rame, piombo, cromo ecc.); risulteranno più resistenti agli agenti atmosferici, più coprenti e più economici di quelli organici ma dotati di un minore potere colorante.

a) *Ossidi di ferro*: pigmenti puri ottenuti, attualmente, per via sintetica, stabili alla luce, agli agenti atmosferici, agli acidi, agli alcali alla calce e al cemento. I più comuni sono: ossido di ferro giallo, ossido di ferro rosso, ossido di ferro nero e ossido di ferro bruno. Tali ossidi risulteranno particolarmente indicati per la preparazione di tinte per calce e cemento, per la colorazione in pasta di cementi, calcestruzzi, malte per intonaci e stucchi, per la colorazione di granulati per tegole, asfalti e bitumi. Al fine di ottenere una buona dispersione, salvo diverse specifiche di progetto, l'ossido e gli altri materiali dovranno essere miscelati a secco, aggiungendo solo in seguito la quantità di acqua richiesta. Le percentuali d'uso potranno variare secondo l'intensità di tinta che si vorrà ottenere e al potere coprente di materiale in cui verranno miscelati, in ogni caso, salvo diverse specifiche, la percentuale non dovrà mai essere superiore al 10% in peso sulla massa.

b) *Terre naturali*: pigmenti che si rintracciano in natura con qualità specifiche di terrosità e finezza tali da essere impiegati come sostanze coloranti. Le terre coloranti dovranno contenere ossidi minerali di origine naturale, in mescolanze e percentuali variabili a seconda dei tipi (mediamente 20-40%, non saranno, in ogni caso, utilizzabili i depositi minerali che contengano ossidi in percentuale inferiore al 10%); le terre dovranno comporsi di un composto del ferro, un ossido, un idrossido, un silicato idrato. Le uniche terre che non sono a base di ferro sono le terre nere. La lavorazione delle terre coloranti, dopo che sono state estratte e asciugate si diversificherà a seconda della specifica tipologia; alcune verranno sbriciolate grossolanamente, separate dall'impurità e poi nuovamente macinate più o meno finemente (terre naturali) altre invece, cotte a temperature intorno ai 200-400 °C (terre bruciate): in questo modo si produrranno profonde alterazioni mineralogiche che daranno vita a differenti tonalità di colore. Le terre più comuni sono: terre gialle: idrossidi di ferro associati ad argille, il contenuto di minerali di ferro potrà variare tra il 15-20% e il 60-70%. Terre rosse il cui colore è imputabile alla presenza d'ossido rosso associato ad argille e silicati amorfi; la terra rossa si può, anche, ottenere dalla calcinazione a basse temperature (200-400 °C) di terre gialle. Il colore delle terre d'ombra è dovuto, invece, alla presenza di ossidi di manganese e di ferro dispersi su base argillosa; per calcinazione si potranno ottenere tonalità più scure.

Caratteristiche chimico-fisiche medie delle terre coloranti: peso specifico assoluto 4-5 gr/ml; massa volumica apparente 400-800 gr/lt; pH 3,5-6; ottima stabilità chimica alla luce, alla calce, all'umidità; insolubili sia in acqua sia in solventi inorganici.

Tabella 11.1 Pigmenti più utilizzati

Colore	Tipo di pigmento
Bianco	Latte di calce, Bianco San Giovanni, Bianco Spagna, Bianco Meudon, Bianco Zinco
Nero	Terra Nera Venezia, Nero Vite, Nero Manganese, Nero Roma
Bruno	Terra d'Ombra Naturale e Bruciata, Terra Colonia, Ocra Avana, Terra di Cipro
Giallo	Terre Gialle e Ocre Gialle, Terra Siena Naturale, Ocra Gialla
Rosso	Terra Rossa, Terra Siena Bruciata, Ocra Rossa, Cinabro Naturale, Rosso Ercolano
Verde	Terra Verde Nicosia, Verde Brentonico, Ossido di Cromo, Verde Cobalto
Azzurro	Azzurro di Cobalto, Blu Oltremare

7.12.2 TINTE

TINTE ALLA CALCE

Dovranno costituirsi di un'emulsione di calce idrata in fiore o di grassello di calce in cui verranno stemperati pigmenti inorganici naturali a base di terre coloranti, carbonati ed ossidi di ferro l'indurimento e la stabilizzazione della tinta avverrà mediante reazione con anidride carbonica dell'aria che produrrà, con la simultanea cessione di acqua, un calcare similmente a quanto avviene per gli intonaci di calce area. Per ottenere un'omogenea dispersione dei colori i pigmenti (precedentemente calibrati sulla tinta voluta) dovranno essere prima miscelati a secco e poi, preventivamente, messi in bagno in una quantità d'acqua pari a circa il doppio del loro volume, lasciandoli riposare per ore. I pigmenti, prima di aggiungerli al latte di calce dovranno obbligatoriamente essere passati attraverso un setaccio, in modo da eliminare eventuali grumi. L'aderenza alle malte potrà essere migliorata con additivi quali colle artificiali, animali e vegetali o con limitate quantità di resina acrilica in emulsione acquosa (massimo 5-10%). I suddetti additivi, ovvieranno a difetti come il dilavamento e lo spolverio, aumentando la durata e la resistenza della calce in presenza di inquinamento atmosferico.

Le tinte alla calce potranno essere applicate anche su pareti intonacate di fresco; in questo caso come pigmenti dovranno essere utilizzate terre naturali passate al setaccio. Per interventi conservativi si potrà ricorrere a velature di tinte a calce fortemente stemperate in acqua in modo da affievolire il potere coprente, rendendo la tinta trasparente.

TINTE AI SILICATI

DOVRANNO COSTITUIRSI DI UN LEGANTE A BASE DI SILICATO DI POTASSIO, DI UN SILICATO DI SODIO O DA UNA MISCELA DI ENTRAMBI GLI ELEMENTI E DA PIGMENTI ESCLUSIVAMENTE INORGANICI (PER LO PIÙ OSSIDI DI FERRO) TRATTATI IN MANIERA DA ESSERE STABILI ALL'ACIDITÀ AMBIENTALE. LA TINTA AI SILICATI POTRÀ ESSERE STESA, IN LINEA GENERALE, SU QUALUNQUE TIPO DI SUPPORTO (ESCLUSO IL GESSO IN OGNI SUA FORMA, INTONACO, CARTONGESSO ECC.), PURCHÉ QUESTO SI PRESENTI ASCIUTTO E ACCURATAMENTE SPOLVERATO E A PATTO CHE SI DISPONGANO, A SECONDA DELLA NATURA E DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLO STESSO, DIFFERENTI ED IDONEI

TRATTAMENTI PRELIMINARI. PER OVVIARE AI PROBLEMI DI APPLICAZIONE LEGATI AI SISTEMI DI COLORITURA AI SILICATI NON STABILIZZATI SARÀ CONSIGLIABILE L'UTILIZZO DI TINTE COSTITUITE DA SILICATO DI POTASSIO IN SOLUZIONE STABILIZZATO ED IDROFOBIZZATO. QUESTE TINTE SI DIFFERENZIERANNO DA QUELLE TRADIZIONALI IN QUANTO CONTERRANNO, OLTRE ALL'AGENTE SILICATO DI POTASSIO LEGANTE, UNA DISPERSIONE SINTETICA RESISTENTE AGLI ALCALI, CARICHE, ADDITIVI REOLOGICI E ANTIBIODETERIOGENI; LA QUANTITÀ TOTALE DI SOSTANZE ORGANICHE POTRÀ RAGGIUNGERE AL MASSIMO IL 5% DEL PESO, CON RIFERIMENTO AL PESO TOTALE DEL PRODOTTO FINITO. LA DISPERSIONE SINTETICA CONTENUTA IN QUESTE TINTE ORGANOSILICATICHE NON DARÀ VITA A PELLICOLA E PERCIÒ NON SARÀ CONSIDERATA AGENTE LEGANTE. LA DISPERSIONE SINTETICA AVRÀ SOLTANTO UNA FUNZIONE REOLOGICA E PROTETTIVA SUBITO DOPO L'APPLICAZIONE DELLA TINTA FINO A CHE LA "SILICIFICAZIONE" NON PROGREDISCE IN MODO SUFFICIENTE. SOVENTE IN QUESTA SECONDA TIPOLOGIA DI TINTA AI SILICATI NON SI FA USO DI PIGMENTI BIANCHI (CON ELEVATO POTERE COPRENTE) DI CONSEGUENZA RISULTANDO SEMITRASPARENTI POTRANNO RILEVARSI VALIDE ALTERNATIVE ALLA TINTA ALLA CALCE SPECIALMENTE IN AMBIENTI ESTERNI PARTICOLARMENTE AGGRESSIVI SIA DAL PUNTO DI VISTA CLIMATICO CHE ATMOSFERICO.

Nel caso in cui non si aggiungano i pigmenti queste miscele acquose (massima diluizione 50%) di silicati di potassio in soluzione stabilizzati ed idrofobizzati potranno rilevarsi buoni prodotti impregnanti con funzioni di consolidamento e protezione specialmente per intonaci e laterizi. Di norma il tempo di essiccamento superficiale o al tatto (a +20 °C e 65% di UR) sarà di circa 2 ore, mentre ne occorreranno 24 per l'essiccamento in profondità.

Il legame chimico che si istituirà tra tinta ed intonaco sottostante è stabile, la tintura non risulterà soggetta a degradi di sfogliamento anzi, agirà da consolidamento del supporto. Le caratteristiche che dovranno possedere tali tinte saranno:

- ottima adesione al supporto;
- buona permeabilità al vapore;
- resistenza all'acqua;
- resistenza ai raggi ultravioletti;
- resistenza alle muffe;
- invecchieranno per progressiva erosione e dilavamento superficiale.

Le suddette tinte dovranno essere applicate a temperatura minima +8 °C massima +35 °C; umidità relativa dell'ambiente massima 85% e temperatura del supporto minima +5 °C massima +40 °C.

7.12.3 PITTURE

Le pitture dovranno di norma, costituirsi da un pigmento, un veicolo o legante, un diluente e un seccante. In taluni casi, al composto, potrà essere aggiunto un antifementativo o degli antimuffa. Il pigmento dovrà essere, generalmente, di origine inorganica o artificiale. Il potere coprente richiesto alle pitture sarà determinato dal pigmento e dalle cariche.

PITTURE A COLLA O TEMPERA

Dovranno costituirsi di sospensioni acquose di pigmenti, cariche (calce, gesso, carbonato di calcio finemente polverizzati), e leganti a base di colle naturali (caseina, colla di pesce, latte, colla di farina ecc.) o sintetiche (colle viniliche, acriliche o di altro tipo di sintesi). Dovranno essere, preferibilmente, utilizzate su pareti interne intonacate perfettamente asciutte. In relazione alle modalità realizzativi questa pittura potrà essere suddivisa in tre tipi: quella che si ottiene "stemperando" i colori in acqua e aggiungendo in un secondo momento il legante (ovvero la colla); quella che si ottiene tinteggiando con pigmenti precedentemente stemperati in acqua e poi a soluzione asciutta vaporizzando soluzioni molto diluite di colla e

quella ottenuta dalla stesura della miscela ottenuta dall'impasto unico di colla colori ed acqua.

Il prodotto utilizzato, in ogni caso, dovrà possedere buona adesività al fine di eliminare lo scrostamento al contatto, buon potere coprente permettere sia la sovrapposizione dei colori sia, gli eventuali ritocchi, buona resistenza all'azione dell'acqua e dell'umidità, soprattutto se estesa all'esterno, brillantezza di colore e resistenza nel tempo.

PITTURE AD OLIO

Potranno comporsi di oli, resine sintetiche, pigmenti e sostanze coloranti. Rispetto alla tinteggiatura a tempera, dovrà presentare una maggiore elasticità e quindi capacità di seguire le eventuali deformazioni del fondo e presentare, inoltre, notevole impermeabilità e capacità di ritocco senza che i colori si mescolino tra loro in modo incontrollabile. Dovranno possedere un alto potere coprente, risultare resistenti all'azione degradante dell'atmosfera, delle piogge acide, dei raggi ultravioletti.

PITTURE CEMENTIZIE

Si comporranno di sospensioni acquose di cementi bianchi, resine acriliche in emulsione, cariche micronizzate, pigmenti inorganici ed additivi chimici (antialga e antimuffa) in polvere. Dovranno essere preparate in piccoli quantitativi a causa del velocissimo tempo di presa. L'applicazione dovrà concludersi entro 30 minuti dalla preparazione, prima che avvenga la fase di indurimento. Terminata tale fase sarà fatto divieto diluirle in acqua per eventuali riutilizzi. Il film essiccato di queste pitture, presenterà una bassa porosità che lo renderà particolarmente indicato per il trattamento e la protezione di strutture in cemento armato, dall'azione aggressiva dell'anidride carbonica. Inoltre il suo basso assorbimento d'acqua permette di preservare i supporti dall'azione di usura dovuta all'azione di "gelo-disgelo". Il tipo di finitura satinata permetterà di uniformare l'aspetto cromatico di getti non omogenei di calcestruzzo senza coprirne il disegno. Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura di fabbriche come manufatti di dichiarato interesse storico, artistico, archeologico, o documentario posti sotto tutela, ovvero su manufatti sottoposti ad interventi di conservazione e restauro, l'utilizzo di pitture cementizie dovrà essere vietato.

PITTURE EMULSIONATE

Emulsioni o dispersioni acquose che si costituiranno di pigmenti organici o inorganici, di cariche (carbonati di calcio, silicati di alluminio, polveri di quarzo ecc.) e da additivi sospesi in una resina sintetica (acrilica o acetoviniliche-versatiche). Poste in commercio come paste dense, da diluirsi in acqua al momento dell'impiego, dovranno essere in grado di realizzare sia forti spessori sia film sottilissimi. Potranno essere utilizzate su superfici interne ed esterne, in questo ultimo caso dovranno possedere una spiccata resistenza all'attacco fisico-chimico operato dagli agenti inquinanti. Queste pitture dovranno risultare impermeabili ed il loro degrado avverrà per filmazione od spogliamento-spellatura. Dovranno essere applicate con maestria e possedere colorazione uniforme. Potranno essere applicate anche su calcestruzzi, legno, cartone ed altri materiali. Non dovranno mai essere applicate su strati preesistenti di tinteggiatura, pittura o vernice non perfettamente aderenti al supporto.

IDROPITTURA (PITTURA ALL'ACQUA, PITTURE LAVABILI) A BASE DI COPOLIMERI ACRILICI

Pitture in cui il legante dovrà essere costituito da una dispersione acquosa di resine sintetiche (soprattutto copolimeri acrilici) con pigmenti che potranno essere organici ad alto potere coprente o inorganici (ad es., farina di quarzo, caolino, biossido di titanio ecc.) comunque molto coprenti con l'aggiunta di additivi reologici ed antimuffa. Questo consentirà di dare luogo a coloriture "piatte" con un effetto "cartonato". Le cariche dovranno essere costituite da materiali inerti, stabili rispetto all'acidità degli ambienti inquinanti. Le caratteristiche principali di questa pittura saranno: aspetto opaco-serico, ottima adesione al supporto, insaponificabile, ottimo potere riempitivo, resistenza agli alcali ed agli agenti aggressivi dell'inquinamento, resistenza all'attacco di funghi, muffe e batteri, superlavabile (resiste ad oltre 500 cicli di spazzola), eccellente stabilità di tonalità delle tinte e non ingiallente, resistenza ai raggi ultravioletti. Questo tipo di pittura risulterà idonea su intonaco civile di malta bastarda, cementizia o equivalente, intonaco a gesso, nuovo o già rivestito con altre pitture (previa preparazione con pulizia ed applicazione di idoneo fissativo uniformante e/o consolidante), elementi prefabbricati in conglomerati cementizi a superficie compatta, uniforme e piana, legno truciolare. Nel caso in cui si proceda alla tinteggiatura di manufatti di chiaro interesse storico, artistico, archeologico, o documentario posti sotto tutela, se non diversamente specificato dalla D.L., dovrà essere vietato l'utilizzo di idropitture acriliche.

BOIACCA PASSIVANTE

Boiaccia passivante anticarbonatante, pennellabile per la protezione dell'armatura di strutture in cemento armato normalmente caratterizzata da colori vivaci (arancio, azzurro, verde ecc.). Il prodotto potrà essere monocomponente, esente da nitrati, da miscelare con sola acqua (quantità variabile tra 0,3 e 0,5 l/kg), o bicomponente (A = miscela di cemento o leganti idraulici ad elevata resistenza, polveri silicee con idonea curva granulometrica, inibitori di corrosione, B = polimeri in dispersione acquosa; rapporto tra A e B variabile da 2:1 a 3:1); in ogni caso le caratteristiche minime della boiaccia dovranno essere: adesione all'armatura ed al cls > 2,5 N/mm², resistenza alla nebbia salina dopo 120 h nessuna corrosione, pH > 12, tempo di lavorabilità a 20 °C e 50% U.R. circa 40-60 min, temperatura limite di applicazione tra +5 °C e +35 °C, classe 0 di reazione al fuoco.

Lo strato minimo di protezione di tale pittura dovrà essere di almeno 1 mm.

7.12.4 VERNICI

Per vernice dovranno intendersi tutti gli impregnanti, i consolidanti e gli idrorepellenti; in genere utilizzati su legno, pietre naturali, cemento armato a vista, intonaci e su altri supporti murari quando si vorrà aumentarne la consistenza l'impermeabilità o l'idrorepellenza. I prodotti vernicianti dovranno essere classificati in rivestimenti incorporati (impregnanti superficiali: idrorepellenti, consolidanti, mordenti e primer per supporti in legno, conglomerati legati con calce e/o cemento

come intonaci cementi decorativi e calcestruzzi) e rivestimenti riportati (smalti, flatting, "pitture").

VERNICI NATURALI E SINTETICHE

Le vernici dovranno creare una pellicola trasparente, lucida od opaca. Di norma si otterranno per sospensioni di pigmenti e delle cariche (talco, quarzo, caolino ecc.) in soluzioni organiche di resine naturali (coppale, colofonia, trementina benzoio, mastice ecc.) o sintetiche, (acriliche, alchidiche, oleoalchidiche, cloroviniliche, epossidiche, poliuretani, poliesteri, fenoliche, siliconiche ecc.). La percentuale di veicolo (legante + solvente) dovrà di norma essere pari al 50%, nel caso di verniciature per esterno, la composizione dovrà essere: 40% di pigmento e 60% di veicolo caratterizzato da resistenze particolari agli agenti atmosferici ed agli agenti alcalini.

Le vernici per gli interni dovranno essere a base di essenza di trementina e gomme pure di qualità scelte; disciolte nell'olio di lino dovranno presentare una superficie brillante. Dovrà essere fatto divieto l'impiego di gomme prodotte da distillazione. Di norma le vernici essicheranno con rapidità formando pellicole molto dure. Dovranno essere resistenti agli agenti atmosferici, alla luce ed agli urti; essere utilizzate dietro precise indicazioni della D.L. che dovrà verificarne lo stato di conservazione una volta aperti i recipienti originali.

SMALTI

Prodotti di natura vetrosa composti da silicati alcalini: alluminio, piombo, quarzo, ossido di zinco, minio ecc.; si utilizzeranno per eliminare la porosità superficiale della ceramica e/o per decorarla. All'interno di questa categoria rientreranno anche gli smalti sintetici: miscele di resine termoindurenti sciolte in acquaragia insieme ai pigmenti; queste sostanze dovranno possedere forte potere coprente, avere le caratteristica di essiccare in poche ore (intorno alle 6 ore), facilità di applicazione, luminosità e resistere agli urti per diversi anni anche all'esterno.

VERNICI ANTIRUGGINE E ANTICORROSIVE

Dovranno essere rapportate al tipo di materiale da proteggere ed alle condizioni ambientali. Il tipo di vernice da impiegare su ferro e sue leghe dovrà essere indicato dalla D.L., se non diversamente specificato si intenderà a base di resine gliceroftaliche a caucciù clorurato, plastificanti in saponificabili e pigmenti inibitori della corrosione, fosfato basico di zinco ed ossido di ferro rosso. La vernice dovrà risultare sovraverniciabile (entro sei-otto giorni dall'applicazione) con pitture a smalto oleosintetiche, sintetiche e al clorocaucciù. L'applicazione di tale vernice potrà avvenire sia a pennello (consigliata) sia a rullo, in entrambi i casi lo spessore minimo di pellicola secca per strato dovrà essere di 25 mm, ottenibile da pellicola umida di 70-80 mm mentre lo spessore massimo sarà di 40 mm, ottenibile da pellicola umida di 110-120 mm.

7.13 Additivi

Gli additivi per malte e calcestruzzi dovranno essere sostanze chimiche che, aggiunte in dosi calibrate, risulteranno capaci di modificarne le proprietà (lavorabilità, impermeabilità, resistenza, durabilità, adesione ecc.). Dovranno essere forniti in recipienti sigillati con indicati il nome del produttore, la data di produzione, le modalità di impiego. Gli additivi dovranno, inoltre, possedere caratteristiche conformi a quelle prescritte dalle rispettive norme UNI (UNI 7101, UNI EN 480/2-10) e dal DM 26 marzo 1980. Gli additivi per iniezione sono classificati dalla norma UNI EN 934-4/2001.

Gli additivi sono classificati in funzione alle loro proprietà:

a) *fluidificanti*: (norma UNI 7102, 7102 FA 94-80) migliorano la lavorabilità dell'impasto, tensioattivi in grado di abbassare le forze di attrazione tra le particelle della miscela, diminuendo, in questo modo, l'attrito nella fase di miscelazione e di conseguenza la quantità d'acqua (riduzione rapporto. acqua-cemento del 5%) vengono denominati anche riduttori d'acqua. I fluidificanti potranno essere miscelati tra loro in svariati modi (ad es. fluidificanti-aeranti UNI 7106, 7106 FA 96-80, fluidificanti-ritardanti UNI 7107, 7107 FA 97-80, fluidificanti-acceleranti UNI 7108, 7108 FA 98-80);

b) *superfluidificanti*: (norma UNI 8145, 8145 FA 124-83) permettono un'ulteriore diminuzione dell'acqua nell'impasto rispetto ai fluidificanti normali, rapporto di riduzione acqua-cemento fino al 20-40%. Sono, in genere, costituiti da miscele di polimeri di sintesi mischiati con altre sostanze come la formaldeide.

c) *porogeni-aeranti*: (norma UNI 7103, 7106 FA 96-80) in grado di creare micro e macro bolle d'aria ad elevata stabilità all'interno della massa legante 0,30-0,60 kg per 100 kg di legante saranno sufficienti per ottenere un'introduzione di aria del 4-6% (limite massimo di volume di vuoto per calcestruzzi al fine di mantenere le resistenze meccaniche entro valori accettabili); per rinzaifi ed arricci di intonaci macroporosi deumidificanti la percentuale d'aria dovrà salire fino al 30-40%. Questo tipo di additivo risulterà in grado di facilitare, prima della presa, la lavorabilità nonché evitare la tendenza alla essudazione ovverosia il processo di sedimentazione della malta fresca nel periodo precedente all'indurimento. Il limite di questo additivo risiede nel progressivo riempimento delle microbolle con materiali di idratazione;

d) *acceleranti*: (norma UNI 7105) agiscono sull'idratazione aumentandone la velocità, si distinguono in acceleranti di presa ed acceleranti di indurimento. I più comuni sono costituiti da silicato o carbonato di sodio e/o di potassio, cloruro di calcio (additivo antigelo uni 7109);

e) *ritardanti*: (norma UNI 7104, 7104 FA 95-80) loro scopo è ritardare l'idratazione quindi la presa al fine di consentire un tempo più lungo di lavorabilità, potranno essere di origine organica e inorganica;

f) *plastificanti*: sostanze solide allo stato di polvere sottile di pari finezza di quella del legante, miglioreranno la viscosità, la stabilità e l'omogeneità dell'impasto aumentando la coesione tra i vari componenti e diminuendo lo spurgo dell'acqua;

g) *espansivi*: (norma UNI 8146-8149) gli agenti espansivi comprendono un ampio ventaglio di prodotti preconfezionati (prevalentemente di natura organica) che, pur non essendo propriamente additivi potranno, in qualche misura rientrare ugualmente nella categoria. La caratteristica principale e quella di essere esenti da ritiro.

Per le modalità di controllo ed accettazione il Direttore dei Lavori potrà far eseguire controlli (anche parziali) su campioni di fornitura od accettare l'attestazione di conformità alle norme secondo i criteri dell'art. 1 del presente Capo.

7.14 Materiali diversi (sigillanti, adesivi, geo-tessuti, tessuti-non-tessuti)

I prodotti del presente articolo, dovranno essere considerati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero, richiedere un attestato di conformità della stessa alle prescrizioni di seguito indicate. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova dovrà essere fatto riferimento ai metodi UNI esistenti.

SIGILLANTI

La categoria dei sigillanti comprenderà i prodotti impiegati per colmare, in forma continua e durevole, i giunti tra elementi edilizi (in particolare nei serramenti, nelle pareti esterne, nelle partizioni interne ecc.) con funzione di tenuta all'aria, all'acqua ecc. Oltre a quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, i sigillanti dovranno rispondere alle seguenti caratteristiche:

- compatibilità chimica con il supporto sul quale verranno applicati;
- -diagramma forza-deformazione (allungamento) compatibile con le deformazioni elastiche del supporto al quale sono destinati;
- -durabilità ai cicli termoigrometrici prevedibili nelle condizioni di impiego intese come decadimento delle caratteristiche meccaniche ed elastiche tali da non pregiudicarne la sua funzionalità;
- durabilità alle azioni chimico-fisiche di agenti aggressivi presenti nell'atmosfera o nell'ambiente di destinazione.
- durabilità alle azioni chimico-fisiche di agenti aggressivi presenti nell'atmosfera o nell'ambiente di destinazione.

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà comprovato allorché il prodotto risponderà agli elaborati di progetto od alle norme UNI 9611, UNI EN ISO 9047, UNI EN ISO 10563, UNI EN ISO 10590, UNI EN ISO 10591, UNI EN ISO 11431, UNI EN ISO 11432, UNI EN 28339, UNI EN 28340, UNI EN 28394, UNI EN 29046, UNI EN 29048 e/o in possesso di attestati di conformità; in loro mancanza si farà rimando ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

ADESIVI

La categoria degli adesivi comprenderà i prodotti utilizzati per ancorare un elemento ad uno attiguo, in forma permanente, resistendo alle sollecitazioni meccaniche, chimiche ecc. dovute alle condizioni ambientali ed alla destinazione d'uso. Saranno inclusi in questa categoria gli adesivi usati in opere di rivestimenti di pavimenti e pareti o per altri usi e per diversi supporti (murario, ferroso, legnoso ecc.); non saranno, invece, inclusi fuori gli adesivi usati durante la produzione di prodotti o componenti. Oltre a quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, gli adesivi dovranno rispondere alle seguenti caratteristiche:

- compatibilità chimica con il supporto sul quale si applicheranno;
- -durabilità ai cicli termoigrometrici prevedibili nelle condizioni di impiego intesa come decadimento delle caratteristiche meccaniche tale da non pregiudicare la loro funzionalità;
- -durabilità alle azioni chimico-fisiche dovute ad agenti aggressivi presenti nell'atmosfera o nell'ambiente di destinazione;
- caratteristiche meccaniche adeguate alle sollecitazioni previste durante l'uso.

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà comprovato quando il prodotto risponderà alle seguenti norme UNI:

- -UNI EN 1372, UNI EN 1373, UNI EN 1841, UNI EN 1902, UNI EN 1903, in caso di adesivi per rivestimenti di pavimentazioni e di pareti;
- UNI EN 1323, UNI EN 1324, UNI EN 1346, UNI EN 1347, UNI EN 1348, in caso di adesivi per piastrelle;
- UNI EN 1799 in caso di adesivi per strutture di calcestruzzo.

In alternativa, ovvero in aggiunta il soddisfacimento delle prescrizioni predette, si intenderà attestato allorché il prodotto risulterà in possesso di attestati di conformità; in loro mancanza dovrà essere fatto riferimento ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

GEO-TESSUTI

La categoria dei geo-tessuti comprenderà i prodotti, ottenuti dalla combinazione di fibre di poliestere e caratterizzati da una forte resistenza alla trazione, di norma utilizzati per costituire strati filtranti, di separazione (interfaccia tra strati archeologici e strati di materiale di riporto), contenimento, drenaggio in opere di terra (rilevati, scarpate, strade, giardini, rinterri di scavi ecc.) ed in coperture ovvero per foderature. Si distingueranno in:

- tessuti (UNI sperimentale 8986): stoffe realizzate intrecciando due serie di fili (realizzando ordito e trama);
- -non tessuti (UNI 8279): feltri costituiti da fibre o filamenti distribuiti in maniera casuale, legati tra loro con trattamento meccanico (agugliatura) oppure chimico (impregnazione) oppure termico (fusione). Si avranno non tessuti ottenuti da fiocco o da filamento continuo.

Salvo diverse specifiche presenti negli elaborati di progetto, ovvero negli articoli relativi alla destinazione d'uso, si intenderanno forniti se risponderanno alle seguenti caratteristiche:

- tolleranze sulla lunghezza e larghezza: $\pm 1\%$;
- spessore: $\pm 3\%$;
- resistenza a trazione (non tessuti: UNI 8279-4);
- resistenza a lacerazione (non tessuti: UNI 8279-9; tessuti 7275);
- resistenza a perforazione con la sfera (non tessuti: UNI 8279-11; tessuti: UNI 5421);
- assorbimento dei liquidi (non tessuti: UNI 8279-5);
- ascensione capillare (non tessuti: UNI 8279-7);
- variazione dimensionale a caldo (non tessuti: UNI 8279-12);
- permeabilità all'aria (non tessuti: UNI 8279-3);

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo per ogni singola tipologia di geotessuto facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

Il soddisfacimento delle prescrizioni predette si intenderà confermato allorché il prodotto risponderà alle norme UNI sopra indicate ovvero sarà in possesso di attestato di conformità; in loro mancanza dovrà essere fatto riferimento ai valori dichiarati dal produttore ed accettati dalla D.L.

Dovrà, inoltre, essere sempre specificata la natura del polimero costituente (poliestere, polipropilene, poliammide ecc.).

Per i non tessuti dovrà essere precisato:

- se sono costituiti da filamento continuo o da fiocco;
- se il trattamento legante è meccanico, chimico o termico;
- il peso unitario.

TESSUTI-NON-TESSUTI

Prodotti composti da sottili filamenti di Polipropilene stabilizzato ai raggi U.V., saldati tra loro per termo-pressione. Si presenteranno come teli non tessuti, ma formati da una massa disordinata molto morbida e resistente, traspirante e alcuni potranno essere dotati di una buona permeabilità all'acqua. Nelle grammature medio basse (15-30 g/m²) potranno essere utilizzati per protezione a contatto di reperti mobili.

7.15 Solventi

La scelta del solvente rappresenta di norma un compromesso tra esigenze diverse: potere solvente, stabilità, non corrosività, tossicità ed infiammabilità. Considerando i parametri di solubilità (ovvero f_s forze di dispersione, f_p forze polari e f_h forze di legame a Idrogeno) dei solventi organici sarà consigliabile sostituire un solvente organico con un altro solvente o una miscela di solventi la cui terna di parametri di solubilità sia analoga a quella del solvente da sostituire specialmente se questo ultimo si rileva molto tossico. L'utilizzo di solventi gelificanti nelle operazioni di pulitura di superfici policrome sarà da preferire dal momento che consentirà di ottenere un'azione più controllata e selettiva sullo strato da rimuovere, oltre ad una minore volatilità dei solventi stessi, e maggiore sicurezza per l'operatore.

Per utilizzare, manipolare e/o conservare i suddetti prodotti si dovrà, obbligatoriamente, fare riferimento a quanto indicato sulle relative etichette e schede di sicurezza. I prodotti dovranno, inoltre, essere ad esclusivo uso di personale professionalmente qualificato. In ogni caso dovranno sempre essere utilizzati i dpi (dispositivi di sicurezza individuali) adeguati a protezione della pelle, degli occhi, del viso e delle vie respiratorie.

I solventi potranno essere suddivisi in due sottocategorie ovvero: solventi polari e solventi apolari.

- -Acetato di amile solvente polare aprotico, penetrante volatile a media ritenzione. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +25 °C.
- -Acetato di butile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione. Molto efficace per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità +22 °C.
- -Acido acetico liquido incolore di odore pungente, miscelabile con acqua. In forma concentrata (a titolo superiore al 99%) e detto acido acetico glaciale (congela a temperatura ambiente) solvente a pH acido utilizzabile per la pulitura di patine carbonatiche o per la pulitura di superfici affrescate. $T_f = 16,6$ °C; $T_{eb} = +118,1$ °C.
- -Acetato di etile solvente polare aprotico, penetrante volatile a bassa ritenzione di odore gradevole e caratteristico. Ottimo per la rimozione di resine nitrocellulosiche, resine naturali non invecchiate, resine sintetiche. Infiammabilità -3 °C.
- -Acetone anidrite solvente polare, volatile atossico utilizzabile sia per la rimozione di olii, cere, grassi, resine naturali e sintetiche, inchiostri e per diluizione di vernici e prodotti a base di resine sintetiche protettive e/o consolidanti. Presenta un ottimo potere solvente, miscibile con molti liquidi può essere impiegato come solvente intermedio. $T_f = -94$ °C; $T_{eb} = +56,5$ °C; V_e (relativa all'etere) = 1,9; $d_s = 10,0$.
- -Acqua ragia minerale solvente apolare utilizzato come diluente di altri solventi o di vernici ovvero come solvente per resine. La versione dearomatizzata presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.
- -Alcool benzilico solvente a moderata tossicità, attivo per la rimozione di resine naturali e sintetiche, nonché per alcune sostanze di natura proteica. Validi alternative alla dimetilformammide.
- -Alcool butilico solvente polare protico, non molto volatile, a media ritenzione e media penetrazione. Buon potere solvente verso grassi, olii, resine naturali, comprese coppali e gommalacca.
- -Alcool etilico denaturato 99% (Etanolo) solvente polare protico atossico risulta infiammabile, volatile e miscibile con acqua, acetone, etere usato efficace per la rimozione di resine naturali, comprese coppali e gommalacca. $T_f = -117$ °C; $T_{eb} = +78,3$ °C; V_e (relativa all'etere) = 7; $d_s = 12,7$.
- -Benzina rettificata 100/140 solvente idrocarburo apolare mediamente volatile utilizzato per la rimozione di cere, paraffina, bitumi e grassi. Per benzina si intende miscele di idrocarburi saturi o limitatamente insaturi, più o meno ramificati, che si raccolgono nelle frazioni basso bollenti del petrolio (da 30 a 200 °C).
- -Cloroformio liquido limpido, incolore, volatile di odore etereo, tossico. Ottimo solvente per oli, resine e grassi. Come tutti i solventi clorurati deve essere protetto dalla luce del sole. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato. $T_{eb} = +61,3$ °C; V_e (relativa all'etere) = 2,2; $d_s = 9,3$
- -Cloruro di metilene solvente apolare volatile presenta una forte azione su materiali grassi, media azione su resine naturali. Al fine di diminuire la volatilità può essere impiegato in miscela con materiali addensanti.
- -Diacetone alcool solvente incolore, inodore, mediamente polare tossico miscibile con acqua, presenta un punto di ebollizione elevato ed un buon potere solvente nei confronti di resine e alcune sostanze proteiche e polisaccaridiche. Data la sua tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato.

- -Diluyente nitro antinebbia miscela di vari solventi (toluene, acetone, dicloropropano, alcool isopropilico) alcuni tossici a polarità media a rapida evaporazione, possiede un buon potere solvente per vernici nitro e sintetiche in generale, olii ed alcuni materiali proteici.
- -Dimetilformammide solvente polare aprotico altamente tossica, di odore sgradevole, miscibile con acqua, esteri, alcoli, etere, chetoni, idrocarburi aromatici e clorurati. Solvente indicato per moltissimi polimeri fra cui, resine epossidiche, poliuretaniche, e viniliche. Data la sua alta tossicità se ne consiglia un uso limitato e controllato adottando le massime precauzioni di manipolazione ed aerazione.
- -Esano denaturato idrocarburo alifatico di odore leggero, volatile. Ottimo solvente per cere, grassi, vernici. $T_f = -95\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{eb} = +69\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- -Essenza di petrolio solvente apolare usato come diluente di altri solventi o di vernici, come solvente per resine o per saturare, temporaneamente, un colore. Non lascia residui evaporando. La versione dearomatizzata presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarlo in ambiente areato.
- -Essenza di trementina solvente apolare, incolore la versione rettificata debolmente giallo la versione pura, di odore caratteristico, efficace sia come diluente per colori ad olio sia per la rimozione di vernici, grassi e parzialmente cere e paraffine.
- -Etere etilico composto organico ottenuto per disidratazione dell'alcool etilico con acido solforico. Liquido incolore, di odore pungente, pochissimo miscelabile con acqua miscibile con solventi organici molto volatile e molto infiammabile. Utilizzabile come solvente per grassi, resine, cere e gomme. $T_f = -116\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{eb} = +34,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- -Etil laccato solvente ottimo per la diluizione e la rimozione di colori e vernici. Utilizzabile come ottima alternativa al più tossico xilolo nella pulitura di superfici policrome.
- -Limonane solvente polare atossico con elevato potere sgrassante, utilizzabile in percentuale opportuna insieme ad altri così da ottenere miscele di polarità calcolata, ad es. come alternativa al diluente nitro o la clorotene.
- -Ligroina solvente idrocarburo apolare impiegato tal quale o come diluente per altri solventi e per la pulitura di manufatti policromi. Valida alternativa all'essenza di petrolio.
- -Meilpirrolidone solvente ammidico penetrante, mediamente polare, nocivo, solvente molto forte per vernici, polimeri acrilici e resine; miscibile con essenza di petrolio, white spirit, alcool etilico. Solubile in acqua si rileva un ottimo sostituto della dimetilformammide.
- -Metiletilchetone solvente polare aprotico penetrante, incolore con odore caratteristico (simile all'acetone). Omologo superiore all'acetone presenta, rispetto a quest'ultimo, una minore volatilità. Impiegabile per la rimozione o la diluizione di olii, cere, resine naturali e sintetiche (eossidiche, fenoliche, acriliche ecc.), inchiostri. $d_s = 9,3$.
- -Toluene, Toluolo solvente apolare, di odore caratteristico (simile al benzene) ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloropropano. $T_{eb} = +110,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; V_e (relativa all'etere) = 4,5; $d_s = 8,9$.
- -Tributilsolfato liquido leggero, incolore, inodore, stabile. Impiegato come agente bagnante prima dell'iniezione delle malte per affreschi ed intonaci murali, può essere impiegato anche come coadiuvante per la macinazione dei pigmenti e per facilitare la dispersione degli stessi in acqua. Miscibile con la maggior parte dei solventi e diluenti si rileva un buon solvente per lacche, resine viniliche ed inchiostri. È inoltre un sequestratore per solfati, 1 ml si scioglie in circa 165 ml di acqua.
- -Tricloroetano liquido limpido, incolore, di odore etero caratteristico. Solvente non infiammabile ottimo per oli, grassi, cere e resine sia naturali che artificiali. È moderatamente volatile e offre scarsi fenomeni di ritenzione.
- -Tricloroetilene (triellina) liquido limpido, di odore caratteristico che ricorda il cloroformio. Buon solvente per olii, grassi, cere, bitumi. Impiegato per la pulitura e grassaggio di metalli e tessuti. Presenta, inoltre, un effetto insetticida.
- -Xilene, Xilolo solvente apolare aprotico, di odore caratteristico ottimo per la rimozione di resine naturali fresche, resine sintetiche, olii, grassi, cere e paraffine. Esente da benzene, contiene il 10% di dicloro propano. $d_s = 8,8$.
- -White spirit (ragia dearomatizzata) miscela di idrocarburi, liquido limpido di odore caratteristico. Insolubile in acqua ma miscibile con la maggior parte dei solventi organici.

Le miscele più utilizzate saranno le cosiddette miscela 2A formata da acqua, ammoniaca (al 6%); miscela 3A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro (di norma in rapporto 1:1:1), miscela 4A formata da acqua, acetone, alcool etilico puro, ammoniaca al 6% (in rapporto 1:1:1:1). Tutti i rapporti indicati sono da considerarsi orientativi e potranno essere modificati ribilanciando i componenti.

Nota per il compilatore: l'abbreviazione T_f indica la temperatura di fusione; T_{eb} indica la temperatura di ebollizione; V_e indica la velocità di evaporazione relativa all'etere; d_s indica il parametro di solubilità.

7.16 Materiali per la pulizia di manufatti lapidei - Generalità

La pulitura di una superficie di un manufatto, soprattutto se di valore storico-architettonico, dovrà prefiggersi lo scopo di rimuovere la presenza di sostanze estranee patogene, causa di degrado, limitandosi alla loro asportazione. Il lato estetico e cromatico post-intervento non dovrà incidere sul risultato finale, l'intento della pulitura non dovrà essere quello di rendere "gradevole" l'aspetto della superficie ma, bensì, quello di sanare uno stato di fatto alterato. Saranno, perciò, inutili, nonché dannose, puliture insistenti che potrebbero intaccare la pellicola naturale del materiale formatasi nel corso degli anni, puliture mosse, generalmente, dalla volontà di restituire al materiale il suo aspetto originario. Tenendo conto che anche la risoluzione meno aggressiva causerà sempre una, seppur minima, azione lesiva sul materiale, sarà opportuno ben calibrare l'utilizzo dei singoli prodotti (raccomandazioni NorMaL) che dovranno essere messi in opera puntualmente (mai generalizzando l'applicazione) e gradualmente, procedendo per fasi progressive su più campioni, in questo modo l'operatore potrà verificare l'idoneità della tecnica prescelta e, allo stesso tempo, definire quando l'intervento dovrà interrompersi.

All'Appaltatore sarà fatto divieto impiegare prodotti senza la preventiva autorizzazione della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto. Ogni prodotto potrà essere messo in opera previa esecuzione di idonei test-campione eseguiti in presenza della D.L. e dietro sua specifica indicazione.

I prodotti di seguito elencati, (forniti nei contenitori originali e sigillati) saranno valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero, richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova si farà riferimento alle norme UNI vigenti.

7.16.1 ACQUA PER LAVORI DI PULITURE

Per la pulitura di manufatti, dovrà essere utilizzata, in generale acqua assolutamente pura, dolce, priva di sali e calcari, con un pH neutro e una durezza inferiore al 2%. Dovranno essere utilizzate: in presenza di calcari teneri acque più dure, acque a grana fine dove si riscontreranno problemi di solubilità di carbonato di calcio mentre, per i graniti e le rocce silicate potrà essere utilizzata acqua distillata ovvero deionizzata ottenuta tramite l'utilizzo di appositi filtri contenenti resine scambiatrici di ioni acide (RSO_3H) e basiche (RNH_2OH) rispettivamente. Il processo di deionizzazione non renderà le acque sterili, nel caso in cui sia richiesta sterilità, potranno essere ottenute acque di quel tipo, operando preferibilmente per via fisica.

La produzione di acqua deionizzata si potrà effettuare in cantiere tramite utilizzo di specifica apparecchiatura con gruppo a resine a scambio ioniche di portata sufficiente a garantire una corretta continuità di lavoro.

7.16.2 SPUGNE PER PULITURE A SECCO

Queste spugne specifiche per la pulitura a secco di superfici delicate (affreschi, superfici decorate con graffiti) costituite da una massa di consistenza più o meno morbida e spugnosa (secondo del tipo prescelto), normalmente di colore giallo chiaro, supportata da una base rigida di colore blu. La massa spugnosa dovrà, necessariamente essere esente da ogni tipo di sostanza dannosa, presentare un pH neutro e contenere saktis (sorta di linosina), lattice sintetico, olio minerale, prodotti chimici vulcanizzati e gelificanti legati chimicamente. L'utilizzo di queste spugne consentirà di asportare, oltre ai normali depositi di polvere, il nero di fumo causato da candele d'altari e da incensi mentre non saranno adatte per rimuovere un tipo di sporco persistente (ad es., croste nere) e sostanze penetrate troppo in profondità.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'articolo 15 del presente capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.3 CARTA GIAPPONESE

Carta molto leggera a base di fibre di riso, dotata di robustezza disponibile in commercio in diversi spessori e pesi minimo 6 gr/m² massimo 110 gr/m². Queste carte serviranno da filtro per operazioni di puliture su superfici delicate o in avanzato stato di degrado, inoltre si rileveranno utili per velature ovvero per operazioni di preconsolidamento.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 15 del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.4 PRODOTTI CHIMICI

A causa della dannosità e della difficoltà di controllo dell'azione corrosiva innescata dai reagenti chimici dovrà essere cura dell'appaltatore operare con la massima attenzione e cautela, nel pieno rispetto di leggi e regolamenti; l'uso di suddetti prodotti dovrà, pertanto, obbligatoriamente, essere prescritto da specifica autorizzazione della D.L. e circoscritto a quelle zone dove altri tipi di prodotti (ossia di procedure di pulitura) meno aggressivi non siano stati in grado di rimuovere l'agente patogeno.

Se non diversamente specificato, sarà cura dell'appaltatore utilizzare formulati in pasta resi tixotropici da inerti di vario tipo (quali carbossimetilcellulosa, polpa di carta, argille assorbenti, od altro materiale) che dovranno essere convenientemente diluiti, con i quantitativi d'acqua prescritti dalla D.L.

EDTA BISODICO

Sale bisodico chelante si presenta come polvere bianca inodore a pH debolmente acido (pH @ 5) utilizzato per la pulitura di croste nere; particolarmente efficace per le patine a base di solfato, generate da solfatazioni e carbonato di calcio legati alla presenza di scialbi o ricarbonatazioni superficiali. Fondamentalmente è un agente sequestrante ha la proprietà di formare con gli ioni dei metalli, composti di coordinazione molto solubili e stabili, mascherandone la presenza in soluzione. I principali metalli che potrà "captare" sono, in ordine di affinità, i seguenti: calcio, potassio, sodio, cromo, nichel, rame, piombo, zinco, cobalto, manganese, magnesio.

EDTA TETRASODICO

Come l'EDTA Bisodico ma meno solubile in acqua e con pH basico (pH @ 11) si rileva più efficace per le patine a base di ossalato (prodotto da certi tipi di licheni o da ossidazione di eventuali materiali organici vari applicati in passato a scopo protettivo o decorativo e, in seguito, ossidati da batteri installatisi sulla superficie) che si concretizzano in patine di vario colore (giallo, rosa, bruno).

ACIDO CITRICO

Sale ad azione chelante (più debole dell'EDTA) da utilizzare come sale triammonico per la pulizia di affreschi e superfici policrome.

CARBOSSIMETILCELLULOSA

Solubile in acqua ed in soluzioni alcaline permette di ottenere liquidi molto viscosi dotati di proprietà addensanti, emulsionanti, detergenti e stabilizzanti. Il miglior modo per preparare una soluzione di carbossimetilcellulosa è quello di versarla lentamente in acqua calda sotto agitazione veloce. La viscosità diminuisce con il riscaldamento per tornare al valore iniziale con il raffreddamento.

ACIDO POLIACRILICO

Polimero acrilico per la preparazione di sistemi solvent-gel acquosi ad alta viscosità per la pulitura controllata di strati policromi. I polimeri reticolari dell'acido acrilico ad alto peso molecolare sono usati come agenti addensanti, sospendenti e stabilizzanti. Presenteranno una elevata versatilità di impiego e si rilevano ottimi prodotti per preparazione di gel trasparenti, alcolici e non, con viscosità media o altissima.

AMMINA DI COCCO

Ammina di cocco etossilata per la preparazione di sistemi solvent-gel per la pulitura controllata di strati policromi. Questo prodotto verrà utilizzato nella preparazione del solvent-gel per la proprietà che possiede di neutralizzare la funzione acida dell'acido poliacrilico e, contemporaneamente, di conferire all'addensante anche blande proprietà tensioattive. Dovranno, in ogni caso, essere aggiunte in quantità tale da salificare solo parzialmente l'acido, così da provocare semplicemente la distensione e da permettere l'addensamento della soluzione.

AMMONIACA

Gas di odore irritante che liquefa a $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, normalmente commercializzato in soluzioni acquose. L'ammoniaca veicolata con compresse imbevute, stesa a tampone o a pennello potrà essere utilizzata miscelata con acqua o con acqua, acetone ed alcool per la rimozione di sostanze soprammesse di varia natura quali olii, vernici, cere, ridipinture ecc. su strutture in pietra quali marmo, brecce, arenarie, calcari duri e teneri, travertino e tufo.

ENZIMI

Composti organici proteici di origine naturale in grado di promuovere reazioni che, in loro assenza, risulterebbero trascurabili. In pratica si tratta di molecole particolarmente selettive nei confronti di un determinato substrato, possono rappresentare una valida alternativa all'utilizzo di acidi e basi per l'asportazione idrolitica di sostanze filmogene invecchiate quali ridipinture o patinate proteiche, grasse o polisaccaridiche. Una delle caratteristiche principali degli enzimi risiede nell'elevata specificità per il substrato (fondamentale nel restauro di superfici policrome) ovvero un enzima che agisce, in un data reazione, su un determinato fondo, non sarà in grado di catalizzare nessuna altra reazione chimica vale a dire che non potrà modificare una sostanza diversa dal substrato, di conseguenza, l'operazione di pulitura, non potrà intaccare le parti del dipinto non interessate dalla pulitura. La seconda caratteristica esclusiva degli enzimi, è l'alta attività catalitica, ossia limitate molecole enzimatiche sono in grado di operare su quantità di substrato molto maggiori di quelle trasformabili da qualunque altra sostanza, senza perdere l'efficacia. Gli enzimi principalmente utilizzati sono:

- le proteasi capaci di scindere le molecole proteiche idrolizzando i legami peptidici, si rileverà efficace per la rimozione di macchie dovute a colle e gelatine animali, albumine, casine e uovo. Si potrà trovare nelle versioni stabilizzate, con pH acido (pH @ 5) o con pH alcalino (pH @ 8,4) per la rimozione controllata di sostanze proteiche anche su supporti delicati come gli affreschi;
- le lipasi (pH @ 8,4) in grado di sciogliere i grassi catalizzando l'idrolisi dei trigliceridi, si rileverà efficace per la rimozione di sostanze grasse, pellicole a base di olii essiccativi, vernici oleoresinose, cere e resine sintetiche come esteri acrilici e vinilici;
- le amilasi (pH @ 7,2) idrolizzano i legami glucosidici di polisaccaridi quali amido, cellulosa, gomme vegetali;
- saliva artificiale prodotto a base di mucina per la pulitura pittorica superficiale, particolarmente efficace se impiegata come lavaggio intermedio dopo la pulitura con enzimi o con saponi resinosi.

FORMULATI

Per asportare croste nere di piccolo spessore (1-2 mm) potrà essere utilizzato un preparato così formulato:

- 1000 cc di acqua deionizzata;
- 50 g di carbossimetilcellulosa (per dare consistenza tixotropica all'impasto);
- 30 g di bicarbonato di sodio (NaHCO_3);
- 50-100 g di EDTA (bisodico).

In alternativa AB 57; formulato messo a punto dall'ICR, dovrà presentare, preferibilmente, un PH intorno a 7,5 (sarà comunque sufficiente che il pH non superi il valore 8 così da eludere fenomeni di corrosione dei calcari e la eventuale formazione di sotto prodotti dannosi). Sarà composto da:

- 1000 cc. di acqua;
- 30 g di bicarbonato d'ammonio (NH_4HCO_3);
- 50 g di bicarbonato di sodio (NaHCO_3);
- 25 g di EDTA (bisodico);
- 10 cc. di desogen (sale d'ammonio quaternario, tensioattivo, fungicida);
- 60 g di carbossimetilcellulosa.

La quantità di EDTA potrà essere variata e portata, se ritenuto necessario, a 100-125 g.

Alla miscela potranno essere aggiunte ammoniaca (NH_4OH) o trietanolammina ($\text{C}_3\text{H}_4\text{OH}_3\text{N}$) allo scopo di facilitare la dissoluzione di componenti "grassi" presenti nell'agente patogeno.

Dietro specifica indicazione della D.L. l'appaltatore potrà, inoltre, impiegare acido cloridrico per l'asportazione di solfato di calcio (rapporto con acqua 1/500); acido fosforico, fluoruri, fosfati e citrati per rimuovere macchie di ruggine su pietre silicee; soluzione satura di fosfato di ammonio (con pH portato a 6) per rimuovere macchie di ruggine su pietre calcaree.

7.16.5 CARBONATO E BICARBONATO DI AMMONIO

Sali solubili in acqua, utilizzati in percentuali che potranno variare dal 5% al 100%. Detti prodotti, potranno essere utilizzati singolarmente o in composti (ad es., in combinazione con resine a scambio ionico). Sia il carbonato che il bicarbonato di ammonio presenteranno la capacità di decomorsi spontaneamente originando prodotti volatili (di norma questi sali risulteranno attivi per un lasso di tempo di circa 4-5 ore), la liberazione di ammoniaca conferirà al trattamento proprietà detergenti, mentre l'alcalinità (maggiore per il Carbonato che per il Bicarbonato) consentirà una graduale gelificazione di materiale di accumulo e vecchie patine proteiche e lipidiche, consentendone la rimozione dalla superficie. Questi sali eserciteranno, inoltre, un'azione desolfatante, riuscendo a trasformare il gesso, eventualmente presente sul supporto, in Solfato di Ammonio più solubile e facilmente asportabile con lavaggio acquoso. Se il materiale da asportare presenterà un'elevata percentuale di gesso, la concentrazione in acqua del carbonato o bicarbonato dovrà essere di tipo saturo (circa il 15-20% di sale in acqua deionizzata) mentre, per gli altri casi, basterà raggiungere il pH necessario (9 per il carbonato, 8 per il bicarbonato) con soluzioni meno sature (5-7% in acqua deionizzata). L'uso del Bicarbonato d'Ammonio (o di sodio) sarà sconsigliato nel caso di interventi su materiali particolarmente degradati, specie per i marmi (nei quali si può avere una facile corrosione intergranulare e decoesione dei grani di calcite superficiale) e i calcari sensibilmente porosi dove potrà incontrare difficoltà nel rimuovere i residui dell'impacco.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'articolo 15 dal presente capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.6 TENSIOATTIVI E DETERGENTI

Prodotti composti da molecole contenenti un piccolo gruppo polare idrofilo ed una più lunga catena liofila; queste molecole si orienteranno in modo da avere il primo gruppo (quello polare) immerso in acqua e la parte apolare nello strato di sporco. I tensioattivi saranno utilizzati allo scopo di diminuire la tensione superficiale dell'acqua così da aumentarne la "bagnabilità" e, di conseguenza, l'azione pulente. Essi, contrariamente da altre sostanze solubili in acqua, non si distribuiscono con uniformità nella massa ma si raggruppano selettivamente in maniera ordinata alla superficie della soluzione per tanto non richiedono, per essere efficienti, di una grande solubilità in acqua né di raggiungere un'alta concentrazione in tutto il volume.

Il detergente dovrà rispondere a svariate proprietà tra le quali:

- potere bagnante ovvero capacità di ridurre la tensione superficiale dell'acqua, facilitandone la penetrazione;
- potere dissolvente organico ovvero capacità di solubilizzare sostanze organiche (oli, grassi, proteine);
- -potere disperdente ovvero capacità di tenere in sospensione le particelle di depositi inorganici non solubilizzati o disgregati;
- potere emulsionante ovvero capacità di emulsionare grassi edoli;
- -potere sequestrante e chelante ovvero capacità di legarsi ai sali di calcio e di magnesio per convertirli in sostanze solubili;
- potere tampone ovvero capacità di mantenere invariato il pH;
- potere battericida ovvero capacità di distruggere i microrganismi;
- -potere sciacquante ovvero capacità di un detergente di essere asportato insieme allo sporco senza lasciare alcun residuo;

La sequenza di queste particolarità individuerà anche le fasi in cui si svilupperà l'azione detergente.

L'uso di tali prodotti dovrà essere autorizzato dalla D.L. I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 15 del presente Capo inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.7 RESINE A SCAMBIO IONICO

Le resine a scambio ionico sono copolimeri stirene funzionanti con gruppi acidi (resine a scambio cationico) o basici (resine a scambio anionico) in grado di "agganciare" le sostanze ioniche presenti nel substrato a cui vengono applicati.

Le resine a scambio cationico (descialbante) funzioneranno come agenti di pulitura nei confronti di scialbature e incrostazioni calcaree di neoformazione "sequestrando" ioni Calcio al supporto cui verrà applicata in modo lento e delicato, garantendo, pertanto, un buon controllo del grado di pulitura.

Le resine a scambio anionico (desolfatante) risulteranno invece attive nei confronti di gesso e solfati su superfici lapidee e affreschi, l'Idrossido di Calcio che viene prodotto da questa reazione reagirà spontaneamente con l'anidride carbonica atmosferica convertendosi in Carbonato di Calcio con conseguente ricomposizione della tessitura carbonatica del substrato e azione consolidante riaggregante.

Questi pulitori saranno applicate in seguito a miscelazione con acqua demineralizzata o distillata in rapporto variabile a secondo sia del prodotto utilizzato sia della consistenza finale (più pastosa da applicare a spatola ovvero più liquida da applicare a pennello) descritta negli elaborati di progetto. Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto dovranno essere utilizzati impasti miscelati entro la stessa giornata lavorativa.

Sia le quantità di acqua, ottimali per la consistenza voluta dell'impasto, che la durata ed il numero delle applicazioni dovranno, necessariamente, essere ricercati di volta in volta, a seconda dei problemi di pulitura da affrontare, effettuando prove preliminari di trattamento su zone ridotte e tipologicamente significative delle superfici. I suddetti campioni dovranno essere eseguiti dall'appaltatore sotto stretto controllo della D.L.

I criteri d'accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 15 del presente Capo, inoltre, la

fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.8 ADDENSANTI E SUPPORTANTI

Questi prodotti garantiscono la gelificazione del solvente in modo da mantenerlo localizzato sulla superficie del manufatto policromo. In questo modo rendono l'operazione di pulitura più selettiva, e, allo stesso tempo, impediscono la penetrazione del solvente negli strati sottostanti, in più riducono il processo d'evaporazione, diminuendo l'inalazione del solvente da parte dell'operatore. In linea generale gli addensanti dovranno essere lavorati ed applicati a pennello per tempi variabili secondo il caso e rimossi a secco o a tampone leggermente imbevuto di solvente senza lasciare residui dannosi per l'opera. La densità del gel finale sarà controllata dall'operatore a seconda delle esigenze specifiche.

I supportanti fondamentalmente si dividono in due categorie: addensanti cellulosici e solvent-gel. La scelta di gelificare un solvente con un addensante cellulosico anziché per mezzo di solvent-gel potrà discendere da molteplici fattori come ad esempio, l'eventuale presenza di materiali particolarmente sensibili all'acqua renderà gli addensanti cellulosici preferibili ai solvent-gel che, al contrario, risulteranno più idonei (grazie all'azione blandamente tensioattiva) per procedure di pulitura più generiche di superfici pittoriche e non.

ADDENSANTI CELLULOSICI

Supportanti inerti cellulosici agiscono per rigonfiamento diretto della struttura cellulosica da parte del solvente puro o di loro miscele. La metilcellulosa si rileva più adatta per gelificare solventi polari (acqua, alcool ecc.) o miscele di questi, da utilizzarsi in concentrazione dal 2 al 4% p/v. L'etilcellulosa si rileva, invece, più adatta per solventi a polarità medio bassa (clorurati, chetoni, esteri ecc.) o apolari; la percentuale di utilizzo va da il 6% al 10% (p/v) a seconda dei casi.

IDROSSI METIL-PROPILO CELLULOSA

Supportante cellulosico di enzimi o gelificazioni di solventi. Agisce da tensioattivo, diminuendo la tensione superficiale dell'acqua ovvero del solvente organico, amplificando il potere bagnante della soluzione e diminuendo il potere penetrante in un corpo poroso o la capacità di risalita capillare. Proprietà: modifica la viscosità di soluzioni, emulsioni e dispersioni acquose ed organiche dando vita a films elastici termoplastici, non appiccicosi, poco sensibili all'umidità da utilizzare per la pulitura di superfici policrome.

SOLVENT-GEL

Sono costituiti da acido poliacrilico e ammina di cocco (art. 15.4 "Prodotti chimici"). L'aggiunta del solvente scelto e di poche gocce d'acqua provocano il rigonfiamento del sistema e la formazione del gel.

7.16.9 POLPA DI CELLULOSA

La polpa di carta ovvero la pasta di cellulosa dovrà presentare un colore bianco, dovrà essere deresinata e ottenuta da cellulose naturali. Le fibre dovranno presentare un'elevata superficie specifica, ed un'altrettanto elevato effetto addensante, un comportamento pseudoplastico, una buona capacità di trattenere i liquidi e dimostrarsi insolubili in acqua ed in solventi organici. Un chilogrammo di polpa di cellulosa dovrà essere in grado di trattenere circa 3-4 litri di acqua; minore sarà la dimensione della fibra (00, 40, 200, 600, 1000 m) maggiore sarà la quantità di acqua in grado di trattenere. I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 15 del presente Capo inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.10 ARGILLE ASSORBENTI

La sepiolite, ovvero fillosilicato idrato di magnesio, appartiene al gruppo strutturale della paligorskite, dovrà risultare capace di impregnarsi di oli e grassi senza operare azioni aggressive sulla superficie oggetto di intervento. La granulometria dell'argilla dovrà essere di almeno 100-220 Mesh, dovrà, altrettanto, essere in grado di assorbire una grande quantità di liquidi (110-130%) in rapporto al suo peso (un chilogrammo di sepiolite dovrà risultare capace di assorbire 1,5 kg d'acqua senza aumentare di volume). Le argille assorbenti, rispetto alla polpa di cellulosa, presenteranno l'inconveniente di sottrarre troppo rapidamente l'acqua dalle superfici trattate. In presenza di pietre molto porose potrà essere indicato ricorrere alla polpa di cellulosa (più facile da rimuovere rispetto alle argille).

I suddetti prodotti dovranno essere preparati diluendoli esclusivamente con acqua distillata o deionizzata fino a raggiungere un "fango" a consistenza pastosa (con notevoli caratteristiche tixotropiche) in modo da consentirne la lavorazione in spessori di 2-3 cm.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 15 del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.16.11 IMPACCHI BIOLOGICI

Sono impasti da utilizzare su manufatti lapidei delicati o particolarmente decoesi, posti all'esterno, su quali non sarà possibile eseguire puliture a base di acqua nebulizzata senza arrecare ulteriori danni. I suddetti impacchi dovranno essere a base di argille assorbenti, contenenti prodotti a base ureica così composti:

- 1000 cc di acqua;

- 50 g di urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$);
- 20 cc di glicerina $(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CHOH}$.

Il fango che si otterrà dovrà essere steso in spessori di almeno 2 cm da coprire con fogli di polietilene. I tempi di applicazione saranno stabiliti dall'appaltatore sotto il controllo della D.L. in base a precedenti prove e campionature.

7.16.12 APPARECCHIATURA LASER

L'apparecchiatura selettiva Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) ad alta precisione è utile per asportare depositi carbogessosi da marmi e da materiali di colore chiaro, oltre che depositi e patine superficiali da legno, bronzo, terrecotte ed intonaci.

Lo strumento sarà principalmente composto da due elementi: il gruppo laser ed il gruppo di raffreddamento. Il gruppo laser se separato dal gruppo di raffreddamento, dovrà essere allocato in idonea struttura concepita appositamente per le condizioni di cantiere (dotazione di ruote con gomme gonfiabili, anello di sollevamento ecc.).

Il raggio, secondo il tipo di apparecchio, potrà essere condotto sulla superficie da pulire utilizzando un braccio meccanico snodato (dotato, all'interno degli snodi, di una serie di specchi) della lunghezza di circa 2 m terminante con un utensile che l'operatore governa a mano per indirizzare il raggio sulla superficie o un sistema a fibre ottiche che conducono il raggio sino ad una pistola che verrà utilizzata direttamente dall'operatore (la distanza tra apparecchio e superficie dipenderà dalla lunghezza delle fibre ottiche utilizzate, normalmente si aggirerà sui 10-15 m); su questa sorta di pistola dovranno essere posizionati i sistemi di regolazione dell'emissione laser (più precisamente la regolazione dell'emissione di energia, la modulazione della frequenza di emissione graduabile in termini di colpi al secondo, e la focalizzazione del raggio sulla superficie del manufatto da pulire). L'apparecchio dovrà, in ogni caso, possedere buone doti di maneggevolezza, avere la possibilità di poter utilizzare diverse lunghezze d'onda (oltre alla classica 1064 anche 532, 355, 266 nm), di regolare l'emissione di energia per impulso (di norma variabile da 80 mJ a 900 mJ), la modulazione delle frequenze di emissione degli impulsi (di norma 1/2/5/10/20/50 Hz), la focalizzazione del raggio sulla superficie del manufatto da pulire.

Le apparecchiature laser potranno utilizzare essenzialmente due diversi regimi di funzionamento che corrisponderanno a diverse durate temporali di impulso:

- modalità *Q-Switching* ad impulso corto (4-10 ns) atto alla rimozione diretta del deposito;
- modalità *Free Running* con impulso lungo (200-1000 ms) con energie incidenti controllate, atte semplicemente a staccare il deposito dal substrato, da rimuovere successivamente con altre tecniche (bisturi).

Apparecchi di nuova generazione o in via di sperimentazione si collocano in una regione di durata di impulso intermedia ovvero *short free running*.

L'apparecchiatura dovrà, essere esclusivamente utilizzata da personale altamente specializzato in grado di valutare attentamente i risultati ottenuti, eventualmente variando di volta in volta i parametri esecutivi ed applicativi (lunghezza d'onda, durata, ripetizione degli impulsi, energia del flusso, sezione trasversale, convergenza del fascio). In questo modo il laser potrà essere tarato in modo da ottenere risultati specifici (autolimitazione, selettività, discriminazione).

Le caratteristiche richieste all'apparecchiatura laser in relazione sia allo specifico utilizzo (pulitura di croste nere, depositi calcarei su reperti archeologici, incrostazioni su vetrate artistiche, discialbi su affreschi ecc.) sia al materiale (marmo, arenaria, calcare, intonaco affrescato, vetro ecc.) dovranno essere le seguenti:

modello ;
 lunghezza d'onda (nm) ;
 energia/frequenza (mJ/ mm) ;
 frequenza d'impulsi (Hz)..... ;
 diametro spot (mm) ;
 angolo di divergenza del fascio in relazione alla lunghezza d'onda ;
 durata impulso in relazione alla lunghezza d'onda (ns) ;
 dimensione testa laser (mm) ;
 peso testa laser (kg) ;
 dimensioni unità alimentazione (mm) ;
 dimensioni unità di raffreddamento (mm) ;
 peso unità di raffreddamento (kg) ;
 sistema di trasmissione del fascio ;
 lunghezza cavo (tra testa del laser ed unità di raffreddamento) (m) ;
 massima altezza operativa (tra testa del laser ed unità di raffreddamento) (m)

Nota per il compilatore: completare la scheda e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare, per ogni apparecchiatura laser (ovvero per ogni tipologia di utilizzo), le caratteristiche, i valori accettazione e gli eventuali metodi di controllo facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

7.16.13 BIOCIDI

Prodotti da utilizzarsi per l'eliminazione di muschi e licheni. I suddetti prodotti dovranno, necessariamente, essere utilizzati con molta attenzione e cautela, dietro specifica indicazione della D.L. e solo dopo aver eseguito accurate indagini sulla natura del terreno e sul tipo di azione da svolgere oltre naturalmente all'adozione di tutte le misure di sicurezza e protezione degli operatori preposti all'applicazione del prodotto. Questi prodotti potranno presentare, a seconda dei casi e delle indicazioni di progetto, le seguenti caratteristiche:

- azione selettiva e limitata alla specie da eliminare;
- tossicità limitata verso l'ambiente così da non alterare per tempi prolungati l'equilibrio del terreno interessato dall'azione disinfettante;
- atossicità nei riguardi dell'uomo;

- totale assenza di prodotti o componenti in grado di danneggiare l'organismo murario ovvero le porzioni intonacate;
 - limitata durata dell'attività chimica;
 - totale assenza di fenomeni inquinanti nei confronti delle acque superficiali e profonde.
- Per indicazioni inerenti la scelta dei metodi di controllo del biodeterioramento si rimanda a quanto enunciato nel documento NorMaL 30/89, mentre per ulteriori informazioni sulla caratterizzazione, sull'efficacia e sul trattamento dei biocidi si rimanda a quanto enunciato nei documenti NorMaL 35/91, 38/93, 37/92.

ALGHICIDI, BATTERICIDI, FUNGICIDI COMPOSTI INORGANICI

- 1) *Perossido di idrogeno* (acqua ossigenata) utilizzato a 120 volumi risulterà adatto per sopprimere alghe e licheni su apparecchi murari. Presenta forti capacità ossidanti; potrà essere causa di sbiancamenti del substrato, ed agirà esclusivamente per contatto diretto. La sua azione non durerà nel tempo.
- 2) *Ipoclorito di sodio* (varechina) utilizzato in soluzione acquosa al 2%-7% per asportare alghe e licheni. La varechina potrà essere causa di sbiancamenti del materiale lapideo; inoltre, se non verrà interamente estratta dal materiale lapideo ne potrà determinare l'ingiallimento.

COMPOSTI ORGANICI

Formalina soluzione acquosa di aldeide formica, disinfettante utilizzato in soluzione acquosa al 5% per irrorare superfici attaccate da alghe verdi licheni e batteri.

COMPOSTI FENOLICI E DERIVATI

- 1) *Orto-fenil-fenolo (OPP)* ed i suoi sali sodici (*OPNa*) sono attivi su un largo spettro di alghe, funghi e batteri; la loro tossicità potrà ritenersi tollerabile. L'orto-fenil-fenolo risulterà preferibile poiché presenterà una minore interazione con il supporto.
- 2) *Di-clorofene* prodotto ad amplissimo spettro, con tossicità molo bassa, non presenterà interazioni con il supporto anche se organico.
- 3) *Penta-clorofenolo (PCP)* ed i suoi sali sodici (*PCPNa*) utilizzati in soluzioni acquose all'1% presentano un largo spettro. La loro tossicità è al limite della tolleranza; la loro interazione con il supporto potrà determinare l'annerimento del legno ed il mutamento cromatico dei pigmenti basici.

COMPOSTI DELL'AMMONIO QUATERNARIO

Derivati dell'ammonio quaternario (come il Benzetonio cloruro) da utilizzare in soluzione dal 2-4% in acqua demineralizzata per la disinfestazione di alghe, muschi e licheni, anche se per questi ultimi la sua efficacia risulterà, talvolta, discutibile. La miscelabilità in acqua del prodotto permette un elevato potere di penetrazione e di assimilazione dei principi attivi da parte dei microrganismi eliminandoli e neutralizzando le spore. Il benzetonio cloruro è di fatto un disinfettante germicida con spettro d'azione che coinvolge batteri, lieviti, microflora ed alghe. La sua azione risulterà energica ma non protratta nel tempo, in quanto non sarà in grado di sopprimere le spore; l'eventuale presenza di nitrati ne ridurrà considerevolmente l'efficienza. Potrà essere utilizzato sia su pietra che su superfici lignee.

ERBICIDI

Il controllo dello sviluppo della vegetazione infestante superiore potrà essere assicurato solo utilizzando prodotti che interverranno sulla fotosintesi, tali composti potranno, talvolta, essere indicati anche per la soppressione di certi tipi di alghe. Per la rimozione di vegetazione inferiore e superiore su apparecchi murari, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, dovranno essere preferiti erbicidi non selettivi (ovvero che impediscano qualsiasi sviluppo vegetale) a base nitro-organica.

- 1) *Solfato di ammonio* prodotto da impiegare per il trattamento puntuale delle radici degli alberi così da trattenerne lo sviluppo.
- 2) *Fluometuron* da impiegare contro muschi e licheni in soluzioni acquose al 2%.
- 3) *Simazina* prodotto antigermitivo di preemergenza da utilizzare per impedire la crescita di vegetazione superiore, licheni e muschi presenta una azione preventiva per circa 1-2 anni. Da utilizzare preferibilmente in area archeologica.
- 4) *Picloram* erbicida non selettivo da impiegare per il controllo della vegetazione, dovrà, pertanto, essere impiegato con estrema cautela e solo dietro specifica indicazioni della D.L. e degli organi di tutela del bene oggetto di trattamento.
- 5) *Gliofosato* diserbante sistematico da utilizzare per sopprimere licheni e piante superiori in soluzioni acquose al 2%. È l'unica molecola in grado di devitalizzare alla radice infestanti come gramigna e rovo. Dovrà essere applicato nel momento di massimo rigoglio vegetativo. Non presenterà, una volta terminato il trattamento, composti residui.

Tabella 14.1 Tabella riassuntiva dei biocidi e dei loro campi di applicazione

	Alghe verdi	Altre alghe	Muschi	Licheni	Batteri
Penta-clorofenolo	+++	-	++	++	-
Formalina	+++	+++	++	+++	+
Fluometuron	+++	++	++	-	-
Simazina	-	++	+++	-	+++
Gliofosato	-	+++	-	-	+++

I criteri d'accettazione dei biocidi dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'articolo 15 del presente capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.17 Materiali impregnanti - Generalità

La procedura di impregnazione dei materiali costituenti le superfici esterne dei fabbricati sarà rivolta a tutelare le strutture architettoniche (ovvero archeologiche) da attacchi da agenti patogeni siano essi di natura fisica (che si otterrà mediante il consolidamento dei supporti al fine di accrescere o fornire quelle capacità meccaniche di resistenza al degrado che non hanno mai posseduto o che, col trascorrere del tempo, si sono indebolite) che chimica (che si effettuerà mediante idrofobizzazione dei supporti in modo da renderli adatti a limitare l'assorbimento delle acque meteoriche). I "prodotti" da utilizzarsi per l'impregnazione dei manufatti potranno essere utilizzati quali pre-consolidanti, consolidanti e protettivi. All'appaltatore sarà vietato utilizzare prodotti impregnanti senza la preventiva autorizzazione della D.L. e degli organi preposti alla tutela del bene in oggetto, nonché fare uso generalizzato delle suddette sostanze. Ogni prodotto potrà essere utilizzato previa esecuzione di idonee prove applicative eseguite in presenza della D.L. e dietro sua specifica indicazione. La scelta dei suddetti prodotti dovrà riferirsi alla natura e alla consistenza delle superfici che potranno presentarsi: privi di rivestimento con pietra a vista compatta e tenace ovvero con pietra a vista tenera e porosa; privi di rivestimento in cotti a vista albasì e porosi, mezzanelli (dolci o forti) o ferrioli; esenti di rivestimento in calcestruzzo; rivestite con intonaci e coloriture realizzati durante i lavori di restauro o, infine, rivestite con intonaco e coloriture preesistenti al restauro.

Altri fattori che dovranno influenzare la scelta delle sostanze impregnanti dovranno essere quelli risultanti a seguito della campagna diagnostica condotta, necessariamente, dall'appaltatore secondo quanto prescritto dalle raccomandazioni NorMaL e da quanto indicato dalla D.L. Ogni fornitura dovrà, in ogni caso, essere sempre accompagnata da una scheda tecnica esplicativa fornita dalla casa produttrice, quale utile riferimento per le analisi che si andranno ad eseguire. In specifico, le peculiarità richieste, in relazione al loro utilizzo, saranno le seguenti:

- atossicità;
- elevata capacità di penetrazione;
- resistenza ai raggi U.V.;
- buona inerzia chimica nei confronti dei più diffusi agenti inquinanti;
- assenza di sottoprodotti di reazione dannosi;
- comprovata inerzia cromatica (comunque da verificarsi in fase applicativa);
- traspirabilità al vapor d'acqua;
- assenza di impatto ambientale;
- sicurezza ecologica;
- soddisfacente compatibilità fisico-chimica con il materiale da impregnare;
- totale reversibilità dalla reazione di indurimento;
- facilità di applicazione;
- solubilizzazione dei leganti.

I prodotti di seguito elencati (forniti nei contenitori originali e sigillati), saranno valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova dovrà essere fatto riferimento alle norme UNI vigenti.

7.17.1 IMPREGNANTI PER IL CONSOLIDAMENTO

I prodotti impregnati da impiegarsi per il consolidamento e/o la protezione dei manufatti architettonici od archeologici, salvo eventuali prescrizioni o specifiche inerenti il loro utilizzo, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- elevata capacità di penetrazione nelle zone carenti di legante;
- resistenza chimica e fisica agli agenti inquinanti ed ambientali;
- spiccata capacità di ripristinare i leganti tipici del materiale oggetto di intervento senza dar vita a sottoprodotti di reazione pericolosi (quali ad es. sali superficiali);
- capacità di fare traspirare il materiale così da conservare la diffusione del vapore;
- penetrazione in profondità così da evitare la formazione di pellicole in superficie;
- "pot-life" sufficientemente lungo tanto da consentire l'indurimento solo ad impregnazione completata;
- perfetta trasparenza priva di effetti traslucidi;
- spiccata capacità a mantenere inalterato il colore del manufatto.

I prodotti consolidanti più efficaci per materiali lapidei (naturali ed artificiali) apparterranno fondamentalmente alla classe dei composti organici, dei composti a base di silicio e dei composti inorganici la scelta sarà in ragione alle problematiche riscontrate.

COMPOSTI ORGANICI

A differenza dei consolidamenti inorganici, che basano il loro potere consolidante sull'introduzione nel materiale di molecole simili a quelle del substrato lapideo naturale o artificiale con il quale devono legarsi, i consolidamenti organici eserciteranno la loro azione mediante un elevato potere adesivo, capace di saldare tra loro i granuli decoesi del materiale lapideo.

Questi composti, in gran parte dotati anche di proprietà idrorepellente e quindi protettive, saranno per lo più polimeri

sintetici noti come "resine" le quali opereranno introducendosi all'interno del sistema capillare dei materiali dove si deporranno successivamente all'evaporazione del solvente (soluzione) o del veicolo (emulsioni) che le racchiude, dando vita ad una rete polimerica che circonda le particelle.

I suddetti composti potranno essere termo-plastici o termo-indurenti: i primi sono costituiti da singole unità polimeriche (sovente con struttura quasi lineare) non stabilmente legate una con l'altra ma connesse solo da deboli forze. Tali polimeri garantiranno una buona reazione ad urti e vibrazioni, non polimerizzando una volta penetrati nel materiale; manterranno, inoltre, una certa solubilità che ne garantirà la reversibilità, saranno, in genere adoperati per materiali lapidei, per le malte e per i legnami (nonché per la protezione degli stessi materiali e dei metalli); la loro applicazione avverrà distribuendo una loro soluzione (ovvero anche un'emulsione acquosa) magari associando altri componenti (tensioattivi, livellanti ecc.), la successiva evaporazione del solvente lascerà uno strato più o meno sottile di materiale consolidante. I polimeri termoplastici risulteranno spesso solubili in appropriati solventi (sovente funzionalizzanti come chetoni, idrocarburi clorurati, aromatici ecc.) e potranno essere, all'occorrenza plasmati attraverso un idoneo riscaldamento.

I prodotti termoindurenti (costituiti da catene singole che però sono in grado di legarsi fortemente tra loro dando vita ad una struttura reticolare che interessa tutta la zona di applicazione) avranno, al contrario, solubilità pressoché nulla, risulteranno irreversibili, piuttosto fragili e sensibili all'azione dei raggi U.V.; saranno, di norma, impiegati come adesivi strutturali. Al fine di migliorare il grado di reticolazione e di conseguenza le caratteristiche di aderenza può risultare utile operare una preliminare operazione di deumidificazione del supporto di applicazione.

RESINE ACRILICHE

Le resine acriliche sono composti termoplastici ottenuti dalla polimerizzazione di esteri etilici e metilici dell'acido acrilico e dell'acido meacrilico. Le caratteristiche dei singoli prodotti variano entro limiti abbastanza ampi in relazione al monomero (ovvero ai monomeri, se copolimeri) di partenza e la peso molecolare del polimero. La maggior parte delle resine acriliche liberano i solventi con una certa difficoltà e lentezza, pertanto un solvente ad evaporazione rapida come l'acetone (in rapporto 1:1), fornisce, generalmente, risultati migliori rispetto ad altri solventi tipo toluolo e xilolo (che inoltre presentano un grado di tossicità più elevato). Questa classe di resine presenterà una buona resistenza all'invecchiamento, alla luce, agli agenti chimici dell'inquinamento. Il loro potere adesivo è buono grazie alla polarità delle molecole, ma essendo polimeri termoplastici, non potranno essere utilizzati come adesivi strutturali; il limite risiede nella scarsa capacità di penetrazione, sarà, infatti, difficile raggiungere profondità superiori a 0,5-1 cm (con i solventi alifatici clorurati si possono ottenere risultati migliori per veicolare la resina più in profondità). Possiedono in genere buona idrorepellenza che tenderà, però a decadere nel tempo; se il contatto con l'acqua si protrarrà per tempi superiori alle 90 ore, inoltre, sempre in presenza di acqua, tenderanno a dilatarsi pertanto, risulteranno adatte per superfici interne o quantomeno per superfici non direttamente esposte agli agenti atmosferici.

Resine acriliche solide: tra le resine acriliche da utilizzare in soluzione, se non diversamente specificato da indicazioni di progetto, si può ricorrere ad una resina acrilica solida a base di Etil-metacrilato/metil-acrilato fornita in scaglie diluibile in vari solventi organici tra i quali i più usati sono diluente nitro, acetone, clorotene, sarà anche miscibile con etanolo con il quale formerà una soluzione lattiginosa e film completamente trasparente. Questa resina grazie all'eccellente flessibilità, trasparenza, resistenza agli acidi, agli alcali, agli oli minerali, vegetali e grezzi, alle emanazioni dei prodotti chimici ed al fuoco può essere impiegata per il consolidamento di manufatti in pietra, legno, ceramica e come fissativo ed aggregante superficiale di intonaci ed affreschi interni. In linea generale la preparazione della soluzione dovrà seguire i seguenti passaggi: unire per ogni litro di solvente scelto dalla D.L. a seconda del tipo di intervento, da 20 fino a 300 g di resina solida, in un contenitore resistente ai solventi. Il solvente dovrà essere messo per primo nel recipiente di diluizione e mentre verrà tenuto in agitazione, si inserirà gradualmente la resina fino a perfetta soluzione. Sarà consigliabile tenere in agitazione la miscela ed operare ad una temperatura di oltre 15°C così da evitare che i tempi di dissoluzione siano troppo lunghi. Dovranno, inoltre, essere evitate le soluzioni superiori al 30% perché troppo vischiose. Se richiesta dagli elaborati di progetto potranno essere aggiunti nella soluzione quali agenti opacizzanti: cera microcristallina (fino al 47% del solido totale) o silice micronizzata (fino al 18% del solido totale). Orientativamente le percentuali di resina utilizzate p/v potranno essere: 2-5% per il preconsolidamento di elementi lapidei; 10% per il consolidamento del legno e per la verniciatura fissativa a spray di dipinti; 20% per il fissaggio di frammenti di pietra, stucco decoeso, tessere di mosaico ecc. mediante fazzoletti di garza di cotone; 30% per il fissaggio di scaglie in pietra o laterizio.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE EPOSSIDICHE

A questa categoria appartengono prodotti a base di resine epossidiche liquide che presenteranno le seguenti caratteristiche: bassa viscosità, elevato residuo secco, esenti da solventi con reattività regolare, polimerizzabile a temperatura ambiente (12-15 °C) ed in presenza di umidità. Questa classe di resine presenterà, inoltre, elevate caratteristiche di resistenza chimica (soprattutto agli alcali), meccanica e di adesione così da consentire il ripristino dell'omogeneità iniziale delle strutture lesionate. L'applicazione potrà avvenire a pennello, a tampone, con iniettori in ogni caso sotto stretto controllo dal momento che presenteranno un limitato pot-life. L'elevate caratteristiche meccaniche (in genere non compatibili con i materiali lapidei), la bassa permeabilità al vapore, il rapido invecchiamento con conseguente ingiallimento se esposte ai raggi U.V. non rende questo tipo di resine particolarmente adatto per superfici di materiali porosi quali pietra, legno, cotto, malta. Il loro impiego dovrà, pertanto, essere attentamente vagliato dall'appaltatore e sempre dietro specifica richiesta della D.L. orientativamente potranno essere messe in opera per il consolidamento/protezione di manufatti industriali, di superfici in cls e di costruzioni sottoposte ad un forte aggressione chimica.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da foglio apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE FLUORURATE (PERFLUOROPOLIETERI ED ELASTOMERI FLUORURATI)

Prodotti a doppia funzionalità, adatti come protettivi idro ed oleorepellenti i perfluoropolietteri, come aggreganti superficiali-protettivi per materiali lapidei porosi gli elastomeri fluorurati. Sono prodotti che non polimerizzano dopo la loro messa in opera in quanto già pre-polimerizzati, pertanto il prodotto mantiene costanti nel tempo le proprie caratteristiche chimico-fisiche, assicurando una protezione costante contro l'invecchiamento oltre alla reversibilità del trattamento. Questi composti presenteranno sia discrete doti di aggreganti superficiali, utili per il preconsolidamento di materiali decoesi come marmi, pietre, laterizi ed intonaci (anche se non potranno essere considerati veri e propri consolidanti nonostante presentino il vantaggio di creare una struttura "non rigida" attorno ai granuli degradati della pietra eludendo, in questo modo, le tensioni dovute a sbalzi termici e ai differenti coefficienti di dilatazione termica dei materiali), sia, soprattutto, doti protettive idrofobizzanti: risulteranno permeabili al vapore d'acqua, completamente reversibili (anche quelli dotati di gruppi funzionali deboli di tipo ammidico) in acetone anidro o altro solvente impiegato per l'applicazione e stabili ai raggi U.V. Generalmente, saranno disciolte in solventi organici (ad es. acetone, acetato di butile ecc.) dal 2-3% fino al 7-10% in peso (la viscosità elevata consiglia tuttavia di utilizzare soluzioni a basse concentrazioni ad es., al 3% in 60% di acetone e 37% di acetato di butile) e potranno essere applicati a pennello o a spray in quantità variabili a seconda del tipo di materiale da trattare e della sua porosità.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE ACRIL-SILICONICHE

Classe di prodotti a base di resine acriliche e siliconiche che, combinando le caratteristiche di entrambe le sostanze, risultano in grado di assolvere sia la funzione consolidante riaggregante (propria della resina acrilica), sia quella protettiva idrorepellente (propria di quelle siliconiche); inoltre, grazie alla bassa viscosità del composto, l'impregnazione, rispetto alle resine acriliche, avverrà più in profondità (fino a 4-5 cm). Disciolte in particolari solventi organici risulteranno particolarmente indicate per interventi di consolidamento su pietra calcarea, arenaria, per superfici intonacate di varia natura, su mattoni in laterizio, su marmi e manufatti in gesso, elementi in cemento, opere in cemento armato e legno dolce e duro purché ben stagionato ed asciutto. Questo specifico tipo di resina trova particolare utilizzo in presenza di un processo di degrado provocato dall'azione combinata da aggressivi chimici ed agenti atmosferici: la resina penetrando nel manufatto, lo consoliderà senza togliergli la sua naturale permeabilità al vapore acqueo e, formando un sottilissimo velo superficiale, lo proteggerà rendendolo idrorepellente e resistente all'azione degli agenti atmosferici ed ai raggi ultravioletti. Le resine acril-siliconiche dovranno essere utilizzate con idonei solventi organici (di natura preponderantemente polari al fine di favorire la diffusione) prescritti dal produttore o indicati dalla D.L. così da garantire una bassa viscosità della soluzione (25 ± 5 mPas a 25°C), il residuo secco garantito dovrà essere di almeno il 10%. L'essiccamento del solvente dovrà avvenire in maniera estremamente graduale in modo da consentire la diffusione del prodotto per capillarità anche dopo le 24 ore dalla sua applicazione.

Questa tipologia di resine non solo dovrà essere applicata su superfici perfettamente asciutte ma non potrà avere neanche in fase di applicazione (durante la polimerizzazione e/o essiccamento del solvente) contatti con acqua poiché questo fattore potrebbe comportare la formazione di prodotti secondari dannosi pertanto, dovrà essere cura dell'appaltatore proteggere tempestivamente dalla pioggia la superficie trattata prima, durante e dopo l'operazione di consolidamento. Al fine di evitare che il consolidante emetta il solvente troppo rapidamente e di conseguenza dia vita ad un film o una crosta sulla superficie del manufatto non sarà consentito operare con alte temperature (condizioni ottimali $15-25^\circ\text{C}$) o con diretto irraggiamento solare.

La suddetta resina dovrà presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata penetrazione;
- elevata traspirabilità;
- resistenza agli agenti atmosferici;
- nessuna variazione ai raggi U.V.;
- impermeabile all'acqua;
- permeabile al vapore;
- essere in grado di aumentare la resistenza agli sbalzi termici (così da eliminare i fenomeni di decoesione);
- non ingiallirsi nel tempo.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE POLIURETANICHE

Prodotti termoplastici o termoindurenti; in relazione ai monomeri utilizzati in partenza, presenteranno buone proprietà meccaniche, buona adesività ma bassa penetrabilità. Il prodotto dovrà possedere un'accentuata idrofilia in modo da garantire la penetrazione per capillarità, anche su strutture murarie umide inoltre, dovrà essere esente da ingiallimento (non dovranno pertanto contenere gruppi aromatici), presentare un basso peso molecolare, un'elevata resistenza agli agenti atmosferici e ai raggi U.V., un residuo secco intorno al 3%, un indurimento regolabile fino a 24 ore posteriore all'applicazione nonché una reversibilità entro le 36 ore dall'applicazione.

Sovente si potranno utilizzare in emulsione acquosa che indurrà rapidamente dopo l'evaporazione dell'acqua. Messe in opera per mezzo di iniezioni, una volta polimerizzate, le resine poliuretaniche dovranno trasformarsi in schiume rigide, utili alla stabilizzazione di terreni all'isolamento delle strutture dagli stessi, a sigillare giunti di opere in cls, e a risarcire fessurazioni nelle pavimentazioni e nelle strutture in elevazione sia di cemento armato sia in muratura. Queste resine, oltre che come consolidanti, potranno essere adoperate come protettivi e impermeabilizzanti: utilizzando l'acqua come

reagente, si rileveranno confacenti per occlusioni verticali extramurari contro infiltrazioni. Questa classe di resine potrà essere considerata una buona alternativa alle resine epossidiche rispetto alle quali presentano una maggiore flessibilità ed una capacità di indurimento anche a 0 °C.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

COMPOSTI A BASE DI SILICIO

ESTERE ETILICO DELL'ACIDO SILICICO (SILICATI DI ETILE)

Sostanza monocomponente fluida, incolore, a bassa viscosità, dovrà essere applicata in diluizione in solventi organici in percentuali (in peso) comprese fra 60% e 80%. Al fine di stabilire la quantità di prodotto da utilizzare si renderanno necessari piccoli test da eseguirsi su superfici campioni. Questi test serviranno, inoltre, da spia per determinare l'eventuale alterazione dell'opacità della pietra e della sua tonalità durante e subito dopo il trattamento. Precipita per idrolisi, dando alcool etilico come sottoprodotto; è una sostanza bassomolecolare a base inorganica in solvente organico. Ha una bassissima viscosità, per cui penetra in profondità anche in materiali poco porosi, è applicabile a pennello, a spruzzo con irroratori a bassa pressione, a percolazione. Il materiale da trattare va completamente saturato sino a rifiuto; il trattamento potrà essere ripetuto dopo 2 o 3 settimane. Il supporto dovrà essere perfettamente asciutto, pulito e con una temperatura tra i 15 e i 20 °C.

Questo tipo di consolidante si rivelerà molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non verrà alterato dai raggi ultravioletti, e presenterà il vantaggio di possedere un elevato potere legante (dovuto alla formazione di silice amorfa idrata) soprattutto nei confronti di materiali lapidei naturali contenenti silice anche in tracce, quali arenarie, i tufi, le trachiti, ma anche su altri materiali artificiali quali i mattoni in laterizio, le terracotte, gli intonaci, gli stucchi, risultati positivi potranno essere ottenuti anche su materiali calcarei. Tale prodotto non risulta idoneo per il trattamento consolidante del gesso o di pietre gessose. Tra l'estere etilico dell'acido silicico e l'acqua che aderisce alle pareti dei capillari avviene una reazione che darà luogo alla formazione di gel di silice ossia un nuovo legante; come sottoprodotto si formerà alcool etilico che si volatilizzerà. La reazione chimica di consolidamento si completa entro circa 21-28 giorni dall'applicazione in condizioni normali (20 °C e 40-50% di umidità relativa).

Il consolidamento con silicato di etile dovrà rispondere ai seguenti requisiti fondamentali:

- prodotto monocomponente non tossico e di facile applicazione;
- -ottima penetrazione nel supporto lapideo da trattare, dovuta al suo basso peso molecolare e alla scelta della miscela solventi;
- -essiccamento completo senza formazione di soste secondarie appiccicose e di conseguenza nessuna adesione di depositi;
- formazione di sottoprodotti di reazione non dannosi al materiale trattato;
- formazione di un legante minerale, stabile ai raggi U.V., e affine al materiale lapideo;
- -impregnazione senza effetto filmogeno di conseguenza il materiale lapideo trattato dovrà rimanere permeabile al vapore;
- assenza di variazioni cromatiche dei materiali lapidei trattati;
- -il legante formatosi (SiO_2) si presenterà resistente agli acidi e pertanto resisterà alle piogge ed alle condense acide.

L'impregnazione con silicato di etile dovrà essere evitata (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) nel caso in cui: il materiale da trattare non risultasse assorbente, in presenza sia di elevate temperature (> 25 °C) che di basse temperature (< 10 °C), con U.R. non > 70% e, se si tratta di manufatto esposto a pioggia, nelle quattro settimane successive al trattamento per questo, in caso di intervento su superficie esterne, si renderà necessario la messa in opera di appropriate barriere protettive.

In caso di sovradosaggio sarà possibile asportare l'eccesso di materiale, prima dell'indurimento, con tamponi imbevuti di solventi organici minerali. Alcuni esteri silicici, miscelati con silossani, conferiscono una buona idrorepellenza al materiale trattato.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

COMPOSTI INORGANICI

Presentano, generalmente, una grande affinità con i materiali da trattare; risulteranno duraturi, ma irreversibili e poco elastici. La loro azione avverrà tramite l'infiltrazione, in forma liquida, nel materiale oggetto del trattamento dove, per evaporazione del veicolo, la componente minerale del composto, precipitando, darà vita ad una rete che si legherà alle particelle minerali circostanti. Le caratteristiche fisico-chimiche del legame saranno, quindi, simili (anche se non sempre uguali) a quelle del legante perduto o degradato.

A seguito all'uso dei consolidanti inorganici potranno insorgere i seguenti inconvenienti: scarsa penetrazione all'interno del materiale lapideo da trattare (potrà provocare il distacco della crosta superficiale alterata e consolidata), scarsa resistenza agli stress meccanici (imputabile alla loro rigidità e fragilità), scarsa efficienza se la pietra risulterà totalmente decoesa da presentare fratture con distanze fra i bordi superiori a 100 micron.

IDROSSIDO DI CALCE (CALCE SPENTA)

La calce applicata alle malte aeree (ovvero sugli intonaci) e alle pietre calcaree in forma di latte di calce penetra nei pori riducendone il volume; aderendo alle superfici dei minerali componenti, dovrebbe presentare la capacità di risaldarli tra loro. Il Carbonato di Calcio di neoformazione¹⁰, non eserciterà, tuttavia, la stessa azione cementante avvenuto durante il lento processo di carbonatazione della calce pertanto, la similitudine tra processo naturale e la procedura di consolidamento si limiterà ad essere un'affinità chimica.

Questo tipo di trattamento potrà presentare l'inconveniente di lasciare depositi biancastri di carbonato di calce sulla superficie dei manufatti trattati, che, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto (ovvero se previsto un successivo trattamento protettivo con prodotti a base di calce ad es., scialbatura), dovranno essere rimossi. In linea di massima, il consolidamento a base d'idrossido di Calcio potrà essere applicato su intonaci debolmente degradati, situati in luoghi chiusi o sottoposti a limitate sollecitazioni termiche e, in ogni modo, al riparo da acque ruscellanti e cicli di gelo/disgelo.

I criteri di accettazione dovranno essere quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

IDROSSIDO DI BARIO (BARITE)

L'idrossido di Bario potrà essere utilizzato su pietre calcaree chiare e per gli interventi indirizzati a porzioni di intonaco dipinte a buon fresco di dimensioni ridotte quando vi sia l'esigenza di neutralizzare prodotti gessosi di alterazione. I vantaggi di questo prodotto sono sostanzialmente relativi al legante minerale, che verrà introdotto nel materiale e nella desolfatazione che converte il CaSO_4 (altamente solubile) in BaSO_4 (insolubile)¹¹.

La porosità del materiale potrà essere ridotta solo parzialmente con il vantaggio nei riguardi dei meccanismi di alterazione legati all'assorbimento di acqua, ma non darà vita ad uno strato esterno impermeabile al vapore acqueo. Una controindicazione all'impiego di questo trattamento sarà rappresentata dal pericolo di sbiancamenti delle pietre o dei materiali scuri e nella formazione di patine biancastre superficiali, dovute alla precipitazione del Carbonato di Bario¹² causata dall'eventuale apporto diretto d'anidride carbonica. Questo "inconveniente" potrà essere facilmente evitato eliminando l'eccesso di Idrossido di Bario dalla superficie esterna dell'oggetto prima che precipiti il Carbonato di Bario. Sarà sconsigliato l'uso su materiali ricchi, oltre che di gesso, di altri sali solubili in modo da evitare possibili combinazioni che potrebbero produrre azioni degradanti.

Il trattamento con Idrossido di Bario viene spesso effettuato attraverso l'applicazione di soluzioni al 5-6% di sale in acqua demineralizzata supportate in forma di impacco in polpa di cellulosa per tempi variabili da caso a caso (dalle dodici alle quarantotto ore a seconda della permeabilità del substrato). L'elevata alcalinità ne impedisce l'applicazione in corrispondenza di pigmenti a base di rame, di lacche, e di leganti organici, materiali altamente sensibili a variazioni di pH. I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

¹⁰ Sia la Calce idrata (Idrossido di Calcio, calce spenta) che il Bicarbonato di Calcio, in soluzione acquosa, precipitano dando Carbonato di Calcio; la Calce per reazione con l'anidride carbonica dell'aria: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; il Bicarbonato di Calcio per decarbonatazione e disidratazione: $\text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

¹¹ $\text{CaSO}_4 + \text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{BaSO}_4$

¹² La reazione è: $\text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{BaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

7.17.2 IMPREGNANTI PER LA PROTEZIONE E L'IMPERMEABILIZZAZIONE

Tali prodotti andranno applicati, solo in caso di effettivo bisogno, su murature e manufatti eccessivamente porosi esposti agli agenti atmosferici, all'aggressione di umidità da condensa, di microrganismi animali e vegetali. Le operazioni andranno svolte su superfici perfettamente asciutte con una temperatura intorno ai 20 °C. Si potranno applicare a pennello, ad airless, per imbibizione completa e percolamento. Gli applicatori dovranno agire con la massima cautela, dotati di adeguata attrezzatura protettiva, nel rispetto delle norme antinfortunistiche e di prevenzione.

I prodotti utilizzabili per i trattamenti di protezione, di norma, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in laboratorio o direttamente in cantiere:

- basso peso molecolare ed un elevato potere di penetrazione;
- buona resistenza all'attacco fisico-chimico degli agenti atmosferici;
- buona resistenza chimica in ambiente alcalino;
- assenza di effetti collaterali e della formazione di sottoprodotti di reazione dannosi (produzione di sali);
- perfetta trasparenza ed inalterabilità dei colori;
- -traspirazione tale da non ridurre, nel materiale trattato, la preesistente permeabilità ai vapori oltre il valore limite del 10%;
- non tossicità.

I protettivi più efficaci per i materiali lapidei (naturali ed artificiali tipo intonaci e cotti) apparterranno fondamentalmente alla classe dei composti organici e dei composti a base di silicio, la scelta sarà in ragione alle problematiche riscontrate. Sarà sempre opportuno, ad applicazione, avvenuta, provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) sulla riuscita dell'intervento onde verificarne l'effettiva efficacia.

COMPOSTI ORGANICI

RESINE FLUORURATE

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE ACRIL-SILICONICHE

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la

fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

RESINE POLIURETANICHE

Per le caratteristiche di questa resina si rimanda all'articolo precedente. I criteri di accettazione saranno, in ogni caso, quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

COMPOSTI A BASE DI SILICIO

SILANI

Più precisamente alchil-alcossi-silani monomeri che date le ridotte dimensioni delle molecole (uguali a quelle dell'acqua), presenteranno ottima penetrabilità e saranno capaci di idrofobizzare i capillari più piccoli e di opporre resistenza alla penetrazione dei cloruri e dei sali solubili. Presenteranno la capacità di trattare superfici umide grazie alla possibilità di solubilizzazione in solventi polari quali alcoli ed acqua; generalmente utilizzati su supporti alcalini e silicei, risultano perciò convenienti su oggetti in cotto, materiali lapidei, tufo, intonaci in malta bastarda, mattoni crudi ecc.; il loro uso sarà sconsigliato su marmi carbonatici e intonaci di calce aerea. Normalmente saranno utilizzati in soluzioni di solvente con concentrazione in secco variabile dal 20% al 40% in peso; in casi particolari si potranno utilizzare anche al 10%.

Il loro impiego sarà, in ogni modo, abbastanza limitato in quanto la notevole volatilità del composto ed un'eventuale pioggia battente a breve distanza di tempo dal trattamento (in pratica prima della polimerizzazione) potranno di-staccare gran parte del prodotto applicato, con il conseguente onere, necessario, di una maggior quantità di prodotto per avere gli effetti richiesti; inoltre, presenteranno l'inconveniente di generare un effetto perlante.

Questi prodotti potranno essere miscelati con silicato d'etile al fine di combinare le caratteristiche di entrambe le sostanze. I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

SILLOSSANI (ALCHILSILOSSANI OLIGOMERI)

Più precisamente alchil-alcossi-silossani oligomerici ossia polimeri reattivi a basso peso molecolare. Potranno essere utilizzati sia in forma pura, cioè senza solvente, (in questo caso sarà consigliabile l'uso di monomeri piuttosto che quello di oligomeri o polimeri), sia in soluzione di solvente organico (generalmente con contenuto attivo del 5-10% in peso). Si rileverà efficace l'utilizzo su supporti compatti e scarsamente assorbenti; in funzione della loro particolare struttura chimica saranno in grado di infiltrarsi all'interno dei più fini capillari con un'elevata diffusione. Oltre all'ottima capacità di penetrazione i suddetti prodotti dovranno presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata stabilità agli alcali ed ai raggi ultravioletti;
- passaggio invariato del vapore acqueo delle superfici trattate consegnate all'assenza di formazione di pellicola superficiale e nessuna occlusione dei capillari o dei pori dei supporti trattati;
- essiccazione fuori polvere per sola emissione del solvente veicolante;
- assenza di sottoprodotti di reazione, dandosi ai manufatti trattati;
- possibilità di trattamento di superfici leggermente umide;
- assenza di variazioni cromatiche delle superfici trattate.

Il trattamento ai silossani modificherà lo stato di tensione superficiale del sottofondo in modo tale che le gocce di pioggia scorreranno sulla superficie verticale senza imbibirla; inoltre, il trattamento non creerà una pellicola continua sul supporto, lasciando in questo modo al sottofondo la possibilità di traspirare, senza modificare l'equilibrio. L'elevata riduzione d'assorbimento dei sali da parte dei manufatti impregnati con silossani renderà il trattamento particolarmente indicato nei casi di risalita capillare nelle murature. Due, essenzialmente, saranno i fattori determinanti in favore dei silossani rispetto a silani: ovvero la più celere reazione per formare la materia attiva e la non perdita di materiale causata dall'evaporazione. Questi prodotti potranno essere miscelati con silicato di etile al fine di combinare le caratteristiche di entrambe le sostanze, orientativamente una miscela idrorepellente consolidante potrà essere composta da il 7% di silossani ed il 60% di silicato di etile.

Gli alchilsilossani oligomeri potranno essere utilizzati anche in micro emulsioni acquose i componenti di una microemulsione saranno:

- una fase acquosa che costituiranno il liquido disperdente;
- una fase oleosa composta da silani, silossani e polisilossani;
- un emulsificante formato da polisilossani con gruppi funzionali a base di acetato di ammonio, lo sviluppo di acido acetico da questo composto durante l'essiccazione serve da agente catalitico dei siliconi;
- un co-emulsionante costituito da silani e silossani a basso peso molecolare

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

COMPOSTI A BASE NATURALE

OLIO DI LINO E CERE

L'olio di lino è un prodotto essiccativo costituito per l'85-90% da gliceridi degli acidi grassi non saturi. Gli olii essiccativi si useranno, se non diversamente specificato, dopo essere stati sottoposti a una particolare cottura allo scopo di esaltarne il potere essiccativo. L'olio di lino dopo la cottura (a 150-300 °C) dovrà presentarsi ben depurato, con un colore giallo-bruno rossastro perfettamente limpido, di odore forte ed amarissimo al gusto, scevro da adulterazioni con olio minerale, olio di pesce ecc. Non dovrà lasciare alcun deposito né essere rancido, e disteso sopra una lastra di vetro o di metallo dovrà essiccare completamente nell'intervallo di 24 ore. L'acidità massima ammessa dovrà essere in misura del 7%, impurità

non superiore al 1% ed alla temperatura di 15 °C presenterà una densità compresa fra 0,91 e 0,93. Troverà utilizzo prevalentemente per l'impregnazione del legno, di pavimenti e materiali in cotto.

Le cere potranno essere divise in tre categorie secondo la loro derivazione:

- *-cere animali* derivanti da secrezioni animali o contenute in alcune parti di essi come nei cetacei, la più utilizzata è la cera d'api simile alle sostanze grasse, pur essendo di costituzione chimica diversa, non contiene glicerina e, a differenza dei grassi, saponifica difficilmente. È di colore giallo intenso, più o meno scura, rammollisce a circa 35 °C, fonde a ca. 62 °C e solidifica a 61 °C, pH 20,7; infiammabile brucia senza lasciare residuo; insolubile in alcool freddo solubile a caldo in essenza di trementina negli oli grassi, benzene, cloroformio ecc., insolubile in acqua ma permeabile al vapore. Questi tipi di cera solubilizzeranno anche a distanza di tempo pertanto si rilevano reversibili;

- *-cere vegetali* contenute all'interno o in superficie di fibre vegetali, più dure delle cere animali e presentano un'alta brillantezza (cera di cotone, di lino, di tabacco ecc.): cera carnuba (detta anche cera brasiliana), è un prodotto molto pregiato di colore giallo verdastro pallido o grigio giallognolo prodotto ricavato dall'essudazione delle foglie della palma del Brasile (copernicia cerifera o corypha cerifera), si presenta in pezzi duri ma fragili a seconda dell'untuosità al tatto si classifica grassa o magra. Solubile a caldo nei comuni solventi organici tipo alcool etilico, benzene, trementina, ragia minerale ecc.; punto di fusione 82-85 °C. di norma difficilmente solubile a freddo, resistente e brillante sovente utilizzata per aumentare il punto di fusione delle altre cere o per dare più lucentezza e durezza ovvero per diminuire l'effetto appiccicoso;

- *-cere minerali* possono essere di origine fossile (cera montana, ozocerite) o frutto di sintesi del petrolio (paraffine): *cera microcristallina* miscela d'idrocarburi alifatici saturi a peso molecolare medio alto, punto di fusione da 90 °C a 95 °C, punto di goccia 106-110 °C, si presenta come piccole scaglie bianche o leggermente giallognole con una particolare struttura microcristallina. Particolarità positive risiedono nell'elevato potere adesivo a freddo, l'inerzia chimica, ottima reversibilità ed idrorepellenza. Poco solubili a freddo nei solventi polari solubili a caldo e a freddo nei solventi clorurati e nell'essenza di trementina.

Le cere potranno essere impiegate in forma di soluzione o dispersione. Tutte le cere troveranno, in ogni caso, impiego ristretto nel trattamento dei materiali lapidei e porosi a causa dell'ingiallimento e dell'opacizzazione delle superfici trattate; inoltre, in presenza di umidità e carbonato di calcio, potranno dare luogo alla formazione di saponi che scoloriranno l'oggetto trattato. Se non diversamente specificato non andranno utilizzati su manufatti in esterno, esposti agli agenti atmosferici in quanto poco resistenti e possibili terreni di coltura per batteri ed altri parassiti. Le cere potranno trovare utilizzo nei trattamenti protettivi per strutture in legno e manufatti in cotto.

Oli e cere dovranno essere, se non diversamente specificato, applicati a pennello.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.17.3 IMPREGNANTI PER INTERVENTI DI DEUMIDIFICAZIONE

La tipologia dei formulati impregnanti per questo tipo di trattamenti sarà varia (silossano oligomero in solvente alifatico dearomatizzato, microemulsione silossanica in solventi eteropolari idrolizzati, silano in acqua demineralizzata ecc.), le caratteristiche che accrediteranno una buona miscela idrofobizzante dovranno essere:

- -bassa tensione superficiale, bassa viscosità, basso peso specifico e buon potere bagnante al fine di conferire la massima facilità di penetrazione del liquido nella muratura;

- -bassa velocità di polimerizzazione e capacità di polimerizzazione anche in presenza di acqua per consentire un rapido funzionamento della barriera ed evitare che, nel tempo successivo all'operazione, agenti estranei ne disperdano l'efficacia;

- valore di pH nullo, assenza di componenti tossici, nessuna efflorescenza in asciugatura.

In ogni caso i formulati dovranno rispettare i requisiti richiesti dalla Raccomandazione NorMaL 20/85.

I criteri di accettazione saranno quelli enunciati nell'ultimo capoverso dell'art. 16 ("Materiali impregnanti – Generalità") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.18 Materiali vari

7.18.1 MATERIALI VARI PER CONSOLIDAMENTO

ALCOOL POLIVINILICO

Sostanza ad alto peso molecolare, solubile in acqua, alla quale si impartisce forte viscosità e proprietà emulsionanti. Si rileva poco solubile in solventi organici viene sovente utilizzato in miscele di acqua e alcool etilico denaturato (in soluzioni dal 3 al 10%) nelle operazioni di preconsolidamento per fissaggi di scaglie e/o frammenti oppure per fissaggi mediante velature con garza di cotone o carta giapponese.

ACETATO DI POLIVINILE

Resina sintetica termoplastica, preparata per polimerizzazione dell'acetato di vinile, a sua volta ottenuto da acetilene e acido acetico. Utilizzata in soluzione dal 3 al 10% in alcool etilico o isopropilico oppure in miscele a base di acido etilico denaturato e acqua come fissativo di pellicole pittoriche o per eseguire "ponti di cucitura" di frammenti scaglie decoese. Punto di rammollimento 155-180 °C, viscosità a 20 °C della soluzione 20% in estere etilico dell'acido acetico 180-240 mPas.

POLYFILLA

Stucco riempitivo per esterni o interni da impastare con acqua (2-2 1/2 parti in polvere con 1 parte di acqua), privo di amianto e resistente all'acqua, applicabile con temperature variabili da 5 a 30 °C. Può essere impiegato per stuccare

lesioni, fessure, cavillature, per pareggiare superfici o per ripristini di modeste dimensioni. La polyfilla presenta un'elevata durezza dopo l'essiccazione (minimo 6 ore) conservando la forma datagli. Questo stucco può essere colato, colorato, modellato e, dopo l'essiccamento, intagliato, levigato e lucidato.

7.18.2 MATERIALI VARI PREMISCELATI

MALTA PREMISCELATA PER INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO E RIADESIONE DI INTONACI

La malta da iniezione dovrà essere composta da calci naturali e leganti idraulici speciali, chimicamente stabili ed a bassissimo contenuto di sali solubili, inerti silicei, ardesia, pozzolana superventilata e da una speciale combinazione di additivi fluidificanti, ritentivi ed aeranti. La speciale formulazione, prodotta in dispersione planetaria 1/10.000 per un tempo inferiore a 20 minuti, dovrà formare un premiscelato omogeneo di colore grigio chiaro. Il prodotto, dovrà, inoltre, presentare un'ottima penetrabilità nelle murature senza preliminarmente bagnatura dei supporti, facile pulitura delle fuoriuscite, compatibilità chimico/meccanica con calce e pozzolana, bassa resistenza meccanica, assenza di efflorescenze anche in ambienti molto umidi. La malta dovrà essere impastata energicamente (per circa 3 minuti) con acqua demineralizzata (sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto). Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe con aghi di tipo veterinario (diametro di uscita superiore ai 2 mm).

Il premiscelato, per la particolarità dell'applicazione, deve essere sperimentato da almeno 10 anni in ricerche promosse dal Ministero BB.AA.CC. Del prodotto utilizzato dovranno essere dichiarate le principali caratteristiche chimico-fisiche, i luoghi e la data dell'avvenuta sperimentazione. Il produttore dovrà, inoltre, fornire gli elaborati relativi all'attività di ricerca svolta, ratificati dall'Ente pubblico preposto al controllo della stessa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,02 kg/dm³, lavorabilità 1 h, essudamento assente, aderenza 0,8 N/mm², inizio presa a +20 °C 24 h, fine presa a +20 °C 48 h, resistenza a compressione a 28 gg 6 N/mm², resistenza a flessione a 28 gg 2 N/mm², modulo elastico 5000 N/mm², ritiro 0,7-1,8 mm, ritenzione acqua > 80%, permeabilità al vapore 6 m; ritiro 0,7-1,8 mm.

MALTA PREMISCELATA PER RIADESIONE E RIEMPIMENTO DI VUOTI A BASSO PESO SPECIFICO

La malta da iniezione dovrà presentare basso peso specifico (0,4 kg/dm³) e basse resistenze meccaniche così da risultare idonea per eseguire riempimenti di grosse cavità presenti fra strati di intonaco (3-4 cm), sigillatura di lesioni superficiali, reincollaggio di parti di intonaco degradate e friabili, riadesione di elementi privi di funzioni statiche e non appesantibili. L'impasto dovrà essere composto da calci naturali e leganti idraulici speciali (C30), chimicamente stabili ed a bassissimo contenuto di sali solubili, pozzolana, perlite ventilata ed una particolare combinazione di additivi fluidificanti, ritentivi ed aeranti. La speciale formulazione, prodotta in dispersione planetaria 1/10.000 per un tempo inferiore a 20', dovrà formare un premiscelato omogeneo di colore bianco. La malta può essere additivata con microfibre al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche in impieghi particolari; in ogni caso dovrà essere impastata energicamente (con trapano elettrico a bassa velocità per circa 6-8 minuti) con acqua demineralizzata (sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto). Se non diversamente specificato, questi prodotti dovranno essere iniettati entro 30 minuti dalla preparazione. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe di tipo veterinario prive di ago (diametro di uscita superiore ai 6 mm).

Il premiscelato, per la particolarità dell'applicazione, deve essere sperimentato da almeno 10 anni in ricerche promosse dal Ministero BB.AA.CC. Del prodotto utilizzato dovranno essere dichiarate le principali caratteristiche chimico-fisiche, i luoghi e la data dell'avvenuta sperimentazione. Il produttore dovrà, inoltre, fornire gli elaborati relativi all'attività di ricerca svolta, ratificati dall'Ente pubblico preposto al controllo della stessa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 0,4 kg/dm³, lavorabilità 4 h, essudamento assente, aderenza 0,9 N/mm², inizio presa a +20 °C 20 h, fine presa a +20 °C 44 h, resistenza a compressione a 28 gg 31 N/mm², resistenza a flessione a 28 gg 8 N/mm², modulo elastico 5200 N/mm², ritiro 0,4-1,2 mm, ritenzione acqua > 85%, permeabilità al vapore 3 m; ritiro 0,4-1,2 mm.

MALTA PREMISCELATA PER INIEZIONE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

La malta per iniezioni dovrà essere a base di calce idraulica naturale, priva di sali solubili, rafforzata con metacaolino purissimo ad alta reattività pozzolanica (od in alternativa con polvere di coccio pesto) caricata con carbonato di calcio scelto e micronizzato, (o perlite superventilata se si ricerca una malta a basso peso specifico) a cui andranno aggiunti additivi quali ritenitori d'acqua di origine naturale e superfluidificanti al fine di poter iniettare la miscela a bassa pressione. Se non diversamente specificato l'acqua da utilizzare nell'impasto dovrà, essere demineralizzata. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto, possibilmente demineralizzata, e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,4 kg/dm³, lavorabilità 2 h, bleeding trascurabile, aderenza 1,4 N/mm², inizio presa a +20 °C 18 h, fine presa a +20 °C 72 h, resistenza a compressione a 28 gg 13 N/mm², resistenza a flessione a 28 gg 3,5 N/mm², modulo elastico 11000 N/mm², temperatura massima durante l'indurimento < 30 °C, ritiro 0,7-1,2 µm, ritenzione acqua > 70%, permeabilità al vapore 9 µ.

MALTA PREMISCELATA PER BETONCINO DI COLLABORAZIONE STATICA

La malta dovrà presentare un modulo elastico basso così da limitare eventuali inconvenienti legati all'instabilizzazione per carico di punta; a tal fine si potranno utilizzare malte a base di calce idraulica naturale caricata con inerti a comportamento pozzolanico (ad es., pozzolana, metacaolino, coccio pesto ecc.), sabbie silicee (granulometria 0,1-2 mm) con l'eventuale aggiunta di additivi aeranti naturali, fibre minerali inorganiche atossiche (così da ridurre le tensioni generate dall'evaporazione dell'acqua e limitare le fessurazioni da ritiro plastico) ed espansivi minerali (così da controllare il ritiro

igronometrico).

Le malte, a ritiro compensato, da utilizzare per i betoncini dovranno, in ogni caso, presentare le seguenti caratteristiche: granulometria inerti 0,1-2,0 mm, inizio presa 5 h, fine presa 15 h, resistenza a compressione a 28 giorni > 18 N/mm²; modulo elastico a 28 giorni <15000 N/mm²; espansione contrastata a 7 giorni > 300 µm/m; coefficiente di permeabilità al vapore < 150 µ.

L'utilizzo di premiscelati a base di calce idraulica naturale o idraulica pozzolanica (calce aerea miscelata a cariche con reattività pozzolaniche), rispetto all'uso del cemento presenterà il vantaggio di ottenere un impasto più plastico e maggiormente lavorabile, inoltre l'uso della calce idraulica garantirà capacità di traspirazione delle pareti.

MALTA PREMISCELATA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE DA RINZAFFO

Il rinzaffo, che dovrà essere applicato a copertura totale del supporto, sarà costituito da una malta a grana grossa, costituita esclusivamente da materie prime naturali quali legante di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, calce idraulica HL 5, pozzolana naturale micronizzata, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 mm. Le caratteristiche richieste, ottenute esclusivamente con l'impiego di materie prime di origine rigorosamente naturale, dovranno garantire una totale resistenza ai sali (Tabella 1- ASTM C 1012-95a ? 0,034%). La malta da rinzaffo dovrà soddisfare i requisiti della norma EN 998/1 - GP/CS III / W1, adesione 0,7 N/mm², reazione al fuoco classe A1. Il rinzaffo avrà uno spessore medio di 10 mm ed una finitura a rustico in unico strato stollato. L'applicazione, eseguita a mano dovrà avere una resa media circa 15 kg/m² per centimetro di spessore.

Le caratteristiche finali dell'impasto dovranno essere: coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua (m) ? 20 EN 1015-19; assorbimento d'acqua per capillarità Categoria W1 EN 998-1; profondità d'infiltrazione dell'acqua 1 h ? 5 mm EN 1015-18; profondità d'infiltrazione dell'acqua 24 h ? 20 mm EN 1015-18; reazione al fuoco Classe A1 EN 13501-1; resistenza a compressione a 28 gg Categoria CS III EN 998-1; aderenza al supporto (laterizio) ? 0,7 N/mm² - FP: B EN 1015-12; resistenza ai solfati (Tabella 1 ? 0,034%) Superata ASTM C 1012-95a; conducibilità termica (l 10, dry) 0,83 W/mK (valore tabulato) EN 1745; durabilità (al gelo-disgelo) valutazione basata sulle disposizioni valide nel luogo di utilizzo previsto della malta EN 998-1; indice di radioattività I = 0,27 UNI 10797/1999.

MALTA PREMISCELATA A BASE DI CALCE IDRAULICA NATURALE DA ARRICCIO

L'arriccio, che dovrà essere steso al fine di realizzare uno strato "protettivo e deumidificante" ad altissima porosità, igroscopicità, traspirabilità e ridotto assorbimento capillare d'acqua, sarà costituito da una malta a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, pozzolana naturale extrafine e inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 mm. Le caratteristiche richieste, ottenute esclusivamente con l'impiego di materie prime di origine rigorosamente naturale, dovranno garantire un'altissima traspirabilità dell'intonaco (coefficiente di resistenza al vapore acqueo m ? 3), un'elevata porosità della malta indurita (? 40%), una naturale conducibilità termica (pari a 0,47 W/mK), una notevole aria occlusa in fase d'impasto (? 25%), una totale resistenza ai sali (WTA 2-2-91/0 Superata) e una ridotta profondità d'infiltrazione d'acqua (nelle 24 h ? 5 mm). L'impasto dovrà soddisfare i requisiti della norma EN 998/1 - R/CS II/W24 ? 0,3 kg/m², adesione 0,2 N/mm², reazione al fuoco classe A1. L'intonaco dovrà avere uno spessore minimo di 20 mm, costituito da due strati dello spessore medio di 10 mm, ed una finitura a rustico fine. L'applicazione, eseguita a mano, dovrà avere una resa media di circa 12 kg/m² per ogni centimetro di spessore.

Le caratteristiche finali dell'impasto dovranno essere: coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua (m) ? 3 EN 1015-19; assorbimento idrico capillare W24 ? 0,3 kg/m² EN 1015-18; profondità d'infiltrazione dell'acqua 24 h ? 5 mm EN 1015-18; porosità ? 40% WTA 2-2-91/D; reazione al fuoco Classe A1 EN 13501-1; resistenza a compressione a 28 gg Categoria CS II EN 998-1; aderenza al supporto (laterizio) ? 0,2 N/mm² - FP: B EN 1015-12; rapporto resistenza compressione/flessione ? 3 WTA 2-2-91/D; resistenza ai sali Superata WTA 2-2-91/D; conducibilità termica (l 10, dry) 0,47 W/mK (valore tabulato) EN 1745; durabilità (al gelo-disgelo) valutazione basata sulle disposizioni valide nel luogo di utilizzo previsto della malta EN 998-1; indice di radioattività I = 0,30 UNI 10797/1999.

7.19 Materiali compositi FRCM

FRCM

I compositi **FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)** sono materiali utilizzabili per realizzare **sistemi di rinforzo esterno** (placcaggio) a "**basso spessore**" di strutture esistenti in muratura o in conglomerato cementizio armato. Si compongono di una **matrice inorganica** rinforzata mediante una **rete o tessuto** in fibra. Nei casi che richiedono l'adozione di connessioni, il sistema si completa con connettori preformati o a fiocco per il collegamento all'elemento strutturale da rinforzare.

I sistemi FRCM diffusi prevedono reti in fibra vetro alcali-resistente ad elevate resistenza e flessibilità abbinati a malte con cementi solfatoresistenti. I sistemi FRCM a fasce prevedono tessuti in acciaio inox abbinati a malte con cementi solfatoresistenti per il rinforzo del cemento armato o malte a base di calce idraulica naturale a grana fine compatibili con le più comuni murature storiche.

Descrizione

L'uso dei rinforzi sotto forma di intonaci strutturali armati con leganti cementizi e leganti idraulici a reattività pozzolanica e in calce idraulica con reti in fibra di carbonio, vetro, basalto, reti preformate in vetro alcali resistente e tessuti in acciaio UHTSS galvanizzato e inox, è una tecnologia di miglioramento statico particolarmente indicata per il settore delle murature, dei Beni Culturali e delle dimore storico-artistiche. Tale tecnica proposta nel mercato nazionale negli ultimi anni consente infatti di ottenere, una volta adottata, un miglioramento generale delle caratteristiche meccaniche delle murature specie se ammalorate e soggette ad azioni sismiche attraverso un rinforzo di matrice inorganica reversibile e traspirante, progettato e commisurato alle reali azioni sollecitanti sulle murature in particolare modo per flessione, taglio e confinamento. Il sistema può essere adottato per pannelli murari, cortine, pilastri in muratura, volte che hanno manifestato vari gradi di

ammaloramenti e dissesti e che si intendano mettere in sicurezza con una tecnologia poco invasiva e compatibile con le caratteristiche generali del manufatto storico. Sono stati condotti e sono tuttora in corso studi e sperimentazioni del ns. gruppo in campo nazionale ed internazionale che testimoniano la validità del sistema per l'ambito specifico a cui sono destinati.

Campi d'impiego

I principali impieghi del sistema di rinforzo murario sono per:

- incremento di resistenza di pannelli murari portanti, pilastri in muratura, archi, volte
- messa in sicurezza di pannelli di tamponamento, pannelli murari portanti sotto azione sismica
- miglioramento al taglio delle murature
- miglioramento alle azioni esterne ortogonali al piano del pannello
- collegamenti di elementi collaboranti alle azioni esterne

Vantaggi

Buone caratteristiche meccaniche e prestazionali in ambito statico e sismico.

Ottima resistenza chimica al pH, alle atmosfere umide, industriali e marine, alla carbonatazione.

Ridotti spessori di malta armata con reti in carbonio, vetro AR, basalto rispetto a sistemi tradizionali con reti elettrosaldate e malte o guniti.

Applicabilità in ambienti umidi.

Applicabilità su superfici anche irregolari con ridotti oneri di livellamento.

Permeabilità al vapore del sistema di rinforzo.

Protezione dalla corrosione dell'armatura di rinforzo nei c.a..

Resistenza al fuoco del sistema (REI 60 con un solo cm di malta applicata con rete di rinforzo).

Compatibilità e reversibilità del sistema in ambito Beni Culturali.

Maggiore facilità di movimentazione e di intervento in cantiere.

Materiali per coperture – Generalità

Si definiscono prodotti per le coperture quelli utilizzati per realizzare lo strato di tenuta all'acqua nei sistemi di copertura e quelli usati per altri strati complementari.

Per la realizzazione delle coperture discontinue nel loro insieme si rinvia all'articolo sull'esecuzione delle coperture discontinue. I prodotti vengono di seguito considerati al momento della fornitura; la D.L. ai fini della loro accettazione potrà procedere a controlli (anche parziali) su campioni della fornitura oppure richiedere un attestato di conformità della fornitura alle prescrizioni indicate negli articoli specifici.

Nel caso di contestazione si intende che le procedure di prelievo dei campioni, i metodi di prova e valutazione dei risultati saranno quelli indicati nelle norme UNI vigenti e in mancanza di queste ultime quelli indicati dalle norme estere o internazionali.

7.19.1 LASTRE DI PIETRA NATURALE

Le lastre in pietra naturale (ardesia, porfido, beole ecc.) dovranno rispondere alle caratteristiche di resistenza a flessione, resistenza all'urto, resistenza al gelo e disgelo, comportamento agli agenti inquinanti indicati per i prodotti in pietra naturale del presente capitolato (art. 9 "Pietre naturali e ricostruite"). La fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la corrispondenza alle caratteristiche richieste.

Se non diversamente specificato le lastre dovranno essere sagomate in forme il più possibile regolari, come spessori e formati, nei limiti concessi dalla natura della pietra e dalle tecniche di estrazione e taglio. La pendenza di messa in opera sarà superiore o uguale al 60%.

Per le lastre di ardesia o di altro materiale, comunque lavorabile a macchina, saranno richiesti formati regolari (quadrate, rettangolari, ad angolo acuto, ad arco ecc.), con dimensioni variabili a seconda della tipologia di copertura. Se non diversamente specificato le lastre di copertura in ardesia avranno le seguenti dimensioni:

- lastre con ganci dim. 57 x 40 x 0,8 cm o 57 x 30 x 0,8 cm;
- lastre alla francese dim. 40 x 40 x 1 cm;
- lastre alla genovese dim. 60 x 60 x 0,6 cm , 60 x 40 x 0,6 cm , 60 x 30 x 1 cm;
- lastre a squame di ardesia dim. 50 x 30 x 0,6 cm o 40 x 30 x 1 cm;
- ardesia rustica montana con diagonali dim. da 40 a 100 cm, spessore 1,5-2 cm.

Per le lastre a spacco sarà consentita la tipica irregolarità fermo restando nei limiti delle tolleranze prescritte dal progetto ovvero dichiarate dal fornitore ed accettati dalla D.L.

7.20 Materiali per impermeabilizzazione – Generalità

Dovranno essere intesi come prodotti per impermeabilizzazioni e per coperture piane quelli che si presenteranno sotto forma di:

a) - membrane bituminose in fogli e/o rotoli da applicare a freddo od a caldo, in fogli singoli o pluristrato, si potranno scegliere in base al:

- -materiale componente (ad es.: bitume ossidato fillerizzato, bitume polimero elastomero, bitume polimero plastomero, etilene propilene diene, etilene vinil acetato ecc.);
- -materiale di armatura inserito nella membrana (ad es.: armatura vetro velo, armatura poliammide tessuto, armatura

polipropilene film, armatura alluminio foglio sottile ecc.);

– -materiale di finitura della superficie superiore (ad es.: poliestere film da non asportare, polietilene film da non asportare, graniglie ecc.);

– -materiale di finitura della superficie inferiore (ad es.: poliestere non tessuto, sughero, alluminio foglio sottile ecc.);

b) - membrane e vernici liquide e/o in pasta da mettere in opera a freddo od a caldo su eventuali armature (che restano inglobate nello strato finale) fino a formare in situ una membrana continua; si potranno classificare in:

– -mastici di rocce asfaltiche e di asfalto sintetico;

– -asfalti colati;

– -malte asfaltiche;

– -prodotti termoplastici;

– -soluzioni in solvente di bitume;

– -emulsioni acquose di bitume;

– -prodotti a base di polimeri organici;

c) -membrane ondulate o microdogate sottocoppo o sottotegola, di norma realizzate in fibrocemento o in fibre organiche resinate;

d) membrane bugnate estruse in polietilene ad alta densità.

I prodotti di seguito elencati, dovranno essere valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, si potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero, richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova dovrà essere fatto riferimento ai metodi UNI esistenti.

7.20.1 MEMBRANE LIQUIDE O IN PASTA

I prodotti liquidi o in pasta dovranno essere destinati, fondamentalmente, per realizzare strati di tenuta all'acqua (ma anche altri strati funzionali della copertura piana) a secondo del materiale costituente, dovranno rispondere alle prescrizioni di seguito indicate. I criteri di accettazione saranno quelli indicati nell'articolo 20 ("Prodotti per impermeabilizzazioni") del presente capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

I suddetti prodotti saranno identificati e dovranno rispondere alle relative norme UNI come di seguito indicato:

a) *bitumi da spalmatura* per impermeabilizzazioni (in solvente e/o emulsione acquosa) dovranno soddisfare i limiti specificati, per i diversi tipi, alle prescrizioni della norma UNI 4157;

b) *malte asfaltiche* per impermeabilizzazione dovranno assolvere alla norma UNI 5660 FA 227;

c) *asfalti colati* per impermeabilizzazioni dovranno assolvere alla norma UNI 5654 FA 191;

d) *mastice di rocce asfaltiche* per la preparazione di malte asfaltiche e degli asfalti colati dovrà assolvere alla norma UNI 4377 FA 233;

e) *mastice di asfalto sintetico* per la preparazione delle malte asfaltiche e degli asfalti colati dovrà assolvere alla norma UNI 4378 FA 234;

f) *prodotti fluidi od in pasta a base di polimeri organici* (bituminosi, epossidici, poliuretanici, epossipoliuretanici, epossicatrame, polimetencatrame, polimeri clorurati, acrilici, vinilici, polimeri isomerizzati) dovranno essere valutati in base alle caratteristiche seguenti ed i valori dovranno rispondere ai limiti riportati; in assenza di indicazioni sui limiti, avranno valore quelli dichiarati dal produttore nella sua documentazione tecnica ed accettati dalla D.L.

I criteri d'accettazione dovranno essere quelli indicati nell'art. 20 ("Prodotti per impermeabilizzazioni") del presente Capo.

A complemento di quanto specificato negli elaborati di progetto, o negli articoli relativi alla destinazione d'uso, i materiali liquidi o in pasta fornito in barattolo (prima all'applicazione) si intenderanno forniti con le seguenti caratteristiche:

– viscosità in minimo ;

– massa volumica kg/dm³ minimo massimo ;

– contenuto di non volatile % in massa minimo ;

– punto di infiammabilità minimo (%) ;

– contenuto di ceneri massimo (g/kg)..... ;

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

Caratteristiche di comportamento da verificare in situ o su campioni significativi di quanto realizzati in situ:

– spessore dello strato finale in relazione al quantitativo applicato per ogni metro quadrato minimo (mm) ;

– valore dell'allungamento a rottura minimo (%) ;

– resistenza al punzonamento statico o dinamico: statico minimo (N) ;

– dinamico minimo (N) ;

– stabilità dimensionale a seguito di azione termica, variazione dimensionale massima (%) ;

– impermeabilità all'acqua, minima pressione di (kPa) ;

– comportamento all'acqua, variazione di massa massima in (%) ;

– invecchiamento termico in aria a 70 °C, variazione della flessibilità a freddo tra prima e dopo il trattamento massimo °C ;

– invecchiamento termico in acqua, variazione della flessibilità a freddo tra prima e dopo il trattamento massimo °C . .

Nota per il compilatore: completare l'elenco e/o eliminare le caratteristiche superflue. Indicare i valori di accettazione ed i metodi di controllo facendo riferimento alle norme UNI e/o CNR esistenti ed in loro mancanza a quelle della letteratura tecnica (in primo luogo le norme internazionali ed estere).

7.20.2 MEMBRANE BUGNATE

Le membrane bugnate dovranno essere realizzate in polietilene estruso ad alta densità (HDPE); grazie ai rilievi (di altezza variabile da un minimo di 8 mm ad un massimo di 20 mm) semiconici realizzeranno un sistema di drenaggio ad intercapedine ventilata per la protezione delle strutture controterra. Le suddette membrane dovranno altresì, svolgere un'azione antiradicale, resistere agli urti, essere insensibili alle basse temperature (fino a -30 °C), resistere agli agenti chimici, non inquinare le eventuali falde acquifere, resistere alla contaminazione di funghi e batteri essere, infine, non degradabili. Le stesse membrane potranno essere munite di strato in geotessile in polipropilene a filo continuo drenante a pressione stabile accoppiato alle bugne con il fine di filtrare le particelle di terreno impedendo così l'intasamento della rete di canali della struttura a bugne.

I criteri d'accettazione saranno quelli indicati nell'art. 20 ("Prodotti per impermeabilizzazioni") del presente Capo, inoltre, la fornitura dovrà essere accompagnata da apposito foglio informativo che segnali il nome del fornitore e la rispondenza alle caratteristiche richieste.

7.21 Vetri e cristalli

Rientrano in questa categoria i prodotti ottenuti dalla trasformazione e lavorazione del vetro; detti prodotti si divideranno in tre principali categorie: lastre piane, vetri pressati, prodotti di seconda lavorazione.

I vetri e i cristalli dovranno essere, per le richieste dimensioni: di un solo pezzo, di spessore uniforme, di prima qualità, perfettamente incolori molto trasparenti, privi di scorie, bolle, soffiature, ondulazioni, nodi, opacità lattiginose, macchie e di qualsiasi altro difetto.

Per le definizioni rispetto ai metodi di fabbricazione, alle loro caratteristiche, alle seconde lavorazioni, nonché per le operazioni di finitura dei bordi si farà riferimento alle norme UNI vigenti; in particolare i vetri per l'edilizia piani e trasparenti dovranno rispondere per il vetro colato e laminato grezzo, vetro tirato lucido, vetro trasparente float, vetro stampato armato, vetro profilato armato e non armato alla norma UNI EN 572 (Parti 1-7)

In relazione agli spessori (espressi in mm) i suddetti prodotti potranno denominarsi come segue:

- sottile (semplice) 2 (1,8-2,2);
- normale (semi-doppi) 3 (2,8-3,2);
- forte (doppio) 4 (3,7-4,3);
- spesso (mezzo cristallo) 5-8;
- ultraspeso (cristallo) 10-19.

Per quanto riguarda i vetri piani temprati (ovvero trattati termicamente o chimicamente in modo da indurre negli strati superficiali tensioni permanenti) si farà riferimento oltre che alle indicazioni di progetto alle norme UNI vigenti

I vetri piani stratificati (ovvero formati da due o più lastre di vetro e uno o più strati interposti di materia plastica che incollano tra loro le lastre di vetro per l'intera superficie) potranno essere richiesti con prestazioni antivandalismo ed anticrimine fino a prestazioni antiproiettile. Il loro spessore varierà in base al numero ed allo spessore delle lastre costituenti, di conseguenza si classificheranno in base alla loro resistenza alle sollecitazioni meccaniche.

Per i vetri piani uniti al perimetro (vetrocamera) costituiti da due lastre di vetro unite tra loro lungo il perimetro a mezzo di adesivi, con interposizione di distanziatore, in modo da formare una o più intercapedini contenenti aria o gas disidratati, dovrà esser fatto riferimento, oltre che alle indicazioni di progetto, alla norma UNI vigenti.

Per i vetri pressati per vetrocemento armato (a forma cava od a forma di camera d'aria) si farà riferimento, oltre che alle indicazioni di progetto, alle norme UNI vigenti.

I prodotti sopra elencati, saranno valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova si dovrà esser fatto riferimento ai metodi UNI esistenti.

7.22 Materiali per rivestimenti e/o trattamento lacune interni ed esterni

Si definiscono prodotti per rivestimenti quelli utilizzati per realizzare i sistemi di rivestimento verticali (pareti, facciate) ed orizzontali (controsoffitti) del fabbricato.

I prodotti potranno essere distinti:

- a seconda del loro stato fisico in:
 - fluidi o pastosi (intonaci, malte da stuccatura, tinture, pitture ecc.);
 - rigidi (rivestimenti in pietra, ceramica, alluminio, gesso ecc.);
 - flessibili (carte da parati, tessuti da parati ecc.);
- a seconda della loro collocazione:
 - per esterno;
 - per interno.
- a seconda della loro collocazione nel sistema di rivestimento:
 - di fondo;
 - intermedi;
 - di finitura.

I prodotti di seguito elencati, saranno valutati al momento della fornitura. La D.L. ai fini della loro accettazione, potrà procedere ai controlli (anche parziali) su campioni della fornitura ovvero richiedere un attestato di conformità. Per il campionamento dei prodotti ed i metodi di prova si farà riferimento alle norme UNI vigenti.

PRODOTTI FLUIDI O IN PASTA

Impasti: intonaci, malte da stuccatura o da ripristino ovverosia composti realizzati con malta costituita da un legante (grassello di calce, calce idrata, calce idraulica naturale, cemento, gesso) o da più leganti (malta bastarda composta da grassello di calce e calce idraulica naturale rapporto 2-3:1; calce idraulica naturale e cemento rapporto 2-1:1; grassello di calce e gesso; calce idraulica naturale e gesso) da un inerte (sabbia, polvere o granuli di marmo, coccio pesto, pozzolana ecc.) in rapporto variabile, secondo le prescrizioni di progetto, da 1:3 a 1:1; la malta potrà essere eventualmente caricata da pigmenti o terre coloranti (massimo 5% di pigmenti minerali ricavati dalla macinazione di pietre o 10% di terre) e/o da additivi di vario genere (fluidificanti, aeranti ecc.). Nel caso in cui il pigmento dovesse essere costituito da pietra macinata, questo potrà sostituire parzialmente o interamente l'inerte.

Tabella 20.1 Composizione indicativa in volume di malte a base di calce

Leganti		Inerti						
Calce area in pasta	Calce idraulica naturale	Sabbione	Sabbia grana fine	Pietra calcarea macinata gr. media	Polvere di marmo	Coccio pesto macinato gr. media	Coccio pesto macinato gr. fine	Pozzolana
	1		2					
2	1	5						
1					2			
0,5	0,5			2		1		
1								3
	3		1					2
3	1	4				4		
1			1				2	
0,5	0,5		1	1		1		
	1		2					1
2	1		1				4	
2	0,50		1		2			
1							1,5	
1	0,5	0,5		2	1	1		
0,5	0,5		2	1				
1	1		2	2				1
0,5	0,5				0,25			1
Sabbione asciutto (granulometria: 2 parti 1,5-5 mm+1 parte 0,5-1,2)								
Sabbia vagliata fine (granulometria 0,5 a 0,8 mm)								

Tabella 20.2 Composizione indicativa in volume di malte bastarde (calce + cemento)

Legante			Inerte					
Calce area in pasta	Calce idraulica naturale	Cemento bianco	Sabbione	Sabbia grana fine	Polvere di marmo	Coccio pesto macinato gr. media	Coccio pesto macinato gr. fine	Pietra calcarea macinata gr. media
	1	2	5					
	2	1	6					
1		0,10	2,5					
1		0,25		0,25			2	
0,25	1	0,25		2	1			
0,50		0,50			1	1		
1	0,50	0,50			4			
2		0,50			3			
2		0,50				4		
Legante			Inerte					
Calce area in pasta	Calce idraulica naturale	Cemento bianco	Sabbione	Sabbia grana fine	Polvere di marmo	Coccio pesto macinato gr. media	Coccio pesto macinato gr. fine	Pietra calcarea macinata gr. media
0,50		0,50			1	1		1
0,50		0,50		1	1			1
	0,50	0,50			0,25	1		
	0,50	0,50		2				1
0,50	0,50	1	1			1		0,75

Gli impasti sopra descritti dovranno possedere le caratteristiche indicate nel progetto e quantomeno le caratteristiche seguenti:

- -presentare un'ottima compatibilità chimico-fisica sia con il supporto sia con eventuali parti limitrofe (specialmente nel caso di rappezzo di intonaco). La compatibilità si manifesterà attraverso il coefficiente di dilatazione, la resistenza meccanica e lo stato fisico dell'impasto (granulometria inerte, tipologia di legante ecc.);
- -avere una consistenza tale da favorire l'applicazione;
- -aderire alla struttura muraria senza produrre effetto di slump e legarsi opportunamente a questa durante la presa;
- -essere sufficientemente resistente per far fronte all'erosione, agli inconvenienti di origine meccanica e agli agenti degradanti in genere;
- -contenere il più possibile il rischio di cavillature (dovrà essere evitato l'utilizzo di malte troppo grasse);
- -opporsi al passaggio dell'acqua, non realizzando un rivestimento di sbarramento completamente impermeabile, ma garantendo al supporto murario la necessaria traspirazione dall'interno all'esterno;
- -presentare un aspetto superficiale uniforme in relazione alle tecniche di posa utilizzate.

Per ulteriori indicazioni inerenti la caratterizzazione e la composizione di una malta da utilizzare in operazioni di restauro si rimanda a quanto enunciato nelle norme UNI 10924, 11088-89.

Per i prodotti forniti premiscelati la rispondenza alle norme UNI vigenti sarà sinonimo di conformità alle prescrizioni predette; per gli altri prodotti varranno i valori dichiarati dal fornitore ed accettati dalla D.L.

Prodotti vernicianti: i prodotti applicati allo stato fluido, costituiti da un legante (naturale o sintetico), da una carica e da un pigmento o terra colorante che, passando allo stato solido, formeranno una pellicola o uno strato non pellicolare sulla superficie. Si distingueranno in:

- -tinte, se non formeranno pellicola e si depositeranno sulla superficie;
- -impregnanti, se non formeranno pellicola e penetreranno nelle porosità del supporto;
- -pitture, se formeranno pellicola ed avranno un colore proprio;
- -vernici, se formeranno pellicola e non avranno un marcato colore proprio;
- -rivestimenti plastici, se formano pellicola di spessore elevato o molto elevato (da 1 a 5 mm circa), avranno colore proprio e disegno superficiale più o meno accentuato. Questo ultimo tipo di rivestimento dovrà essere utilizzato solo dietro specifica autorizzazione della D.L. e degli organi di tutela del manufatto oggetto di trattamento.

I prodotti vernicianti dovranno possedere valori adeguati delle seguenti caratteristiche, in funzione delle prestazioni loro richieste:

- -dare colore in maniera stabile alla superficie trattata;

- -avere funzione impermeabilizzante;
- -presentare un'ottima compatibilità chimico-fisica con il supporto;
- -essere traspiranti al vapore d'acqua;
- -impedire il passaggio dei raggi U.V.;
- -ridurre il passaggio della CO₂;
- -avere adeguata reazione e/o resistenza al fuoco (quando richiesto);
- -avere funzione passivante del ferro (quando richiesto);
- -resistenza alle azioni chimiche degli agenti aggressivi (climatici, inquinanti);
- -resistere (quando richiesto) all'usura.

I limiti di accettazione saranno quelli prescritti nel progetto od in mancanza quelli dichiarati dal fabbricante ed accettati dalla D. L. I dati si intenderanno presentati secondo le norme UNI 8757 e UNI 8759 ed i metodi di prova saranno quelli definiti nelle norme UNI vigenti.

PRODOTTI RIGIDI

- a) Per le piastrelle di ceramica varrà quanto riportato nell'art. 10.2 ("Piastrelle di ceramica per pavimentazioni") del presente Capo, tenendo conto solo delle prescrizioni valide per le piastrelle da parete.
- b) Per le lastre di pietra varrà quanto riportato nel progetto circa le caratteristiche più significative e le lavorazioni da apportare. In mancanza o ad integrazione del progetto varranno i criteri di accettazione generali indicati nell'art. 9 "Pietre naturali e ricostruite" integrati dalle prescrizioni date nell'art. 10.3 "Prodotti pietra naturale per pavimentazioni" (in particolare per le tolleranze dimensionali e le modalità di imballaggio). Dovranno, comunque, essere previsti gli opportuni incavi, fori ecc. per il fissaggio alla parete e gli eventuali trattamenti di protezione.
- c) Per gli elementi di metallo o materia plastica varrà quanto riportato nel progetto. Le loro prestazioni meccaniche (resistenza all'urto, abrasione, incisione), di reazione e resistenza al fuoco, di resistenza agli agenti chimici (detergenti, inquinanti aggressivi ecc.) ed alle azioni termoigrometriche saranno quelle prescritte in norme UNI in relazione all'ambiente (interno/esterno) nel quale saranno collocati ed alla loro quota dal pavimento (o suolo), oppure in loro mancanza varranno quelle dichiarate dal fabbricante ed accettate dalla D.L. Saranno, inoltre, predisposti per il fissaggio in opera con opportuni fori, incavi ecc. Per gli elementi verniciati, smaltati ecc. le caratteristiche di resistenza all'usura, ai viraggi di colore ecc. saranno riferite ai materiali di rivestimento. La forma e costituzione dell'elemento saranno tali da ridurre al minimo fenomeni di vibrazione, produzione di rumore tenuto anche conto dei criteri di fissaggio.
- d) Per le lastre di cartongesso si rinvia all'art. 23 ("Materiali e partizioni interne") del presente Capo.
- e) Per le lastre di fibrocemento si rimanda alle prescrizioni date nell'art. 19.5 ("Materiali per coperture") del presente Capo.

PRODOTTI FLESSIBILI

- a) Le carte da parati dovranno rispettare le tolleranze dimensionali dell'1,5% sulla larghezza e lunghezza; garantire resistenza meccanica ed alla lacerazione (anche nelle condizioni umide di applicazione); avere deformazioni dimensionali ad umido limitate; resistere alle variazioni di calore e quando richiesto avere resistenza ai lavaggi e reazione o resistenza al fuoco adeguate. Le confezioni dovranno riportare i segni di riferimento per le sovrapposizioni, allineamenti (o sfalsatura) dei disegni ecc.; inversione dei singoli teli ecc.
 - b) I tessili per pareti devono rispondere alle prescrizioni elencate nel punto a) con adeguato livello di resistenza e possedere le necessarie caratteristiche di elasticità ecc. per la posa a tensione.
- Per entrambe le categorie (carta e tessili) la rispondenza alle norme UNI EN 233, 235 sarà considerata rispondenza alle prescrizioni del presente articolo.

8 CAPO IV Gli accertamenti analitici e diagnostici

8.1 Gli accertamenti analitici e diagnostici - Generalità

Il progetto di restauro dovrà, obbligatoriamente, essere redatto in stretta relazione con la campagna d'indagini diagnostiche eseguita sul manufatto oggetto d'intervento preliminarmente all'inizio dei lavori. Non dovrà esistere, perciò, la distinzione tra il progetto di restauro e il progetto di indagine diagnostica (questo ultimo non dovrà essere riservato soltanto ai monumenti di riconosciuto valore storico, ma anche a quei manufatti, cosiddetti minori, che partecipano a comporre il tessuto dei centri storici). La redazione di un pre-progetto, in grado di leggere e "svelare" il manufatto, garantirà una diagnosi corretta ed accurata dei meccanismi innescanti il deperimento così da poter intervenire su di essi con soluzioni più efficienti. Il progetto di indagine diagnostica non dovrà essere circoscritto alle sole indagini preliminari, ma dovrà essere concepito come parte integrante del progetto seguendo per questo, di volta in volta, le procedure previste, controllandone l'efficacia (collaudi in corso d'opera), ispirando, casomai, nuove soluzioni. Per ulteriori criteri generali inerenti l'applicazione delle prove non distruttive si rimanda a quanto enunciato nel documento CNR-ICR NorMaL 42/93.

Solo comparando, sovrapponendo e mettendo in relazione i dati assimilati, mediante idonee competenze e professionalità, sarà possibile redigere documenti e relazioni determinanti per progettare e programmare un valido progetto di restauro. Il progetto diagnostico dovrà essere preparato per tempo (legge 109/1994 prevede il progetto di diagnostica all'interno del progetto definitivo; art. 16, par. 4), così da fornire un'anamnesi appropriata del manufatto analizzato, e di conseguenza governare il progetto esecutivo d'intervento.

Nel caso in cui le indagini diagnostiche siano previste negli elaborati di progetto ovvero, espressamente richieste dalla D.L. sarà cura dell'appaltatore provvedere ad eseguirle così da garantire, il sistematico quanto scientifico, rilevamento di informazioni concernenti lo stato di conservazione e/o i processi di degrado. Ogni tipo di indagine dovrà essere, obbligatoriamente, concordata ed esaminata con la D.L. in relazione al tipo di procedura da mettersi in opera e all'eventuale zona del prelievo. Una qualsiasi analisi dovrà, necessariamente, essere affidata a personale, istituto, ditta, laboratorio riconosciuti e autorizzati dagli organi di tutela del bene in pieno accordo con le indicazioni della D.L.

Nei casi in cui le indagini richiedessero l'esecuzione di minimi prelievi di materiale, questi saranno ammessi a patto che non sia possibile apprendere i dati in oggetto in maniera differente. In linea generale questa operazione a carattere "distruttivo" dovrà rivolgersi, nei limiti del possibile, a zone già in fase di degrado e/o di distacco imminente o quantomeno a zone meno visibili così da non apportare compromissioni estetiche al manufatto; durante il campionamento risulta di massima importanza eseguire una documentazione fotografica, di dettaglio e generale, dei punti di rilievo, oltre che prendere nota della loro ubicazione direttamente sui grafici di rilievo. In ogni modo non sarà tollerato il ricorso sistematico a tecniche distruttive. L'esecuzione di detti prelievi dovrà seguire le indicazioni presenti nel documento CNR-ICR NorMaL 3/80 "*Materiali lapidei: campionamento*" ossia:

- il campione dovrà essere eseguito solo dietro autorizzazione scritta dell'organo di tutela del manufatto;
- il campione dovrà essere eseguito sotto la responsabilità di chi effettuerà l'analisi;
- il numero e la quantità dei prelievi, compatibilmente con le analisi prescritte, dovranno essere minimi; le zone di prelievo dovranno, in linea generale, essere scelte tenendo conto della necessità di non danneggiare in alcun modo l'estetica del manufatto.

Durante la fase di prelievo sarà cura dell'appaltatore non arrecare alcun danno al manufatto, inoltre, laddove l'area del prelievo e/o di indagine non fosse raggiungibile dall'operatore dovrà essere compito dell'Appaltatore mettere in opera tutte le strutture accessorie ossia strutture fisse come ponteggi, trabattelli, ponti di servizio, castelli di carico ecc. in modo da garantire il prelievo dei campioni e la periodica possibilità di accesso per la lettura dei dati. L'Appaltatore dovrà, inoltre, anche se non espressamente specificato nell'intervento che coinvolge le superfici, fornire l'energia elettrica, se richiesta dalla specifica indagine, e provvedere al ripristino delle zone relative ai prelievi dei campioni.

Il prelievo di materiale e la conseguente analisi di laboratorio avrà lo scopo di determinare, dal punto di vista mineralogico-petrografico sia la natura delle malte (leganti ed inerti) che compongono gli intonaci, sia la natura dei pigmenti utilizzati nelle diverse tinteggiature applicate alla superficie intonacata. Le metodologie di analisi si potranno individuare in:

- analisi al microscopio stereoscopico in superficie e in sezione trasversale dei vari strati d'intonaco, con il fine di identificare la qualità dell'inerte, del legante e dei componenti accessori (pigmenti ed additivi) che compongono l'impasto;
- analisi granulometrica eseguita con setacciatura del campione disgregato, con idoneo numero di vagli posti su vibratore meccanico;
- analisi mineralogica eseguita per diffrazione ai raggi X su frammenti di intonaco macinati;
- analisi mineralogica-petrografica su sezioni sottili al microscopio polarizzatore;
- analisi con microscopia ottica al fine di identificare i leganti ed i pigmenti nei vari strati di intonaco;
- analisi della porosità totale e della distribuzione del volume dei pori eseguita mediante porosimetro a mercurio completo di unità per macropori.

Le indagini conoscitive si divideranno in due categorie:

- *-indagini distruttive*: le indagini di tipo invasivo o "distruttivo", si basano sull'esigenza di operare un'ispezione diretta e necessitano di veri e propri campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche di laboratorio. La necessità di reperire un campione comporta, seppure in maniera limitata e circoscritta, la compromissione ulteriore dello stato di degrado del manufatto oggetto di studio. Quando l'indagine si prefigge lo scopo di immagazzinare una grande quantità di dati dovrà essere prelevato, e successivamente esaminato, un consistente numero di campioni; tale operazione causerà inevitabilmente un'alterazione dello stato conservativo nonché un disagio a chi, eventualmente, risiede nel manufatto. L'individuazione puntuale di deterioramenti e di fattori degenerativi non consente una facile composizione del quadro globale il quale dovrà essere rappresentato per interpolazione tra situazioni campione e per deduzioni. Il vantaggio di questo metodo risiede nel fatto che su un campione sarà possibile compiere numerose prove di laboratorio e, quindi, ricavare un numero elevato d'informazioni;

– *-indagini non distruttive*: si possono definire indagini non distruttive tutte quelle tecniche la cui applicazione non compromette l'integrità funzionale della struttura e, allo stesso tempo, non implica il danneggiamento o l'alterazione dell'aspetto di parti di essa. Dovrà, necessariamente, esistere una correlazione dimensionale tra la grandezza dell'oggetto indagato e la traccia lasciata dall'indagine. Le tecniche di indagine non distruttive non eliminano del tutto le prove "distruttive", in quanto spesso si rende necessario accostarle anche a prove in laboratorio su provini prelevati in situ; in questi casi però, non si rischia di prelevare campioni non caratterizzanti in quanto, la scelta viene guidata dai dati ricavati dalle indagini precedenti. Questo tipo d'indagine presenta due qualità importanti: non compromette lo stato di fatto dell'edificio neanche a livello statico e limita molto le intromissioni con le attività interne dell'edificio. In linea di massima le indagini non distruttive potranno essere ulteriormente suddivise in passive (o non invasive) e in immagini attive (o invasive): le prime annoteranno e quantificheranno i fenomeni fisici rilevabili senza interventi artificiali di stimolazione; quelle attive, invece, richiederanno, anche se in minima misura, sollecitazioni artificiali di natura diversa in relazione dai fenomeni fisici che la strumentazione in oggetto sarà in grado di rilevare.

8.1.1 SAGGI E VERIFICHE SUI MATERIALI E SUI METODI DI APPLICAZIONE (ESECUZIONE PROVE DI PULITURA)

Insieme di operazioni eseguite direttamente sul manufatto in aree delimitate che consente di osservare, valutare e confrontare tra loro i risultati di differenti materiali e metodologie applicative. La finalità è quella di mettere a punto nel dettaglio le tecniche di intervento più soddisfacenti in riferimento alle operazioni previste dal progetto, tenendo conto delle eventuali disomogeneità del manufatto (sia dal punto di vista del suo stato di conservazione – tipo di sporco, natura di eventuali patinature ecc. – che delle tecniche esecutive) e di eventuali nuovi dati introdotti dalle indagini preliminari analitiche (se previste dal progetto). In linea di principio l'esecuzione dei test costituisce uno strumento essenziale e imprescindibile per la progettazione di ogni intervento nella sua fase esecutiva.

L'esecuzione di saggi di verifica sui materiali e sui metodi di applicazione deve seguire alcune regole di metodo: le aree scelte devono essere contenute nel numero e limitate nell'estensione ma, al tempo stesso, devono interessare le diverse tipologie di degrado su cui si vuole intervenire con una campionatura di zone e di situazioni tale da rendere possibile la valutazione dell'esito dell'intervento nel suo insieme. La delimitazione delle aree dovrà essere realizzata in maniera totalmente reversibile; inoltre, pur considerando il carattere sperimentale dei saggi, si dovrà operare in modo tale da ridurre quanto più possibile il rischio che nelle aree perimetrali dei saggi stessi, si creino alterazioni irreversibili delle caratteristiche ottiche e formali di tonalità e di brillantezza della pellicola pittorica e/o del materiale lapideo (gore, opacizzazioni, sbiancamenti, aloni ecc.). A tale proposito sarà utile evitare che intercorra un tempo eccessivamente lungo (non più di 12 mesi) tra l'esecuzione dei saggi e l'intervento complessivo di restauro.

La descrizione e la documentazione delle diverse tecniche utilizzate per l'esecuzione dei saggi dovrà essere chiara, esauriente ed esplicita nel dettaglio operativo (dovranno, ad esempio, essere indicate la diluizione o la concentrazione nonché i tempi di contatto di eventuali solventi da impiegare per la pulitura), per essere un riferimento utile e concreto al momento di intervenire in maniera estesa. A tale scopo sarà auspicabile il ricorso, oltre che ad un testo scritto, anche a tecniche di documentazione grafiche, fotografiche o di altro tipo.

8.2 Indagini in situ atte ad approfondire la conoscenza sulle stratificazioni dell'edificio e sulle caratteristiche strutturali e costruttive

Per quanto concerne l'esecuzione e l'eventuale interpretazione delle immagini riprese, dei dati e di tutte le informazioni raccolte durante la campagna diagnostica sarà indispensabile che l'appaltatore si affidi ad operatori esperti e qualificati che abbiano piena coscienza specifica degli strumenti da utilizzare, dei materiali e delle strutture da indagare. Questo, fondamentalmente, sarà legato al fatto che sovente le immagini viste e/o trasmesse dagli strumenti si rileveranno alquanto falsate e non sempre di facile interpretazione per gli "non addetti" ai lavori.

ANALISI NON DISTRUTTIVE

8.2.1 INDAGINE STRATIGRAFICA

L'esecuzione di indagini stratigrafiche in situ dovrà essere eseguita in una quantità sufficiente ad individuare la sequenza delle diverse fasi temporali di esecuzione delle finiture (e le relative tipologie cromatico-decorative) nonché la configurazione e l'estensione, nei limiti del possibile, degli impianti decorativi che si sono susseguiti nel tempo. L'indagine stratigrafica, se non diversamente specificato dalla D.L., dovrà essere eseguita utilizzando utensili che non danneggino la superficie pittorica (tipo bisturi a lama fissa e/o mobile, piccole spatole, vibroincisori ecc.). Le aree di intervento dovranno essere scelte in relazione alle indicazioni di progetto, alla tipologia ed allo stato di conservazione della pellicola pittorica, alla presenza di eventuali strati soprammessi dovuti a restauri precedenti e sulla scorta di notizie storico-archivistiche. In linea generale, se non diversamente specificato, i tasselli potranno essere scelti seguendo i seguenti criteri: zone meno degradate o meno soggette alle azioni degli agenti di degrado naturale, parti alte, meno soggette ad attività antropica (graffiti od affissioni deturpanti) ad opere di manutenzione periodica, aree nelle quali, sulla base delle informazioni storiche, ci si attende la presenza di impianti decorativi.

La procedura prevede la definizione dei campioni (di dimensione variabile a seconda dei casi, in ogni modo non inferiore a 5x5 cm) sulla superficie; il primo campione (di cui dovrà essere inciso solo un lato) verrà lasciato integro come

testimonianza dello stato di fatto accertato, il secondo dovrà essere semplicemente pulito così da asportare eventuali depositi causa di alterazioni cromatiche dell'ultimo strato, il terzo dovrà essere inciso perimetralmente, ricorrendo all'uso di un bisturi e di una riga metallica, così da poter asportare il primo strato. L'operazione proseguirà sino ad arrivare al supporto facendo attenzione a segnalare eventuali strati intermedi di imprimitura rilevabili tra strato e strato. Ogni saggio dovrà essere delimitato e numerato con numeri crescenti dallo strato più interno a quello più esterno, dovrà, inoltre, essere riprodotto fotograficamente (utilizzando fotocamera reflex e pellicola a colori con sensibilità 100 ASA o fotocamera digitale con risoluzione minima 5,0 megapixel) da una distanza sufficientemente ravvicinata e con la minima distorsione prospettica possibile, con riproduzione della scheda di riferimento "Kodak color control". Di norma se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si potrà procedere con l'esecuzione di minimo tre scatti a distanza differente: il primo a distanza così da inquadrare complessivamente l'area oggetto di analisi, il secondo sarà eseguito ad una distanza tale da poter inquadrare un intorno significativo dell'area di studio, ossia la massima possibile nel caso si trovi su di un ponteggio (100-150 cm), il terzo più ravvicinato a circa 10-20 cm preferibilmente con obiettivo macro ed eventualmente con particolari condizioni di illuminazione (luce radente, diffusa, incidente ecc.) così da evidenziare, ad esempio, le caratteristiche superficiali del manufatto.

A conclusione dell'indagine dovrà essere redatta una esauriente relazione illustrativa nella quale si annotino: per ogni tassello stratigrafico la successione delle cromie e dei livelli, le probabili relazioni tra le diverse unità stratigrafiche, le possibili relazioni temporali istituibili con le strutture murarie ed i relativi avvicendamenti subiti dal manufatto nel tempo, le probabili relazioni tra i risultati dell'indagine e le informazioni storiche desumibili.

8.2.2 INDAGINE TERMOGRAFICA (O TERMOVISIONE)

L'indagine termografica è un'analisi di tipo qualitativo, rigorosamente "non distruttiva", a carattere estensivo (fornirà tutti i dati che rientreranno all'interno del quadro dell'obiettivo rilevatore), di rapida esecuzione che consente, in tempo reale, di acquisire informazioni globali e/o parziali a seconda del contesto e dello scopo dello studio. Questa analisi si basa sul principio della termodinamica per il quale ogni corpo è caratterizzato da una propria emissione termica in relazione della sua temperatura superficiale, che a sua volta sarà condizionata dalla conducibilità termica e dal calore specifico di ogni materiale; questi due ultimi parametri interpretano, rispettivamente, la tendenza del materiale a trasmettere o a trattenere il calore. Le diversità riscontrate nell'emissione, dovute alla conducibilità termica e al calore specifico, saranno riferite ai diversi materiali (laterizio, pietra, malta, legno ecc.) che compongono la struttura e/o la superficie indagata.

La termografia opererà nella banda delle radiazioni infrarosse (I.R.) e permetterà la visualizzazione di immagini non comprese nel campo del visibile (ovvero nella banda di radiazioni elettromagnetiche comprese tra 0,4 e 0,75 micron) ma estese in quello dell'infrarosso ed in particolare alla regione spettrale compresa tra 2 e 5,6 micron per la *short wave* (infrarosso corto) e tra 8 e 12 micron per la *long wave* (infrarosso lungo). Se non diversamente specificato sarà consigliabile utilizzare strumentazioni sensibili nel lontano infrarosso in quanto sarà il più lontano possibile dallo spettro della luce visibile e quindi si rileverà il meno "disturbato". Per ottenere la sensibilità termica ottimale e quindi, un'immagine esente da disturbi, sarà necessario che il raffreddamento dei rilevatori sia a temperatura più bassa possibile, stabile ed indipendente dalla temperatura ambientale; i sistemi di raffreddamento dei sensori in uso sono sistemi criogenici che impiegheranno azoto liquido (-196 °C) od argon (-186 °C), sistemi a circuito chiuso Stirling (-150 °C) o sistemi termoelettrici (-70 °C). Se non diversamente specificato da prescrizioni della D.L. sarà sconsigliabile eseguire l'indagine in presenza di pioggia, vento e soleggiamento diretto in quanto, in tali condizioni, è probabile che la differenza di temperatura non sia dovuta ad una disomogeneità di materiali, ma piuttosto alle diversità di esposizione superficiali.

Apparecchiatura

La strumentazione termografica (la cui sensibilità varierà da -30° a +1000 °C), è costituita da una telecamera ad infrarossi con sistema ottico composta da un obiettivo frontale con focali di diversa lunghezza (grandangolo o teleobiettivo) ed unico blocco di scansione a prismi rotanti. Le lenti dovranno essere predisposte per eseguire una prima selezione del campo elettromagnetico. Un semiconduttore convertirà, in seguito, le radiazioni infrarosse in un segnale video che dopo essere preamplificato verrà, inviato all'unità di rilevazione.

La registrazione delle immagini termografiche potrà essere eseguita, a seconda delle prescrizioni di progetto, con un sistema fotografico convenzionale, su nastro magnetico o digitale. L'apparecchiatura potrà essere utilizzata sia sistemata su idoneo carrello o cavalletto sia spostata direttamente dall'operatore, la stessa dovrà essere alimentata mediante batteria o, qualora sarà possibile, dalla rete di distribuzione elettrica. L'immagine si effettuerà riprendendo con la telecamera la superficie oggetto di esame, essa sarà, immediatamente, visualizzata sul monitor dell'unità di rilevazione e, se non diversamente specificato dalla D.L., saranno registrate (con prese fotografiche o in videotape) solo le immagini termografiche più significative.

Le radiazioni termiche (I.R.) emesse dalla superficie saranno raccolte con l'ausilio della strumentazione termografica, che avrà il compito di trasformarle prima, in segnali elettrici e dopo in immagini in bianco e nero che utilizzeranno una scala di tonalità di grigio (in linea generale le tonalità scure indicheranno le zone fredde e quelle chiare le zone calde) tali immagini (il termogramma) potranno, inoltre, ove prescritto dagli elaborati di progetto essere trasportate, attraverso un'interfaccia, su monitor a "falsi colori" con una scala di riferimento che riporterà sia il campo di temperatura inquadrato per ogni colore sia le rispettive temperature assolute. Secondo le prescrizioni di progetto o specifiche indicazioni della D.L. sarà cura dell'appaltatore produrre il numero richiesto di stampe fotografiche delle immagini ottenute in video ovvero, realizzare la digitalizzazione delle stesse mediante specifiche elaborazioni al computer. Se non diversamente specificato, le immagini riprese per singoli termogrammi dovranno, altresì, essere rimontate in sequenza di accostamento così da realizzare, mediante mosaicatura, un'immagine continua; le singole termoeffimmagini dovranno, necessariamente, essere rese a quadro verticale utilizzando, per questo comuni software di gestione immagine (sistemi di raddrizzamento, collimazione e referenziazione grafica).

Applicazioni

Questo tipo di indagine potrà essere eseguita su ogni tipo di superficie ed apparecchio murario; andrà, in ogni caso, tenuto presente che, a seconda del tipo di rivestimento, si potranno ottenere risposte differenti relative a problematiche diverse; ad esempio, per una superficie intonacata, la temperatura dipenderà contemporaneamente da una serie di fattori, quali la disomogeneità del materiale al di sotto dell'intonaco, eventuali distacchi e rigonfiamenti, la presenza di umidità, differenti esposizioni all'irraggiamento diretto, diversa temperatura di riscaldamento degli ambienti interni, fenomeni di irraggiamento indiretto da parte di eventuali edifici limitrofi, vortici e correnti d'aria. Un secondo fattore da non sottovalutare che potrà essere causa di letture falsate sarà l'influenza delle caratteristiche fisico-ambientali limitrofe al manufatto oggetto di studio (ad es., valori di umidità relativa dell'aria); di conseguenza sarà necessario che il manufatto sia "forzato" termicamente con una quantità di calore tale da garantire una differenza termica tra la superficie e l'ambiente circostante di almeno 10°C. Sarà specifica cura dell'appaltatore porre particolare attenzione qualora si dovessero svolgere indagini su superfici dipinte per le quali la sollecitazione termica dovrà, necessariamente, essere effettuata nell'assoluto rispetto delle superfici pittoriche, molto sensibili agli stress termici. In questo caso sarà fondamentale ricorrere a batterie di lampade a bassa potenza non focalizzate sulla parete da riscaldare e, comunque, localizzate a distanza di sicurezza dalle zone dipinte. In alcuni casi, laddove la superficie da indagare non sia riscaldata per irraggiamento solare diretto (ad es., superfici esterne esposte a nord, superfici in ombra, ambienti chiusi) e dietro specifiche della D.L. l'appaltatore dovrà, necessariamente, al fine del rilevamento, utilizzare corpi scaldanti (eccitazione termico-molecolare artificiale). Il riscaldamento dovrà, preferibilmente, utilizzare termoconvettori, in grado di diffondere uniformemente il calore sulla superficie; l'uso di lampade ad infrarosso dovrà, dove sarà possibile, essere evitato in quanto comporterebbe un riscaldamento meno omogeneo e, di conseguenza, una lettura meno efficiente. Secondo le prescrizioni di progetto o di particolari problematiche di cantiere potranno essere messe in opera tre differenti procedure:

- per riflessione: ovvero il corpo scaldante e la telecamera saranno allocate sullo stesso lato del manufatto: la telecamera rileverà le differenti intensità di luce riflesse dalla superficie;
- per assorbimento: il manufatto sarà precedentemente sottoposto a riscaldamento e successivamente avverrà la lettura termografica;
- per trasmissione: l'oggetto verrà interposto tra la sorgente scaldante e la strumentazione termografica così da poter memorizzare sia le radiazioni trasmesse sia quelle emesse.

L'indagine termografica potrà essere richiesta all'Appaltatore al fine di ricavare preziose informazioni nello studio del degrado dei rivestimenti (intonaci, lastre di pietra, pellicole pittoriche, piastrelle di ceramica ecc.) e delle strutture murarie evidenziando l'eventuale discontinuità dei distacchi, la stratificazione delle fasi costruttive (con conseguente lettura dei corpi di fabbrica aggiunti) individuando al di sotto della superficie intonacata sia elementi architettonici e/o strutturali (quali ad es. ammorsature tra le tessiture murarie, architravi, piattabande, colonne o pilastri, inserti in legno, catene in ferro, archi di scarico ecc.), sia i differenti materiali componenti le murature (ad es. corsi di malta, pietra, mattoni, zanche ecc.); inoltre potrà essere richiesto di rilevare la presenza di eventuali tamponature di porte e finestre, la presenza di fodere e "rimpalli" murari, la tipologia dell'apparecchio murario, orditura dei solai o centinature di coperture volate celate da controsoffitti, le cavità, le discontinuità murarie e/o strutturali, le buche pontae occluse, le canne fumarie in uso o in disuso, i distacchi i vuoti, le sbollature sotto lo strato corticale (tutti indagati sfruttando le proprietà coibenti dell'aria a riposo), nonché l'analisi dell'impiantistica mirata alla individuazione dei tracciati e delle canalizzazioni di impianti idrico-sanitari e termici in fase di esercizio, l'andamento delle dispersioni termiche (per le quali sarà conveniente operare il rilievo nella stagione invernale, quando nei locali interni sarà in funzione il riscaldamento), la distribuzione dell'umidità (una muratura bagnata sarà sempre più fredda di una asciutta in quanto le zone asciutte e quelle umide danno luogo a differenti flussi di emissione termica) e l'identificazione dei ponti termici. L'appaltatore dovrà, ove sarà richiesto, accertare, altresì, la presenza sulle superfici intonacate e sulle pietre calcaree, di zone solfatate, riconoscibili dalla temperatura puntuale che sarà dissimile rispetto a quella di zone carbonatiche.

Oltre che in fase preliminare l'indagine termografica potrà essere prescritta dagli elaborati di progetto nella fase di controllo-collaudato ad esempio, per visualizzare i percorsi preferenziali del materiale iniettato come consolidante e l'immediata segnalazione del formarsi di eventuali sacche e/o distacchi.

Specifiche

L'indagine termografica permetterà di arricchire il rilievo con carte tematiche specifiche quali la carta delle "fughe termiche" (ponti termici e zone di condensa), la carta delle discontinuità strutturali, la carta dell'umidità (con particolare attenzione verso le concentrazioni "anomale"), il quadro fessurativo ecc. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati); nell'eseguire la suddetta indagine l'appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni NorMaL 42/93.

8.2.3 INDAGINE ENDOSCOPICA

L'indagine endoscopica è un'analisi analitica di tipo puntuale, di norma "non distruttiva", che permette l'esplorazione di cunicoli e cavità comunicanti con l'esterno ma non raggiungibili dalla visione diretta. Gli endoscopi, utilizzati in edilizia, sono strumenti ottici, elettronici o a fibre ottiche progettati per raggiungere cavità inaccessibili all'osservazione diretta e possono avere diametri molto ridotti che variano da pochi centimetri a qualche millimetro. Oltre al sistema ottico per l'ispezione, l'endoscopio dovrà essere dotato di una testina luminosa (in modo da consentire l'illuminazione dell'interno del foro o dell'intercapedine indagata) e di un sistema di riferimento (posto o sull'oculare o sull'obiettivo) per la stima

dimensionale dell'immagine nonché, di idonei sistemi fotografici (preferibilmente fotocamera digitale ad alta risoluzione minimo 5,0 megapixel) o di registrazione (videocamera digitale) applicati all'oculare.

Gli endoscopi potranno essere classificati in tre tipi base con caratteristiche differenti e con diverse possibilità operative:

- *-rigido (boroscopio)*: si ricollega ai sistemi ottici tradizionali (essenzialmente simile al periscopio) è costituito da una sonda rigida dotata di un obiettivo unito ad uno o più prismi ed a più gruppi ottici che trasportano l'immagine al piano focale di un oculare esterno. Di norma questo strumento potrà essere prolungato fino ad arrivare ad alcuni metri di lunghezza (circa 8 m), tale misura sarà intrinsecamente legata al suo diametro dato che il potere risolutivo dell'immagine all'oculare sarà notevolmente influenzata dalla luminosità stessa. L'illuminazione (che potrà essere a luce calda o a luce fredda) sarà garantita da una lampadina montata di norma accanto alla testa della sonda. Il sistema a luce calda presenterà sia il vantaggio di non alterare i colori dei materiali indagati, sia di garantire una buona visione, al contempo però potrebbe presentare l'inconveniente di surriscaldare determinati materiali (ad es. il legno) e di denunciare una "zona d'ombra" della sonda nel punto dove è alloggiata la lampadina. La luce fredda non avrà nessuna zona d'ombra e non apporterà calore ai materiali ma presenterà lo svantaggio di una resa luminosa minore nonché una notevole alterazione dei colori.

- *-flessibile (fibroscopio)*: le immagini e l'illuminazione saranno trasmesse con fasci di fibre ottiche (il fascio centrale avrà il compito di trasferire l'immagine mentre quello radiale servirà ad illuminare l'area oggetto di studio); questi tipi non saranno, di norma, prolungabili, ma presenteranno il notevole vantaggio di avere delle dimensioni estremamente ridotte (f 6-8 mm) e di adattarsi alla variazione di linearità del foro; questo tipo si rileverà utile qualora si dovrà indagare cavità preesistenti sfruttando fori irregolari o fessure già formate;

- *-videoscopio*: variante-evoluzione dell'endoscopio flessibile è costituito oltre che da una sonda endoscopica flessibile da un videoprocessore (che ha lo scopo di elaborare i segnali luminosi trasmessi dalla sonda) e da un monitor. Le immagini ricostruite sul video possono essere registrate su supporti magnetici o essere sottoposte a tecniche *image processing*. Così come nell'endoscopio flessibile la testa della sonda è comandata dall'esterno.

Applicazioni

L'uso di questo strumento si rileverà utile all'appaltatore per eseguire una serie d'indagini di tipo non distruttivo come, ad esempio: la verifica dello spessore delle lastre di rivestimento, la natura e lo stato di conservazione della muratura e del suo allettamento, il controllo degli appoggi dei solai (ispezionando la geometria celata da controsoffitti), l'ispezione delle condutture d'impianti, intercapedini, canne fumarie ecc. Questa tecnica si rileverà molto valida se combinata ad altre tecniche diagnostiche, come ad esempio la termografia. Se non diversamente specificato da prescrizioni di progetto, le immagini memorizzate dovranno essere trasportate, o direttamente registrate, anche su supporto informatico e rielaborate mediante l'impiego di un computer. Questo tipo di archiviazione garantirà sia l'acquisizione di dati fissi e fruibili per successive analisi e/o confronti, sia di ridefinire, anche in un secondo momento, il processo analitico; queste immagini potranno, infine, essere, sottoposte a tecniche di trattamento di immagine digitale in modo che, grazie a sistemi di selezione cromatica, risulteranno in grado di mostrare l'eventuale esistenza di dettagli morfologici e strutturali indistinguibili all'esame macroscopico diretto.

Specifiche

Al fine di favorire l'uso di endoscopi l'appaltatore, dietro specifica autorizzazione della D.L., potrà eseguire dei fori (con trapano ad esclusiva rotazione) o dei micro-carotaggi (generalmente di dimensioni comprese tra 8 e 16 mm). Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore fornire una soddisfacente documentazione fotografica o filmata sull'analisi nonché, restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.2.4 INDAGINE MAGNETOMETRICA (O MAGNETOSCOPIA)

Tecnica analitica "non distruttiva" consente il rilevamento di materiali ferromagnetici e non nascosti all'interno di materiali inerti, quali le murature e i conglomerati. Il principio su cui si basa è quello dell'induzione elettromagnetica, ovvero della capacità di un campo magnetico di indurre una corrente elettrica e viceversa. L'indagine potrà essere eseguita secondo le prescrizioni di progetto tramite un magnetometro o un *metal-detector* ovvero uno strumento composto da un oscillatore che genererà corrente ad alta frequenza attraverso una bobina; in presenza di metalli si avrà un forte assorbimento di corrente, proporzionale al quadrato della distanza. Dietro indicazioni della D.L. potrà essere utilizzato un apparecchio portatile leggermente più complesso, alimentato con batterie interne, composto da una sonda collegata via cavo con la centralina di misura; la sonda sarà costituita da una bobina che emetterà una frequenza di valore opportuna e di una seconda bobina normale a questa. Il magnetometro a doppia bobina sarà in grado di indagare più in profondità rispetto al *metal detector* monobobina. L'indagine avverrà passando, meticolosamente, con movimento lento e regolare la sonda sulla superficie da investigare (sarà, pertanto, necessario un continuo contatto con la superficie da indagare); l'eventuale presenza di metalli nell'area d'influenza farà mutare il voltaggio della bobina secondo un rapporto diametro/copertura dell'oggetto metallico; vale a dire: il segnale elettrico emesso sarà in funzione della dimensione e della profondità dell'elemento; tali variazioni verranno visualizzate sull'unità di rilevamento attraverso un indicatore di tipo analogico. L'indagine magnetometrica sarà a carattere puntuale cioè, il dato ottenuto si riferirà a ciò che sarà investito dal campo elettromagnetico, che coincide con la dimensione della sonda e non permetterà, pertanto, di valutare lo stato di degrado o di corrosione dell'elemento metallico.

Negli edifici storici, l'appaltatore potrà essere chiamato ad utilizzare tale tecnica al fine di rilevare le tubature (in ghisa grigia, piombo, rame, ferro ecc.) all'interno delle murature, verificare l'esistenza di zanche, chiodature, staffature od elementi metallici di ancoraggio tra lastre di rivestimento e la struttura portante od ancora per precise localizzazioni (con relativi dimensionamenti) di rinforzi di natura metallica come tiranti, catene o capochiavi annegati nella muratura od ancora

spallette metalliche di sostegno di nuove aperture. All'appaltatore potrà, anche, essere richiesta di eseguire l'indagine, mediante un particolare magnetometro detto "pacometro", al fine di individuare le gabbie di armatura nelle strutture di cemento armato (il pacometro sarà, infatti, in grado di rilevare numero e diametro dei ferri e lo spessore del copriferro, anche se, in caso di più barre ravvicinate, l'operazione dovrà essere eseguita con particolare attenzione in quanto, i segnali di localizzazione potranno influenzare la stima del copriferro).

Il rilievo con magnetometro eseguibile su manufatti con fregi decorativi e/o pittorici dovrà, necessariamente, essere governato dall'uso di apparecchi contraddistinti da emissioni di onde elettromagnetiche a bassissima frequenza e ridotta potenza.

Specifiche

Questo tipo d'indagine da utilizzare preferibilmente come completamento ad altre (ad es. termografia) presenterà i limiti di essere fortemente sensibile ai forti sbalzi di temperatura e ai forti campi elettromagnetici nonché sarà praticamente inutilizzabile per indagare oltre i 10-12 cm di profondità. Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore nonché segnalare i ritrovamenti su apposita carta tematica. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione d'interpretazione dati).

8.2.5 INDAGINE GEORADAR

L'indagine georadar (GPR Ground Penetrating Radar) è una metodologia geofisica di rilevazione elettromagnetica, rigorosamente "non invasiva" di carattere qualitativo (consentirà, infatti, l'interpretazione delle caratteristiche delle differenti "riflessioni" sotto forma di geometria e di intensità del segnale ricevuto) ed esteso (nonostante l'area analizzata sia circoscritta alla superficie d'appoggio dell'antenna ricetrasmittente, la registrazione avverrà facendo passare l'antenna su vasti tracciati d'indagine). Il principio su cui si basa sarà quello delle onde elettromagnetiche ad alta frequenza che verranno inserite, riflesse e ricevute, così da acquisire dati sulla natura e lo stato fisico d'elementi al di sotto delle superfici di finitura quali intonaci, rivestimenti lapidei, pavimenti ecc. La propagazione delle onde elettromagnetiche si legherà alle costanti dielettriche, proprie dei materiali, derivate, a loro volta, dallo stato fisico dei materiali stessi (conducibilità, porosità, densità, permeabilità ecc.) di conseguenza, maggiore sarà la differenza tra le caratteristiche elettromagnetiche degli elementi che compongono l'oggetto di indagine maggiore sarà la facilità e l'esattezza di registrazione dati (ad es. aria-pietra o pietra-metallo).

Apparecchiatura

Il dispositivo trasmettente-ricevente (antenna) collegato, per mezzo di un cavo in fibre ottiche, ad un'unità centrale (registratore magnetico e restitutore grafico) invierà una serie ininterrotta di impulsi elettromagnetici all'interno del manufatto ovvero del terreno. In presenza di superfici di discontinuità una prima quota di energia verrà riflessa e raccolta dalla sezione ricevente dell'antenna contemporaneamente, la porzione rimanente entrerà più a fondo per essere "specchiata" da un piano sottostante. Simultaneamente ai movimenti-rivelatori dell'antenna il registratore magnetico registrerà il segnale che verrà riprodotto da quello grafico il quale darà vita ad una sezione continua spazio-tempo, nella quale saranno osservabili le "impronte" delle diverse riflessioni o, in ogni caso, delle anomalie delle risposte. Ogni singola sezione riporterà sull'asse delle ascisse i valori della lunghezza mentre su quello delle ordinate la profondità; le intensità di riflessioni saranno ben riconoscibili con scale di colore o con differenti tonalità di grigio. Ove richiesto dalle prescrizioni di progetto sarà cura dell'appaltatore rielaborare le informazioni acquisite con idonee ricostruzioni 3D.

Le antenne che l'appaltatore dovrà, necessariamente, utilizzare dovranno essere diverse in rapporto alla profondità d'analisi e al tipo di obiettivo richiesto dalle prescrizioni di progetto; le frequenze andranno da 100 a 1500 MHz (per indagini di tipo archeologico se non diversamente specificato si utilizzeranno antenne con frequenza compresa tra i 100 e i 400 MHz con profondità di indagine variabile da pochi metri a qualche decina di metri; per rilievi su manufatti architettonici le frequenze di esercizio saranno comprese tra i 500 e i 1500 MHz con profondità non superiori, di norma, a 1,5 m) tenendo presente, però, che più bassa sarà la frequenza più aumenterà il grado di penetrazione del segnale, ma, contemporaneamente, diminuirà in proporzione, il grado di definizione e la sensibilità di rilevazione.

Applicazione

La procedura esecutiva del rilievo radar conterà nell'esecuzione di una sequenza di sezioni radarstratigrafiche da spostare lungo percorsi di rilievo prestabiliti dagli elaborati di progetto al fine di produrre profili delle superfici indagate. L'antenna ricetrasmittente dovrà scorrere su un'area sufficientemente piana e liscia seguendo movimenti continui e abbastanza lenti. I fattori principali che l'appaltatore dovrà valutare per operare una rilevazione georadar sono: spessore del mezzo da indagare, la dimensione dell'obiettivo da ricercare e relative caratteristiche elettromagnetiche.

All'appaltatore potrà essere fatta richiesta di utilizzare l'indagine georadar nei seguenti campi:

- -archeologia con l'individuazione di siti archeologici sepolti (in concomitanza di altri tipi di indagini quali l'interpretazione aereofotogrammetrica) e il rilievo di preesistenze inaccessibili;
- -ambiente al fine di accertare la presenza di cavità, camminamenti, localizzazione di ordigni bellici inesplosi, presenza di elementi che potrebbero essere di intralcio a procedure di interrimento cavi;
- -architettura/restauro al fine di accertare nelle sezioni verticali la presenza di cavedi, canne fumarie, impianti sotto traccia, stratigrafia e classificazione delle murature con identificazione delle superfici di separazione dei differenti materiali, rilievo di elementi di continuità quali fessurazioni, fratture e lesioni, l'eventuale presenza di zone umide, nonché per il controllo dell'ancoraggio di lastre di rivestimento ovvero rinforzi di natura metallica come tiranti, catene o capochiavi. In fase di controllo-collauda potrà essere prescritta per visualizzare i percorsi preferenziali del materiale iniettato come

consolidante. Nelle strutture orizzontali, invece, potrà essere richiesta al fine di determinare locali interrati, antiche fondazioni, stratigrafie di pavimenti e di solai con l'individuazione delle strutture primarie e secondarie, inoltre, nelle strutture voltate potrà, essere richiesta per stimare lo spessore del riempimento e della struttura portante.

Specifiche

Questo tipo di indagine dovrà essere, preferibilmente, utilizzata come completamento di indagini storiche ed archivistiche dalle quali sarà possibile, sia ricavare informazioni per indirizzare la scansione nonché minimizzare eventuali operazioni di scavo, sia trarre giustificazioni di quanto rilevato dal georadar. Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.2.6 INDAGINE TOMOGRAFICA SONICA

L'indagine tomografia sonica è una tecnica rigorosamente "non distruttiva" che si basa sulla trasmissione e successiva ricezione d'onde elastiche con frequenza inferiore ai 5 kHz passanti nell'oggetto da studiare.

La tomografia sonica indagherà il manufatto con una rete molto fitta di misure soniche che attraverseranno la medesima sezione con diverse angolazioni.

La strumentazione sarà quella utilizzata per le normali indagini soniche; al fine di ridurre i tempi di acquisizione dati potrà essere indicato utilizzare un sistema di registrazione multicanale che raccolga simultaneamente i segnali. Il risultato finale si concretizzerà nella rappresentazione delle velocità per sezioni indagate (ricostruibili in 3D) secondo una scala cromatica prefissata (che potrà variare dal magenta al blu indicando il primo basse velocità e il secondo alte velocità).

Valori bassi della velocità mostreranno la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche indicando un possibile deterioramento della struttura.

Per assicurare un risultato attendibile sarà cura dell'appaltatore indagare la sezione con un'appropriata, quanto sufficiente, copertura angolare; questo sarà facilmente ottenibile quando si opererà in sezioni orizzontali di elementi raggiungibili da ogni lato; nel caso di murature o comunque di sezioni verticali dove l'accesso sarà possibile solo su due lati della sezione si avrà un'abbassamento di affidabilità specialmente nelle zone della sezione adiacente ai lati non accessibili.

Specifiche

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.2.7 INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA

La tomografia elettrica di superficie (ERT *Earth Resistance Tomography*) è una metodologia geofisica non distruttiva che consente di determinare la distribuzione della resistività (resistenza opposta dal terreno o dalle murature al passaggio di corrente elettrica) nelle tre direzioni spaziali; questa tecnica sarà, preferibilmente, indirizzata verso indagini di tipo archeologico (esplorazione indiretta del sottosuolo), tuttavia, ove richiesto da specifiche di progetto, potrà essere applicata anche per indagare le murature in elevazione.

Questa specifica metodologia di indagine, messa a punto per consentire un'acquisizione automatica sul campo e per un'interpretazione dei dati in termini bi-tridimensionali, si attua mediante l'utilizzo di un numero abbastanza elevato di elettrodi (16, 24, 32, 64 ed oltre a placca da applicare sulla superficie muraria o a picchetti in rame da inserire nel terreno) in relazione alla risoluzione e alla profondità d'indagine richiesta negli elaborati di progetto. I suddetti elettrodi potranno essere disposti, secondo le prescrizioni della D.L., in pozzetto (Tomografia Elettrica in Pozzo) e/o in superficie (Profili Topografici di Superficie).

Gli elettrodi dovranno essere messi in opera distanziati tra loro in ugual misura e collegati ad una apparecchiatura computerizzata allo scopo di agevolare il reperimento di una gran quantità di dati particolareggiati sull'evoluzione laterale e verticale della resistività elettrica; la corrente verrà applicata ad una prima coppia di elettrodi (identificati come A e B) così da poterne misurare la differenza di potenziale con un'altra coppia (C e D). L'operazione dovrà essere ripetuta con una seconda coppia di trasmissione fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti in relazione alla quantità di elettrodi disponibili. La suddetta sequenza dovrà, necessariamente, essere pre-programmata e interamente automatica. Sarà cura dell'appaltatore elaborare, mediante idonei software avanzati, i dati reperiti così da ottenere immagini 2D o 3D. L'evoluzione sia verticale che laterale della resistività apparente dovrà essere rappresentata con un grafico (pseudosezione) dove tutti i punti di uguale resistività dovranno essere collegati da una curva detta isoresistiva. Il rilevato dovrà essere letto in modo da poter sostituire alle resistività apparenti la distribuzione delle resistività reali.

Specifiche

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.2.8 INDAGINE COLORIMETRICA

L'indagine colorimetrica è una tecnica analitica che si basa sulla caratterizzazione colorimetrica dei materiali da costruzione, in funzione di tre parametri base (tinta, luminosità e saturazione). Sarà cura dell'appaltatore utilizzare in parte la fotografia parametrizzata e/o il rilievo diretto, in parte il rilievo strumentale ed infine in ultima battuta le indagini effettuate in laboratorio. Mediante la fotografia parametrizzata (ovvero riprese fotografiche dei singoli campioni effettuate con l'ausilio di un campione di riferimento come la banda Kodak Color Control così da poter controllare le eventuali variazioni della temperatura del colore¹), il rilievo diretto (ovvero il confronto diretto del colore, mediante il corredo di colorimetri standardizzati secondo la scala Munsell² o NCS³, fino a trovare il colore più simile; colore e campione dovranno essere osservati contemporaneamente sotto luce naturale diurna preferibilmente dal medesimo operatore) ed il rilievo strumentale basato sulla misurazione della riflettanza diffusa dalla superficie dell'area-campione in esame che potrà essere eseguita secondo le prescrizioni di progetto, mediante colorimetri tristimolo (con i quali sarà possibile ottenere esclusivamente le coordinate cromatiche della tinta), mediante spettrofotometri (che daranno, in aggiunta anche la curva di riflettanza diffusa in relazione alla lunghezza d'onda) o mediante telefotometri (i quali presenteranno il vantaggio, rispetto ai precedenti, di poter operare anche a distanze rilevanti dal campione) l'appaltatore dovrà rilevare l'insieme delle tonalità cromatiche che caratterizzeranno il manufatto oggetto di studio. Le prove di laboratorio (che dovranno, necessariamente, essere precedute da attenti prelievi di limitati campioni) permetteranno, invece, di fissare le caratterizzazioni chimiche delle cariche e dei pigmenti contenuti nel rivestimento.

³ Il sistema naturale dei colori (NCS) è un sistema logico di ordinamento dei colori che si basa sul modo con cui questi vengono percepiti. Ogni colore può essere identificato da una notazione NCS che si basa sulla somiglianza tra il colore in oggetto e i sei colori elementari cioè il bianco = W, il nero = S, il giallo = Y, il rosso = R, il blu = B e il verde = G.

Specifiche

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati nonché la legenda di rilievo con riportata la lettura Munsell); nell'eseguire la suddetta indagine l'appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni CNR-ICR NorMaL 1/93.

8.2.9 INDAGINE SONICA (AUSCULTAZIONE SONICA)

L'indagine sonica è una tecnica analitica di natura fisica di norma "non distruttiva" di tipo puntuale che consente di interpretare le caratteristiche qualitative dei materiali (consistenza fisica e stato di conservazione) misurando ed analizzando le modalità di propagazione di onde elastiche entro un corpo solido. La propagazione di onde elastiche dipenderà strettamente dall'omogeneità del materiale e dal suo modulo elastico.

Apparecchiature

La strumentazione che dovrà essere utilizzata dall'appaltatore dovrà essere costituita in linea generale, da una sorgente di emissione di onde elastiche (martello, vibratore elettromagnetico od ad aria compressa), da un captatore dell'energia sonica (velocimetro, accelerometro, microfono) e da un apparecchio di rilevazione dei segnali, composto da un amplificatore, un analizzatore di segnali, un oscilloscopio ed un registratore.

Applicazioni

¹ La temperatura colore esprime la quantità della luce che illumina il documento oggetto di ripresa fotografica, se le caratteristiche della luce non corrispondono con quelle per cui è stata tarata la pellicola fotografica l'immagine potrà presentare una dominante; questo inconveniente potrà essere evitato attraverso il confronto tra la banda Kodak raffigurata nella fotografia e quella originale, le eventuali dominanti presenti potranno essere corrette via Software

² Il metodo *Munsell* è il sistema di codificazione dei colori raccomandato dalle norme UNI per i centri storici in Italia, si basa su tre parametri del colore: la tinta ('hue') cioè la percezione del tono assunto dall'oggetto analizzato, la luminosità o brillantezza, chiarezza ('value') cioè la capacità percepita di riflettere la luce indica quali quantità di bianco e di nero sono presenti nel colore (esiste una scala di otto grigi compresi tra il bianco ed il nero assoluti) viene misurata con un valore numerico da 1 a 9, la saturazione ('chrome') il grado di purezza, ovvero la quantità di tinta presente in un dato colore in relazione al bianco, o al nero o al grigio registrato dal valore di luminosità. La saturazione viene misurata con un valore da 1 a 15 (nella versione aggiornata del Munsell Book of Color). Un colore Munsell sarà abbinato ad una indicazione di questo tipo: 2.5 YR 6/10, la quale indicherà una tonalità collocabile ad un estremo dell'intervallo della tinta Giallo-Rosso con luminosità uguale a 6 e saturazione pari a 10. Questo sistema identifica dieci tinte principali (divise in quattro intervalli uguali, identificabili da numeri) e cinque intermedie, entrambi i gruppi sono indicati con la prima lettera del colore in lingua inglese: R = rosso; GY = verde-giallo; B = blu; RP = rosso-porpora; YR = giallo-rosso; G = verde; PR = porpora-blu; Y = giallo; BG = blu-verde; P = porpora. I campioni dei colori sono raccolti nel Munsell Book of Color che raggruppa 1450 campioni nella versione lucida e 1146 in quella opaca.

Con tale apparecchiatura l'appaltatore rileverà la deformazione delle onde elastiche (onde sonore a bassa frequenza da pochi Hz ad un massimo di 16 kHz e ad ampia lunghezza d'onda) in un corpo sollecitato a compressione e a taglio (rispettivamente onde longitudinali o primarie P e trasversali o secondarie S): nel suo propagarsi, l'onda elastica perderà naturalmente energia, principalmente per la riduzione dell'intensità iniziale legata alla legge di propagazione, la diminuzione sarà maggiore se vi sarà una diminuzione dell'omogeneità del mezzo. Le frequenze registrate saranno, pertanto, in relazione alle caratteristiche e alle condizioni di integrità della muratura. In presenza di non omogeneità del materiale (anche minime tre elemento ed elemento) la velocità sonica di propagazione diminuirà pertanto, in caso di apparecchio murario (pietra o laterizio) composto da elementi che presentino più o meno le stesse caratteristiche elastiche la variazione di velocità potrà indicare una migliore o peggiore condizione della malta di allettamento. Le lesioni e le condizioni di degrado tagliano le frequenze più alte del segnale acustico disperdendo in modo "anomalo" l'energia.

Le indagini più ricorrenti che potranno essere richieste all'appaltatore, saranno quelle per stabilire la misurazione della

profondità di piano di posa delle fondazioni di muratura portante (metodo del carotaggio sonico⁴, del *cross-holes* o del *down-holes* sonico, tutti e tre i metodi prevedranno l'inserimento perfettamente verticale di una o più sonde nel terreno), la continuità, lo stato di conservazione e la funzionalità (intesa come tensionamento) di catene metalliche inglobate nella muratura per individuarne lesioni o discontinuità murarie, la presenza di riempimenti "a sacco" nelle murature, la presenza di cavità all'interno di un apparecchio murario e la caratterizzazione degli apparecchi murari in funzione dello strato d'aggregazione malta/laterizio.

Oltre che in fase preliminare l'indagine sonica potrà essere prescritta, dagli elaborati di progetto, nella fase di controllo-collaudato al fine di verificare la validità di un consolidamento murario: l'indagine consentirà di valutare l'eventuale incremento di densità della struttura muraria.

Al fine di ottenere dati statisticamente rappresentativi e una più corretta lettura sarà cura dell'appaltatore eseguire, se non diversamente specificato dalla D.L. o da caratteristiche proprie del cantiere (ad es., murature superiori a 80-100 cm di spessore), misurazioni per trasparenza⁷ secondo una maglia regolare (che coprirà alcuni m²) preventivamente predisposta sulla superficie nonché elaborare una mappa della velocità che dovrà dare informazioni sui mutamenti delle peculiarità elastiche di quella data muratura nonché segnalare l'eventuale esistenza di lesioni o soluzioni di continuità (ad es., fessurazioni dovute a cattivi ammassamenti, rinforzi ecc.).

Per migliorare ulteriormente la lettura, ove richiesto da specifiche della D.L., l'appaltatore si dovrà munire di un sistema di riferimento (ad es. misurazioni prima e dopo eventuali interventi, paragone dei risultati ottenuti in materiali ben conservati con quelli ritenuti degradati).

Specifiche

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.2.10 INDAGINE ULTRASONICA

L'indagine ultrasonica, è una tecnica analitica di natura fisica rigorosamente "non distruttiva" di carattere puntuale in grado di fornire risposte di tipo quantitativo e qualificativo; le prove potranno essere svolte in situ o in laboratorio. Questa indagine permetterà di conoscere, con accettabile precisione, la qualità e le difformità dei materiali da costruzione (pietre e legno) analizzando il comportamento e le regole di diffusione, al loro interno, di particolari onde elastiche contraddistinte da frequenze superiori ai 20 kHz. Il sistema si baserà sulla determinazione della velocità di propagazione delle onde sonore attraverso il mezzo studiato e sulla registrazione del segnale ricevuto.

4 Tecnica sonica atta a misurare le caratteristiche di propagazione delle onde elastiche di tipo longitudinale (P) all'interno del materiale indagato. Questa tecnica prevedrà la messa in opera di apposite sonde (diametro massimo 45 mm) allocate in percorsi predisposti di lunghezza minima 50 cm e massima 150 cm. La sonda sarà costituita da un trasmettitore e da un ricevitore aventi distanza reciproca di circa 100 cm, l'impulso provocato elettronicamente dal trasmettitore dopo essersi propagato nel materiale circostante il foro verrà recepito dal ricevitore sotto forma di una sequenza di onde. Questa tecnica potrà essere utilizzata anche per murature particolarmente spesse per le quali risulterà impraticabile la prova sonica per trasparenza.

5 Tecnica sonica atta a misurare la propagazione della velocità delle onde elastiche longitudinali. Il *cross-hole* sonico prevedrà la messa in opera di una sonda di trasmissione e una o più sonde di ricezione poste in percorsi perfettamente verticali aventi la medesima profondità; la distanza della coppia di sonde potrà variare da qualche metro fino ad una decina di metri.

6 Tecnica sonica simile alla precedente che però prevedrà la messa in opera nel terreno della sola sonda ricevente (anch'essa allocata in foro verticale predisposto) con la sorgente di emissione di onde elastiche posizionata esternamente al terreno.

7 Misurazione (diretta) eseguita con punto di battuta e punto di ricezione collocati sulle due superfici parallele della muratura inversamente, quando i suddetti punti saranno posti sulla stessa superficie l'applicazione verrà detta per superficie (indiretta).

Apparecchiature

La strumentazione elettronica utilizzata dall'appaltatore dovrà essere composta, in linea generale, da una centralina elettronica di rilevazione dotata di un cronometro ad altissima precisione (al decimo di milionesimo di secondo) a cui saranno collegate due sonde una emittente ed una ricevente (identiche ed interscambiabili) a frequenza fissa di tipo piezoelettrico, e da un'unità oscilloscopica (collegata alla centralina di rivelazione) che visualizzerà il segnale acustico che avrà attraversato il corpo solido.

Applicazioni

Gli schemi che l'appaltatore potrà utilizzare per posizionare le sonde saranno: per trasmissione diretta (le due sonde saranno posizionate in due punti speculari su due facce parallele, metodo più attendibile); per trasmissione semi-diretta (le sonde saranno posizionate su due facce ortogonali), per trasmissione indiretta (le sonde saranno posizionate entrambe su di una faccia, metodo meno sensibile sarà obbligo, pertanto, eseguire più serie di misurazioni a varie distanze).

Se non diversamente specificato le frequenze di lavoro, potranno oscillare dai 50 ai 200 kHz, la scelta della frequenza e, di conseguenza, della sonda sarà legata alla singola problematica, in particolare si utilizzeranno onde ultrasoniche a bassa frequenza maggiori di 40 kHz ma inferiori a 200 kHz per indagare materiale sufficientemente compatto come pietra, laterizio e legno; onde ad alta frequenza comprese tra i 500 kHz e i 1,5 MHz per indagare la difettosità di materiali ad alta densità, molto compatti quali ceramiche e metalli.

Al fine di garantire una lettura dei dati la più esatta possibile sarà cura dell'appaltatore eseguire più serie di misurazioni nonché assicurare il miglior contatto possibile tra le sonde ed il manufatto da indagare; se non diversamente specificato da indicazioni della D.L. il contatto dovrà essere garantito interponendo, tra la superficie sensibile delle sonde e quella da analizzare, uno strato di materiale viscoso quale olio, grasso, gel, plastilina o simili. All'appaltatore potranno essere

richieste tre tipologie di misure: le misure della velocità del suono in superficie, le misure radiate e le misure in trasparenza. Le prime dovranno essere svolte in modo da garantire l'identificazione delle degenerazioni superficiali del materiale; le seconde dovranno consentire di verificare l'omogeneità del materiale a differente distanza dall'area e saranno ottenibili allorché sia la superficie interna sia quella esterna saranno praticabili; infine, le misure in trasparenza dovranno essere eseguite in modo da poter analizzare il materiale in tutto il suo spessore.

Le indagini più ricorrenti (da eseguirsi in *situ* o su campioni in laboratorio) che potranno essere richieste all'appaltatore, sono:

- -per gli elementi litoidi: presenza di microfessurazioni od altre imperfezioni, spessore degrado superficiale, differenti caratteristiche meccaniche secondo i tre assi cartesiani, caratteristiche meccaniche in relazione agli standard;
- -per gli elementi in legno: spessore della degradazione superficiale, caratteristiche meccaniche rilevate nelle due direzioni, parallelamente ed ortogonalmente alle fibre, presenza di irregolarità quali nodi, microfessurazioni ecc., densità relativa;
- -per gli elementi in calcestruzzo: omogeneità delle miscele, presenza di microfessurazioni od altre imperfezioni, caratteristiche meccaniche.

Specifiche

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.3 Tecniche per la misurazione dell'umidità - Generalità

La misurazione dell'umidità, ricorrendo all'utilizzo delle specifiche strumentazioni e metodologie, dovrà necessariamente essere indirizzata alle zone maggiormente colpite dal fenomeno; l'individuazione preliminare delle aree aggredite, consentirà di evitare dispendiose e spesso inefficaci indagini generalizzate.

In questo caso diviene di peculiare importanza valutare, durante il sopralluogo, tramite un rilievo a vista, lo stato di fatto del manufatto in relazione alle condizioni al contorno ovvero: caratteristiche geologiche del terreno, approvvigionamento e smaltimento delle acque, efficienza delle strutture (coperture, vespai, murature ecc.), condizioni climatiche ecc. A tale scopo potrà risultare utile monitorare il manufatto per un periodo di tempo (definito in relazione allo specifico caso), così da poter raccogliere una gran quantità di dati in riferimento ai punti sopra elencati; le informazioni desunte, dovranno poi essere elaborate correlate tra loro e relazionate in riferimento allo stato di fatto rilevato. Le diverse strumentazioni disponibili per tale misurazione dovranno essere in grado di fornire indicazioni a carattere comparativo così da poter determinare la differenza, all'interno di un medesimo contesto, tra una muratura sana e una aggredita da fenomeni relativi all'umidità.

In funzione degli obiettivi stabiliti potranno essere impiegati metodi ed apparecchi diversi in grado di definire, in ogni caso, il fenomeno in termini numerici: per l'umidità ambientale (temperatura dell'aria, temperatura superficiale, umidità relativa) si utilizzeranno le misure igrotermiche, mentre per l'umidità dei materiali, si determinerà il contenuto d'acqua.

La caratteristica che accomuna tutti i metodi di misurazione è che l'operazione ha carattere puntuale. Per avere un quadro generalizzabile risulterà opportuno attuare una campagna di rilevazione abbastanza estesa. Nei casi di muratura umida, causata ad esempio da fenomeni di risalita capillare, la campionatura del contenuto d'acqua, dovrebbe prevedere rilievi a diverse profondità (superficiale circa 3-4 cm, interne circa 10-12 cm e profonde > di 20 cm), allo scopo di conoscere la capacità di evaporazione della muratura a quote diverse dal piano di calpestio (ad esempio 50 cm, 150 cm e a 200 cm da terra) e per conoscere l'entità dell'azione capillare.

Le apparecchiature si diversificheranno in relazione alla specifica misurazione ovvero: misure igrometriche (psicrometro e igrografo a capello), misure della temperatura dell'aria (termometri a mercurio o ad alcool, termometri a lamina bimetallica, termometri a termocoppia, termometri a semiconduttori), misure della temperatura superficiale (si utilizzano gli stessi impiegati per la misurazione della temperatura dell'aria), rilevatori di condensazione (rilevatori di condensazione ed appannamento e a variazione di resistenza), misure relative al contenuto d'acqua nelle strutture (metodi diretti e indiretti) e misure contemporanee di differenti variabili (termoigrografo, termogigrometro, termometri digitali).

8.3.1 MISURE IGROMETRICHE

Le misurazioni igrometriche hanno lo scopo di definire i valori dell'umidità relativa ovvero, il rapporto percentuale fra l'umidità effettivamente contenuta nell'aria ad una data temperatura e l'umidità massima che, alla stessa temperatura, potrebbe esservi contenuta. I valori dell'U.R. dovrebbero essere compresi tra il 35% e il 70%.

Lo psicrometro si compone di due termometri uguali uno con bulbo libero e asciutto e l'altro avvolto in una garza che dovrà essere mantenuta bagnata; l'attivazione di una leggera ventilazione accelererà l'evaporazione della garza con conseguente raffreddamento del bulbo mentre il bulbo asciutto non subirà nessuna alterazione. La differenza di temperatura tra i due bulbi risulterà tanto maggiore quanto più veloce sarà l'evaporazione dell'acqua; la misurazione dello scarto termico consentirà di calcolare l'U.R. dell'aria. Nei casi in cui l'umidità dovesse raggiungere i 100% lo scarto risulterebbe uguale a zero. Se allo psicrometro viene aggiunto un elaboratore elettronico risulterà possibile misurare anche la temperatura dell'aria, quella di rugiada e l'umidità assoluta. È opportuno non utilizzare tale strumentazione con temperature prossime a 0°C poiché, è facilmente intuibile, che il bulbo bagnato gelerebbe.

L'igrografo a capello si basa sulla proprietà che hanno specifici materiali (capelli umani e certe fibre organiche) di aumentare o diminuire di lunghezza al variare dell'umidità dell'aria; le variazioni desunte dovranno essere riportate su indice numerico. Si tratta di uno strumento la cui praticità e facilità di applicazione lo rende particolarmente idoneo ad

essere utilizzato in cantiere; occorre tener presente però, che risulta essere soggetto a perdere la taratura, per questo sarà opportuno provvedere periodicamente (ogni due tre mesi) a ritrarlo. La registrazione dei dati potrà essere realizzata a discrezione dell'operatore (giornalmente, settimanalmente o mensilmente) e se accoppiato con un termometro a lamina bimetallica potrà dare anche la temperatura dell'aria.

8.3.2 MISURE DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

Le strumentazioni per operare questa misurazione sono:

- *termometri a mercurio*, si basano sul principio della dilatazione termica degli elementi; utilizzati sovente in laboratorio per tarare e controllare gli altri tipi di strumenti;
- *termometri a lamina bimetallica*, basati sulla deformazione subita da una lamina bimetallica (composta da due strisce metalliche, con diverso coefficiente di dilatazione, sovrapposte e saldate tra loro) al variare della temperatura. Lo strumento non sempre garantisce un elevato grado di precisione;
- *termometri a termocoppia*, si basano sulla differenza di potenziale che si stabilisce tra due giunzioni, di metalli diversi, mantenute a temperatura differente; mantenendo una giunzione a temperatura nota risulterà possibile dedurre la temperatura dell'altra giunzione misurando la differenza di potenziale. L'elemento di giunzione, costituito da due fili sottilissimi, consentirà di rilevare anche misure puntiformi, per contro risulterà difficile mantenere costante la temperatura di riferimento. Questi specifici termometri risulteranno particolarmente adatti per registrazioni di temperatura prolungate nel tempo;
- *termometri a semiconduttori*, si tratta di uno strumento pratico in virtù della precisione e facilità con la quale si può misurare una variazione di resistenza elettrica; la temperatura verrà rilevata attraverso un sensore composto da un elemento che varia la sua resistenza al variare della temperatura, conoscendo la resistenza elettrica risulterà possibile risalire alla temperatura dell'aria.

8.3.3 MISURE DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE

Gli strumenti atti a misurare la temperatura dell'aria risulteranno in grado di rilevare anche la temperatura superficiale a patto che sia assicurato un perfetto contatto tra l'elemento prescelto per la misurazione e la struttura al fine di evitare che la temperatura dell'aria influenzi, alterandola, la misurazione. A tale scopo, per limitare l'influenza dell'aria, l'elemento sensibile (termometri a termocoppia, a termistori o a semiconduttori) dovrà essere inserito in un cono di argilla applicato sulla superficie muraria. La temperatura interna di una struttura muraria potrà essere rilevata inserendo il cono all'interno di un foro facendo cura di riempire lo spazio, tra l'elemento e le pareti del foro con materiale compatto così da evitare l'influenza della temperatura dell'aria all'interno della cavità.

8.3.4 RILEVATORI DI CONDENSAZIONE

I fenomeni relativi alla condensazione difficilmente risulta possibile coglierli durante la loro azione, per questo sarà necessario ricorrere all'utilizzo di rilevatori che, grazie al collegamento ad un registratore risulteranno capaci di rilevare la durata e la frequenza del fenomeno come i:

- *rilevatori di condensazione ed appannamento*, l'operazione consiste nella misurazione dell'attenuazione che un fascio di luce a raggi infrarossi subisce dopo aver colpito una piastrina metallica fissata sulla superficie oggetto di indagine. L'eventuale presenza di condensazione sarà segnalata se il rilevatore segnalerà una riduzione di intensità del fascio in quanto assorbito dall'acqua depositatasi sulla piastrina;
- *rilevatori di condensazione a variazione di resistenza*, l'operazione di rilevazione è affidata ad una basetta isolante a bassa inerzia termica fissata al muro, che collega due elettrodi molto vicini tra loro; secondo il principio per cui la resistenza elettrica che passa tra i due elettrodi tende a precipitare in presenza di condensazione, la basetta asciutta rivelerà la resistenza elevata tra i due elettrodi denunciando così un'assenza di condensa. La riuscita dell'operazione dipenderà dallo stato della basetta che dovrà pertanto, risultare sempre pulita e priva di sali onde evitare di falsare la misurazione.

8.3.5 MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA NELLE STRUTTURE

I metodi che consentono la misurazione del contenuto d'acqua possono essere diretti (prove di laboratorio) e indiretti;

metodi diretti, implicano analisi di laboratorio da eseguirsi su campioni di muratura prelevati in *situ* mediante carotaggi o perforazioni:

- il metodo **ponderale** prevede l'individuazione del contenuto d'acqua calcolando la differenza tra il peso dello stato umido ed il peso dello stato secco, essiccati. Il prelievo del campione umido potrà essere effettuato utilizzando lo scalpello o la carotatrice a secco a bassissima velocità di rotazione così da non implicare sviluppo di calore e successiva evaporazione di acqua; il campione dovrà essere inserito all'interno di un recipiente (in vetro o in polietilene), preventivamente pesato, con tappo a tenuta. In laboratorio si peserà prima il contenitore con il campione all'interno e successivamente solo il campione di materiale prelevato, dopodiché si passerà all'essiccamento in stufa (tipo quelle a corrente di aria calda o con ricambio d'aria trascurabile) ad una temperatura pari a 105°C (facendo cura di non superare la temperatura di 110 °C) e alla successiva determinazione del peso del campione così essiccato e della percentuale di umidità riferita al peso umido, a quello secco ed al volume. Questo metodo, circoscrivendo i dati relativamente al campione prelevato, non potrà denunciare un valore di riferimento per tutta la muratura; perché ciò sia possibile occorrerà operare numerosi prelievi in

diversi punti della struttura;

– il metodo del **carburo di calcio** si basa sulla lettura della pressione generata da un gas che si sprigiona a seguito di una reazione chimica. L'operazione consiste nel prelevare un campione di muratura che, dovrà ridotto in polvere dovrà essere mescolato, all'interno di un recipiente metallico indeformabile ed ermetico, con una dose prefissata di carburo di calcio in misura proporzionale al materiale prelevato. Dall'omogenea miscelazione delle due polveri si svilupperà dell'acetilene la cui quantità si riporterà alla quantità di acqua presente nel campione; l'acetilene svilupperà una pressione sul manometro a chiusura del contenitore tanto maggiore quanto maggiore è il quantitativo di acqua. Lo sviluppo di acetilene è direttamente proporzionale al quantitativo di acqua che potrà essere dedotto se risulterà possibile conoscere la quantità standard del materiale esaminato; da questo si evince come l'esattezza dell'analisi dipenda dalla conoscenza della composizione del materiale, inoltre in virtù della perdita d'acqua che avviene per evaporazione durante l'operazione di polverizzazione del materiale, è opportuno prelevare il campione in condizioni che garantiscano una contenuta evaporazione superficiale di acqua.

metodi indiretti, a differenza dei metodi diretti non prevedono operazioni distruttive (prelievi di campioni) tra le diverse strumentazioni vi sono:

- -misuratori a lettura di resistenza elettrica; rilevano le variazioni di resistenza elettrica fra elettrodi (a forma di aghi) posti nella muratura. Si basano sul principio per cui risulta possibile assimilare il comportamento di una muratura umida a quello di una resistenza; le sonde applicate sulla muratura sono collegate da uno strumento di misura in grado di esprimere dei valori (in percentuale) relativi al contenuto di acqua. La corrente elettrica sarà proporzionale al contenuto di acqua per cui, maggiore sarà la presenza di acqua tanto più risulterà la conducibilità elettrica. Questo metodo non sarà in grado di effettuare misurazioni in profondità (non oltre qualche centimetro) per cui interesserà solo gli strati superficiali dei materiali inoltre, dovrà essere fatta attenzione al margine di errore legato alla presenza di sali (che influenza la resistenza elettrica) e alla natura stessa del materiale esaminato;
- -misuratori di costante dielettrica, rilevano la costante dielettrica tra due elettrodi a piastra appoggiati sulla stessa faccia della muratura (misurazione della costante del materiale di contatto) oppure, sulle due facce della parete (misurazione della costante di sezione). La prima misurazione avverrà su di una zona asciutta la seconda su di una zona umida; il confronto tra le due differenti misure consentirà di ricavare il valore dell'umidità. A differenza degli elettrodi ad ago, quelli a piastra risultano meno influenzabili dalla presenza di sali;
- -misuratori del contenuto d'acqua a neutroni, il materiale viene attraversato da microonde; l'attenuazione della loro energia iniziale sarà connessa alla presenza di acqua nel materiale esaminato.

8.3.6 MISURE CONTEMPORANEE DI DIFFERENTI VARIABILI

La specifica strumentazione non restituirà dati in tempo reale e dovrà necessariamente essere posizionata in situ per una durata di tempo prestabilita. Gli strumenti più comunemente usati sono:

- *termoigrografo*, lo strumento legge e trascrive i dati relativi alla U.R. e alla temperatura tramite l'ausilio di un cilindro (unità di registrazione) che riporta un apposito tabulato in carta sul quale verrà adagiato un ago che riporterà l'andamento giornaliero relativo alla temperatura e all'umidità;
- *termoigrometro*, tramite l'ausilio di apposite sonde lo strumento risulterà in grado di registrare l'umidità assoluta (da 0,1 a 150 g di acqua per kg di aria), l'umidità relativa (dal 15 al 90%), il punto di rugiada (da -40° a +60 °C) e la temperatura dell'aria (da -40 a +120 °C);
- *termoigrometri digitali*, risulteranno in grado di rilevare l'umidità relativa e la temperatura ambiente reagendo rapidamente alle variazioni di umidità.

8.4 Monitoraggio rilievo dinamico

Con il termine monitoraggio o rilievo dinamico dovrà essere inteso un sistema di registrazione temporaneo di dati la cui conseguente interpretazione determinerà una casistica comportamentale del fenomeno. In tali procedure di "rilievo" (riproposte in maniera ciclica più o meno regolare) la frequente memorizzazione dei dati richiederà, di metodi di rilevazione da attuarsi in tempi relativamente ridotti e possibilmente a costi contenuti. Controlli ripetuti nel tempo serviranno a limitare i rischi che si manifesteranno negli intervalli di transizione (ovvero nel lasso di tempo in cui i manufatti non saranno "protetti") durante i quali i deterioramenti potrebbero progredire in maniera incontrollata.

Tutti i sistemi di monitoraggio necessiteranno obbligatoriamente di una accurata manutenzione da parte dell'appaltatore, così da poter verificare periodicamente il corretto funzionamento del sistema e dell'eventuale taratura degli strumenti.

8.4.1 TELERILEVAMENTO

Al fine di documentare l'evoluzione delle patologie del degrado e lo stato di conservazione degli apparecchi murari o delle strutture in genere nel periodo durante il quale esse rimarranno non protette ovvero durante periodi di stasi dei lavori, sarà cura dell'appaltatore, ove prescritto dagli elaborati di progetto, eseguire alcuni monitoraggi-campione (nel numero e della dimensione indicata dalla D.L.) lungo tutte le strutture, nelle diverse esposizioni e su differenti materiali. Tali rilevamenti-campione saranno eseguiti mediante telerilevamento (indagine non distruttiva, passiva, indiretta) ossia fotografie ripetute ad intervalli di tempo regolari "commentate" in apposite schede pre-progettate e/o aggiornate in corso d'opera (v. specifiche in calce a questo articolo). Il telerilevamento dovrà, necessariamente, essere eseguito in un lasso di tempo pre-programmato secondo le esigenze del progetto e della tipologia di indagine (variabile da poche settimane a diversi mesi). In questa particolare "indagine-rilievo" l'appaltatore dovrà porre particolare cura sia nell'eseguire le riprese fotografiche (ripresa a quadro verticale ossia conservando il parallelismo tra superficie in analisi e piano focale), seguendo le indicazioni

dettate dalla D.L., sia nel compilare per ogni singolo fotogramma significativo utilizzato per il monitoraggio i campi presenti nella specifica scheda tipo di rilievo.

Applicazioni e apparecchiature

Al fine di eseguire la procedura di rilievo dinamico (monitoraggio) l'appaltatore potrà utilizzare il telerilevamento avvalendosi secondo le prescrizioni di progetto di fotografie in b/n, a colori o all'infrarosso (I.R.).

La fotografia sia in b/n sia a colori eseguita mediante fotocamere 35 mm reflex (ovvero in formati maggiori opportunamente equipaggiati) o digitali (risoluzione minima 5,0 Megapixel) costituirà non solo un mezzo ausiliario alle operazioni di rilevamento ma anche una vera e propria tecnica di indagine sussidiaria al rilevamento in quanto essa sarà rivolta a verificare ed integrare le informazioni della rappresentazione grafica segnalando aspetti difficilmente documentabili attraverso il disegno (quali ad es. le patologie degenerative o lo stato fessurativo) al contempo si rileverà un utile strumento di monitoraggio e/o di controllo delle trasformazioni subite dal manufatto nel corso dell'intervento di restauro o, più in generale della sua vita.

La fotografia in b/n e a colori potrà essere richiesta, all'appaltatore, oltre, naturalmente come mezzo documentario (foto di servizio periodiche che dovranno documentare il progredire delle operazioni di restauro nel numero e dimensioni che saranno volta per volta indicati dalla D.L. in ogni caso non meno di 2 copie per un minimo di 50 scatti con dimensioni minime 13x18 cm), sia come strumento di interpretazione del manufatto (verifica ed integrazione rilievo), sia come strumento per realizzare il rilievo dinamico (monitoraggio) a patto, però, che le fotografie scattate offrano la possibilità di essere "misurate". Al fine che la misurazione di un oggetto fotografato sia possibile dovrà essere cura dell'appaltatore introdurre degli elementi come aste o reticoli quadrati (suddivisi all'interno in quadri di 10 x10 cm), basi di misurazione dirette ecc. capaci di segnalare le dimensioni dell'oggetto rappresentato. La fotografia dovrà essere, inoltre, priva di "effetti"; nella fattispecie: linee cadenti, ombre proprie, ombre portate molto scure e, soprattutto, occorrerà evitare, ricorrendo a vari tipi d'accorgimenti fotografici, distorsioni prospettiche. Le immagini dovranno essere scattate a quadro rigorosamente verticale e parallelo alla superficie stessa, comprendendo l'intero prospetto ovvero transetti verticali e/o orizzontali, (indicati dagli elaborati di progetto o specifiche della D.L.) con ampie zone di sovrapposizione (almeno per 1/3). Allo scopo di facilitare la corretta sovrapposizione delle fotografie sarà cura dell'appaltatore spostarsi parallelamente alla facciata seguendo intervalli costanti in precedenza segnalati a terra (mediante sagole tese).

Se non diversamente specificato dalla D.L., al fine di garantire un'immediata lettura del manufatto sarà cura dell'appaltatore utilizzare pellicole a colori (a grana fine e bassa-media sensibilità 50-100-200 ISO a seconda delle condizioni di luminosità ambientale) grazie alle quali sarà possibile riconoscere, sia la diversità dei materiali presenti, sia eventuali alterazioni cromatiche generate da diversi fattori di degrado. Al fine di migliorare la qualità dell'immagine potranno essere utilizzati filtri correttivi quali grigi neutri (aiutano a diminuire la quantità di luce senza alterarne la qualità, potranno essere utilizzati sia per il b/n sia per il colore), di contrasto per accentuare particolari significativi (nel b/n il filtro arancio amplificherà il contrasto generale, quello blu diminuirà il tono delle murature, quello verde farà emergere le tonalità delle ocre e delle terre bruciate e naturali), di selezione (i filtri ultravioletti circoscriveranno gli effetti della foschia nonché le dominanti bluastre nelle foto a colori), infine, i filtri polarizzatori aumenteranno la saturazione dei colori annullando eventuali riflessi non voluti. In linea generale dovranno essere evitate, se non direttamente specificato, riprese eseguite con luce solare diretta (così da eludere le ombre che potrebbero rendere non chiara l'immagine), sarà, inoltre, preferibile utilizzare sempre il cavalletto ed eventualmente, dove sarà necessario, un sistema d'illuminazione artificiale continuo di tipo cinematografico (provvisto di mascherine laterali così da permettere di regolare la direzione della luce) anche per riprese diurne (allo scopo di eliminare eccessivi contrasti o schiarire le ombre) in luogo del flash. Questo sistema di illuminazione continua dovrà essere preferito anche in condizioni particolari come quelli di scarsa illuminazione (ambienti ipogei, scantinati, sottotetti ecc.) o riprese seminotturne al fine di esaltare le condizioni di illuminazione artificiale così da valorizzare porzioni del manufatto oppure per esaltarne i risalti e le scabrosità della superficie (ad es., segni di lavorazione, scagliature, distacchi ecc.) ricorrendo a luci radenti ovvero con sorgente luminosa quanto più possibile parallela al piano della superficie da indagare. Utilizzando due fonti di illuminazione artificiale, opportunamente posizionate, si potranno pertanto, ottenere due diversi tipi di ripresa: una "morbida" (ottenuta con luce perpendicolare ovvero diffusa) e una "radente" (ottenuta posizionando la fonte di luce a lato del punto di ripresa con un'angolazione compresa tra i 5° e i 20° rispetto al piano della superficie). Il primo tipo di fotogrammi consentirà di ottenere viste omogenee, ottime basi per l'eventuale elaborazione di ulteriori rappresentazioni grafiche, mentre il secondo tipo garantirà una lettura più specifica di alcuni fattori macroscopici come appunto la scabrosità della superficie, eventuali incisioni del supporto, micro soluzioni di continuità ecc.

La fotografia all'infrarosso (IR) utilizzerà pellicole fotografiche sensibili ai raggi infrarossi (lunghezza d'onda compresa tra i 0,7 e 1 micrometri), ossia a radiazioni termiche spontanee emesse da qualunque corpo esistente in natura; queste pellicole saranno in grado di trasporre il dato elettromagnetico in dato visivo. Mediante le riprese con le suddette pellicole, l'appaltatore sarà in grado di evidenziare discontinuità costruttive, distacchi d'intonaco, vegetazione annidata negli interstizi dell'apparecchio murario e non ancora apparsa in superficie. la fotografia da infrarosso permetterà, inoltre, di rilevare lesioni passanti, allorché sia presente, tra le due facce della parete, una significativa differenza di temperatura (che potrà essere riportata anche artificialmente). Al fine di avere un'immagine nitida sarà consigliabile seguire gli scatti dopo aver sottoposto, preventivamente, le parti a riscaldamento uniforme (artificiale o solare).

Specifiche

A termine dell'indagine ovvero a scadenze prestabilite sarà cura dell'appaltatore restituire le immagini nel numero e dimensioni che saranno prescritti dagli elaborati di progetto. In ogni caso, i fotogrammi, dovranno essere muniti sia di un numero di riferimento progressivo del rullino e dello scatto con relativa data, sia di indici subordinati relativi a particolari seriazioni indicate dagli elaborati di progetto; inoltre per ciascuna immagine fotografica sarà indicato, su di un grafico in scala convenientemente ridotta, la localizzazione (determinata anche in altezza) del relativo punto di presa e sarà redatta

una scheda del tipo A se si tratterà di foto non metrica, del tipo B se si tratterà di foto metrica (in entrambi i tipi di scheda dovranno essere riportati la distanza tra il punto di presa e l'oggetto, la macchina con cui è stato eseguito il rilievo, il tipo di obiettivo, la sensibilità della pellicola utilizzata e le condizioni ambientali) e del tipo C se si tratterà di foto di monitoraggio. Per ciascuna fotografia scattata con fotocamera reflex dovranno essere presentati il negativo e due copie (compresa quella schedata) su carta semilucida (dimensioni minime 13x18 cm). Resta inteso che tale campagna fotografica dovrà essere eseguita da esperto professionista del ramo con relativa attrezzatura.

8.4.2 MONITORAGGIO DEL QUADRO FESSURATIVO

La presenza di un quadro fessurativo richiede che l'appaltatore disponga, secondo le prescrizioni di progetto e/o le indicazioni della D.L., di un sistema di monitoraggio che consenta di rilevare il comportamento delle fessurazioni nel tempo; lo studio potrà avvenire in modo differente in funzione dell'importanza della fabbrica, delle lesioni, deformazioni od alterazioni presenti. È necessario, prima di tutto, comprendere se il quadro fessurativo al momento del rilevamento sia di tipo attivo o passivo ovvero in evoluzione oppure in stasi; nel caso sia riscontrata la prima ipotesi dovrà, essere individuata la causa che genera tali spostamenti e in che misura essi avvengono. La struttura muraria è, infatti, in grado sia di deformarsi plasticamente senza incorrere nell'immediato collasso, sia di definire un nuovo stato di equilibrio, dissimile dall'originale ma in grado, comunque, di assicurare, se pur ridotta, una stabilità. La verifica di tale contingenza dovrà, necessariamente, essere attuata poiché rappresenta un parametro necessario per definire gli interventi di consolidamento. Gli strumenti attualmente disponibili capaci di eseguire il monitoraggio di fessurazioni sono diversi e si contraddistinguono per i diversi gradi di precisione che hanno; i più impiegati sono le biffe, i fessurimetri, i deformometri o gli estensimetri. La lettura e i controlli dei punti fissi predisposti inizialmente, potranno avvenire saltuariamente (mensilmente, bisettimanale, settimanale quanto più grave risulterà il fenomeno di dissesto) o di continuo sotto la forma della registrazione automatica. Per un corretto studio dei cinematismi delle lesioni si rileverà, opportuno, misurare anche l'andamento delle temperature così da compensare eventuali effetti connessi alla dilatazione termica dei materiali.

Specifiche

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. A scadenze pre-programmate, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

Biffe di malta

Le biffe, a forma di doppia coda di rondine con la sezione minima in corrispondenza della fessurazione, dovranno essere applicate trasversalmente alla lesione, in corrispondenza del ventre di questa. La biffa dovrà essere posizionata sul vivo della muratura, in caso di fessurazione passante, sarà opportuno introdurre della malta inserita quanto più è possibile dentro la fessurazione in modo da impedire possibili cavillature nella parte mediana della spia causate da un ritiro accelerato. La malta da usare per la costruzione di biffe potrà variare in relazione a dove dovrà essere posizionata. Nel caso in cui la zona sia interna o non esposta agli agenti atmosferici ed a fenomeni d'umidità, sarà preferibile usare una malta a base di gesso; questo tipo di biffa oltre a non manifestare l'inconveniente di fessurazioni da ritiro, possiede una resistenza inferiore a quella dell'intonaco risultando così più appropriata per la segnalazione di fessure in movimento. Per una biffa posizionata all'esterno, sarà, invece, consigliabile utilizzare una malta magra a base idraulica o bastarda (in ogni caso esente da legante cementizio o eminentemente idraulico). Le dimensioni di un a biffa di malta, se non diversamente specificato da indicazioni della D.L., saranno di circa 16-20 cm di lunghezza per uno spessore non superiore ad 1 cm.

In corrispondenza d'ogni biffa dovrà essere segnato sul muro un numero di riferimento e la data di posizionamento, questi dati dovranno essere trascritti in un registro al fine di ricostruire, graficizzandoli, gli eventuali movimenti subiti dalla struttura nel tempo. Le estremità delle diramazioni della lesione (cuspidi) ed il ventre della stessa dovranno essere siglati e datati. Il controllo della biffa andrà eseguito, da parte dell'appaltatore, ad intervalli di tempo preferibilmente costanti e tanto più assidui quanto più grave risulterà il quadro fessurativo. La rottura della biffa potrà segnalare la presenza di dissesti in atto ma non potrà indicarne la loro natura. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

Vetrini

Spia dal comportamento simile alla biffa in malta ma di materiale diverso; questi elementi atti al monitoraggio delle lesioni si concretizzano in rettangoli di vetro a basso spessore (inferiore a 2 mm) posti a ridosso della fessura e fermati con colle, stucchi o malte posati esternamente ai lembi della lesione stessa. Questo metodo risulta poco attendibile in quanto il vetrino potrà presentare l'inconveniente di rompersi per effetto dell'escursione termica dei materiali oppure rimanere integro in presenza di dissesti strutturali perché scivolato sulla malta di fissaggio.

Fessurimetri millimetrati

Questa strumentazione è costituita da due placchette in materiale plastico (in genere materiale acrilico o PVC) assemblate sovrapposte e apposte a cavallo della lesione mediante sistemi previsti dall'azienda produttrice (tasselli, stucchi epossidici, mastici, resine ecc.). La piastrina superiore sarà incisa con un reticolo mentre quella inferiore sarà calibrata in millimetri. La misura del movimento della fessura, rilevabile anche in frazioni di millimetro, sarà segnalata dallo spostamento del reticolo rispetto alla placca millimetrata sottostante, a partire dal valore zero. Di norma la rilevazione massima consentita da questo strumento sarà di 20-25 mm. Questo tipo di strumento risulterà particolarmente adatto per:

– -rilievo su superfici piane di movimenti verticali od orizzontali anche simultanei;

- -rilievo lesioni d'angolo soggette a movimenti bi-direzionali anche simultanei;
- -rilievo di cedimenti od assestamenti di pavimentazioni rispetto a murature o pilastri;
- -misura della differenza di planarità di qualsiasi superficie lesionata.

Ogni strumento dovrà essere munito di propria scheda di registrazione così da segnalare ogni movimento delle lesioni. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

Deformometri

Un controllo più attento del quadro fessurativo potrà essere effettuato utilizzando un deformometro: strumento removibile di minimo ingombro, in grado di misurare il progredire delle lesioni, su basi fisse, nell'ordine del micron (millesimo di millimetro). L'appaltatore applicherà, fissandole al muro con resina biconponente, da ambo i lati della fessura due "pasticche" in acciaio inox (prismetti esagonali concavi) di circa 20 mm per 5 mm di spessore, dette "basi", munite di foro al centro. La distanza reciproca dei "capisaldi" sarà stabilita da una dima di fissaggio avente la lunghezza corrispondente alla posizione iniziale del comparatore millesimale (pari a 100, 150 o 200 mm). La verifica verrà eseguita mediante una barra d'acciaio "invar" munita di un comparatore millesimale e, ai lati, di due punte una fissa e l'altra mobile. La lettura verrà concretizzata sovrapponendo alle piastrine (le sole parti fisse in sede) dei punti di misura assicurati alla barra con il comparatore (deformometro); qualora si verificasse diversità dell'intervallo tra i due punti fissi a cavallo della fessura, lo spostamento sarà determinato dal movimento della punta mobile collegata al comparatore, consentendo così di appurare nonché misurare il movimento avvenuto. Se non diversamente specificato da indicazioni di progetto o specifiche della D.L., sarà sufficiente eseguire le letture una volta al mese salvo nei casi di quadri fessurativi rilevanti, in questo caso le letture dovranno essere eseguite ogni due settimane od ancora più frequentemente. Applicando tre piastrine, ed eseguendo ciclicamente le misure di trilaterazioni, potranno essere valutate le traslazioni relative tra i blocchi separati dalla lesione stessa. Una quarta base permetterebbe, infine, di ottenere anche le rotazioni tra i due maschi murari nonché la localizzazione del centro di rotazione: così facendo sarà possibile rappresentare in modo completo i movimenti relativi. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

Estensimetri

Il principio di funzionamento sarà analogo a quello del deformometro, essendo il rilevamento dello spostamento misurato per variazione della distanza relativa tra due punti iniziali a cavallo della lesione da monitorare. Qualora sia possibile porre lo strumento in ambienti non frequentati (ossia in ambienti non accessibili se non agli addetti ai lavori) è consigliabile utilizzare estensimetri autoregistranti: apparecchi simili al precedente ma con il vantaggio di avere incorporata una penna che graficizza gli spostamenti disegnandoli su di un rullo mosso da un sistema ad orologeria. Questo sistema documenterà, in ogni momento, l'eventuale spostamento della struttura sotto monitoraggio così da permettere di controllare quei movimenti "alternativi" dovuti alle variazioni termiche o igronometriche d'ambiente. Per risalire al moto, come nel caso dei deformometri, sarà cura dell'appaltatore, installare trasversalmente alla lesione due estensimetri con le rispettive barre normali tra loro. Al termine delle rilevazioni, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni nella forma prescritta dagli elaborati di progetto.

8.4.3 MONITORAGGIO AMBIENTALE (RILEVAZIONI DELLE CONDIZIONI TERMOIGRONOMETRICHE E MICROCLIMATICHE)

Il monitoraggio ambientale si verificherà utile al fine di poter apprendere le reali condizioni dello specifico contesto ambientale che interagisce con le aree archeologiche (dove risulterà indubbio che le condizioni ambientali saranno il principale fattore delle cause di degrado), i fabbricati e con gli spazi interni così da poter stabilire, le eventuali concause legate ai fenomeni di alterazione quali l'invecchiamento dei materiali e/o delle strutture del fabbricato. Si tratterà di una serie di indagini puntuali, non distruttive o solo parzialmente distruttive (al fine di estrapolare un campione), da realizzare in situ e/o in laboratorio, che dovranno garantire di raggiungere risultati fondamentalmente di carattere quantitativo oltre che qualitativo.

Di norma il monitoraggio ambientale dovrà essere eseguito per almeno un anno o comunque per il tempo stabilito in accordo con la D.L., se non diversamente specificato l'appaltatore dovrà prevedere di eseguire almeno due campagne di rilievo in un'ottica bi-stagionale (ad es. inverno-primavera o estate-autunno) della durata minima di 30 giorni ciascuna. Le informazioni inerenti il rilevamento microclimatico potranno, eventualmente, essere integrate con dati e medie di periodi più ampi, forniti da enti e istituzioni preposte quali ASL, uffici provinciali e regionali, uffici meteorologici, università ecc. L'esame di dati pregressi consentirà all'appaltatore di individuare le serie storiche, informatizzando i dati potrà, inoltre, ricavare gli andamenti caratteristici così da individuare i periodi dell'anno favorevoli per l'impostazione delle campagne di rilevamento.

Tramite la lettura e la conseguente interpretazione dei dati termoigronometrici sarà possibile acquistare informazioni sull'evoluzione dell'umidità e delle temperature così da valutarne l'eventuale tendenza alla formazione di condensa, quadri fessurativi causati da spostamenti "stimolati" dal calore, alterazioni causate dalle differenti intensità degli attacchi ambientali ecc. I parametri legati a questo specifico monitoraggio che dovranno, necessariamente, essere acquisiti dall'appaltatore sono:

- -temperatura dell'aria interna ed esterna
- -umidità relativa interna ed esterna;

- temperature delle pareti;
- qualità, frequenza ed intensità delle precipitazioni meteoriche;
- velocità e direzioni venti dominanti;
- illuminazione naturale;
- irraggiamento solare;
- presenza di agenti inquinanti (anidride carbonica, anidride solforosa e solfatica, ossido di azoto, ozono ed ossidanti, acido cloridrico, acido fluoridrico ecc.);
- emissioni provenienti da impianti industriali e dalla produzione di energia;
- vibrazioni dovute a presenza di traffico veicolare.

Il sistema di monitoraggio ambientale potrà essere realizzato in riferimento alle disposizioni di progetto, con due differenti metodologie e strumentazioni:

a) *stazioni rilevatrici computerizzate* possono gestire una grande quantità di dati consentendo un rilevamento diretto in relazione degli obiettivi dell'analisi. Mediante l'uso di idonei software sarà possibile gestire simultaneamente diversi sensori e ricavare i dati secondo condizioni specifiche (ad es., ogni mezz'ora o attivando la registrazione ogni qualvolta si presentino determinate condizioni prestabilite);

b) *data loggers* ovvero sistemi autonomi miniaturizzati autoalimentati per la memorizzazione (di norma più di 10.000 dati per ogni paramero) ed il controllo dei parametri ambientali che causano i maggiori danni al patrimonio storico-artistico; i più semplici rileveranno soltanto la temperatura ed umidità relativa quelli leggermente più complessi anche i raggi ultravioletti e le radiazioni visibili. Gli ultravioletti saranno misurati come proporzione degli U.V. presenti (mW/lumen) o come totale (mW/m²), la misura della radiazione visibile come Lux o candele. La temperatura potrà, invece, essere misurata in scala °C o °F e l'umidità come UR% o come punto di rugiada. Offrono la possibilità di impostare la durata del test, l'intervallo della lettura, anche con avvio ritardato, il salvataggio dei dati su disco così da poterli esportare e lavorare su fogli elettronici ovvero rendere i dati in forma tabellare o in grafico di altra forma. Queste apparecchiature offriranno, inoltre, la possibilità di scaricare i dati parziali senza fermare la registrazione. Se non diversamente specificato le rate di acquisizione potranno essere 10 sec (30h)/1 min (7gg) – 10 min (75gg)/60min (454 gg).

c) di ridotte dimensioni in grado di amministrare uno o due sensori capaci di registrare i valori ciclicamente.

Specifiche

Questo tipo di indagine si potrà rilevare molto utile anche in fase preventiva ad una campagna di scavo archeologico come controllo ottimale per tutti quei fenomeni di deterioramento che la vestigia potrà subire durante e dopo il ritrovamento. Pertanto se non diversamente specificato dovrà essere fatto obbligo di provvedere al monitoraggio ambientale prima durante e dopo la campagna di scavo.

A scadenze pre-programmate, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati). Nell'eseguire il suddetto studio-monitoraggio dei parametri ambientali l'appaltatore dovrà attenersi alle raccomandazioni NorMaL vigenti.

8.5 Indagini meccaniche in situ al fine di determinare le caratteristiche tensionali dei materiali e delle strutture

La conoscenza delle condizioni d'equilibrio e della resistenza ai carichi, nonché la stima delle peculiarità meccaniche e tensionali di una muratura si rileverà operazione fondamentale per procedere alla redazione di un progetto di restauro. Senza queste informazioni non sarà, infatti, possibile stabilire il grado di sicurezza e le potenzialità in caso di nuove condizioni d'utilizzo, stimare gli eventuali sovraccarichi spinti nelle murature, programmare appropriate procedure esecutive di consolidamento.

ANALISI MINIMAMENTE DISTRUTTIVE

8.5.1 CAROTAGGIO

Operazione manuale o meccanica che prevede l'esecuzione di prelievi di "carote" (campioni anche di piccolo diametro circa 28 mm) di materiale da strutture in pietra, legno, calcestruzzo e terreni da sottoporre a successive analisi di laboratorio (al fine di determinare la resistenza a compressione, a flessione, a trazione e a taglio). Questa operazione potrà, inoltre, essere anticipatrice di indagini con endoscopi. L'estrazione del campione cilindrico dovrà essere eseguita obbligatoriamente mediante carotatrici a sola rotazione di diametro indicato dalla D.L. (in ogni caso non superiore ai 100-150 mm) così come sarà indicato dalla D.L. l'eventuale uso o l'assenza di acqua, così da non provocare eventuali danni alle strutture. Sarà cura dell'appaltatore compilare per ogni carota un'appropriata scheda pre-impostata dove dovranno essere riportati i dati del carotaggio (data, durata, verso, diametro, inclinazione di perforazione, lunghezza totale spessore murario) e l'immagine fotografica della carota distinta nella lunghezza per materiali e relativi leganti, per tipi di muratura nei rispettivi rapporti dimensionali.

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto

8.5.2 INDAGINI CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO O DOPPIO (FLAT-JACK TEST)

Le indagini esecutive con i martinetti piatti sono indirizzate alla definizione dello stato di sollecitazione di una porzione di muratura (prova con un solo martinetto) ed alla determinazione di parametri meccanici della stessa (prova con doppio martinetto) ovvero determinazione delle caratteristiche di deformabilità (modulo elastico), di resistenza a compressione e di resistenza al taglio lungo i corsi di malta. Questa prova si porrà, pertanto, come alternativa alle prove di laboratorio condotte su campioni prelevati in situ.

Dal momento che l'indagine avrà carattere puntuale e, di conseguenza, i dati avranno valore in specifiche porzioni di muratura, per ottenere valori rappresentativi di un'intera parete si rileverà utile scegliere un campione d'indagine dove si presumerà che esista uno stato tensionale medio. Da quanto detto è facilmente intuibile che i risultati ottenuti in zone caratterizzate da anomalie dimensionali o di carico (quali ad esempio aperture, appoggi di travi, variazioni di spessori) si rileveranno poco indicativi; una soluzione a questo problema potrà essere quella di eseguire, dove sarà possibile, una misurazione su entrambi i lati della muratura in modo da individuare la tensione media.

Il numero e la localizzazione del campione da indagare dovranno obbligatoriamente essere accuratamente stabiliti dalla D.L.

Apparecchiatura

La strumentazione consisterà in un martinetto piatto che potrà essere schematizzato in una doppia "membrana" di metallo (o altro materiale flessibile) molto sottile saldato lungo i bordi collegato attraverso un tubo ad una pompa idraulica tra questa ed il martinetto sarà montato un manometro ad alta precisione per il controllo della pressione; il martinetto sarà alimentato da un circuito oliodinamico. Le dimensioni e il tipo dei martinetti saranno diversificate e stabilite dalla D.L. in relazione all'elemento strutturale oggetto di studio (apparecchiature di piccole dimensioni saranno utilizzate per strutture puntuali quali colonne, pilastri, archi, volte ecc., dimensioni maggiori saranno, invece, utilizzate per sezioni di muratura continua) nonché al tipo di muratura esistente, saranno, in ogni caso, comprese tra dimensioni pari a 12 x 12 cm, 24 x 12 cm, 40 x 20-25 cm, con uno spessore variabile da 0,8 a 1 cm. Per le strutture murarie sarà, inoltre, necessario che le dimensioni siano stabilite in modo da impegnare la maggior parte dello spessore della muratura o quantomeno uno spessore minimo di 15 cm (ottimale sarà impegnare almeno due teste di mattoni).

Applicazione

Misura dello stato tensionale

La prova realizzata dall'appaltatore prevedrà l'applicazione, lungo la linea selezionata, di un numero n di coppie di riscontro (ad es., pastiche metalliche) sui quali verrà applicato un deformometro lineare o altro dispositivo di misurazione scelto comunque dalla D.L. al fine di rilevare le letture delle distanze d_0 tra i singoli punti precedentemente al taglio.

In seguito si eseguirà il taglio (mediante seghe tagliamuro o mediante carotiere, praticando più fori ravvicinati ed eseguendo una successiva finitura a mano secondo le prescrizioni della D.L.) ovvero i tagli in relazione al tipo di prova. I tagli che, se non diversamente specificato, dovranno avvenire in corrispondenza dei giunti di malta, potranno interessare l'intera sezione della muratura o solo una porzione di essa a seconda dei sistemi messi in opera. Dopo il taglio sarà cura dell'appaltatore eseguire una nuova lettura della base a cavallo del taglio rilevando un valore d minore del d_0 precedente dato che la fessura provocherà, localmente, un rilascio delle tensioni con il conseguente avvicinamento dei bordi.

Dopo tale misurazione l'appaltatore dovrà inserire, nella fessura, un martinetto piatto che, verrà gradualmente messo in pressione (scalini di 1 Kg/cm²) con il conseguente rilevamento delle letture mediante deformometro. La prova prevedrà cicli di carico e scarico a livelli crescenti (di norma saranno eseguiti, se non diversamente specificato dalla D.L., almeno due cicli di carico e scarico, misurando le deformazioni sotto carico costante) fino a riportare la struttura nelle condizioni di partenza annullando la convergenza delle basi di misura. Dalla lettura (sul manometro) della pressione, correlata da opportune formule, sarà possibile ottenere il valore della sollecitazione locale della muratura (tensione di esercizio) a meno di una costante dovuta alla taratura dello strumento e di una costante che terrà conto del rapporto tra superficie del martinetto e quella del taglio.

8 d_s (tensione di esercizio della muratura) = P (pressione fornita al martinetto per ripristinare le condizioni di partenza) x K_m (coefficiente di taratura del martinetto) x A_m (area del martinetto)/ A_t (area della superficie del taglio). Al fine di migliorare il rapporto A_m/A_t avvicinandolo ad 1 sarà consigliabile produrre un taglio nella muratura molto simile alla forma del martinetto da inserire.

A fine prova dovrà essere cura dell'appaltatore provvedere alla risarcitura della fessura con idonea malta.

Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e resistenza (stima del modulo elastico)

La prova prevedrà la messa in opera (seguendo le indicazioni prescritte per la misura dello stato tensionale) di due martinetti piatti, posti parallelamente, così da delimitare un campione di muratura di altezza 50 cm (se non diversamente specificato) e di base pari alle dimensioni dei martinetti. Sarà cura dell'appaltatore posizionare i due martinetti in modo tale che questi possano applicare al campione di muratura, una volta immessa la pressione, uno stato di sollecitazione monoassiale. Gli strumenti di misurazione (deformometri od estensimetri elettrici) pre installati sul campione dovranno permettere di rilevare la misurazione delle deformazioni sia in senso verticale sia in senso orizzontale del campione preso in esame. Il modulo elastico E verrà valutato, per ogni intervallo di sforzo D_s con la formula $E = D_s/D_e$ dove D_e sarà la deformazione (corrispondente a D_s) misurata in corrispondenza della base centrale di misura.

Determinazione delle caratteristiche di resistenza a compressione

La prova con i doppi martinetti potrà essere messa in opera anche per l'individuazione delle caratteristiche di resistenza alla compressione. In tal caso le pressioni applicate ai martinetti saranno incrementate fino allo stato prossimo alle condizioni di rottura, sarà, pertanto, necessario che l'appaltatore tenga sotto stretto controllo la muratura in quanto la prova potrebbe determinare localizzati stati fessurativi circoscritti al campione analizzato. Le tensioni di rottura della muratura saranno calcolate con la seguente formula: d_r (tensione di rottura della muratura) = P (pressione fornita ai martinetti al collasso della muratura) x SKm (somma dei coefficienti di taratura dei due martinetti) x A_m (area del martinetto)/ S_{At} (somma delle aree di taglio).

Determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo i corsi di malta

Dopo aver inserito (come precedentemente descritto) la coppia di martinetti parallelamente sulla muratura sarà cura dell'appaltatore estrarre un mattone, un concio lapideo o altro elemento componente la muratura, immettendo al suo posto un martinetto idraulico, di adeguate dimensioni, al fine di applicare una sollecitazione di taglio all'elemento adiacente. Mediante una serie di trasduttori elettrici sarà possibile individuare gli spostamenti relativi all'elemento sottoposto alla prova rispetto a quelli limitrofi e le deformazioni in direzione normale ai corsi di malta. A prova terminata sarà cura dell'appaltatore riposizionare il mattone.

Specifiche

Tali prove troveranno soddisfacenti applicazioni in murature regolari ben apparecchiate (ad es. cortine in laterizio o apparecchi in pietra concia), mentre, nel caso di murature costituite da elementi eterogenei (quali ad esempio murature miste o a sacco) e in murature connesse irregolarmente l'analisi non troverà valida applicazione in quanto non esistendo una regolare distribuzione degli elementi la lettura risulterà più arbitraria e meno rappresentativa dell'insieme; comunque sarà consigliabile utilizzare martinetti di grande dimensione e, in ogni caso, maggiori delle dimensioni medie degli elementi utilizzati per la realizzazione della muratura. La suddetta prova, se non diversamente prescritto dagli elaborati di progetto, non dovrà essere eseguita su murature affrescate, decorate o, in ogni modo, alla presenza d'intonaco "di pregio", in quanto la realizzazione dell'alloggiamento del martinetto, inevitabilmente, implicherebbe la perdita di una porzione dello strato di finitura.

La prova con i martinetti piatti sarà particolarmente interessante se effettuata pre e post intervento di consolidamento così da registrare l'effettiva resistenza raggiunta dalla muratura.

Qualsiasi sia la natura dello strumento l'appaltatore dovrà rispettare le istruzioni d'uso fornite dal produttore. Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.5.3 PROVE SCLEROMETRICHE

Indagine qualitativa, indiretta atta a definire la resistenza a rottura per compressione di materiale lapideo, intonaco o calcestruzzo. L'indagine prevedrà di percuotere con una massa ed una forza note, la superficie oggetto di studio e di misurarne l'indice di rimbalzo. Più il materiale sarà compatto e rigido maggiore risulterà il rimbalzo della massa battente (sclerometro). Se non diversamente specificato per l'esecuzione della prova dovranno essere eseguite da 5 a 10 battute, da cui verrà, in seguito, ricavato un valore medio.

Le battute, qualora dovessero interessare apparecchi intonacati, dovranno essere eseguite, previa rimozione dello stesso nelle zone sottoposte a verifica.

Al termine dell'indagine, sarà cura dell'appaltatore restituire le informazioni ottenute nella forma prescritta dagli elaborati di progetto (dovrà obbligatoriamente, in ogni caso, essere presente la relazione di interpretazione dati).

8.5.4 PROVE DI LABORATORIO PER ACETTAZIONE MATERIALI E CAMPIONATURE

Ai fini del pieno rispetto di quanto richiesto al paragrafo 11.1 GENERALITA' del Capitolo 11 delle NTC 2018, tutti i materiali che saranno utilizzati nelle lavorazioni saranno sottoposti a prove di laboratorio e campionature per accettazione. Esse saranno eseguite dal Laboratorio Prove Materiali "PIETRO PISA" dell'Università degli Studi di Brescia – DICATAM – a seguito di incarico dall'Ente Appaltante che ne assume anche le corrispondenti spese accantonate nelle somme a disposizione. Risulta a carico dell'Impresa appaltatrice il prelievo, il confezionamento ed il trasporto presso il laboratorio in Brescia, Via Branzi n. 36/38.

8.5.5 COLLAUDO SPINOTTI E BARRE DI ANCORAGGIO

Il progetto di recupero strutturale prevede la fornitura e posa di spinotti e barre di ancoraggio. Si rende necessario procedere a prove di collaudo statistico degli stessi in quanto è necessario stabilire la risposta strutturale alle ipotesi progettuali. Tale collaudo viene affidato al Laboratorio Prove Materiali "PIETRO PISA" dell'Università degli Studi di Brescia – DICATAM – a seguito di incarico dall'Ente Appaltante che ne assume anche le corrispondenti spese accantonate nelle somme a disposizione.

L'Impresa appaltatrice dovrà fornire al Laboratorio l'assistenza muraria necessaria per effettuare il collaudo. L'Impresa appaltatrice non potrà procedere nelle lavorazioni successive se non avrà il benestare scritto della Direzione Lavori a procedere, a seguito delle risultanze del laboratorio.

8.5.6 TESATURA TIRANTI CON ADEGUATO MARTINETTO DA LABORATORIO

I tiranti previsti in progetto hanno lunghezze variabili in funzione dello stato dei luoghi. Alcuni di essi necessitano di assemblaggio in loco per raggiungere la lunghezza finale in esercizio. Inoltre per avere efficacia devono presentare la tensione in esercizio in condizioni gravitazionali. Per tale motivo la messa in tiro deve essere certificata da un laboratorio ufficiale che abbia le apparecchiature necessarie allo scopo. Esse saranno eseguite dal Laboratorio Prove Materiali "PIETRO PISA" dell'Università degli Studi di Brescia – DICATAM – a seguito di incarico dall'Ente Appaltante che ne assume anche le corrispondenti spese accantonate nelle somme a disposizione.

L'Impresa appaltatrice dovrà fornire al Laboratorio l'assistenza muraria necessaria per effettuare il collaudo. L'Impresa appaltatrice non potrà procedere nelle lavorazioni successive se non avrà il benestare scritto della Direzione Lavori a procedere, a seguito delle risultanze del laboratorio.

9 CAPO V Procedure operative di restauro e di consolidamento strutturale

10 PARTE I - PROCEDURE OPERATIVE DI RESTAURO

10.1 SCAVI

10.1.1 OPERAZIONI DI SCAVI E RINTERRI

10.1.1.1 Generalità

I riferimenti normativi applicabili a questa specifica categoria di lavori sono il DPR 547/55 e il DPR 164/56. Gli scavi in genere, per qualsiasi lavoro, a mano o con mezzi meccanici, dovranno essere eseguiti secondo i disegni di progetto e la relazione geologica e/o geotecnica di cui al DM 11 marzo 1988 (riguardante le norme tecniche sui terreni ed i criteri di esecuzione delle opere di sostegno e di fondazione) e la relativa Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988, n. 30483 nonché secondo le particolari prescrizioni che saranno date all'atto esecutivo dalla D.L.

Nell'esecuzione degli scavi in genere, si dovrà provvedere in modo da impedire scoscendimenti, franamenti e ribaltamento di mezzi; per far ciò si renderà necessario provvedere a delimitare mediante barriere fisse e segnalazioni la zona oggetto di intervento, così da vietare il traffico veicolare sui bordi dello scavo che potrebbe far scaturire possibili franamenti delle pareti. L'utilizzo del nastro segnaletico (giallo-nero o bianco-rosso) dovrà avere esclusivamente funzione di delimitazione e non di protezione. Al fine di evitare cadute di personale all'interno dell'area di scavo sarà, inoltre, necessario mettere in opera dei robusti parapetti (altezza minima 100 cm, muniti di tavola fermapiEDE minima di 20 cm luce, tra tavola superiore e fermapiEDE massimo 60 cm; nel caso in cui il parapetto sia ad una distanza di almeno 70-80 cm dal bordo dello scavo, la tavola fermapiEDE potrà essere omessa) disposti lungo i bordi della stessa: negli scavi di sbancamento sarà necessario, quando questo dovesse superare i 200 cm, mentre, nelle trincee, sarà appropriato predisporre la protezione appena lo scavo supererà i 50 cm di profondità.

Le materie provenienti dagli scavi, ove non siano utilizzabili o non ritenute adatte (a giudizio insindacabile della D.L.) ad altro impiego nei lavori, dovranno essere trasportate fuori dalla sede del cantiere alle pubbliche discariche, o su altre aree altrettanto idonee e disponibili. Qualora le materie provenienti dagli scavi debbano essere successivamente utilizzate, esse dovranno essere depositate in area idonea (previo assenso della D.L.) per essere, in seguito riutilizzate a tempo opportuno. In ogni caso le materie depositate non dovranno costituire un danno ai lavori, alle proprietà pubbliche o private ed al libero deflusso delle acque che scorrono in superficie. Sarà oltremodo vietato costituire depositi di materiali nelle vicinanze dei cigli degli scavi; qualora tali depositi siano necessari, per le particolari condizioni di lavoro, sarà obbligatorio provvedere alle necessarie puntellature che dovranno presentare un sovrizzo minimo oltre la quota del terreno pari a 30 cm.

10.1.1.2 Scavi di fondazione a sezione obbligata

Per scavi di fondazione, in generale, s'intendono quelli incassati ed a sezione ristretta necessari per dar luogo ai muri o pilastri di fondazione propriamente detti; in ogni caso saranno considerati come scavi di fondazione anche quelli per dar luogo alle fogne, condutture, fossi e cunette.

Qualunque sia la natura e la qualità del terreno, gli scavi per la fondazione dovranno essere spinti fino alla profondità ordinata dalla D.L. all'atto della loro esecuzione. Le profondità, che si troveranno indicate negli elaborati di progetto saranno, pertanto, di semplice stima preliminare e potranno essere liberamente variate nella misura che la D.L. reputerà più conveniente.

I piani di fondazione dovranno, generalmente, essere perfettamente orizzontali ma per quelle opere che cadranno sopra falde inclinate potranno, a richiesta della D.L., essere disposti a gradoni ed anche con determinate contropendenze. Nel caso, non così infrequente, che non sia possibile applicare la giusta inclinazione delle pareti in rapporto alla consistenza del terreno (si veda tabella all'articolo precedente), si dovrà ricorrere tempestivamente all'armatura di sostegno delle pareti o, preventivamente, al consolidamento del terreno (ad es. congelamento del medesimo, tecnica del *jet-grouting* ecc.), in modo da assicurare adeguatamente contro ogni pericolo gli operai ed impedire ogni smottamento di materia durante l'esecuzione, tanto degli scavi che delle murature. Affinché le armature corrispondano per robustezza alle effettive necessità sarà consigliabile predeterminare la spinta del terreno, tenendo conto delle eventuali ulteriori sollecitazioni dovute, sia al traffico veicolare, sia alla vicinanza di carichi di vario genere (gru, manufatti di vario genere ecc.), nonché delle eventuali infiltrazioni d'acqua (piogge, fiumi ecc.). Nel mettere in opera le armature provvisorie sarà opportuno tenere in considerazione che la massima pressione d'una parete di scavo, si trasmetterà sulla sbatacchiatura soprattutto nella zona mediana, dove questa dovrà, necessariamente, essere più robusta; inoltre, affinché sia efficace, le tavole andranno forzate contro il terreno avendo ben cura di riempire i vuoti.

Nel caso specifico di scavi di trincee (scavi a sezione obbligata e ristretta) nelle vicinanze di manufatti esistenti (ad es. per opere di drenaggio perimetrali) in prossimità di terreni precedentemente scavati e, pertanto, meno compatti od, infine, in presenza di vibrazioni causate dal traffico di autoveicoli, ovverosia in tutti quei casi dove la consistenza del terreno non fornirà sufficiente garanzia di stabilità e compattezza, anche in funzione della pendenza delle pareti, sarà sempre obbligatorio (a partire da 150 cm di profondità o 120 cm nel caso il lavoratore dovesse operare in posizione chinata) predisporre, man mano che procederà lo scavo, adeguate opere di sbatacchiamento, così da eludere rischi di franamento e pericoli di seppellimento degli addetti alla procedura. Al fine di consentire un lavoro agevole e sicuro lo scavo di trincea dovrà avere un larghezza minima in ragione alla profondità; orientativamente si potranno seguire, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, i seguenti rapporti profondità-larghezza minima.

PROFONDITÀ LARGHEZZA MINIMA NETTA

Fino a 150 cm 65 cm
Fino a 200 cm 75 cm
Fino a 300 cm 80 cm
Fino a 400 cm 90
Oltre i 400 cm 100 cm

Per scavi eseguiti sotto il livello di falda si dovrà provvedere all'estrazione della stessa; gli scavi eseguiti a profondità superiori ai 20 cm dal livello superiore e costante dell'acqua e qualora non fosse possibile creare dei canali di deflusso, saranno considerati scavi subacquei e valutati come tali.

Compiuta la muratura di fondazione, lo scavo dovrà essere diligentemente riempito e costipato, (fermo restando l'autorizzazione della D.L.) con le stesse materie scavate, sino al piano del terreno naturale primitivo (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante i rinterri).

10.1.1.3 Scavi di accertamento e ricognizione

Tali operazioni si realizzeranno solo ed esclusivamente dietro esplicita richiesta e sorveglianza della D.L., seguendo le indicazioni e le modalità esecutive da essa espresse e/o dal personale tecnico incaricato. I detriti, i terreni vegetali di recente accumulo verranno sempre rimossi a mano con la massima attenzione previa esecuzione di modesti sondaggi al fine di determinare la quota dei piani originali sottostanti (e delle loro eventuali pavimentazioni) in modo da evitare danni e rotture ai materiali che li compongono. Se non diversamente specificato dalla D.L. le rimozioni dei materiali saranno eseguite a mano, senza l'ausilio di mezzi meccanici. In ogni caso l'uso di mezzi meccanici sarà subordinato alla presenza di eventuali reperti *in situ* e, quindi, all'indagine preventiva. Qualora le materie provenienti dagli scavi dovessero essere utilizzate in tempi differiti (ad es. per riempimenti) saranno depositate nell'ambito del cantiere, in luogo dove non provochino intralcio o danni.

10.1.1.4 Scavi archeologici

I lavori di scavo archeologico dovranno essere eseguiti conformemente alle norme scientifiche tenendo conto anche delle vigenti raccomandazioni dell'UNESCO. Con l'operazione di scavo (operazione irripetibile, irreversibile e solo molto limitatamente prevedibile) si rimuoverà il riempimento ammassatosi per strati sopra le vestigia antiche, togliendo questi strati nell'ordine inverso a quello in cui si sono sedimentati. Da qui la "necessità" di scavare con la massima consapevolezza, obiettività e rigore possibile, dato che ciò che sarà distrutto potrà essere "ricostruito" solo per mezzo della documentazione che sarà lasciata.

Lo scavo dovrà essere eseguito solo dopo aver accuratamente delimitato tutta l'area di cantiere, avere ottenuto tutte le autorizzazioni da parte dei competenti organi di tutela dei beni oggetto di scavo (Soprintendenza Archeologica) e solo dietro sorveglianza e guida del personale preposto ovvero del Direttore di Scavo. Dopo aver eventualmente ripulito dalla vegetazione e da eventuali riempimenti superficiali di cui si sia verificata la non utilità ai fini scientifici, anche nel caso in cui emergano dal suolo strutture murarie ben precise, potrà essere opportuno (tranne nei casi di trincee ovvero saggi di limitata estensione o ancora di scavi entro ambienti chiusi di modeste dimensioni quali cripte, tombe a camera ecc.) utilizzare una delimitazione artificiale dell'area da scavare mediante un reticolo di maglie quadrate (quadratura del terreno) di dimensioni variabili a seconda dei casi. Nel caso in cui il sito lo permetta e se non diversamente specificato dalla D.L. o dal funzionario addetto alla tutela del bene, sarà preferibile eseguire uno scavo estensivo a scacchiera dei quadrati, piuttosto che piccoli interventi parziali, con i quali si potrà rischiare di perdere parte delle informazioni.

Gli scavi dovranno essere eseguiti, se non diversamente specificato dalla D.L. e/o dagli organi di tutela, rigorosamente a mano, con la massima cura ed attenzione, da personale specializzato (presente negli appositi elenchi degli addetti di opere specialistiche) ed opportunamente attrezzato.

Le tecniche di scavo si dovranno differenziare in base al tipo di terreno, al tipo di ambiente circostante, alla tipologia e alla posizione delle strutture emergenti ovvero sepolte, alla variabilità delle sezioni di scavo, alle caratteristiche dei manufatti e dei reperti così che non si verifichino inconvenienti ovvero danneggiamenti alle vestigia archeologiche o agli operatori allo scavo. Dietro specifica indicazione della D.L. si potranno eseguire operazioni con differente grado di accuratezza nella vagliatura delle terre e nella cernita e selezione dei materiali, nella pulitura, allocazione e cartellinatura di quanto trovato in appositi contenitori e/o cassette. A seconda della dimensione e consistenza dello strato asportato il taglio della parete dovrà essere eseguito con il piccone o con la *trowel*; se conci lapidei, tegole, o altri materiali ovvero reperti (frammenti di ceramica, di vasellame metallico, utensili di vetro, ma anche ossa, resti vegetali ecc.) dovessero fuoriuscire dalla parete, dovranno obbligatoriamente essere lasciati al loro posto "tagliando" il terreno attorno ad essi al fine di evitare crolli. Le eventuali pareti in argilla non andranno levigate per poterne leggere la struttura, ma lavorate con la punta della *trowel*.

All'interno dell'area di pertinenza dello scavo dovrà, necessariamente, essere previsto un deposito (facilmente raggiungibile con le carriere) per la terra di risulta raccolta dallo scavo archeologico.

D. Avvertenze da seguire in ogni scavo

A prescindere dalle problematiche riscontrate in qualsivoglia scavo archeologico, le linee guida che dovranno, in ogni caso, essere seguite al fine di evitare la dispersione di elementi utili o l'insufficienza della documentazione saranno:

- identificazione dei singoli elementi della stratigrafia del terreno (unità stratigrafiche US), con conseguente asportazione di ogni singolo strato, in senso cronologico inverso ovvero rimuovendo per primi i livelli che si sono depositati per ultimi, identificando ogni elemento estraneo, come buche, fossati, terrapieni ecc. i quali andranno scavati a parte;
- relazione cronologica tra le varie US e con le strutture edilizie (la muratura potrà essere considerata una particolare US, di norma limitata soltanto da un contorno ben definito e da una superficie - interfaccia - esterna);
- scrupoloso prelievo di tutti gli eventuali reperti contenuti nello strato e di campioni per le analisi (utilizzando operazioni quali la setacciatura della terra e la flottazione) utili per la ricostruzione della storia; operazione da eseguire con l'accortezza

di non mescolarli con quelli degli altri strati. I singoli elementi (strati, reperti, strutture ecc.) dovranno essere registrati su apposite schede via via che verranno messi in luce; contemporaneamente, sarà necessario annotare sul giornale di scavo le osservazioni generali, l'insieme delle operazioni seguite, eventuali ipotesi da verificare ecc.;

- accurata documentazione grafica (aggiornamenti giornalieri dello scavo) e fotografica del lavoro compiuto ovvero la documentazione di ogni singolo piano e di tutte le strutture murarie emergenti, così da garantire alla comunità la conoscenza e la verifica dei risultati.

Specifiche

Nel compiere lo scavo di strutture murarie (sia nel caso di scavo archeologico programmato sia di rinvenimenti occasionali) dovrà essere cura dell'appaltatore porre particolare attenzione ai rischi di danneggiamento delle strutture rinvenute; tra le classi di dissesto più ricorrenti nel verificarsi ci sono:

- perdita di verticalità delle strutture murarie dovute alle differenze di materiale e di legante, all'apparecchio, al rovesciamento di cresta, allo slittamento al piede, alla spinta mediana, al cedimento di base;
- perdita di orizzontalità delle strutture murarie dovute a smembramento di muri con elementi di apparecchio di piccola taglia, cedimento di elementi di grande taglia;
- spostamento degli elementi lapidei per calpestio o lavorazione;
- erosione della terra;
- differenza di materiali lapidei;
- perdita di allineamento o giacitura delle strutture murarie;
- differenze di comportamento dei muri, sollecitazioni esterne;
- presenza di acque.

10.1.1.5 Armature degli scavi (sbatacchiature)

Il principio delle sbatacchiature consiste nel controbilanciare le spinte del terreno attraverso elementi di vario materiale (di norma legno o metallo) che, sollecitati a compressione, cercano di riportare la spinta a valori accettabili. Gli elementi che formeranno il presidio, se messi in opera in posizione orizzontale o inclinata, non lavoreranno esclusivamente a compressione semplice ma anche a flessione e pressoflessione, indotta anche dal peso proprio.

La sbatacchiatura dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- essere resistente al fine di assicurare l'incolumità dei lavoratori nelle strutture;
- essere economica, evitando sprechi di materiale;
- essere il più possibile maneggevole nell'utilizzo delle singole parti messe in opera;
- non restringere lo spazio utile permettendo l'esecuzione dei lavori;
- non essere causa di degrado ovvero dissesto delle superfici protette (soprattutto quando si tratta di fronti di scavo archeologico);
- permettere il progressivo sfoderamento delle superfici protette, evitando l'eventuale ricaduta di terreno nello scavo;
- i cunei ed i puntelli dovranno essere fermati con idonee legature, all'occorrenza, revisionabili;
- le eventuali armature lasciate in opera per molto tempo dovranno essere vigilate e verificate.

Le tipologie di armature saranno scelte in funzione della consistenza del terreno, della profondità da raggiungere, dei carichi gravanti e della metodologia di scavo. In ogni caso tutti gli elementi che comporranno il presidio (tavole, traversi, puntelli ecc.) dovranno essere di materiale robusto opportunamente dimensionato e selezionato, inoltre l'armatura dovrà sporgere dai bordi dello scavo per almeno 30 cm. Nel caso di scavi di trincee si potranno distinguere quattro sistemi:

- a) panconi verticali;
- b) panconi orizzontali;
- c) marciavanti;
- d) paratie a palandole.

Le *sbatacchiature verticali* eseguite con tavole lignee (spessore minimo 30-40 mm meglio 40-60 mm per 200-300 cm di lunghezza) o metalliche saranno, di norma, limitate a scavi di profondità pari alla lunghezza delle tavole (generalmente non superiori ai 4 m); le tavole saranno forzate contro le pareti con l'ausilio di puntelli d'acciaio regolabili o fissi (luce massima tra puntello e piano di fondazione 100 cm) e si dovrà avere cura di colmare i vuoti tra la sbatacchiatura e la parte di scavo con idoneo materiale. La protezione con sbatacchiature verticali sarà, di norma, impiegata negli scavi a sezione stretta e profonda; qualora il terreno non dovesse presentare una buona consistenza, i panconi andranno posizionati aderenti gli uni agli altri. Il sistema a tavole verticali presenta lo svantaggio di dover, eventualmente, tagliare le tavole a misura e quindi presenta più spreco di materiale però, al contempo, permette di riutilizzare gli elementi con maggior facilità.

Le *sbatacchiature orizzontali* saranno costituite semplicemente da tavole fermate da un puntello ligneo (con □ tra i 10 e i 15 cm) o metallico (tubo innocente o similare), posto a forza e serrato con cuneo. Se non diversamente specificato la distanza tra i puntelli sarà di 100-200 cm. L'utilizzo di armatura con tavole orizzontali sarà possibile in presenza di terreni che garantiranno una buona consistenza in modo da poter eseguire la procedura di scavo per cantieri di circa 60-80 cm di profondità. Questo sistema si rileverà più economico agli effetti dell'utilizzo di legname ma presenterà più difficoltà nel suo recupero.

La *sbatacchiatura a marciavanti* sarà possibile per terreni poco consistenti o spingenti od in caso di scavi profondi; i "marciavanti" dovranno essere tavole di notevole spessore con estremità appuntita o altrimenti dotata di punta ferrata; in caso di terreno completamente sciolto sarà consigliabile armare anche il fronte di scavo, così da eludere rifluimenti di materiale.

In alternativa a questi sistemi, o più semplicemente in presenza di terreno acquifero, dove i sistemi sopra indicati si

dimosteranno insufficienti, ovvero dove occorrerà realizzare una struttura a tenuta all'acqua ed anche a sostegno di scavi, si potrà ricorrere all'uso di paratie metalliche o prefabbricate in calcestruzzo.

Le *paratie a palancole metalliche* infisse, di sezione varia, dovranno rispondere ai seguenti requisiti fondamentali: adeguata resistenza agli sforzi di flessione, facilità di infissione, impermeabilità delle giunzioni, facilità di estrazione e rimpiogo (ove previsto), elevata protezione contro le corrosioni. L'infissione delle palancole sarà effettuata con i sistemi normalmente in uso; il maglio dovrà essere di peso complessivo non minore del peso delle palancole comprensivo della relativa cuffia. Durante l'infissione dovranno essere adottate speciali cautele affinché gli incastri liberi non si deformino e rimangano puliti da materiali, così da garantire la guida alla successiva palancola, a tale scopo occorrerà riempire, prima dell'infissione, gli incastri di grasso. Durante l'infissione si dovrà procedere in modo che le palancole rimangano perfettamente verticali non dovranno essere ammessi deviazioni, disallineamenti o fuoriuscite dalle guide.

Per ottenere un più facile affondamento, specialmente in terreni ghiaiosi e sabbiosi, l'infissione, oltre che con la battitura, potrà essere realizzata con il sussidio dell'acqua in pressione fatta arrivare, mediante un tubo metallico, sotto la punta della palancola. Nel caso in cui, durante l'infissione, si dovessero verificare fuoriuscite dalle guide, disallineamenti o deviazioni che, a giudizio della D.L., non fossero tollerabili, la palancola dovrà essere rimossa e reinfissa ovvero sostituita, se danneggiata.

Le *paratie a palancole prefabbricate* utilizzate, se non diversamente specificato, saranno in calcestruzzo armato centrifugato a sezione cava. Il conglomerato cementizio impiegato dovrà avere una resistenza caratteristica a 28 giorni non inferiore a 40 N/mm² e dovrà, altresì, essere esente da porosità o altri difetti; inoltre il cemento impiegato sarà ferrico pozzolanico, pozzolanico o d'altoforno. Per infissione con battitura in terreni tenaci, se richiesto negli elaborati di progetto ovvero prescritto dalla D.L., la palancola potrà essere munita di puntazza metallica. Particolare cura dovrà essere posta nell'esecuzione dei giunti, da sigillare con getto di malta cementizia.

Quale che sia il sistema di sbatacchiatura messo in opera questo dovrà, obbligatoriamente, essere rimosso progressivamente e per modeste altezze in funzione dell'avanzare delle opere definitive.

E. Specifiche

Per ulteriori dettagli su puntelli ed armature provvisionali si rimanda a quanto enunciato all'articolo inerente le opere di presidio.

10.1.1.6 Rilevati e rinterri

Per la formazione dei rilevati e per qualunque opera di rinterro, ovvero per riempire i vuoti tra le pareti delle concavità e le murature, o da addossare alle murature e fino alle quote prescritte dalla D.L., saranno impiegate, in generale e, salvo quanto segue, fino al loro totale esaurimento, tutte le materie provenienti dagli scavi di qualsiasi genere eseguiti sul lavoro, in quanto disponibili ed adatte, a giudizio della D. L., per la formazione dei rilevati.

Quando verranno a mancare in tutto o in parte i materiali sopra descritti, si dovrà provvedere a prelevarli ovunque si crederà opportuno, purché siano riconosciuti idonei da controlli eseguiti dalla D.L.

Per rilevati e rinterri da addossarsi alle murature, si dovranno sempre impiegare materie sciolte o ghiaiose, vagliate con setacci medio-piccoli (prive di residui vegetali e sostanze organiche); resterà vietato in modo assoluto l'impiego di materie argillose e, in generale, di tutte quelle che, con l'assorbimento d'acqua, si rammolliscono o si gonfiano generando spinte. I materiali (nello spessore di circa 30 cm) dovranno presentare, a compattazione avvenuta, una densità pari al 90% della densità massima di compattazione individuata dalle prove eseguite in laboratorio. Nella formazione di suddetti riempimenti dovrà essere usata ogni attenzione affinché la loro esecuzione proceda per strati orizzontali d'uguale altezza, disponendo contemporaneamente le materie ben sminuzzate con la maggior regolarità e precauzione, in modo da caricare uniformemente le murature su tutti i lati e da evitare le sfiancature che potrebbero derivare da un carico male distribuito. Ogni strato dovrà essere messo in opera solo dopo l'approvazione dello stato di compattazione dello strato precedente; lo spessore di ogni singolo strato dovrà essere stabilito in base a precise indicazioni progettuali o fornite dalla D.L. (in ogni caso non superiore ai 30 cm). Nel caso di compattazioni eseguite su aree o porzioni di terreno confinanti con murature, apparecchi murari o manufatti in genere, si dovranno utilizzare, entro una distanza pari a 2 m da questi elementi, idonee piastre vibranti o rulli azionati a mano (in questo caso si dovrà prevedere una sovrapposizione delle fasce di compattazione di almeno il 10% della larghezza del rullo stesso al fine di garantire una perfetta uniformità) con le accortezze necessarie a non degradare i manufatti già in opera. Si potrà, dietro richiesta specifica della D.L., mescolare al materiale da compattare del cemento (in ragione di 25-50 kg per metro cubo di materiale) al fine di ottenere degli adeguati livelli di stabilizzazione delle aree a ridosso dei manufatti.

Le materie trasportate in rilevato o rinterro con vagoni, automezzi o carretti non potranno essere scaricate direttamente contro le murature, ma dovranno depositarsi in vicinanza del manufatto (in area idonea prescelta dalla D.L.) per essere riprese, poi, e trasportate con carriole, barelle od altro mezzo, purché a mano, al momento della formazione dei suddetti rinterri. Sarà, inoltre, vietato addossare terrapieni a murature di fresca costruzione.

I rilevati si dovranno presentare, obbligatoriamente, con scarpate regolari e spianate, con i cigli bene allineati e profilati. La superficie del terreno sulla quale dovranno elevarsi i terrapieni dovrà essere preventivamente scorticata (ovverossia taglio d'eventuali piante, estirpazione delle radici, degli arbusti e completa asportazione del terreno vegetale circostante), ove occorra e, se inclinata, dovrà essere tagliata a gradoni con leggera pendenza verso monte.

10.2 ASPORTAZIONI

10.2.1 OPERAZIONI DI ASPORTAZIONE, DEMOLIZIONE E SMONTAGGIO

1. Generalità

Le operazioni di demolizioni e smontaggi dovranno essere conformi a quanto prescritto nel DPR 7 gennaio 1956, n. 164 (in modo particolare negli articoli 10, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76). Le demolizioni e/o le asportazioni totali o parziali di murature, intonaci, solai ecc., nonché l'operazione di soppressione di stati pericolosi in fase critica di crollo, anche in presenza di manufatti di pregevole valore storico-architettonico, dovranno essere eseguite con ordine e con le necessarie precauzioni, al fine sia di non provocare eventuali danneggiamenti alle residue strutture, sia di prevenire qualsiasi infortunio agli addetti al lavoro; dovranno, inoltre, essere evitati incomodi, disturbi o danni collaterali. Particolare attenzione dovrà essere fatta allo scopo di evitare la formazione d'eventuali zone d'instabilità strutturale.

Sarà vietato demolire murature superiori ai 5 m d'altezza senza l'uso d'idonei ponti di servizio indipendenti dalla struttura oggetto d'intervento. Per demolizioni da 2 m a 5 m d'altezza sarà obbligo, per gli operatori, indossare idonee cinture di sicurezza complete di bretelle e funi di trattenuta.

Sarà assolutamente interdetto: gettare dall'alto i materiali, i quali dovranno essere, necessariamente, trasportati o meglio guidati a terra, attraverso idonei sistemi di canalizzazione (ad es. tubi modulari telescopici) la cui estremità inferiore non dovrà risultare ad altezza maggiore di 2 m dal livello del piano di raccolta; l'imboccatura superiore del canale, dovrà, inoltre, essere protetta al fine di evitare cadute accidentali di persone o cose. Ogni elemento del canale dovrà imboccare quello successivo e, gli eventuali raccordi, dovranno essere opportunamente rinforzati. Il materiale di demolizione costituito da elementi pesanti od ingombranti (ad es. la carpenteria lignea), dovrà essere calato a terra con idonei mezzi (gru, montacarichi ecc.). Al fine di ridurre il sollevamento della polvere prodotta durante i lavori sarà consigliabile bagnare, sia le murature, sia i materiali di risulta.

Prima dell'inizio della procedura dovrà, obbligatoriamente, essere effettuata la verifica dello stato di conservazione e di stabilità delle strutture oggetto di intervento e dell'eventuale influenza statica su strutture corrispondenti, nonché il controllo preventivo della reale disattivazione delle condutture elettriche, del gas e dell'acqua onde evitare danni causati da esplosioni o folgorazioni. Si dovrà, inoltre, provvedere alle necessarie opere di puntellamento ed alla messa in sicurezza temporanea (mediante idonee opere provvisorie) delle parti di manufatto ancora integro o pericolanti per le quali non saranno previste opere di rimozione. Sarà, inoltre, necessario delimitare ed impedire l'accesso alla zona sottostante la demolizione (mediante tavolato ligneo o d'altro idoneo materiale) ed allestire, in corrispondenza dei luoghi di transito o stazionamento, le doverose protezioni e barriere parasassi (mantovane) disposte a protezione contro la caduta di materiali minuti dall'alto. L'accesso allo sbocco dei canali di scarico del materiale di demolizione per le operazioni di carico e trasporto dovrà essere consentito soltanto dopo che sarà sospeso lo scarico dall'alto. Preliminarmente all'asportazione ovvero smontaggio di elementi da ricollocare *in situ* sarà indicato il loro preventivo rilevamento, classificazione e posizionamento di segnali atti a facilitare la fedele ricollocazione dei manufatti.

Questo tipo di procedura dovrà essere strettamente limitata e circoscritta alle zone ed alle dimensioni prescritte negli elaborati di progetto. Nel caso in cui, anche per l'eventuale mancanza di puntellamenti o di altre precauzioni, venissero asportate altre parti od oltrepassati i confini fissati, si dovrà provvedere al ripristino delle porzioni indebitamente demolite seguendo scrupolosamente le prescrizioni enunciate negli articoli specifici.

Tutti i materiali riutilizzabili (mattoni, piastrelle, tegole, travi, travicelli ecc.) dovranno essere opportunamente calati a terra, scalcinati, puliti (utilizzando tecniche indicate dalla D.L.), ordinati e custoditi, nei luoghi di deposito che saranno segnati negli elaborati di progetto (in ogni caso dovrà essere un luogo pulito, asciutto, coperto eventualmente con teli di pvc e ben ventilato; sarà, inoltre, consigliabile non far appoggiare i materiali di recupero direttamente al contatto con il terreno interponendovi apposite pedane lignee o cavalletti metallici), usando cautele per non danneggiarli, sia nelle operazioni di pulitura, sia in quelle di trasporto e deposito. Detti materiali, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, resteranno tutti di proprietà della stazione appaltante, la quale potrà ordinare all'appaltatore di impiegarli in tutto od in parte nei lavori appaltati.

I materiali di scarto provenienti dalle demolizioni e/o rimozioni dovranno sempre essere trasportati (dall'appaltatore) fuori dal cantiere, in depositi indicati ovvero alle pubbliche discariche nel rispetto delle norme in materia di smaltimento delle macerie, di tutela dell'ambiente e di eventuale recupero e riciclaggio dei materiali stessi.

I materiali di scarto provenienti dalle demolizioni e/o rimozioni dovranno sempre essere trasportati (dall'appaltatore) fuori dal cantiere, in depositi indicati ovvero alle pubbliche discariche nel rispetto delle norme in materia di smaltimento delle macerie, di tutela dell'ambiente e di eventuale recupero e riciclaggio dei materiali stessi.

2. Indagini preliminari (accertamento sulle caratteristiche costruttive-strutturali)

Prima di iniziare qualsiasi procedura di demolizione e/o rimozione e, più in generale, qualsiasi procedura conservativa e non (specialmente su manufatti di particolare pregio storico-architettonico) sarà opportuno operare una serie di indagini diagnostiche preventive finalizzate alla sistematica e scientifica acquisizione di dati inerenti la reale natura del materiale e il relativo stato di conservazione. Sarà, pertanto, necessario redigere una sorta di pre-progetto capace di far comprendere il manufatto, interessato dall'intervento, nella sua totalità e complessità. Tali dati risulteranno utili al fine di poter ricostruire le stratigrafie murarie così da procedere in maniera corretta e attenta. Il progetto d'indagine diagnostica non dovrà, soltanto, anticipare l'intervento vero e proprio, ma ne dovrà far parte, guidando i lavori previsti, verificandone la validità, indicando, casomai, nuove soluzioni.

4. Demolizione di strutture murarie

La demolizione delle murature, di qualsiasi genere esse siano, dovrà essere preceduta da opportuni saggi per verificare la tipologia ed il reale stato di conservazione. Gli operatori addetti alla procedura dovranno lavorare su ponti di servizio indipendenti dal manufatto in demolizione: non si potrà intervenire sopra l'elemento da demolire se non per altezze di

possibile caduta inferiore ai 2 m. Nel caso di demolizioni di murature soprastanti il perimetro di solai o strutture a sbalzo sarà indispensabile attuare ogni cautela al fine di non innescare, di conseguenza alla diminuzione del grado d'incastro, eventuali cedimenti od improvvise cadute delle strutture (anche sotto carichi limitati o per solo peso proprio). Particolare attenzione dovrà essere fatta in presenza di tiranti annegati nella muratura oggetto di intervento; una loro involontaria rottura, o quantomeno lesione, potrebbe innescare fenomeni di dissesto non previsti in fase di progetto pertanto, in presenza di tali dispositivi, sarà opportuno operare con la massima cautela liberando perimetralmente la catena e proteggendola da eventuali cadute di materiali che potrebbero compromettere il suo tiraggio.

4.1. Strutture portanti e/o collaboranti

Previa esecuzione di tutte le procedure preliminari (saggi, puntellamenti, opere di contraffortatura ecc.) al fine di individuare esattamente tutti gli elementi che saranno direttamente od indirettamente sostenuti dalle strutture portanti o collaboranti oggetto d'intervento (al fine di eludere crolli improvvisi e/o accidentali), la demolizione di setti murari portanti in mattoni pieni, in pietra o misti dovrà procedere dall'alto verso il basso per successivi cantieri orizzontali di estensione limitata (così da controllare l'avanzare dei lavori e le loro eventuali conseguenze nelle zone limitrofe); di norma i blocchi non dovrebbero superare i quattro mattoni od analoga dimensione, quando si tratta di pietre od altro materiale (circa 10-15 kg), così da consentire la rimozione e la manovrabilità diretta da parte del singolo operatore. La rimozione sarà preferibilmente eseguita manualmente con l'ausilio di mazzetta e scalpello (ovvero punta o raschino) oppure, se l'apparecchio presenta elevata compattezza, con scalpello meccanico leggero; solo in casi particolari e sempre sotto prescrizione della D.L. si potrà utilizzare il piccone, mentre dovrà essere bandito l'uso di strumenti a leva.

4.2. Tramezzature

La demolizione parziale e/o totale di tramezzature seguirà le modalità descritte per la procedura riguardante le strutture portanti e collaboranti; spesso, infatti, semplici tramezzi in mattoni pieni od anche forati apparentemente destinati a portare esclusivamente se stessi, si possono rilevare dei rompitratta, ovverosia l'inflessione (con la conseguente deformazione) della struttura lignea del solaio sovrastante potrebbe, di fatto, aver trasformato il tramezzo devolvendogli, almeno in parte, un incarico strutturale, spesso impreveduto, ma, in certe circostanze, essenziale alla stabilità del manufatto. Una demolizione arbitraria di un tramezzo di questo tipo potrebbe, pertanto, portare anche al collasso delle strutture orizzontali.

5. Demolizioni di strutture a telaio in c.a.

Nel caso di demolizione parziale di strutture a telaio in c.a. dovranno essere precedentemente rimosse completamente le eventuali tramezzature e tamponature al fine di evitare la possibilità di crollo spontaneo d'elementi scarsamente collegati; inoltre una volta liberata la struttura portante dalle tamponature sarà più facilmente valutabile la scelta dei punti da cui iniziare la demolizione. Durante la demolizione (che avverrà con l'ausilio di piccoli martelli pneumatici), in special modo di travi, si renderà necessario il controllo ripetuto della direzione delle armature che, se posizionate in maniera errata rispetto alla collocazione teorica, potranno indicare le reali sezioni di minor resistenza.

6. Smontaggio di strutture orizzontali

La demolizione delle strutture orizzontali dovrà essere eseguita mediante la realizzazione di ponti di lavoro e d'opere di protezione (teli, pannelli rigidi ecc.) per evitare, sia la caduta di materiale, sia quella degli addetti ai lavori; procedendo con ordine si provvederà a rimuovere tutte le eventuali travature, cornici, profilati ecc.

La preparazione delle puntellature, necessarie per sostenere le parti che dovranno restare in opera, dovrà essere eseguita con particolare cura, così come tutti gli accorgimenti finalizzati al non deterioramento dei materiali riutilizzabili, come, ad esempio, la chiusura accurata dei fori delle vecchie imposte, non idonee per la nuova struttura; si dovrà, inoltre, porre attenzione ad effettuare lo scarico immediato dei materiali di risulta evitando qualsiasi accumulo o caduta di materiali sugli orizzontamenti sottostanti. In presenza di tiranti annegati nelle solette delle strutture orizzontali si seguiranno le disposizioni prescritte nell'articolo sulla demolizione di strutture murarie.

6.1. Solai piani

Lo smontaggio dei solai piani avverrà seguendo in senso inverso le fasi esecutive del montaggio; demoliti o smontati pertanto i pavimenti (si rimanda all'articolo specifico) si procederà a rimuovere il sottofondo e l'eventuale caldana, avanzando di seguito con lo scempiato che potrà essere costituito da mezzane, tavelloni, tavolato di legno o da voltine in mattoni (forati o pieni) od ancora pignatte o volterrane previa dislocazione di idonei tavolati in legno (spessore minimo 3-4 cm, larghezza minima 40-50 cm) od altro materiale atto al sostegno degli operatori. La carpenteria lignea (travi, travetti e travicelli) dovrà essere sfilata dagli appoggi evitando di fare leva sulle murature mediante opportune disposizioni quali: puntellamenti, sospensioni (mediante utilizzo di idonei apparecchi di sollevamento o montacarichi) od eventuale taglio a filo muro in corrispondenza dell'appoggio, lasciando le teste all'interno della muratura (successivamente si dovrà provvedere alla loro rimozione). Particolare attenzione dovrà essere fatta nel caso di smontaggio di solai precedentemente consolidati come, ad esempio, travi munite di staffe metalliche di ancoraggio alla muratura perimetrale; in questo caso la trave, essendosi trasformata in catena, contribuisce direttamente alla stabilità dei setti murari; andrà, pertanto, evitato il semplice "sfilamento" delle travi dalle loro sedi al fine di evitare eventuali degradi irreparabili o dissesti impreveduti alle murature (si vedano gli articoli specifici sugli ancoraggi dei solai alle murature e sul collegamento fra solai complanari e contigui).

Nel caso in cui gli elaborati di progetto prevedano uno smontaggio preordinato al recupero del materiale assumerà notevole importanza l'eventuale presenza di connessioni tra degli elementi costitutivi il solaio. La presenza di chiodi o viti tiraffondi richiederà, infatti, particolari cautele e l'adozione di idonei strumenti al fine di evitare ulteriori degradi alle strutture lignee. Di norma, quando si dovranno demolire solai sovrapposti, si procederà, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, dall'alto verso il basso.

6.2. Strutture voltate

Lo smontaggio delle strutture voltate si distinguerà in rapporto alla tipologia ed all'apparecchiatura della volta, alla natura del dissesto ed alle condizioni d'ambito. Previa esecuzione di "saggi di scopertura" (al fine di ricavare le informazioni necessarie) e la messa in opera d'idonei puntellamenti (ad es. strutture provvisorie di centinatura) e sbatacchiature atte non solo ad agevolare l'operazione in oggetto ma anche a garantire la stabilità dei manufatti confinanti (in modo particolare dovrà essere posta molta attenzione a controbilanciare l'assenza di spinta esercitata dalla volta da "smontare" o demolire) si procederà alla demolizione della volta: per volte in laterizio in foglio a crociera, a vela od a padiglione la procedura di smontaggio dovrà iniziare, sempre, dalla chiave e seguire un andamento a spirale, così come nel caso di volte a botte con apparecchiatura a spina di pesce dritta o spina reale; mentre per le volte a botte, a botte con teste a padiglione, o a schifo con apparecchiature con filari longitudinali o trasversali si procederà per cantieri frontali avanzando dal centro verso le imposte.

6.3. Strutture in aggetto

Lo smontaggio di parti a sbalzo (cornicioni di gronda, balconi, gradini ecc.) seguirà le procedure riguardanti i solai; occorre, tuttavia, precisare che l'eventuale demolizione di porzioni soprastanti il punto di incastro potrebbe diminuire il momento con la conseguente improvvisa caduta (per peso proprio) del manufatto a sbalzo. Per evitare tale fenomeno sarà indicato prevedere opportune opere di presidio degli elementi aggettanti, prima di procedere alla rimozione delle strutture soprastanti. Le unità originarie a sbalzo, o quelle che si dovessero trovare in questa situazione a causa di opere parziali di demolizione, dovranno essere celermente rimosse da posizioni instabili e/o pericolanti in altrettante collocazioni sicure e stabili.

6.4. Collegamenti verticali

Lo smontaggio parziale o totale delle strutture di collegamento verticale seguirà le modalità precedentemente descritte agli articoli dei solai piani o delle strutture voltate nel caso di scale in muratura costruite su strutture di sostegno a volta, fermo restando che dovrà sempre essere coperta la stabilità complessiva utilizzando, eventualmente, opere di puntellamento. Una specifica propria delle scale riguarda i gradini a sbalzo i quali, se non adeguatamente puntellati, non potranno essere utilizzati come piano di lavoro, quando sia in atto la demolizione dei muri soprastanti l'incastro (si veda la demolizione di strutture murarie). Le scale, come del resto gli altri orizzontamenti, non dovranno essere, in ogni caso, caricate con materiali di risulta.

6.5. Manti e strutture di copertura

Lo smontaggio della copertura procederà, quando sarà possibile, dall'intradosso: contrariamente gli addetti dovranno lavorare su appositi tavolati di ripartizione posti sull'orditura principale, mai su quella secondaria. Allorché l'altezza di possibili cadute sul piano sottostante superi i 2 m si dovrà, necessariamente, predisporre un sotto piano di lavoro; qualora non sia possibile mettere in opera detto sottopalco sarà obbligo munirsi d'apposite cinture di sicurezza. Lo smontaggio e la scomposizione della carpenteria principale (arcarecci, terzere, puntoni, capriate ecc.) qualunque sia il materiale legno, ferro o c.a., seguirà la procedura inversa a quella della messa in opera, ovverosia prima si smonteranno a mano le canne fumarie ed i comignoli, poi il manto di copertura (le tegole saranno asportate a sezione, simmetricamente da una parte e dall'altra, procedendo dal colmo verso le gronde avendo cura di non rompere o danneggiare i singoli pezzi), il sottofondo e lo scempiato di mezzane od il tavolato ligneo, in seguito si passerà a sfilare l'orditura minuta e/o media (travicelli, correnti, morali, palombelli, mezzanelle ecc.) e, per ultimo, quella principale che dovrà essere imbracata e calata a terra mediante idonei dispositivi (gru, paranchi, montacarichi ecc.). Particolare attenzione si dovrà avere in presenza di eventuali connessioni (chiodature, cavicchi, gattelli lignei, piastrine metalliche di ancoraggio ecc.) presenti tra le varie orditure o tra gli elementi della medesima orditura od ancora tra l'orditura principale e la muratura d'imposta. Il loro smontaggio richiederà, infatti, particolari cautele e l'adozione d'idonei strumenti al fine di evitare ulteriori degradi delle strutture lignee o delle murature (ad es. per sfilare i chiodi dalle assi di un tavolato si potrà tranciare le teste e segare i gambi o, in alternativa, esercitare una trazione sull'elemento da rimuovere, in corrispondenza della giunzione, sfruttando il principio della leva ed utilizzando a tale scopo strumenti quali tenaglie, scalpelli ecc. avendo cura di non danneggiare, né la tavola dell'assito da rimuovere, né il travicello cui sarà ancorata).

Lo smontaggio di carpenteria lignea complessa (ad es. le capriate) oppure quello inerente gli elementi di finitura intradossale dovrà essere, necessariamente, preceduto da un preciso rilievo degli elementi costitutivi e delle reciproche connessioni oltre che, naturalmente, dalla loro numerazione e catalogazione.

Nel caso di smontaggio di cornicioni di gronda a sbalzo, siano questi ancorati all'ultimo solaio o, più frequentemente, trattenuti dal peso del coperto sarà opportuno attenersi a quanto prescritto all'articolo specifico riguardante le strutture in aggetto.

7. Asportazione di intonaci

La procedura di rimozione dovrà, necessariamente, sempre essere preceduta da un'operazione di "saggiatura" preventiva eseguita mediante percussione sistematica con le nocche della mano sulla muratura al fine di individuare con precisione le zone compatte e per delimitare (ad es. con un segno tratteggiato a gesso) il perimetro di quelle in fase di distacco (zone gonfiate e formanti "sacche").

L'asportazione parziale o totale degli intonaci dovrà essere eseguita rimuovendo accuratamente dalla superficie degradata, per strati successivi, tutto lo spessore dell'intonaco fino ad arrivare al vivo della muratura senza però intaccare il supporto murario che, alla fine dell'intervento, si dovrà presentare integro senza visibili scanalature e/o rotture degli elementi componenti l'apparecchio murario. L'azione dovrà, quindi, essere sempre controllata e limitata alla rimozione dell'intonaco senza intaccare la muratura di supporto ed eventuali aree vicine da conservare. La demolizione dovrà procedere dall'alto verso il basso rimuovendo porzioni limitate e di peso modesto ed eliminando manualmente lembi d'intonaco rigonfiati di notevole spessore. La procedura sarà, preferibilmente, eseguita con mezzi manuali (mediante

mazzetta, punta e scalpello oppure martelline); allorché la durezza dello strato di intonaco o l'estensione delle superfici da rimuovere lo esigessero potranno essere utilizzati anche mezzi meccanici di modeste dimensioni (vibroincisori o piccoli martelli pneumatici) fermo restando di fare particolare attenzione, in fase esecutiva, a non intaccare il supporto murario od altre superfici non interessate alla procedura.

Durante l'operazione d'asportazione si dovrà avere cura di evitare danneggiamenti a serramenti, pensiline, parapetti e a tutti i componenti edilizi (stucchi, modanature, profili da conservare ecc.) nelle vicinanze o sottostanti la zona d'intervento. Nel caso in cui si dovesse intervenire su di un particolare decorativo da ripristinare, (ad es. finte bozze di bugnato o cornici marcapiano ecc.) sarà obbligo, prima della rimozione, eseguire un attento rilievo ed un eventuale successivo calco (in gesso o in resina) al fine di poterlo riprodurre in maniera corretta.

Il materiale di scarto, (soprattutto in presenza di intonaci a calce), se non diversamente specificato dalla D.L., dovrà essere recuperato, mediante la disposizione di idoneo tavolato rivestito da teli di nylon, e custodito in pile accuratamente coperti (per proteggerli dagli agenti atmosferici) al fine di riutilizzarlo per la messa in opera di eventuali rappezzi.

L'operazione di spicconatura terminerà con pulizia di fondo a mezzo di scopinetti e/o spazzole di saggina, con lo scopo di allontanare dalla muratura tracce di sporco e residui pulverulenti.

8. Rimozione e smontaggio di pavimenti

La rimozione dei pavimenti dovrà essere eseguita, preferibilmente, con mezzi manuali (mazzetta e scalpello) o, in presenza di battuti (di cemento o di graniglia) o pastelloni alla veneziana particolarmente tenaci, con l'ausilio di martelli da taglio o, in alternativa e solo sotto esplicita richiesta della D.L. modesti mezzi meccanici. In ogni caso l'operazione dovrà essere limitata al solo pavimento ed alla malta di allettamento. Il restante sottofondo dovrà essere pulito e spianato accuratamente eliminando qualsiasi irregolarità. Bisognerà, inoltre, prestare molta attenzione agli impianti posti sotto il pavimento, dei quali si dovrà, necessariamente, curarne il ripristino nel caso di rottura causata durante le demolizioni.

Nell'eventualità in cui gli elaborati di progetto prevedano uno smontaggio preordinato al recupero del materiale assumerà notevole importanza la cura dello smontaggio: in questo caso sarà, per ovvie ragioni, bandito l'uso di mezzi meccanici (ad es. martelli pneumatici) e la procedura avrà inizio laddove si presenterà una soluzione di continuità (ad es. rottura dell'elemento o mancanza di fuga) procedendo di conseguenza. A seconda del tipo e della consistenza della giunzione tra gli elementi si sceglieranno gli strumenti e le tecniche più idonee, fermo restando la cura di non danneggiare gli elementi stessi e quelli limitrofi:

- unione mediante infissione a forza (ad es. pavimentazioni in cubetti di porfido, in ciottoli di fiume ecc.): si potranno rimuovere gli elementi con l'uso di leve;
- unioni chiodate (ad es. tavolati, parquet ecc.): si potranno sfilare i chiodi mediante tenaglie o pinze, tranciare le teste ed i gambi dei chiodi o, in alternativa, si potrà esercitare una trazione sull'elemento da rimuovere, in corrispondenza della giunzione, sfruttando il principio della leva ed utilizzando a tale scopo strumenti quali tenaglie, scalpelli ecc.;
- unioni mediante collanti o malte (ad es. mattonati, lastre lapidee ecc.) si procederà mediante punte e scalpelli utilizzandoli come leve ponendo attenzione a non spezzare l'elemento da asportare;
- unioni continue (ad es. battuti di graniglia, pastelloni veneziani ecc.) si potrà intervenire solo attraverso il taglio meccanico (con l'ausilio di seghe circolari e flessibili) di porzioni, previa la loro individuazione e numerazione in fase di rilievo. Il taglio (eventualmente guidato da appositi segnali guida o da carrelli) dovrà evitare di pregiudicare i contorni al fine, sia di rendere possibile il successivo accostamento dei pezzi in fase di rimontaggio, sia di non avere eccessive fughe e linee irregolari di giuntura.

L'operazione di smontaggio dovrà essere preceduta da un accurato rilievo dello stato di fatto del pavimento con conseguente numerazione dei pezzi e segnatura delle facce combacianti, nel caso in cui la disposizione degli elementi dovesse seguire uno specifico disegno oppure laddove si abbia a che fare con pezzi speciali per forma e dimensioni inseriti in un disegno esente da schemi fissi e ripetitivi. Sarà consigliabile, nonché vantaggioso, tenere conto nella numerazione e marcatura dei singoli elementi e l'ordine con cui gli stessi verranno disancorati e rimossi dal supporto, così da organizzare una corretta sequenza operativa necessaria al rimontaggio.

9. Rimozione e smontaggio di rivestimenti lapidei

La procedura di smontaggio di pannelli lapidei dovrà necessariamente adottare, ogni volta, la metodologia, la tecnica e gli strumenti più consoni per separare i componenti di ancoraggio che potranno variare dalle unioni con chiodature, perni e zanche in ferro a mastici e malte adesive. Qualsiasi procedura sarà adottata l'operazione di smontaggio dovrà essere preceduta da un accurato rilievo dello stato di fatto delle lastre di rivestimento, con conseguente numerazione dei pezzi e segnatura delle facce combacianti tenendo conto dell'ordine secondo cui gli elementi saranno disancorati dal supporto, così da facilitare l'organizzazione di una corretta sequenza operativa indispensabile per l'eventuale rimontaggio. In questa fase sarà, inoltre, necessario sia valutare le dimensioni e il peso dei singoli manufatti da rimuovere (ovvero delle parti risultanti dallo smontaggio), sia verificare se lo smontaggio possa interessare il singolo elemento o più elementi contemporaneamente (ad es. il caso in cui la singola lastra sia collegata o composta con altri pezzi). In linea generale si dovrà evitare il più possibile di ricorrere all'uso di tagli, se questi non potessero essere evitati si dovrà cercare di effettuarli (mediante l'ausilio di frullini elettrici manuali muniti di idoneo disco in ragione della consistenza del litotipo da tagliare) in punti appropriati come, ad esempio, sulla stuccatura del giunto tra lastra e torelo o nella giuntura d'angolo di due pannelli, facendo attenzione a non danneggiare i bordi così da rendere possibile il loro successivo raccostamento.

Precedentemente alla rimozione, sarà necessario predisporre idonea attrezzatura di sollevamento e calo a terra in ragione del peso e della manovrabilità delle lastre (ad es. montacarichi). Allo stesso tempo, potrà risultare utile realizzare dei presidi di sostegno ed un'opportuna operazione di preconsolidamento degli elementi (si vedano gli articoli specifici) affinché il loro smontaggio possa avvenire in piena sicurezza e tutela degli operatori e dei pannelli stessi.

La prima operazione di smontaggio vero e proprio sarà quella di rimuovere gli elementi (perni, zanche ecc.) o i materiali (malte, mastici ecc.) che garantiscono la connessione dei pannelli alla struttura muraria. Nel caso di elementi metallici questa operazione potrà avvenire: se sono di modeste dimensioni (ad es. chiodature), esercitando sugli elementi una

controllata trazione sfruttando il principio della leva, mentre, se si tratta di elementi di una certa consistenza (ad es. zanche in ferro), ricorrendo al taglio che consente una facile asportazione successiva; in ogni caso, questa operazione, dovrà essere realizzata avendo cura di non danneggiare il pannello lapideo. Prima di distaccare del tutto il pannello dal supporto, la lastra dovrà essere messa in sicurezza imbracandola con idonei nastri telati collegati all'organo di posa a terra.

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, la procedura avrà inizio partendo da un elemento privo di decorazioni già sconnesso o degradato cosicché, in caso di perdita, non verrà a mancare una parte rilevante del rivestimento, altrimenti si potrà iniziare da un pannello (anch'esso privo di decorazioni o appartenente ad eventuali disegni di rivestimento) posto in posizione defilata; sovente, infatti, la prima operazione di smontaggio può comportare la rottura o la perdita del pannello.

10. Asportazione di tinte

10.1. Raschiatura parziale di tinte

La procedura ha lo scopo di rimuovere parziali strati di coloriture staccate o in fase di distacco (coloriture organiche) evitando di intaccare gli strati superficiali del sottofondo nonché eventuali coloriture ancora ben aderenti al supporto (soprattutto quando si tratta di coloriture inorganiche). Prima di procedere con l'intervento di raschiatura dovranno essere eseguite delle prove preliminari circoscritte a più punti della superficie da asportare in modo da poter verificare l'effettiva adesione della tinta al supporto; per questo risulterà opportuno realizzare campioni, di 10 cm di lato, suddivisi, a loro volta, in porzioni di grandezza variabile (da 2 mm a 1 cm di lato), tramite l'ausilio di righe metalliche. Nel caso in cui le parti che si distaccano conseguentemente all'operazione di quadrettatura risultino inferiori al 20% della superficie campione potrà essere realizzata una raschiatura parziale, contrariamente, in riferimento a quanto prescritto dalla D.L., la raschiatura potrà essere anche totale. L'operazione di raschiatura dovrà essere realizzata ricorrendo a mezzi meccanici (spatole, raschietti, bisturi ecc.) facilmente controllabili e non traumatici per il supporto. In presenza di rinvenimenti di strati sottostanti di pitture organiche la procedura potrà essere ripetuta così da poter valutare l'eventuale possibilità di rimuoverli.

10.2. Raschiatura totale di tinte

L'operazione di raschiatura totale della tinta dovrà, necessariamente, essere preceduta sia dalle indagini preliminari esplicate nella procedura inerente la raschiatura parziale di tinte sia da ulteriori accertamenti diagnostici e stratigrafici: per questo l'Appaltatore dovrà provvedere a fornire la strumentazione idonea per consentire tali verifiche in riferimento a quanto riportato negli specifici articoli. L'intervento, poiché potrà essere compiuto oltre che meccanicamente (seguendo le indicazioni riportate nella procedura di raschiatura parziale) anche chimicamente o a fiamma, potrà essere effettuato solo dopo aver comprovato l'effettiva tenuta del supporto a stress chimici e termici. La selezione della metodologia di rimozione (chimica o a fiamma) potrà essere fatta solo dopo aver eseguito delle prove campione sulla superficie in modo da poter essere in grado di comparare il risultato raggiunto dalle diverse risoluzioni valutandone, al contempo, i relativi vantaggi e svantaggi.

Raschiatura chimica

La raschiatura con sistemi chimici prevedrà la stesura superficiale di prodotti decapanti ricorrendo all'uso di pennelli; i prodotti dovranno essere prescelti seguendo le specifiche indicazioni della D.L., e applicati previa protezione di tutto ciò che potrebbe danneggiarsi durante l'applicazione del prodotto. Il decapante verrà applicato e tenuto in opera in riferimento a quanto desunto dalle prove preliminari eseguite sui campioni. A reazione avvenuta il prodotto dovrà essere rimosso dalla superficie, mediante strumentazione meccanica (raschietti). La superficie dovrà essere, infine, lavata (seguendo le indicazioni riportate negli specifici articoli) così da asportare qualsiasi traccia residua di decapante evitandone l'essiccazione sul supporto.

Raschiatura a fiamma

La raschiatura a fiamma potrà essere realizzata mediante l'utilizzo di bombole di GPL e di sistemi di erogazione della fiamma (conformi alla normativa antincendio e di sicurezza). La superficie di intervento dovrà essere riscaldata fino a che la tinta da asportare non risulti annerita o rigonfia (prestando particolare attenzione a non procurare bruciature o annerimenti al supporto); a questo punto, ricorrendo all'utilizzo di spatole o raschietti, si procederà alla raschiatura. La superficie dovrà essere, infine, lavata (seguendo le indicazioni riportate negli specifici articoli) così da asportare qualsiasi traccia residua.

11.

12. Asportazione dipinti murari

12.1. Strappo degli affreschi

La procedura di strappo degli affreschi prevede la rimozione della sola pellicola pittorica sacrificando, in questo modo, la caratterizzazione conferitagli dalle irregolarità presenti sulla superficie intonacata nonché le tracce relative alla tecnica di esecuzione. L'intervento prevedrà la pulitura accurata della superficie così da poter asportare tutte le sostanze estranee che potrebbero ostacolare la perfetta adesione dei bendaggi. L'operazione di pulitura dovrà essere realizzata ricorrendo alla tecnica e utilizzando i materiali prescelti dalla D.L. in riferimento alle caratteristiche dell'opera, alla sua estensione, al tipo di sporco da rimuovere e alle eventuali patinature legate ad interventi di restauro precedenti. Risulterà opportuno, per questo, procedere con delle prove preliminari realizzate su campioni così da poter meglio calibrare l'operazione di pulitura. L'ispezione della superficie pittorica dovrà comprendere anche la messa in sicurezza di eventuali lacune, per questo dovrà essere eseguita la stuccatura della mancanza, incollando perimetralmente strisce di tessuto di cotone, e il consolidamento delle porzioni decoese. L'intervento di strappo procederà con l'applicazione sulla superficie pittorica di bendaggi (*facing*);

le bende dovranno essere di cotone a trama larga, lavate, asciugate, sfilacciate ai bordi, stirate e arrotolate su un bastone o in alternativa tagliate in piccoli riquadri (di circa 40x40 cm). Si procederà applicando sul dipinto un primo strato di colla in quantità pari alla grandezza della garza, procedendo dal basso verso l'alto da sinistra a destra, utilizzando un adesivo non troppo fluido allo scopo di garantire una contrazione più forte al momento dello strappo.

La scelta della colla (appurato che si tratti di materiale reversibile e non dannoso per la superficie) dovrà essere fatta in relazione alla resistenza all'acqua del dipinto e al suo stato di conservazione nonché alle condizioni ambientali del situ; se non diversamente indicato dalla D.L. potrà essere utilizzata, per una pellicola pittorica sensibile all'acqua e friabile, una resina (vinilica o acrilica) sciolta in solvente; per una pellicola pittorica ed un intonaco resistenti all'acqua, una colla animale (acqua, aceto, fungicida, melassa in quantità minima, colla d'ossa, fiele di bue). Dopo aver steso il primo strato di garza (ben teso a mano sul dipinto) dovranno essere applicati altri strati (almeno due) incollati con una colla meno densa e sovrapposti di almeno 1 cm, ed infine, per ultimo, dovrà essere applicato uno strato di tela canapa evitando sovrapposizioni nelle giunture. Le tele dovranno uscire dai bordi del dipinto di almeno 5 cm su tre lati mentre di 30 cm sul lato superiore. La velatura potrà essere ancorata ad una traversa lignea infissa al muro della parte sommitale del dipinto, in modo da garantire una maggior sicurezza durante l'operazione di distacco una volta che la superficie sarà completamente distaccata. Lo strappo avrà inizio quando la colla risulterà asciutta ma non ancora secca (i tempi di asciugatura varieranno a seconda dell'umidità relativa e della temperatura dell'ambiente); a questo punto dovrà essere praticata un'incisione (mediante l'uso di bisturi) lungo il perimetro dell'area interessata dall'intervento in modo da poter tirare lo strato di tela partendo da uno degli angoli inferiori. La tela, man mano che si staccherà, dovrà essere arrotolata intorno a un cilindro di legno.

A distacco avvenuto la tela dovrà essere srotolata su di una superficie piana e analizzata sul retro così da poter procedere a stuccare le eventuali lacune rintracciate (la stuccatura potrà essere effettuata, se non diversamente specificato dalla D.L., con impasto di calce e pietra macinata). Sulla superficie dovrà essere applicato un velatino (incollato o con caseato di calcio adatto per ambienti asciutti o con resina acrilica in emulsione caricata con carbonato di calcio) così da rendere reversibile il supporto che verrà applicato. "Fissata" la superficie distaccata al nuovo supporto si procederà al distacco del bendaggio utilizzando impacchi di carta giapponese imbibita dello stesso solvente utilizzato per sciogliere la colla stesa sui bendaggi. Le tele dovranno essere asportate quando risulteranno completamente distaccate dalla superficie non sollevandole ma facendole scivolare parallelamente al piano. La superficie liberata dai bendaggi dovrà essere nuovamente pulita con tamponature di cotone imbevuto nella soluzione di solvente già utilizzata.

12.2. Stacco degli affreschi

La procedura di stacco degli affreschi prevede l'asportazione dello strato pittorico insieme allo strato di finitura dell'intonaco lasciando in opera l'arriccio e il rinzafo; in questo modo sarà possibile conservare le tracce della tecnica di esecuzione. L'intervento di stacco prevede sostanzialmente le stesse fasi procedurali esplicate per lo strappo differenziandosi in alcuni punti tra i quali: la tela di canapa dovrà essere applicata solo quando la colla dei bendaggi sottostanti risulterà ben asciutta. L'asportazione della superficie pittorica dal supporto dovrà essere compiuta, dal basso verso l'alto secondo fasce orizzontali, ricorrendo all'uso di sciabole in ferro fatte scivolare sul retro del dipinto lungo la linea tra arriccio e l'ultimo strato di intonaco, indirizzando la punta dello strumento sempre verso il muro in modo da non danneggiare il dipinto. Sulla superficie staccata e appesa alla traversa lignea dovrà essere applicato un supporto ligneo in modo da consentire l'asportazione del dipinto.

13. Discialbo manuale

Operazione di asportazione manuale di strati di pitture o tinte soprammesse alla superficie decorata o dipinta, eseguita previa indagine stratigrafica al fine di delimitare con esattezza la zona di intervento. Se non diversamente specificato, l'operazione di discialbo dovrà essere eseguita mediante mezzi meccanici (bisturi, piccole spatole, lame, raschietti, vibroincisori ecc.), impacchi chimici (pasta di cellulosa e carbonato di ammonio) o con idonei solventi (ad es. acetone, cloruro di metilene, miscela 3A, miscela 4A, essenza di trementina, alcool etilico ecc.) capaci di asportare gli strati di pitture o tinte soprammesse alla superficie decorata senza recare alcun danno. L'operazione in oggetto dovrà, necessariamente, essere limitata alle sole superfici previste dal progetto ovvero indicate dalla D.L. Al termine della procedura di discialbo tutte le eventuali porzioni di dipinto murale rinvenuto, a prescindere dallo stato di conservazione, dovranno, obbligatoriamente, essere conservate.

Specifiche

La scelta delle varie tipologie di discialbo dovrà essere attentamente valutata sia per mezzo di prove-campione, sia di indagini preliminari. Queste ultime si renderanno necessarie al fine di accertare: del dipinto celato dallo scialbo la tecnica di esecuzione (ad affresco, a mezzo fresco, a secco) e lo stato di conservazione ovvero la presenza di eventuali patologie di degrado (quali ad es. risalite capillari, efflorescenze saline, distacchi del dipinto dal supporto ecc.) mentre, dello strato da asportare, potranno essere appurate le caratteristiche tecnologiche (scialbatura a tempera o calce su affresco, scialbatura a tempera o calce su decorazioni a secco, pellicola polimerica su superficie decorata molto compatta e poco permeabile, pellicola polimerica su affresco, pellicola polimerica su dipinto a secco) e la relativa adesione al supporto dipinto.

Avvertenze

In linea generale dovrà sempre essere osservata la regola secondo la quale il prodotto (ovvero la tecnica) da impiegare dovrà essere il più solvente ma, allo stesso tempo, il più blando e il meno tossico. Per ulteriori specifiche sull'uso dei solventi si rimanda a quanto specificato nell'articolo inerente l'"approccio alla pulitura mediante solventi"; per quanto concerne, invece, il discialbo manuale "meccanico" si rimanda all'articolo inerente la "pulitura meccanica".

13.1. Scialbatura a tempera o a calce su superfici decorate ad affresco

La procedura prevedrà il discialbo mediante bisturi, lame e spatole di modeste dimensioni aiutandosi, eventualmente, con idonea lente di ingrandimento. L'operatore dovrà aver cura di rimuovere esclusivamente lo strato soprammesso senza asportare alcuna parte del dipinto sottostante. Nel caso in cui lo strato da rimuovere presentasse un legante debolmente organico e, allo stesso tempo, il supporto del dipinto si rilevasse poco permeabile, potrà essere consentito inumidire la superficie mediante impacchi di polpa di cellulosa con fibre da 200-1000 mm (o con altro supportante ritenuto idoneo dalla D.L.) e carbonato di ammonio (in soluzione satura ovvero in idonea diluizione) o acqua distillata così da allentare l'adesione dello strato da rimuovere dal supporto pittorico. Passato il tempo necessario si potrà rimuovere la scialbatura mediante bisturi o altro mezzo meccanico ritenuto idoneo dalla D.L. La procedura dovrà terminare con la pulitura, per mezzo di tampone inumidito con acqua deionizzata, delle superfici scoperte.

13.2. Scialbatura a tempera o a calce su superfici decorate o dipinte a secco

La procedura prevedrà il discialbo mediante bisturi, lame e spatole di modeste dimensioni aiutandosi eventualmente con idonea lente di ingrandimento. L'operatore data la "fragilità" degli strati su cui dovrà operare, dovrà aver particolare cura di rimuovere esclusivamente lo strato soprammesso senza asportare alcuna parte del dipinto sottostante.

13.3. Scialbatura polimerica su superfici decorate molto compatte

La procedura prevedrà il discialbo mediante bisturi, lame e spatole di modeste dimensioni aiutandosi eventualmente con idonea lente di ingrandimento. L'operatore data la "fragilità" degli strati su cui dovrà operare, dovrà aver particolare cura di rimuovere esclusivamente lo strato soprammesso senza asportare alcuna parte del dipinto sottostante.

Nel caso di superfici decorate molto compatte e poco permeabili (come da es. stucchi, finti marmi ecc.) con scialbatura costituita da pellicole polimeriche sarà preferibile l'utilizzo di appropriato solvent-gel che, in fase di prove preliminari, avrà dato il risultato migliore. Previa adeguata pulitura a secco della superficie si procederà all'applicazione, mediante pennelli, del solvent-gel sulla superficie nella quantità necessaria valutata attraverso le prove preliminari (di norma sarà sufficiente 0,6 l/m²). Trascorso il tempo stabilito sarà possibile rimuovere il solvent-gel dalla superficie insieme alla pellicola polimerica per mezzo di spatole o modesti raschietti. Sarà cura dell'operatore porre particolare attenzione nel rimuovere il gel al fine di non asportare ovvero graffiare e danneggiare porzioni del supporto decorato. In presenza di superfici particolarmente degradate e/o modellate sarà necessario porre particolare attenzione nel compiere l'operazione di discialbo.

La procedura dovrà terminare con una doppia operazione di pulitura della superficie scoperta: la prima per mezzo di tampone inumidito con il solvente utilizzato per il discialbo (così da rimuovere ogni eventuale avanzo di lavorazione), la seconda con acqua distillata così da garantire la completa pulitura del supporto.

Nel caso risultasse necessario e sempre dietro specifica indicazione della D.L. la suddetta operazione potrà essere ripetuta in modo da riuscire ad eliminare tutte le tracce di pellicola polimerica.

Specifiche sui materiali

L'utilizzo di solventi gelificanti nelle operazioni di pulitura di superfici policrome sarà da preferire, dal momento che consentirà di ottenere un'azione più controllata e selettiva sullo strato da rimuovere, oltre ad una minore volatilità dei solventi stessi e maggiore sicurezza per l'operatore.

13.4. Scialbatura polimerica su superfici decorate ad affresco

La procedura sarà simile a quella decritta all'articolo precedente salvo per la preparazione del supporto che potrà essere trattato con impacco di polpa di cellulosa (1000 mm) o di altro supportante ritenuto idoneo dalla D.L. e carbonato di ammonio in soluzione satura (ovvero in idonea diluizione) al fine di inumidire lo strato di intonaco e limitare la penetrazione dei successivi solventi. La rimozione della pellicola polimerica avverrà per mezzo di solvent-gel individuati nelle preliminari campionature o per mezzo di solventi veicolati da addensanti quali metilcellulosa (per solventi polari) da utilizzarsi in concentrazione dal 2 al 4% p/v o etilcellulosa (per solventi apolari o a bassa polarità) da utilizzarsi in concentrazione dal 6 al 10% p/v. L'operazione potrà essere rifinita per mezzo di discialbo manuale meccanico mediante bisturi e piccole lame. La procedura dovrà terminare con una doppia operazione di pulitura della superficie scoperta: la prima per mezzo di tampone inumidito con il solvente utilizzato per il discialbo (così da rimuovere ogni eventuale avanzo di lavorazione), la seconda con acqua distillata così da garantire la completa pulitura del supporto.

Specifiche sui materiali supportanti ed addensanti

Questi prodotti garantiscono la gelificazione del solvente in modo da mantenerlo localizzato sulla superficie del manufatto policromo. In questo modo rendono l'operazione di pulitura più selettiva e, allo stesso tempo, impediscono la penetrazione del solvente negli strati sottostanti, inoltre riducono il processo d'evaporazione diminuendo l'inalazione del solvente da parte dell'operatore. In linea generale gli addensanti dovranno essere lavorati ed applicati a pennello per tempi variabili secondo il caso e rimossi a secco o con un tampone leggermente imbevuto di solvente senza lasciare residui dannosi per l'opera. La densità finale del gel sarà controllata dall'operatore a seconda delle esigenze specifiche. I supportanti fondamentalmente si dividono in due categorie: addensanti cellulosici (metilcellulosa, etilcellulosa) e solvent-gel. La scelta di gelificare un solvente con un addensante cellulosico anziché per mezzo di solvent-gel potrà discendere da molteplici fattori come, ad esempio, l'eventuale presenza di materiali particolarmente sensibili all'acqua renderà gli addensanti cellulosici preferibili ai solvent-gel che, al contrario, risulteranno più idonei (grazie all'azione blandamente tensioattiva) per procedure di pulitura più generiche di superfici pittoriche e non.

13.5. Scialbatura polimerica su superfici decorate a secco

L'operazione di discialbo si rivelerà molto delicata vista la "fragilità" degli strati su cui dovrà operare e verrà indicata dalle prove preliminari di pulitura eseguite precedentemente l'intervento suddetto. Nel caso in cui la "scialbatura polimerica" si dovesse presentare con un basso contenuto di polimero, si seguirà la stessa procedura indicata per gli affreschi, avendo cura di scegliere un solvente che non danneggi i pigmenti utilizzati per la decorazione a secco.

10.2.2 PRECONSOLIDAMENTI

Premessa metodologica

Nel susseguirsi delle procedure operative il preconsolidamento deve essere considerato come l'operazione antecedente la pulitura. Si basa, in pratica, sul ristabilimento preventivo delle proprietà di compattezza di quelle porzioni di materiale disgregato o polverizzato, già visibili in fase di progetto o individuate dopo la prima asportazione di depositi superficiali, che potrebbero essere danneggiate durante i successivi cicli di pulitura. Un'operazione di preconsolidamento potrebbe essere necessaria in presenza di depositi calcarei o patine nerastre tenacemente aderenti ad un concio di pietra molto fragile (frantumato, scagliato, attaccato dalle solfatazioni); in questo caso, prima della pulitura, devono essere eseguiti interventi preliminari di tutela tramite, ad esempio, la messa in opera di "ponti" di collegamento al fine di rendere tali frammenti nuovamente solidali. L'intervento di preconsolidamento ha, normalmente, lo scopo di fornire stabilità provvisoria a supporti particolarmente decoesi sui quali sono necessari interventi successivi di pulitura (anche abbastanza aggressivi) incompatibili con l'attuale stato conservativo, estremamente precario della superficie. Il preconsolidamento deve operare, essenzialmente, come presidio dei frammenti di materiale e allo stesso tempo non deve intervenire sui depositi o patine da asportare. Non di rado per eseguire quest'operazione si utilizzano tecniche e metodi propri del consolidamento anche se nel primo caso la "terapia" è sovente concentrata su zone puntuali di superficie mentre nel consolidamento è lecito procedere anche su zone più ampie di materiale degradato.

10.2.3 OPERAZIONI DI PRECONSOLIDAMENTO DEI MATERIALI LAPIDEI

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

1. Generalità

Le operazioni di preconsolidamento richiederanno maestria di messa in opera e, talvolta, potranno essere ripetute con tempi piuttosto lunghi così da permettere ai collanti utilizzati di fare presa (prima di iniziare i cicli di pulitura) pena la perdita di frammenti e scaglie originali. Questa procedura avrà una funzione esclusivamente preventiva e conservativa; a questo proposito, saranno da preferire adesivi deboli e chimicamente reversibili, ovvero quei prodotti che potranno essere sciolti nuovamente ed asportati facilmente o paste molto magre (rapporto legante inerte molto basso).

Dovrà essere vietato effettuare qualsiasi procedura di preconsolidamento e/o utilizzo di prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; su tale etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione (se si tratterà di emulsioni ovvero miscela di due liquidi rapporto volume/volume) o di concentrazione (se si tratta di soluzioni cioè scioglimento di un solido in un liquido rapporto peso/volume) utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

2. Ponti di malta magra e/o resina

Questo tipo di operazione, che sovente precederà la procedura di stuccatura o sigillatura dei conci di pietra, avrà il compito di "mettere in sicurezza" e rendere solidali tra loro tutte quelle scaglie, frammenti o fratture dei conci lapidei che altrimenti potrebbero distaccarsi o andare perduti durante le operazioni di pulitura. Al fine di sorreggere scaglie lapidee leggere, non più ampie di una mano, si potrà impiegare come collante una malta magra (l'impasto dovrà contenere poca calce, così da essere più facilmente rimosso dopo la pulitura) con rapporto calce inerte 1:4 o 1:5 con granulometria molto fine (carbonato di calcio o polvere di pomice) in piccole porzioni. Queste deboli stuccature potranno essere stese con spatole a doppia foglia piatta o con cazzuolini e dovranno essere posizionate, se non diversamente specificato, come ponti di collegamento tra i frammenti in fase di distacco e la massa principale; potrà, inoltre, risultare vantaggioso scegliere una malta che presenti, dopo la presa, un colore in forte contrasto con l'apparecchio limitrofo così da essere ben identificabile come stuccatura provvisoria.

In alternativa si potrà utilizzare il medesimo impasto (sia a base di malta sia a base di resine sintetiche) pensato per le stuccature definitive (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici riguardanti le stuccature e i consolidamenti) ma, in questo caso, l'impasto dovrà essere steso in modo molto puntuale al fine di mettere in opera solo i "ponti di collegamento" che verranno in seguito completati da operazioni successive alla pulitura.

3. Velinatura con garza di cotone o carta giapponese

Questo tipo di intervento, potrà essere utilizzato in presenza di pellicole pittoriche in fase di distacco o elementi lapidei particolarmente esfoliati, erosi o disgregati al fine di preservarli da, se pur lievi, abrasioni causate dall'eventuale passaggio di un pennello per un trattamento preconsolidante, consolidante o dall'azione abrasiva di una pulitura ad acqua. Le scaglie saranno assicurate mediante bendaggi provvisori di sostegno: si procederà in modo progressivo mettendo in opera "fazzoletti" di garza di cotone (comuni compresse di garze sterili), di tela grezza (da scegliere in base alla pesantezza e alle dimensioni del frammento in oggetto) o fogli di carta giapponese di pochi centimetri di lato (da 6 a 12) fermati con resina acrilica in soluzione o in dispersione (per quanto riguarda la soluzione un buon esempio sarà costituito da una resina acrilica tipo *Paraloid* al 20% p/v, in solvente volatile come acetone, così da favorire una rapida presa o sempre al

20% in un diluente nitro; mentre per la dispersione si potrà utilizzare una emulsione acrilica tipo *Primal B60A* al 5% v/v), oppure con una soluzione acquosa al 3% di alcool polivinilico (ad es. *Gelvato*) o acetato di polivinile. Questa sorta di "filtro", realizzato con fogli di carta giapponese, potrà essere messo in opera anche in presenza di impacchi pulenti (a base di polpa di cellulosa o di argille assorbenti) allorché si operi su strutture particolarmente porose o decoese.

Specifiche sui materiali

La carta giapponese è una carta molto leggera a base di fibre di riso, dotata di robustezza disponibile in commercio in diversi spessori e pesi minimo 6 gr/m² massimo 110 gr/m². Queste carte si rivelano utili oltre che per le velature anche come "filtro" per operazioni di pulitura su superfici delicate o in avanzato stato di degrado.

Alcool polivinilico: Sostanza ad alto peso molecolare, solubile in acqua, alla quale si imparte forte viscosità e proprietà emulsionanti. Si rileva poco solubile in solventi organici e viene sovente utilizzato in miscele di acqua e alcool etilico denaturato (in soluzioni dal 3 al 10%) nelle operazioni di preconsolidamento per fissaggi di scaglie e/o frammenti oppure per fissaggi mediante velature con garza di cotone o carta giapponese.

Acetato di polivinile: Resina sintetica termoplastica, preparata per polimerizzazione dell'acetato di vinile, a sua volta ottenuto da acetilene e acido acetico. Utilizzata in soluzione dal 3 al 10% in alcool etilico o isopropilico oppure in miscele a base di alcool etilico denaturato e acqua come fissativo di pellicole pittoriche o per eseguire "ponti di cucitura" di frammenti di scaglie decoese. Punto di rammollimento: 155-180 °C; viscosità a 20 °C della soluzione al 20% in estere etilico dell'acido acetico: 180-240 mPas.

4. Nebulizzazione di miscele di silicato di etile

La procedura (simile a quella descritta nell'articolo sul consolidamento mediante silicato di etile) potrà essere utilizzata sia per la riadesione di scaglie e micro frammenti pericolanti sia in presenza di fenomeni di polverizzazione e decoesione della superficie lapidea e, si porrà come obiettivo quello di fissare temporaneamente il materiale. L'operazione consisterà nella nebulizzazione o, preferibilmente, nell'applicazione con pennello a setola naturale morbida di miscela d'esteri dell'acido silicico (silicato di etile) in percentuale variabile in ragione del supporto. In linea di massima potranno essere prese come percentuali di riferimento quelle normalmente utilizzate per il consolidamento per impregnazione abbassandole leggermente (in linea generale si potrà utilizzare una quantità pari a circa 400-500 g/m² per il consolidamento d'apparecchi in cotto, e 200-300 g/m² per superfici intonacate con malta di calce). Su superfici particolarmente decoese o in presenza di scaglie di pellicola pittorica sarà consigliabile interporre tra il pennello e il materiale fazzoletti di carta giapponese così da creare un filtro a protezione dell'azione abrasiva, se pur in minima parte, del pennello.

5. Applicazione di sospensioni di idrossido di calcio

La procedura sarà rivolta, in modo particolare, agli intonaci di calce o alle pitture murali, allorché si manifesteranno fenomeni di polverizzazione del colore o esfoliazione di strati pittorici così da garantire sia la riadesione del pigmento sia della pellicola al supporto. Il preconsolidamento si baserà sull'applicazione di sospensioni, direttamente sulle superfici, di soluzioni stabili d'idrossido di calcio in solventi inorganici (alcoli alifatici), le particelle veicolate dal solvente penetreranno all'interno delle porosità superficiali così da produrre un nuovo processo di presa all'interno della matrice. Il solvente sarà da preferire all'acqua in quanto quest'ultima renderà la sospensione nettamente più instabile provocando una velatura biancastra sulle superfici trattate, inoltre il solvente avrà il vantaggio di far decantare l'idrossido di calcio in tempi più lunghi (circa 16-18 ore contro gli appena 30-40 minuti delle soluzioni acquose). In ogni caso se si vorrà utilizzare l'acqua sarà consigliabile formulare soluzioni utilizzando acqua distillata. Le sospensioni potranno essere preparate con concentrazioni molto variabili in ragione del supporto da consolidare, sarà, comunque, consigliabile iniziare da sospensioni abbastanza diluite per poi spingersi a soluzioni più concentrate fino ad arrivare ad una crema di una certa consistenza.

Il trattamento eseguito, con l'ausilio di pennello a setola morbida, in una due o più riprese, (intervallate generalmente da qualche giorno ed aumentando la concentrazione della soluzione), fino ad assorbimento totale del supporto rientrerà in quelli di consolidamento corticale in quanto le particelle, pur di ridotte dimensioni, non riusciranno a penetrare nel materiale in profondità (ca. 2 mm). La procedura non risulterà adatta per le superfici che presentano depositi polverulenti o grassi, in quanto sostanze potenzialmente solubili e pertanto diffondibili all'interno della matrice porosa. Su pitture murali o, più in generale, su supporti particolarmente decoesi sarà necessario interporre fazzoletti di carta giapponese che verranno rimossi dopo circa un'ora dall'applicazione.

Specifiche sui materiali

Le possibili velature bianche (che potranno emergere anche solo dopo poche ore dal trattamento) potranno essere eliminate (a meno che non sia previsto un successivo trattamento protettivo con prodotti a base di calce tipo scilabature o velature alla calce) con spugnature o tamponature di acqua distillata o con impacchi, di qualche ora (circa 6-10 h) di polpa di cellulosa inumidita sempre da acqua distillata (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici sulle puliture).

6. Micro-iniezioni di miscele a bassa pressione

Questo tipo di operazione sarà indirizzato verso la riadesione di modeste parti di intonaco o scaglie di laterizio sollevate. Queste micro-iniezioni potranno essere effettuate in prossimità di piccole fessure, lacune o fori già presenti sulle superfici intonacate, in assenza di queste si potranno creare dei microfori con l'ausilio di idonei punteruoli o micro-trapani manuali. Previa pulitura della fessurazione con una miscela di acqua deionizzata ed alcool (5:1 in volume), con lo scopo di creare dei canali nella parte retrostante e, al contempo, di verificare l'eventuale esistenza di lesioni o fori da dove la miscela consolidante potrebbe fuoriuscire, si procederà all'iniezione, con l'ausilio di normali siringhe di plastica (da 10 cc o 20 cc), procedendo attraverso i fori o le soluzioni di continuità poste nella parte più bassa per poi avanzare, verso quelle più in alto.

Per gli intonaci, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, si potrà utilizzare iniezioni di una miscela composta da calce aerea diluita con percentuale del 5-10% di resina acrilica eventualmente caricata con carbonato di

calcio o metacaolino micronizzato ed additivata con gluconato di sodio, o, nei casi di distacchi più consistenti (ad es. scaglie di laterizio), con polvere di cocchiopesto vagliata e lavata o sabbia silicea ventilata; in caso d'estrema urgenza o di murature umide, si potrà utilizzare calce idraulica naturale NHL 2 esente da sali solubili, additivata con cariche pozzolaniche ventilate; in questo modo si potrà ottenere un solido ancoraggio nel giro di 20-30 minuti. All'operazione di preconsolidamento, ad esempio, di una porzione consistente d'intonaco spanciato che minaccia di distaccarsi totalmente dal supporto, sarà utile affiancare quella di presidio provvisorio temporaneo facilmente realizzabile con la messa in opera, alla distanza di circa 2-3 cm, di un tavolato continuo in legno protetto nella faccia verso il manufatto da un foglio di alluminio o da un film plastico in polietilene (tipo *Domopak*); infine, lo spazio tra presidio e l'interfaccia dell'intonaco (precedentemente protetto con foglio di alluminio) sarà riempito da materiale morbido tipo gommapiuma (o in alternativa da schiuma di poliuretano).

Specifiche sui materiali

Le resine acriliche, come del resto le emulsioni acriliche pure (ovvero al 100%), potranno essere utilizzate in dispersione acquosa (ovvero un miscuglio eterogeneo contenente una percentuale variabile di resina acrilica o di emulsione acrilica pura) sia come legante per pigmenti naturali e/o sintetici in polvere, sia come additivo per malte da sigillatura o iniezione (se non diversamente specificato per un impasto di calce ed inerti in rapporto di 1:3 si aggiungerà 5-10% di emulsione acrilica) conferendo a questi impasti un più veloce indurimento in superficie, un miglioramento delle caratteristiche fisico-chimiche (tenacità, durezza, resistenza nel tempo ed agli agenti chimici, resistenza all'abrasione, alla trazione, alla compressione, alla flessione, all'impatto ed agli effetti del gelo) e un netto aumento di adesività su materiali quali laterizio, legno e cemento.

10.3 PULITURE

Premessa metodologica

La pulitura di una superficie si deve prefiggere lo scopo di rimuovere la presenza di sostanze estranee patogene, causa di degrado, limitandosi alla loro asportazione. Il lato estetico non deve incidere sul risultato finale, l'intento della pulitura non deve essere quello di rendere "gradevole" l'aspetto della superficie ma, bensì, quello di sanare uno stato di fatto alterato. Si ritengono, perciò, inutili, nonché dannose, puliture insistenti che potrebbero intaccare la pellicola naturale del materiale formatasi nel corso degli anni, puliture mosse, generalmente, dalla volontà di restituire al materiale il suo aspetto originario. Tenendo conto che anche la risoluzione meno aggressiva causa sempre una seppur minima azione lesiva sul materiale, è opportuno che le operazioni siano ben calibrate e graduali, procedendo per fasi progressive su più campioni, in questo modo l'operatore può verificare l'idoneità della tecnica prescelta e, allo stesso tempo, determinare quando l'intervento deve essere interrotto.

I metodi di pulitura sono diversi in relazione al tipo di materiale sul quale s'interviene e alla sostanza che s'intende asportare, per questo motivo, la scelta deve essere fatta basandosi su delle indagini preventive in modo da poter avere un quadro informativo puntuale sia sulla natura dei degradi, ed il loro relativo livello d'insistenza, sia sulla consistenza fisico-materica del supporto; in molti casi, infatti, il processo chimico che innesca il degrado è strettamente correlabile alla natura del materiale. Rimuovere le sostanze estranee da un manufatto che presenta un degrado molto avanzato può comportare un aggravarsi dello stato di fatto per cui, prima dei lavori di pulitura, è opportuno intervenire con un preconsolidamento puntuale delle parti precarie così da evitare di danneggiare frammenti decoesi, esfoliati o indeboliti e, allo stesso tempo, di attaccare una superficie instabile con acqua e/o prodotti chimici che potrebbero peggiorare la situazione.

10.3.1 Operazioni di Pulitura materiali lapidei

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

1. Generalità ed esecuzione di prove di pulitura

Prima di eseguire le operazioni di pulitura è opportuno attenersi a delle specifiche procedure al fine di salvaguardare l'integrità del materiale e, allo stesso tempo, prepararlo in modo da garantire l'efficacia, più o meno incisiva, dell'intervento.

Le operazioni preliminari comprendono:

- analisi puntuale e dettagliata della consistenza dei materiali da pulire al fine di avere un quadro esplicativo relativo alla loro natura, compattezza ed inerzia chimica;
- analisi dei prodotti di reazione, così da poter identificare la loro effettiva consistenza, la natura e la reattività chimica;
- preconsolidamento (preferibilmente reversibile) se si riscontra la necessità, del materiale prima di iniziare la pulitura;
- esecuzione delle prove prescelte su campioni di materiale;
- analisi dei risultati ottenuti sulla superficie

pione prima di estendere le operazioni di pulitura a tutta la superficie.

Lo scopo che ogni operazione di pulitura, indipendentemente dal sistema prescelto, deve prefiggersi è quello di asportare dalla superficie ogni tipo di deposito incoerente, in particolar modo quelli che possono proseguire il deterioramento del materiale. La facilità o difficoltà dell'asportazione e, di conseguenza, il ricorso a metodologie più o meno aggressive, dipende strettamente dalla natura del deposito stesso:

- depositi incoerenti (particellato atmosferico terroso o carbonioso) che non risultano coesi con il materiale o derivati da reazione chimica, depositati per gravità, o perché veicolati dalle acque meteoriche o di risalita (efflorescenze saline);

– depositi incoerenti (particelle atmosferiche penetrate in profondità, sali veicolati dall'acqua di dilavamento ecc.) che tendono a solidificarsi alla superficie del materiale tramite un legame meccanico, non intaccando, però, la natura chimica del materiale;

– strato superficiale derivato dalla combinazione chimica delle sostanze esterne (volatili o solide) con il materiale di finitura; i prodotti di reazione che ne derivano sono, ad esempio, le croste (prodotti gessosi) e la ruggine (ossidi di ferro). La rimozione dei depositi incoerenti presenti sul materiale che, a differenza delle croste, non intaccano la natura chimica del materiale, potrà essere eseguita ricorrendo a dei sistemi meccanici semplici, facili da applicare come ad esempio: stracci, spazzole di saggina, scope, aspiratori ecc. integrati, dove il caso specifico lo richiede, da bisturi, piccole spatole e lavaggi con acqua; invece nel caso in cui si debbano asportare depositi solidificati con il materiale, sarà conveniente ricorrere a dei cicli di pulitura più consistenti come, ad esempio, tecniche di pulitura a base d'acqua, pulitura con impacchi acquosi o con sostanze chimiche, pulitura meccanica, pulitura mediante l'uso di apparecchi aeroabrasivi, sabbiatura controllata ecc.

Ogni qualvolta si utilizzeranno sistemi di pulitura che implicheranno l'uso di considerevoli quantitativi d'acqua (spray di acqua a bassa pressione, idropulitura, acqua nebulizzata, acqua atomizzata ecc.) dovrà essere pianificato in sede di cantiere, prima di procedere con l'intervento, il sistema di raccolta e di convogliamento del liquido e dovrà essere prevista la protezione (mediante l'utilizzo di teli impermeabili) delle parti che, non essendo interessate dall'operazione di pulitura (serramenti, vetri ecc.), potrebbero essere danneggiate durante la procedura.

Ogni procedura di pulitura, in special modo se caratterizzata dall'utilizzo di prodotti specifici anche se prescritti negli elaborati di progetto, dovrà essere preventivamente testata tramite l'esecuzione di campionature eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; in ogni etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione (se si tratterà di emulsioni, ovverosia miscele di due liquidi, rapporto volume/volume) o di concentrazione (se si tratterà di soluzioni, cioè scioglimento di un solido in un liquido, rapporto peso/volume) utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

2. Sistemi di pulitura per gli elementi lapidei

I materiali lapidei rientrano nella categoria dei materiali a pasta porosa e come tali risentono particolarmente dell'azione disgregatrice operata dalle condizioni al contorno. La superficie, generalmente lavorata, a contatto con gli agenti atmosferici è sottoposta ad una serie di lente trasformazioni chimiche-fisiche che portano, nel corso degli anni, alla formazione di una patina superficiale, non dannosa, una sorta di protezione naturale che si limita ad alterare solo l'aspetto cromatico del materiale. Attualmente, le sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera ostacolano la formazione della patina attaccando direttamente i materiali lapidei favorendone la disgregazione e l'insorgenza di croste nere. L'intervento di pulitura su questo tipo di materiali deve, principalmente, essere indirizzato ad eliminare la presenza di efflorescenze, croste nere, macchie ecc. che provocano il lento deterioramento della materia e, laddove è presente, conservare la patina naturale.

Le croste nere che ricoprono gli elementi lapidei, costituiscono un tipo di degrado che più di altri può alterare lo stato di fatto del materiale; oltre a mascherare le policromie, annullando l'originale gioco di luci e di ombre caratteristico degli apparati decorativi, sono una fonte pericolosa di sali solubili e la loro persistenza fa sì che la superficie sia sempre a contatto con le sostanze inquinanti. La presenza di croste nere può inoltre accentuare l'effetto di variazioni termiche, che accelerano il fenomeno di esfoliazione degli strati superficiali della pietra provocando il distacco di frammenti.

3. Pulitura mediante spray di acqua a bassa pressione

Tecnica particolarmente adatta quando si tratterà di rimuovere polveri e depositi solubili in acqua o non troppo coesi al substrato; indicata soprattutto per asportare depositi superficiali sottili legati con gesso o calcite secondaria, su materiali lapidei di natura calcarea e poco porosi, è sconsigliata in presenza di croste nere di spessore considerevole (1-3 mm) e contenenti percentuali di gesso elevate (tra il 20% e il 30%) poiché i tempi di applicazione troppo lunghi potrebbero recare danni al materiale. La superficie da trattare sarà invasa da getti d'acqua a bassa pressione (2-3 atm) proiettati con l'ausilio di ugelli (simili a quelli comunemente usati negli impianti di irrigazione o in orticoltura) indirettamente dall'alto verso il basso, in modo tale da giungere sul materiale in caduta. Quest'operazione di pulitura, oltre all'azione chimica, svolgerà anche una moderata azione meccanica e dilavante, (dovuta al moderato ruscellamento), grazie alla quale gran parte dei sali solubilizzati potranno essere rimossi. Importante è tenere presente che la quantità d'acqua da impiegare dovrà essere tale da non inumidire troppo la muratura (l'intervento non deve superare i 15-20 minuti consecutivi); inoltre, è consigliabile evitare i cicli di pulitura a base d'acqua nei mesi freddi così da evitare gli inconvenienti connessi sia all'azione del gelo sia alla lenta evaporazione, per questo la temperatura esterna non dovrebbe essere mai sotto i 14 °C.

La pulitura dovrà procedere per porzioni limitate di muratura; nel caso questa tecnica sia utilizzata per la pulitura di materiali lapidei porosi si dovrà, necessariamente, ridurre al minimo indispensabile la quantità d'acqua in modo da riuscire ad evitare la movimentazione dei sali presenti all'interno del materiale. Considerata la quantità d'acqua impiegata, prima di iniziare le operazioni di pulitura si dovranno mettere in atto le precauzioni enunciate nell'articolo sulle generalità.

Specifiche sui materiali: per la pulitura di manufatti, dovrà, preferibilmente, essere utilizzata, acqua assolutamente pura, dolce, priva di sali e calcari, con un pH neutro e una durezza inferiore al 2% (anche se sovente nella pratica si ricorre all'acqua di rubinetto). L'acqua da impiegare dipenderà dalla natura del materiale, di norma in presenza di calcari teneri si useranno acque più dure, acque a grana fine dove si riscontreranno problemi di solubilità di carbonato di calcio mentre, per i graniti e le rocce silicate potrà essere utilizzata acqua distillata ovvero deionizzata ottenuta tramite l'utilizzo di appositi filtri contenenti resine scambiatrici di ioni acide (RSO_3H) e basiche (RNH_3OH) rispettivamente. Il processo di deionizzazione non renderà le acque sterili e nel caso in cui sia richiesta sterilità, potranno essere ottenute acque di questo tipo, operando preferibilmente per via fisica.

3.1. Pulitura mediante macchina idropulitrice a pressione controllata

L'idropulitura risulterà particolarmente adatta per effettuare lavaggi su delle superfici non di particolare pregio e soprattutto non eccessivamente degradate o porose poiché la pressione del getto (4-6 atm), in questo caso, potrebbe risultare troppo aggressiva e lesiva per il materiale ed implicare, sia l'eventuale distacco di parti deteriorate sia l'asportazione anche di porzioni sane di superficie. La procedura prevedrà l'esecuzione del lavaggio con getto di acqua, calda o fredda in riferimento alle indicazioni della D.L., emesso tramite l'ausilio di un ugello erogatore distante dalla superficie in una misura mai inferiore a 5 cm o superiore a 20 cm; si procederà con la pulitura dall'alto verso il basso per delimitate campiture, così da riuscire ad asportare velocemente lo sporco ed evitare la sua eventuale penetrazione (per percolamento) nelle parti inferiori, dopodiché si terminerà con un risciacquo dell'intera superficie. Al termine delle operazioni di lavaggio è opportuno accertarsi che l'intervento non abbia provocato dei danni al materiale (erosioni, abrasioni ecc.) e che non siano presenti polveri trasportate verso il basso dal ruscellamento delle acque di lavaggio. Considerata la quantità d'acqua impiegata, prima di iniziare le operazioni di pulitura si dovranno mettere in atto le precauzioni enunciate nell'articolo sulle generalità.

4. Pulitura mediante spray d'acqua nebulizzata

Un'alternativa alla pulitura con spray d'acqua deionizzata è la nebulizzazione del liquido tramite ugelli a cono vuoto (dotati di pinze e posizionati a 30-40 cm dalla superficie) caratterizzati da un orificio molto piccolo, (diametro tra 0,41 e 0,76 mm), che permette di invadere la superficie da trattare (obliquamente e quasi senza pressione) con una fitta nebbia di goccioline, del diametro di circa 1/10 mm. Sostanzialmente le precauzioni da prendere saranno le stesse del metodo precedentemente illustrato, questo sistema sarà valido soprattutto per rimuovere incrostazioni costituite da composti parzialmente idrosolubili; l'acqua impiegata potrà essere deionizzata ed additivata con tensioattivi neutri allo scopo di diminuire l'angolo di contatto e, rispetto allo spray d'acqua, presenterà il vantaggio di accentuare l'azione diluente della pulitura chimica proprio grazie all'azione nebulizzante delle goccioline. La nebulizzazione risulterà particolarmente adatta quando si tratterà di pulire pietre carbonatiche non troppo incrostate (meno adatta per pietre quarzo-silicatiche) e per interventi su calcari non troppo porosi, dove le sostanze da rimuovere non siano particolarmente tenaci, contrariamente, in presenza di depositi difficili da rimuovere, si completerà il ciclo di pulitura con impacchi o spazzole di saggina. La pulitura dei materiali porosi con acqua nebulizzata dovrà ridurre i tempi d'irrorazione della superficie (così da evitare l'assorbimento d'acqua in profondità) ripetendo, se necessario, l'intervento più volte. L'applicazione continua della nebulizzazione sulla superficie non dovrà, comunque, mai superare i 15 minuti consecutivi in modo da evitare che le murature s'impregnino eccessivamente (in condizioni "normali" il consumo d'acqua potrà essere valutato in 4 l/h per ugello). Tra i vari cicli di pulitura dovranno intercorrere ampie pause così da consentire al materiale il completo prosciugamento. I tempi d'applicazione saranno comunque in funzione della consistenza dei depositi e della natura del materiale; su calcari teneri l'intervento potrà durare meno rispetto a quello operato su quelli compatti. La pulitura mediante acqua nebulizzata si effettuerà in cantiere ricorrendo a specifica apparecchiatura e dovrà essere applicata, esclusivamente durante la stagione calda, mai con valori minimi della temperatura esterna inferiori a 17 °C. Considerata la quantità d'acqua impiegata, prima di iniziare le operazioni di pulitura si dovranno mettere in atto le precauzioni enunciate nell'articolo sulle generalità.

4.1. Pulitura mediante acqua atomizzata

Molto simile alla tecnica della nebulizzazione è la pulitura mediante acqua atomizzata con la differenza che, in questo caso, lo spruzzo d'acqua è costituito da goccioline ancora più piccole. Mediante l'uso d'apposite camere di atomizzazione, infatti, l'acqua si ridurrà in un aerosol costituito da un numero elevato di finissime goccioline che fuoriusciranno da ugelli connessi ai lati delle camere mediante condutture flessibili; in questo modo aumenterà l'azione solvente dell'acqua nei confronti dei sali solubili e dei leganti delle croste nere, mentre diminuirà l'azione meccanica che si limiterà ad un debole ruscellamento sulle superfici sottostanti. Si ricorrerà a questa tecnica ogni qualvolta si dovrà eseguire la pulitura su porzioni particolarmente delicate come: apparati decorativi, fregi, modanature ecc., e/o su superfici particolarmente degradate (decoese). La pulitura mediante l'atomizzazione sarà in grado di asportare dalle superfici lapidee (anche porose) di natura carbonatica, parte dei sali solubili e i depositi polverulenti e/o carboniosi. I tempi di applicazione sono più lunghi di quelli previsti per la nebulizzazione. Considerata la quantità d'acqua impiegata, prima di iniziare le operazioni di pulitura, si dovranno mettere in atto le precauzioni enunciate nell'articolo sulle generalità.

5. Pulitura meccanica (spazzole, bisturi, spatole ecc.)

La pulitura meccanica di superfici lapidee, comprende una serie di strumenti specifici il cui impiego è in stretta relazione al grado di persistenza delle sostanze patogene che si dovranno asportare. Prima di procedere ad illustrare la gamma di utensili disponibili e le relative tecniche, è opportuno precisare che la riuscita delle operazioni di pulitura meccanica, sarà strettamente connessa all'abilità ed alla sensibilità dell'operatore che dovrà prestare particolare attenzione a non arrecare danni irreversibili al materiale (incisioni o segni). La pulitura meccanica consentirà la rimozione di scialbature, depositi ed incrostazioni più o meno aderenti alla superficie; a tal fine si potrà ricorrere a strumenti di vario tipo partendo dai più semplici come: spazzole di saggina o di nylon, bisturi, piccole spatole metalliche, sino ad arrivare ad utilizzare apparecchiature meccanizzate più complesse di tipo dentistico che, alimentate da un motore elettrico o pneumatico, consentiranno la rotazione di un utensile come ad esempio: microspazzolini in fibre vegetali o nylon (per asportare depositi più o meno aderenti), microfrese (atte all'asportazione di incrostazioni dure e di modeste dimensioni), micromole in gomma abrasiva (ovviano l'inconveniente di lasciare tracce da abrasione grazie al supporto relativamente morbido), microscalpelli su cui si monteranno punte in vidia di circa 5 mm di diametro (adatti per la rimozione di depositi calcarei), vibroincisori, apparecchi che montano punte a scalpello o piatte con diametro di circa 2-3 mm (eliminano incrostazioni molto dure e coese come scialbi, stuccature cementizie ecc.). La carta abrasiva fine (400-600 Mesh) o la pomice potranno essere impiegate in presenza di superfici piane o poco irregolari, anche se la bassa velocità di avanzamento che caratterizza questo sistema, implicherà tempi di lavoro troppo lunghi e, per questo, potrà essere applicato solo su porzioni limitate di materiale. In presenza di stuccature cementizie, o in casi analoghi, si potrà procedere alla loro asportazione ricorrendo all'uso di un mazzuolo e di uno scalpello (unghietto); considerato l'impatto che potrà avere l'intervento sul materiale, si consiglia di effettuare l'operazione in maniera graduale in modo da poter avere sempre sotto controllo l'intervento.

Avvertenze

Questo tipo di pulitura potrà produrre variazioni morfologiche superficiali in funzione della destrezza dell'operatore e delle condizioni conservative della superficie, mentre saranno assenti variazioni del colore delle superfici trattate da tale procedura.

6. Pulitura mediante prodotti solventi

La pulitura mediante solventi dovrà essere, necessariamente, impiegata nel caso in cui si operi in presenza di materiali o supporti (ad es., stucchi a gesso o stesure pittoriche a base gesso) che non siano in grado di sopportare puliture ad acqua.

La procedura operativa prevedrà le seguenti fasi:

- esecuzione di prove preliminari di pulitura al fine di determinare il livello della rimozione dei prodotti di deposito e di alterazione, senza danneggiare il supporto, la sua finitura superficiale nonché il materiale di cui è costituito: tali prove serviranno, inoltre, per avere un campione di riferimento e di controllo durante le fasi successive di lavoro. Tali test dovranno essere eseguiti in presenza della DL ed essere visionati dagli organi di tutela del bene in oggetto; ogni campione dovrà essere catalogato e riportare il tipo di solvente utilizzato. Per la campionatura, (che dovrà necessariamente essere eseguita su differenti elementi lapidei), se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, potranno essere impiegati i seguenti solventi: acetone, acqua ragia, diluente nitro e white spirit;

- pulitura degli elementi in oggetto mediante tamponi (batuffoli di cotone) o compresse di garza contenente al suo interno materiale assorbente. L'operatore potrà impiegare il tampone impugnandolo direttamente o utilizzando un bastoncino in legno così da agevolare la pulitura di porzioni difficilmente raggiungibili come incavi, spigoli, rientranze ecc. L'operatore, dopo avere imbevuto di solvente il tampone, procederà a strofinare leggermente la zona da pulire eseguendo, preferibilmente, un movimento rotatorio. Nei punti più difficili da raggiungere e/o in presenza di depositi o incrostazioni più coerenti, potrà essere necessario insistere nell'azione impiegando il movimento più adatto alla specifica esigenza. In caso di colature, o dispersioni incontrollate del solvente misto al particolato di deposito, occorrerà operare la rimozione tempestivamente asciugandole con un tampone o una pezza di garza asciutti. Subito dopo aver passato il tampone sarà necessario passare sul manufatto oggetto di intervento una pezza di tessuto pulito ovvero un altro tampone inumidito con idoneo diluente così da rimuovere eventuali eccessi di solvente affinché questi non continuino la loro azione. In alternativa, ossia dove si renderà necessario un intervento più minuzioso e localizzato, ossia per le parti più delicate policrome o dorate (scritte, stemmi, festoni, capitelli), sarà preferibile veicolare il solvente mediante l'utilizzo di addensanti cellulosici ovvero solvent-gel. Queste tipologie di prodotti, oltre a risultare igroscopici, permettono di gelificare il solvente così da mantenerlo localizzato sulla superficie del manufatto policromo; in questo modo l'azione di pulitura si rileverà più selettiva limitando la penetrazione del solvente negli strati sottostanti. Il gel sarà applicato con pennelli piccoli e morbidi per i tempi e con la densità stabiliti dai test-campione eseguiti in precedenza; in caso di superfici particolarmente decoese si potranno frapporre tra il composto e il supporto dei fazzoletti di carta giapponese. Il composto sarà rimosso a secco o a tampone leggermente imbevuto così da evitare di lasciare eventuali residui dannosi per il manufatto.

Avvertenze

La scelta del solvente adatto alla rimozione di una certa sostanza richiederebbe, di norma, l'esatta conoscenza della natura chimica del materiale da disciogliere; nel caso in cui si disponga di tale conoscenza preliminare all'intervento, sarà sufficiente utilizzare il Triangolo delle Solubilità dei solventi così da arrivare immediatamente ad una possibile, quanto idonea soluzione. Nel caso in cui l'operatore non abbia la piena conoscenza della natura del materiale da rimuovere, sarà necessario eseguire delle prove campione sulla superficie da rimuovere. I suddetti test, eseguiti dietro specifica autorizzazione della DL, dovranno verificare, con delle miscele solventi standard a parametri di solubilità noti (potrà, per semplicità, essere considerato solo uno dei tre parametri ad es. la *fd* ovvero la forza di dispersione), il valore necessario per solubilizzare il materiale ovvero la vernice in oggetto: in accordo col valore trovato, verrà scelto il solvente adeguato per la pulitura. In pratica si dovranno eseguire delle modeste tassellature di prova partendo sempre dalla miscela (ovvero dal solvente) con valore più basso per poi passare alla successiva, fino a quando se ne troverà una che solubilizzerà il soluto in questione. Stabilito, in questo modo, il parametro spia, si potrà compiere la scelta del solvente (o più spesso della miscela di solventi, ad es. 1 parte di white spirit e 3 parti di trielina per asportare depositi, grassi di oli e cere) avente il valore ricercato. La selezione, pertanto, sarà indirizzata dalla tabella dei parametri di solubilità nelle immediate vicinanze del valore del parametro scelto determinato dalla prova-campione. In linea generale, la scelta dovrà ricadere su un solvente il meno tossico possibile, nel caso tale solvente non dovesse esistere, il valore spia dovrà essere riprodotto mediante miscela di solventi (per semplicità operativa converrà operare verso miscele binarie).

La scelta dei solventi, sia quando risulti nota la natura del soluto, sia quando si debba ricavare mediante prove campione, rappresenta di norma un compromesso tra esigenze diverse quali il potere solvente, la stabilità, la non corrosività, la tossicità e l'inflammabilità. Considerando i parametri di solubilità (ovvero *fs* forze di dispersione tipo apolari, *fp* forze di tipo polari e *fh* forze di legame a Idrogeno) dei solventi organici, sarà, pertanto, consigliabile sostituire un solvente organico con un altro solvente o una miscela di solventi la cui terna di parametri di solubilità sia analoga a quella del solvente da sostituire, specialmente se questo ultimo si rileva molto tossico. L'utilizzo di solventi gelificanti nelle operazioni di pulitura di superfici policrome sarà da preferire dal momento che consentirà di ottenere un'azione più controllata e selettiva sullo strato da rimuovere, oltre ad una minore volatilità dei solventi stessi ed una maggiore sicurezza per l'operatore.

Per utilizzare, manipolare e/o conservare i suddetti prodotti si dovrà, obbligatoriamente, fare riferimento a quanto indicato sulle relative etichette e schede di sicurezza. I prodotti dovranno, inoltre, essere ad esclusivo uso di personale professionalmente qualificato. In ogni caso dovranno sempre essere utilizzati i DPI (dispositivi di protezione individuali) adeguati a protezione della pelle, degli occhi, del viso e delle vie respiratorie.

Specifiche sui materiali

Acetone anidrite solvente polare, volatile atossico presenta un ottimo potere solvente miscibile con molti liquidi e può

essere impiegato come solvente intermedio.

Acqua regia minerale solvente apolare, la versione dearomatizzata, presenterà una tossicità inferiore; sarà, comunque, consigliabile utilizzarla in ambiente areato.

Diluente nitro antinebbia, miscela di vari solventi (toluene, acetone, dicloropropano, alcool isopropilico), alcuni tossici a polarità media a rapida evaporazione, possiede un buon potere solvente.

White spirit (ragia dearomatizzata), miscela di idrocarburi, liquido limpido di odore caratteristico è insolubile in acqua ma miscibile con la maggior parte dei solventi organici.

Solvent-gel si costituiscono a partire da acido poliacrilico e ammina di cocco, la quale possiede la proprietà di neutralizzare la funzione acida dell'acido poliacrilico e, contemporaneamente, di conferire all'addensante anche blande proprietà tensioattive. L'aggiunta al solvente scelto e poche gocce d'acqua provocano il rigonfiamento del sistema e la formazione del gel.

Addensanti cellulosici: agiscono per rigonfiamento diretto della struttura cellulosica da parte del solvente puro o di loro miscele. La metilcellulosa si rileva più adatta per gelificare solventi polari (acetone, white spirit ecc.) o miscele di questi, da utilizzarsi in concentrazione dal 2 al 4% p/v. L'etilcellulosa si rileva, invece, più adatta per solventi a polarità medio bassa (clorurati, chetoni, esteri ecc.) o apolari; la percentuale di utilizzo varia dal 6% al 10% (p/v) a seconda dei casi.

7. Pulitura mediante impacchi

Le argille assorbenti, come la sepiolite e l'attapulgit, sono dei silicati idrati di magnesio, mentre la polpa di cellulosa è una fibra organica ottenuta da cellulose naturali (disponibile in fibre di lunghezza variabile da 40 a 1000 μ); mescolate insieme all'acqua, questo tipo di sostanze, sono in grado di formare una sorta di fango capace di esercitare, una volta a contatto con le superfici lapidee e opportunamente irrorato con acqua (o con sostanze chimiche), un'azione, di tipo fisico, di assorbimento di liquidi in rapporto al proprio peso. La pulitura mediante impacchi assorbenti risulterà vantaggiosa, oltre che per l'asportazione dei sali solubili, per la rimozione, dalle superfici lapidee, di strati omogenei di composti idrosolubili o poco solubili (come croste nere poco spesse, di circa 1 mm), macchie originate da sostanze di natura organica, strati biologici (batteri, licheni e algali). Gli impacchi, inoltre, sono capaci di ridurre le macchie di ossidi di rame o di ferro. Il vantaggio del loro utilizzo risiede anche nella possibilità di evitare di applicare direttamente sulla superficie sostanze pulenti (in special modo quelle di natura chimica) che, in alcuni casi, potrebbero risultare troppo aggressive per il substrato. La tipologia d'impacco dipenderà dal grado di persistenza e dalla solvenza dello sporco da rimuovere, ma si deve tenere presente che gli impacchi non risulteranno particolarmente adatti per asportare croste spesse e, in caso di materiali porosi e/o poco coesi, sarà opportuno, al fine di non rendere traumatica l'operazione d'asportazione, interporre sulla superficie carta giapponese o klinex. Potrà essere conveniente, prima di applicare l'impacco, operare lo "sgrossamento" e la rimozione d'eventuali incrinature superficiali ricorrendo a solventi come acetone, cloruro di metilene ecc. e, dove risulterà possibile, effettuare un lavaggio con acqua (deionizzata o distillata) in modo da asportare i depositi meno coerenti ed ammorbidire gli strati carboniosi più consistenti. In presenza di efflorescenze si dovrà provvedere alla loro asportazione meccanica tramite lavaggio con acqua deionizzata e spazzolino morbido prima di procedere con l'operazione.

In linea generale si deve preferire basse concentrazioni con conseguenti tempi di applicazione più lunghi rispetto ad impacchi con soluzioni elevate con tempi di applicazione brevi.

7.1. -Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di acqua (estrazione di sali solubili mediante applicazione di compresse assorbenti)

L'impacco acquoso consisterà nell'applicazione, direttamente sulla superficie, (preventivamente umidificata con acqua distillata o deionizzata) di argille assorbenti (sepiolite o attapulgit con granulometrie comprese tra i 100 e i 200 Mesh) o polpa di cellulosa (fibra lunga 600-1000 μ) previa messa in opera, dove si renderà necessario, di *klinex* o fogli di carta giapponese indispensabili per interventi su superfici porose e/o decoese. La preparazione dell'impacco avverrà manualmente imbevendo con acqua deionizzata o distillata il materiale assorbente fino a che questo non assumerà una consistenza pastosa tale da consentire la sua applicazione, con l'ausilio di spatole, pennelli o, più semplicemente con le stesse mani, in spessori variabili a seconda delle specifiche dettate dalla DL (2-3 cm per le argille, 1 cm per la polpa di cellulosa). La permanenza dell'impacco sulla superficie sarà strettamente relazionata al caso specifico ma soprattutto farà riferimento alle indicazioni, dettate dalla DL, basate su prove preventive effettuate su campioni (circa 10x10 cm). Il tempo di contatto (da pochi minuti a diverse ore) dipenderà dalla concentrazione delle soluzioni impiegate (da 5% a 130%, alle soluzioni sature), dal tipo e dalla consistenza del degrado che dovrà essere rimosso. La plasticità dell'impacco potrà essere migliorata aggiungendo all'acqua e all'argilla quantità variabili di attapulgit micronizzata. Gli impacchi dovranno essere eseguiti con temperature esterne non inferiori a 10 °C; se applicati durante un periodo caldo, o in presenza di vento, al fine di rallentare l'evaporazione del solvente, potranno essere protetti esternamente con strati di cotone o teli di garza imbevuti di acqua demineralizzata, coperti da fogli di polietilene muniti di un'apertura dalla quale verrà garantito l'inumidimento della superficie sottostante. La rimozione della poltiglia potrà essere eseguita quando questa, una volta asciutta, formerà una crosta squamosa ed incoerente tale da distaccarsi dal supporto poiché non più aderente alla superficie. I frammenti di pasta cadranno da soli o potranno essere rimossi con facilità aiutandosi con pennello o spatola. Il supporto dovrà essere lavato con acqua demineralizzata, nebulizzata a bassa pressione in modo da riuscire ad asportare tutto il materiale assorbente aiutandosi, se necessario, anche con spazzole e pennelli di setole di nylon morbide. Sia l'attapulgit che la sepiolite saranno in grado di assorbire una grande quantità di liquidi in rapporto al loro peso (un chilogrammo di attapulgit è in grado di assorbire 1,5 kg d'acqua senza rigonfiare); l'attapulgit riuscirà ad assorbire, oltre l'acqua, anche gli oli. Le argille assorbenti, rispetto alla polpa di cellulosa, presenteranno l'inconveniente di sottrarre troppo rapidamente l'acqua dalle superfici trattate. In presenza di pietre molto porose potrà essere indicato ricorrere alla polpa di cellulosa (più facile da rimuovere rispetto alle argille).

Specifiche sui materiali

In alternativa all'impasto composto in cantiere potrà essere impiegato un impasto premiscelato denominato *Westox*

Cocoon costituito esclusivamente da acqua distillata, fibre di purissima cellulosa di grado A (farmaceutico, non riciclata), proveniente da pasta di pino di prima scelta esente da Arsenico. La pasta (con pH di 8,0-8,5) viene alcalinizzata con Carbonato di Calcio da polvere di marmo, invece che con il normale Bicarbonato di Sodio, onde evitare di introdurre uno ione estraneo alla malta di calce, e modificata con terre silicee assorbenti purissime (farina fossile diatomacea). La pasta dell'impacco *Cocoon* è fornita pronta all'uso, non necessita di nessuna aggiunta né di essere mescolata. Si applica alla superficie (per un minimo di due applicazioni) mediante spatola piatta, cazzuola o a spruzzo per grandi superfici, per uno spessore di circa 10 mm (consumo di circa 10 l/m²), anche da mano d'opera non specializzata. Dopo circa 7-28 giorni dall'applicazione (14 giorni in condizioni climatiche medie, ma anche molto di più) la pasta sarà diventata un cartone contenente i sali e potrà essere distaccata manualmente dal substrato o con l'eventuale aiuto di spatola piatta. Il cartone potrà essere mandato a discarica ordinaria. Così come per l'impacco "tradizionale", la superficie interessata dovrà essere lavata con acqua demineralizzata eventualmente coadiuvata da una leggera spazzolatura manuale eseguita con spazzole morbide.

Avvertenze

Il degrado e i danni si presenteranno in proporzione alla quantità percentuale in peso dei sali totali presenti nel muro. Il contenuto salino del muro potrà essere verificato da analisi di laboratorio su campioni secondo la norma UNI 11087 Beni Culturali "Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto di sali solubili. Specie ioniche". La valutazione dei "sali totali" (ossia la somma delle seguenti specie ioniche: cloruri, solfati, nitrati e Sodio, Potassio, Magnesio, Calcio) mediante conduttività, prevista dalla stessa norma, potrà essere accettata per misure comparative a discrezione del Direttore dei Lavori.

In linea generale un muro potrà essere classificato secondo il grado di contaminazione in:

- pulito quando contiene meno dello 0,20% di sali totali al suo interno;
- poco contaminato quando contiene dallo 0,30% allo 0,50% (con questo contenuto salino vi sono pochi danni);
- molto contaminato dall'1,60% al 3,00% di sali;
- gravemente contaminato oltre il 3,00% di contenuto salino.

L'abbassamento del contenuto salino totale del muro sotto allo 0,20% garantisce che il muro è sano, e rimarrà tale se non entrano nuovi sali. Essendo ogni situazione di cantiere diversa, il numero di applicazioni necessario per raggiungere, nel caso particolare, la soglia ideale dovrà essere valutata singolarmente; in ogni caso, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, si eseguiranno un minimo di due cicli di impacco intervallati da almeno 14 giorni.

7.2. Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di sostanze chimiche

In presenza di sostanze patogene particolarmente persistenti (croste poco solubili) gli impacchi potranno essere additivati con dosi limitate di sostanze chimiche, in questo caso l'operazione dovrà essere portata a compimento da personale esperto che prima di estendere il procedimento a tutte le zone che necessiteranno dell'intervento, eseguirà delle limitate tassellature di prova utili a definire, con esattezza, i tempi di applicazione e valutare i relativi effetti. Le sostanze chimiche, a base di solvente o di sospensioni ad azione solvente, con le quali si potranno additivare gli impacchi dovranno avere una limitata tossicità, bassa infiammabilità, adeguata velocità di evaporazione e una composizione pura. Un solvente troppo volatile non riuscirà a soluzione in tempo il deposito così come un solvente con alto punto d'evaporazione ristagnerà sulla superficie. Si potrà ricorrere a prodotti basici o a sostanze detergenti quali saponi liquidi neutri non schiumosi diluiti nell'acqua di lavaggio. Le sostanze a reazione alcalina più o meno forte (come l'ammoniaca, i bicarbonati di sodio e di ammonio) saranno utilizzate soprattutto per saponificare ed eliminare le sostanze grasse delle croste a legante organico e, in soluzione concentrata, saranno in grado di attaccare incrostazioni scure spesse e scarsamente idrosolubili. I detergenti saranno in grado di diminuire la tensione superficiale dell'acqua incrementandone, in questo modo, l'azione pulente; l'utilizzo dei detergenti consentirà di stemperare le sostanze organiche (oli e grassi), di tenere in sospensione le particelle di depositi inorganici non solubilizzati o disgregati, di compiere un'azione battericida presentando il vantaggio di poter essere asportati insieme allo sporco senza lasciare alcun residuo.

Per asportare croste nere di piccolo spessore (1-2 mm) uno dei formulati che, se non diversamente indicato dalla DL, potrà essere utilizzato si comporrà di:

- 1000 cc di acqua deionizzata;
- 50 g di carbossimetilcellulosa (serve per dare consistenza tissotropica all'impasto);
- 30 g di bicarbonato di sodio (NaHCO₃);
- 50-100 g di EDTA (sale bisodico).

Il tempo di contatto potrà variare secondo i casi specifici: nel caso in cui la DL riterrà opportuno prolungarlo nel tempo (sulla base di prove preventive su tasselli di materiale campione), si dovrà provvedere alla copertura dell'area interessata con fogli di polietilene in modo da impedire l'evaporazione dell'acqua presente nel composto. Una volta rimosso il composto, si dovrà procedere alla pulitura con acqua deionizzata aiutata, se si riterrà necessario, con una leggera spazzolatura.

L'EDTA bisodico è particolarmente efficace nella rimozione di patine di gesso, generate da solfatazioni e carbonato di calcio legate alla presenza di scialbi o ricarbonatazioni superficiali, grazie al pH debolmente acido (pH \square 5). L'EDTA tetrasodico con il pH alcalino (pH \square 11) risulterà particolarmente efficace nella rimozione di patine di vario colore (giallo, rosa, bruno) composte da ossalato di calcio (prodotto da certi tipi di licheni o da ossidazione di eventuali materiali organici vari applicati in passato a scopo protettivo o decorativo e, in seguito, ossidati da batteri installatisi sulla superficie).

In alternativa si potrà utilizzare un impacco leggermente diverso denominato AB 57 composto nel seguente modo:

- 1000 cc di acqua deionizzata;
- 60 g di carbossimetilcellulosa;
- 50 g di bicarbonato di sodio (NaHCO₃);
- 30 g di bicarbonato di ammonio (NH₄HCO₃);
- 25 g di EDTA (sale bisodico);

– 10 g di Neodesogen (sale di ammonio quaternario) al 10%.

Rispettando la composizione si avrà una soluzione il cui pH sarà di circa 7,5 (sarà, in ogni caso, sufficiente che il pH non superi il valore di 8 al fine di evitare pericolosi fenomeni di corrosione dei calcarei e l'eventuale formazione di sotto prodotti dannosi); la quantità di EDTA potrà variare fino ad un massimo di 100-125 g, alla miscelazione potranno essere aggiunte ammoniaca o tritanolammina (liquido limpido, viscoso, molto igroscopico) allo scopo di migliorare la dissoluzione di componenti "grassi" presenti nella crosta. Anche in questo caso ad operazione avvenuta si renderà indispensabile un lavaggio con acqua deionizzata accompagnato, se si riterrà necessario, da una blanda azione meccanica di spazzolatura. Per la rimozione di ruggine dalle superfici lapidee il reagente utilizzato sarà diverso a seconda se si tratterà di operare la pulitura su rocce calcaree o su rocce silicee; le macchie di ferro, su queste ultime, si potranno rimuovere mediante acido fosforico e fosfati, fluoruri o citrati mentre, sulle rocce calcaree, si potrà ricorrere a una soluzione satura di fosfato di ammonio (con pH portato a 6 per aggiunta di acido fosforico) facendo attenzione a limitare al minimo il tempo di contatto. È buona norma, prima di applicare gli impacchi, sgrassare la superficie da pulire e, al fine di limitare la diffusione del ferro all'interno del materiale, applicare i primi impacchi su di un'area doppiamente estesa rispetto a quella dell'intervento e quelli successivi limitandosi alla parte interessata dalla patologia.

Avvertenze

Questo tipo di pulitura comporterà inevitabilmente un blando effetto di corrosione delle superfici calcaree soprattutto in avanzato stato di degrado, ciò è dovuto principalmente alla presenza di agenti complessanti del calcio all'interno del formulato AB57. La pulitura con impacco chimico aumenterà, inoltre leggermente l'assorbimento capillare di acqua in relazione all'effetto di corrosione corticale esaminato in precedenza. In alcuni casi, inoltre, la pulitura chimica potrà presentare una leggera sbiancatura delle superfici trattate.

Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di Carbonato e Bicarbonato d'Ammonio

Il carbonato e il bicarbonato di ammonio (veicolati nella maggior parte dei casi con impacchi di polpa di cellulosa) sono sali solubili in acqua, ai quali si potrà ricorrere in percentuali che varieranno da 5% a 100%, secondo i casi; potranno essere utilizzati sia da soli che in composti e, non di rado, a questa tipologia di impacchi si potranno aggiungere resine a scambio ionico con effetto solfante applicate in seguito a miscelazione con acqua demineralizzata in rapporto variabile, in base alla consistenza finale che si vorrà ottenere per effettuare il trattamento (i tempi di applicazione sono, anche in questo caso, da relazionarsi ad opportuni test preventivi).

Il carbonato e il bicarbonato di ammonio decompongono spontaneamente originando prodotti volatili (di norma questi sali risulteranno attivi per un lasso di tempo di circa 4-5 ore), la liberazione di ammoniaca conferirà al trattamento proprietà detergenti, mentre l'alcalinità (maggiore per il carbonato che per il bicarbonato) consentirà una graduale gelificazione di materiale di accumulo e vecchie patine proteiche e lipidiche, consentendone la rimozione dalla superficie. Questi sali eserciteranno, inoltre, un'azione desolfatante, riuscendo a trasformare il gesso, eventualmente presente sul supporto, in solfato di ammonio più solubile e facilmente asportabile con lavaggio acquoso. Se il materiale da asportare presenterà un'elevata percentuale di gesso, la concentrazione in acqua del carbonato o bicarbonato dovrà essere di tipo saturo (circa il 15-20% di sale in acqua deionizzata) mentre, per gli altri casi, basterà raggiungere il pH necessario (9 per il carbonato, 8 per il bicarbonato) con soluzioni meno sature (5-7% in acqua deionizzata). L'uso del bicarbonato d'ammonio (o di sodio) sarà sconsigliato nel caso di interventi su materiali particolarmente degradati, specie per i marmi (nei quali si può avere una facile corrosione intergranulare e decoesione dei grani di calcite superficiale) e per i calcari sensibilmente porosi dove potrà incontrare difficoltà nel rimuovere i residui dell'impacco. In presenza di efflorescenze visibili sarà utile un'anticipata rimozione meccanica delle stesse, allo scopo di evitare la loro solubilizzazione e conseguente compenetrazione in seguito alla messa in opera dell'impacco.

Esempi di impasti: un impasto base per la rimozione di patine tenaci, fissativi o pitturazioni eseguite con colori più o meno resistenti sarà composto da:

- polpa di cellulosa a fibra media-grossa (tipo *Arbocell 200-600* □, metà della quantità di polpa di cellulosa potrà essere sostituita con Sepiolite);
- carbonato di ammonio al 20-25% (soluzione satura e acqua deionizzata in rapporto 1:2), in alternativa si potrà utilizzare bicarbonato di ammonio in opportuna diluizione.

La validità dell'impacco dovrà, in ogni caso, essere testata preventivamente su tasselli-campione, indicativamente il tempo di contatto potrà variare tra i 10 e i 45 minuti. La concentrazione della sostanza attiva non dovrà essere molto alta così da garantire all'impacco un'azione prolungata nel tempo e in profondità. Per pitturazioni eseguite con colori poco resistenti o delicati potrà essere utilizzata polpa di cellulosa con fibre corte (0-40 □) o carbossimetilcellulosa (così da formare un impasto semitrasparente morbido e pennellabile) abbassando i tempi di applicazione (che potranno oscillare dai 5 ai 20 minuti) così da evitare che l'impacco agisca troppo in profondità ed eserciti solo azione pulente in superficie. In presenza di pigmenti deboli potrà essere necessario sostituire il carbonato con il bicarbonato di ammonio con l'eventuale riduzione delle concentrazioni e dei tempi di contatto (potranno essere sufficienti anche solo pochi minuti).

Orientativamente impacchi realizzati con polpa di cellulosa a macinazione medio-grossa (200-1000 □) verranno impiegati con tempi di contatto relativamente lunghi (10-60 minuti) e con sostanza attiva (carbonato o bicarbonato di ammonio) in basse concentrazioni così da dar modo all'impacco di agire più a lungo e più in profondità. Impacchi, invece, realizzati con grana fine o finissima (00-200 □) verranno impiegati con tempi di contatto più rapidi (5-20 minuti) e con sostanza attiva in bassa diluizione oppure in soluzione satura, così da evitare all'impacco di agire troppo in profondità garantendo una pulitura più delicata.

Specifiche sui materiali

Polpa di cellulosa: di colore bianco, deresinata ricavata dal legno. Le fibre presentano un'elevata superficie specifica, ed un'altrettanto elevato effetto addensante, un comportamento pseudoplastico e una buona capacità di trattenere i liquidi e sono, inoltre, insolubili in acqua ed in solventi organici. Un chilogrammo di polpa di cellulosa sarà in grado di trattenere circa 3-4 l di acqua, minore sarà la dimensione della fibra (00, 40, 200, 600, 1000 □) maggiore sarà la quantità di acqua che

sarà in grado di trattenere.

Avvertenze

L'applicazione degli impacchi chimici dovrà essere fatta dal basso verso l'alto in modo da ovviare pericolosi ed incontrollabili fenomeni di ruscellamento e al fine di ogni applicazione si procederà all'asportazione di ogni traccia di sostanza chimica ricorrendo sia ad un accurato risciacquo manuale con acqua deionizzata sia, se indicato dalla scheda tecnica del prodotto, all'ausilio di apposite sostanze neutralizzatrici. I vantaggi degli impacchi, indipendentemente dalla tipologia, risiedono nella loro non dannosità, nel basso costo (le argille sono riutilizzabili previo lavaggio in acqua) e nella facilità di messa in opera, non solo ma se si userà una miscela di polpa di cellulosa più argille assorbenti (in rapporto 1:1) si potranno sfruttare le caratteristiche migliori di entrambe (l'impacco che ne deriverà si presenterà morbido e malleabile tale da permettere l'applicazione sulle zone interessate senza cadute di materiale o percolazione di liquido in eccesso sulle zone limitrofe); per contro gli svantaggi sono la lentezza dell'operazione e la loro relativa non controllabilità.

Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di Resine a scambio ionico

Il pulitore a scambio cationico (descialbante) funziona come agente di pulitura nei confronti di scialbature e incrostazioni calcaree, "sequestrando" ioni di calcio al supporto cui viene applicato in modo lento e delicato, garantendo, pertanto, un buon controllo del grado di pulitura. Il pulitore risulterà facilmente disperdibile in acqua demineralizzata o distillata con la quale, allorché venga miscelato per 1/7-1/8 del suo peso (ovvero con altro rapporto a secondo della consistenza finale descritta negli elaborati di progetto), fornisce un impasto facilmente applicabile a spatola su superfici con qualsiasi orientamento; con quantitativi d'acqua leggermente superiori si otterranno impasti più scorrevoli applicabili a pennello.

Le resine a scambio anionico (desolfatanti) risulteranno invece attive nei confronti di gesso e solfati, derivati dall'aggressione da inquinamento atmosferico, su materiali lapidei di origine sia naturale sia artificiale quali: marmi, pietre, malte, intonaci, affreschi o pitture murali. Al fine di ottenere un impasto facilmente applicabile a spatola su superfici di qualsiasi orientamento sarà necessario disperdere, orientativamente, una parte in peso di resina in una parte in peso di acqua deionizzata o distillata. Quantitativi maggiori di acqua (1,2-1,5 parti in peso), consentiranno applicazioni a pennello o con erogatori a spruzzo. In particolari situazioni applicative e sempre dietro specifica indicazione della DL potranno essere ammesse anche soluzioni di carbonato di ammonio sino al 10% p/p, sempre preparate con acqua deionizzata o distillata; tali impasti dovranno essere messi in opera subito dopo la loro preparazione. Se si utilizzeranno impasti con soluzioni di carbonato di ammonio, sarà necessario accertare, e di conseguenza, proteggere l'eventuale presenza di parti infisse o di pigmenti a base di rame.

In entrambi i casi, al fine di migliorare il trattamento, sarà consigliabile operare, sulla superficie da trattare, un preventivo trattamento di umidificazione con acqua demineralizzata ovvero distillata, fermo restando che le superfici da trattare dovranno essere liberate da eventuali depositi di polvere o detriti di qualsiasi genere. L'azione del prodotto si esplica sino a che l'impasto rimarrà sufficientemente bagnato, per cui, se necessario, dovrà essere cura dell'Appaltatore proteggere gli impacchi dagli essiccamenti troppo rapidi con fogli di polietilene od altri film plastici. Dovranno, in ogni caso essere evitate temperature inferiori ai 10 °C e superiori ai 30 °C. Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto dovranno essere utilizzati impasti miscelati entro la stessa giornata lavorativa.

Sia le quantità di acqua, ottimali per la consistenza voluta dell'impasto, che la durata ed il numero delle applicazioni dovranno, necessariamente, essere ricercati di volta in volta, a seconda dei problemi di pulitura da affrontare, effettuando prove preliminari di trattamento su zone ridotte e tipologicamente significative delle superfici. I suddetti campioni dovranno essere eseguiti dall'appaltatore sotto stretto controllo della DL.

Trascorso il tempo di trattamento ritenuto utile, l'impasto, o meglio il suo residuo dall'evaporazione, potrà essere rimosso per azione meccanica blanda, ad esempio con spazzolatura, combinata o meno ad una aspirazione. Nel caso in cui l'impacco fosse stato preservato con una pellicola, questa dovrà essere staccata per prima e la rimozione dei residui iniziata dopo un opportuno tempo di asciugamento. La pulitura della superficie potrà essere completata, se prescritto dalla DL, mediante una spugnatura con acqua deionizzata. Se necessario, il trattamento potrà essere ripetuto, in linea di principio indefinitamente, sino all'ottenimento del risultato più soddisfacente.

Avvertenze

Le resine a scambio ionico tipo cationico hanno caratteristiche acide, pertanto dovranno essere evitati con cura il contatto con la pelle, con le mucose, con gli occhi ed assolutamente non andrà ingerito tale prodotto. L'impasto, quando diventa secco e polverulento, diventa ancor più pericoloso poiché potrebbe essere facilmente inalato ed entrare negli occhi.

Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di enzimi

La pulitura con l'utilizzo di enzimi rappresenta la migliore alternativa all'utilizzo di acidi e basi per l'asportazione idrolitica di sostanze filmogene invecchiate quali ridipinture o patinature proteiche, grasse o polisaccaridiche su superfici policrome. Il loro utilizzo rappresenta una scelta di sicurezza sia per l'operatore (poiché adopererà sostanze prive di esalazioni tossiche o irritanti) sia per l'opera (gli acidi e le basi si rilevano sovente non sufficientemente selettivi nei confronti dello specifico substrato da asportare). Una delle caratteristiche principali degli enzimi risiede appunto nell'elevata specificità per il substrato (fondamentale nel restauro di superfici policrome) ovvero un enzima che agisce, in una data reazione, su un determinato fondo, non sarà in grado di catalizzare nessuna altra reazione chimica, vale a dire non potrà modificare una sostanza diversa dal substrato, di conseguenza, l'operazione di pulitura non potrà intaccare le parti del dipinto non interessate dalla pulitura. La seconda caratteristica esclusiva degli enzimi, è l'alta attività catalitica, ossia limitate molecole enzimatiche sono in grado di operare su quantità di substrato molto maggiori di quelle trasformabili da qualunque altra sostanza, senza perdere l'efficacia.

La procedura operativa prevedrà la messa in opera a tampone o a pennello e previo riscaldamento in bagno d'acqua a 30-40 °C di un principio enzimatico (lipasi, proteasi o amilasi scelto in base alla sostanza da rimuovere) supportato da un gel acquoso a pH noto e costante (ad es. idrossi metil-propil cellulosa). Trascorsi alcuni minuti si procederà alla rimozione

a secco, la superficie dovrà essere lavata con una prima soluzione acquosa di tensioattivo (ad es. bile bovina allo 0,2%, e un tensioattivo non ionico all'1-2% o saliva artificiale allo 0,25%), a questo primo lavaggio ne dovrà seguire un secondo con tampone acquoso e, passate 4-5 ore dal trattamento un terzo lavaggio finale con idrocarburi leggeri (ad es. essenza di petrolio dearomatizzato o white spirit).

Specifiche sui materiali

Gli enzimi principalmente utilizzati sono:

- proteasi capace di scindere le molecole proteiche idrolizzando i legami peptidici si rivela efficace per la rimozione di macchie dovute a colle e gelatine animali, albumine, casine e uovo. Si può trovare nelle versioni stabilizzata, con pH acido (pH circa 5) o con pH alcalino (pH circa 8,4) per la rimozione controllata di sostanze proteiche anche su supporti delicati come gli affreschi;
- lipasi (pH circa 8,4) in grado di sciogliere i grassi catalizzando l'idrolisi dei trigliceridi, si rivela efficace per la rimozione di sostanze grasse, pellicole a base di oli essiccativi, vernici oleoresinose, cere e resine sintetiche come esteri acrilici e vinilici;
- amilasi (pH circa 7,2) idrolizza i legami glucosidici di polisaccaridi quali amido, cellulosa, gomme vegetali;
- saliva artificiale, prodotto a base di mucina per la pulitura pittorica superficiale, è particolarmente efficace se impiegata come lavaggio intermedio dopo la pulitura con enzimi o con saponi resinosi.

Pulitura mediante impacco biologico

Sono impasti da utilizzare su manufatti lapidei delicati o particolarmente decoesi, posti all'esterno, su quali non sarà possibile eseguire puliture a base di acqua nebulizzata senza arrecare ulteriori danni. Di norma vengono utilizzati per estrarre i sali solubili penetrati, per cause diverse, all'interno del materiale lapideo. I suddetti impacchi dovranno essere a base di argille assorbenti (sepiolite), contenenti prodotti a base ureica così composti:

- 1000 cc di acqua deionizzata;
- 50 g di urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$);
- 20 cc di glicerina ($(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CHOH}$).

Il fango che si otterrà dovrà essere steso in spessori di almeno 2 cm da coprire con fogli di polietilene, a fine trattamento, se non diversamente specificato dalla DL, e si applicherà un fungicida per prevenire eventuali aggressioni microbiologiche. I tempi di applicazione saranno stabiliti dall'operatore sotto il controllo della DL in base a precedenti prove e campionature.

Avvertenze

Nel caso di materiali coperti da efflorescenze, prima dell'applicazione degli impacchi queste andranno asportate meccanicamente con spazzole morbide.

8. Pulitura mediante apparecchi aeroabrasivi (sistema Jos e Rotec)

La pulitura mediante apparecchi aeroabrasivi potrà essere impiegata al fine di rimuovere dalle superfici lapidee particellato atmosferico, incrostazioni calcaree, croste nere, graffiti, alghe, muschi e licheni. Un metodo di pulitura aeroabrasiva è il sistema Jos che, sfruttando una spirale di tipo elicoidale a bassissima pressione (0,1–1 bar) consentirà di operare interventi di pulitura, sia a secco (utilizzando aria e inerti di varia granulometria) che ad umido (impiegando aria, inerti e bassi quantitativi di acqua che variano da 5-60 l/h in base al tipo di ugello utilizzato e allo sporco da rimuovere). Questo sistema potrà essere utilizzato per la pulitura di ogni tipo di pietra naturale, granito, arenarie, marmo e travertino. La scelta degli inerti verrà fatta in base al tipo ed alla consistenza della sostanza patogena da asportare, in ogni caso si tratterà sempre di sostanze neutre non tossiche con granulometria di pochi micron (da 5 a 300 μm) e con durezza che potrà variare da 1-4 Mohs utilizzate, talvolta, con spigoli arrotondati, così che si possano ovviare a fenomeni di microfratture, forti abrasioni o modificazioni delle alterazioni del materiale lapideo. Tra gli inerti più adatti al caso troveremo: il carbonato di calcio, bianco di Spagna, gusci di noce, noccioli, polvere di vetro, granturco macinato, pula di riso. Si procederà con la proiezione a vortice elicoidale degli inerti che colpiranno la superficie seguendo più angoli d'incidenza secondo direzioni subtangenziali. La distanza che dovrà intercorrere tra l'elemento di immissione (ugello) e il materiale varierà normalmente tra i 35 cm e i 45 cm. Il sistema Jos eviterà l'insorgenza di un'azione abrasiva sul materiale, poiché la pressione dell'aria compressa diminuirà approssimativamente in proporzione al quadrato della distanza dall'ugello, mentre la rotazione rimarrà inalterata.

Per superfici molto porose, o molto deteriorate, sarà indicato il sistema Jos a secco applicato ad una distanza dal supporto di circa 40-45 cm con una pressione di impatto non superiore all'1,5 bar; se dovranno essere pulite superfici di marmo, granito e travertino si utilizzerà carbonato di calcio come inerte (in grani da 300 μm di diametro emessi da una distanza di circa 30-40 cm con pressione dell'impianto pari a 2 bar in modo che l'impatto sulla pietra sia pari a 0,4-0,5 bar).

Il sistema Jos a umido sarà impiegato per la pulitura di superfici non eccessivamente porose, così da evitare l'insorgenza di fenomeni di degrado legati all'infiltrazione in profondità dell'acqua. Si utilizzerà acqua lievemente dura per la pulitura di calcarei teneri, acqua dolce sarà utilizzata per la pulitura di pietre silicee mentre, per rocce silicatiche e graniti, s'impiegherà acqua deionizzata. In ogni caso il consumo di acqua sarà in relazione al tipo e alle dimensioni dell'ugello utilizzato (per ogni 2 m² di superficie pulita: ugello piccolo 1 l, ugello standard 6 l); occorrerà sempre procedere con estrema cautela e previa analisi delle caratteristiche intrinseche della pietra da trattare in modo da evitare interventi troppo aggressivi che potrebbero implicare sia l'erosione del materiale sia un'eccessiva, quanto dannosa, impregnazione di acqua.

In alternativa al sistema Jos si potrà ricorrere al sistema Rotec caratterizzato da un mini vortice rotante. Particolarmente adatto per puliture di manufatti delicati (sculture, rilievi, ceramiche ecc.) potrà essere utilizzato a secco, a nebulizzazione (l'ugello erogherà 0,5 l/h di acqua) o a umido (l'ugello erogherà da 1 a 3 l/h di acqua). L'inerte e l'ugello sono, anche in questo caso come per il sistema Jos, regolabili (la pressione d'impatto sul materiale non supera lo 0,2-0,4 bar).

9. Pulitura mediante sabbiatura controllata

La sabbiatura controllata prevedrà, mediante l'impiego di macchine sabbiatrici, la rimozione di depositi spessi coerenti ed aderenti alla superficie ricorrendo a polveri abrasive sospese in un getto d'aria compressa diretto sulla superficie per mezzo di una lancia metallica. Sarà opportuno evitare l'utilizzo di macchinari che non consentiranno una bassa pressione d'esercizio, in special modo su superfici particolarmente degradate. I materiali lapidei sui quali si potrà applicare questo sistema di pulitura dovranno, infatti, presentare uno stato conservativo relativamente buono, dovranno essere sufficientemente compatti, così da poter resistere all'azione abrasiva. La sabbiatura controllata potrà essere applicata su materiali di natura carbonatica e silicatica e, con le dovute precauzioni, in tutte quelle circostanze per le quali non sarà consentito ricorrere a tecniche che comportino l'impiego di acqua (ad esempio in presenza di murature particolarmente umide); per quanto concerne le pietre calcaree tenere sarà opportuno procedere con estrema cautela poiché l'intervento potrebbe alterare la natura del materiale, mentre si sconsiglierebbe la sabbiatura su pietre molto porose visto che l'inerte impiegato potrebbe ristagnare all'interno del materiale.

Al fine di garantire la riuscita dell'intervento, sarà opportuno effettuare analisi e prove su materiale campione in modo da calibrare bene i termini dell'operazione così da poter evitare irreversibili inconvenienti come l'insorgenza di scalfitture, abrasioni sulla superficie o distacchi localizzati di materiale. Le prove sul campione di materiale dovranno consentire di bilanciare tutti i fattori che incideranno sull'operazione come: la tipologia e la quantità del materiale abrasivo da impiegare, la pressione del getto, il tipo di ugello, la distanza che dovrà intercorrere tra ugello e superficie, il rapporto aria-abrasivo ed i tempi di applicazione. La sabbiatura dovrà evitare il coinvolgimento delle parti di materiale sane presenti sotto le incrostazioni. L'inerte scelto dovrà essere una polvere chimicamente neutra (polveri vegetali o abrasivi minerali) di dimensioni ridotte e preferibilmente di forma arrotondata, come ad esempio: frammenti minutissimi di noccioli di frutta (albicocca), sabbie di fiume setacciate, ossidi di alluminio, polveri finissime di silicati naturali ecc.. La granulometria potrà variare tra i valori minimi di 10-25 μ m e i valori massimi di 40-60 μ m in relazione alla consistenza del materiale e al tipo di sporco da asportare. Al fine di riuscire a non danneggiare la superficie durante le operazioni di sabbiatura sarà opportuno variare la granulometria e tipologia dell'inerte (dimensione, forma e peso specifico) per fasi successive, soprattutto dopo l'asportazione dei depositi più consistenti prima di procedere alla finitura della superficie. La pressione del getto non dovrà mai superare i 5 bar considerato che con tale forza di impatto sarà possibile asportare depositi di spessore variabile tra 1-2 mm. L'operazione di sabbiatura dovrà comunque arrestarsi se durante l'intervento si riscontreranno: parti localizzate di materiali dove i depositi risulteranno particolarmente coesi tra loro, residui di trattamenti antichi e pellicole di ossalato. In ognuno di questi casi la pulitura si limiterà ad alleggerire i depositi e non ad asportarli, visto che una prolungata insistenza potrebbe provocare il distacco del materiale. L'erogazione del getto dovrà avvenire in modo tale che l'operatore sia in grado, per tutta la durata dell'intervento, di orientare la lancia manualmente circoscrivendo così l'operazione alle sole aree interessate; l'operatore dovrà, inoltre, accertarsi che l'erogazione del flusso sia sempre costante e che l'ugello non si sia usurato. Se la sabbiatura sarà eseguita in presenza di elevati tenori di umidità ambientale occorrerà tenere sotto stretto controllo l'apparecchiatura visto che i granuli di abrasivo potrebbero compattarsi ostruendo l'ugello; per evitare a tale inconveniente potrebbe risultare utile dotare l'apparecchiatura di un apposito deumidificatore. La sabbiatura controllata non è adatta per la pulitura di parti delicate e minute come modanature, apparati decorativi o cornici per le quali può essere più appropriato procedere con una microsabbatura puntuale. Sarà opportuno, pertanto, schermare mediante idonee protezioni (ad esempio fogli di polietilene) le parti che non dovranno "subire" tale trattamento e prevedere prima di iniziare l'intervento di sabbiatura, la raccolta del materiale abrasivo di risulta.

Avvertenze

Questo tipo di pulitura comporta variazioni morfologiche superficiali in funzione della destrezza dell'operatore, della scelta della polvere abrasiva in rapporto alla pressione di uscita e delle condizioni conservative del manufatto. La superficie pulita con sabbiatura si presenterà maggiormente assorbente e "sbiancata".

10. Pulitura a secco con spugne wishab

Questo tipo di pulitura potrà essere eseguita su superfici perfettamente asciutte e non friabili, sarà utilizzata per asportare depositi superficiali relativamente coerenti ed aderenti alla superficie d'apparecchi in pietra, soffitti lignei, affreschi, pitture murali, carte da parati ecc. mediante l'utilizzo di particolari spugne costituite da due parti: una massa di consistenza più o meno morbida e spugnosa (secondo del tipo prescelto), di colore giallo, supportata da una base rigida di colore blu. L'utilizzo di queste spugne consentirà di asportare, oltre ai normali depositi di polvere, il nero di fumo causato da candele d'altari e da incensi mentre non sarà particolarmente adatto per rimuovere un tipo di sporco persistente (ad es. croste nere) e sostanze penetrate troppo in profondità. La massa spugnosa è esente da ogni tipo di sostanza dannosa, presenta un pH neutro e contiene saktis (sorta di linosina), lattice sintetico, olio minerale, prodotti chimici vulcanizzati e gelificanti legati chimicamente. L'intervento di pulitura risulterà estremamente semplice: esercitando una leggera pressione (tale da produrre granuli di impurità) si strofinerà con la spugna la superficie da trattare (con passate omogenee a pressione costante) seguendo sempre la stessa direzione, dall'alto verso il basso, partendo dalle aree più chiare passando, successivamente, a quelle più scure; in questo modo lo sporco e la polvere si legheranno alle particelle di spugna che si sbriciolerà con il procedere dell'operazione senza lasciare rigature, aloni o sbavature di sporco (grazie alla continua formazione di granuli si avrà anche l'auto pulitura della spugna). In presenza di sporco superficiale particolarmente ostinato l'intervento potrà essere ripetuto; a pulitura ultimata si procederà con la spazzolatura, mediante scopinetti in saggina o pennelli e spazzole di nylon a setola morbida, in modo da eliminare i residui del materiale spugnoso.

Avvertenze

In caso di pulitura di superfici dipinte, al fine di evitare l'asportazione del pigmento polveroso e disgregato oppure di quelli più deboli (azzurri, verdi, tinte scure) sarà consigliabile operare, prima della procedura di pulitura, un sistematico intervento di preconsolidamento.

11. Pulitura Laser

L'apparecchiatura selettiva Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) ad alta precisione è utile per asportare depositi carbogessosi da marmi e da materiali di colore chiaro, oltre che depositi e patine superficiali da legno, bronzo, terracotte ed intonaci. Nel meccanismo di rimozione, da parte del laser, delle sostanze estranee dalle superfici intervengono più meccanismi in funzione d'altrettante condizioni operative scelte. In buona sostanza si tratta di automatismi che prevedono un assorbimento selettivo dell'energia dell'impulso laser da parte dei degradi superficiali di colore scuro, con una successiva evaporazione di materia e con la rottura dei legami chimici: questo si tradurrà in una distruzione delle molecole che formano i depositi ed in una conseguente loro rimozione. Il piano interessato viene colpito dal raggio per spessori di pochi micron; il substrato sottostante non viene intaccato in quanto, normalmente, esprime un coefficiente di assorbimento più basso (la superficie chiara, riportata alla luce riflette il raggio laser interrompendo il funzionamento dell'apparecchio e in tal modo non si surriscalda). Il laser offre l'opportunità di rispettare integralmente la patina di materiali grazie alla sua assoluta selettività; può, infatti, asportare anche solo pochi micron. Altri fattori a favore di questa tecnica sono l'assoluta mancanza di additivi chimici, che potrebbero, in qualche modo, aggredire la pietra e la possibilità di intervenire (senza effettuare preconsolidamento) anche su elementi particolarmente decoesi o preventivamente trattati con resine sintetiche o altre sostanze consolidanti e protettive.

I parametri che dovranno, necessariamente, essere calibrati (dall'operatore in accordo con la DL) prima dell'inizio della procedura di pulitura sono:

- lunghezza d'onda;
- regolazione dell'emissione di energia in rapporto alla lunghezza d'onda scelta;
- modulazione della frequenza di emissione dell'impulso graduabile in termini di colpi al secondo;
- focalizzazione del raggio sulla superficie del manufatto da pulire.

Una volta calibrati i parametri dell'apparecchiatura laser, la maggiore o minore focalizzazione sul supporto, permetterà l'aumento o la diminuzione della densità di energia sulla superficie e di conseguenza sarà regolato l'effetto ablativo. Il sistema di regolazione permetterà, pertanto il controllo della pulitura laser e la calibrazione della forza del metodo in funzione dei depositi da eliminare e dello stato di conservazione della superficie che dovrà essere pulita. La scelta di una durata molto breve dell'impulso (inferiore a 8 ns) eviterà le "bruciature" superficiali e limiterà notevolmente l'ingiallimento della superficie, questo ultimo fenomeno potrà essere in ogni caso risolto mediante blando lavaggio con spugna o tampone imbevuto di acqua distillata.

In funzione dei risultati preliminari forniti dai test-campione di pulitura, l'operatore, in accordo con la DL, sceglierà il livello di densità di energia ottimale con il quale si condurrà in quella specifica area l'operazione di pulitura. In questo modo sarà possibile operare progressivamente e controllare precisamente la rimozione dei depositi fino alla superficie del manufatto. In fase operativa, dovranno essere attentamente verificati i tempi di esposizione, la lunghezza d'onda e l'energia di impulso del laser utilizzato; risulta pertanto importante effettuare un'appropriata selezione delle condizioni di lavoro in riferimento al substrato, al tipo di materiale lapideo ed al tipo di deposito coinvolti nei singoli casi di pulitura. Dovranno, quindi, essere eseguite analisi conoscitive preliminari, oltre che del supporto, anche del deposito, oltre ad una serie di saggi di pulitura identificando eventuali porzioni pigmentate.

Nell'usare questa tecnica è consigliabile bagnare preventivamente la superficie oggetto di intervento sia per esaltare le parti scure e di conseguenza amplificare l'assorbimento della radiazione facilitando l'asportazione dello sporco, sia per attenuare la grande quantità di residui carboniosi e fumi (dannosi per l'operatore) che si producono in una operazione di questo tipo.

Avvertenze

L'apparecchiatura dovrà essere esclusivamente utilizzata da personale altamente specializzato in grado di valutare attentamente i risultati ottenuti, eventualmente variando di volta in volta i parametri esecutivi ed applicativi (lunghezza d'onda, durata, ripetizione degli impulsi, energia del flusso, sezione trasversale, convergenza del fascio).

Dispositivi di sicurezza

I sistemi minimi di sicurezza per operare con strumenti laser saranno:

- la zona di lavoro trattata con il laser dovrà essere segnalata da apposito segno grafico;
- l'operatore e le persone eventualmente presenti all'interno dell'area di lavoro con il laser dovranno indossare occhiali speciali di protezione muniti di lenti ad alta densità ottica, capaci di schermare la radiazione infrarossa di 1064 µm di lunghezza d'onda;
- al di fuori dei periodi di utilizzo lo strumento laser dovrà essere tenuto spento e l'accesso alle apparecchiature dovrà essere controllato.

12. Rimozione macroflora

Appartengono alla macroflora tutti quegli organismi microscopicamente visibili (muschi, licheni, vegetazione superiore ovvero vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea ecc.) il cui sviluppo, sulle superfici lapidee, è favorito dalla presenza di dissesti dell'apparecchio come lesioni, cavità, interstizi ecc., all'interno dei quali si può accumulare dell'humus (formato da depositi composti da particellato atmosferico e da organismi morti), sul quale i depositi di spore trasportate dal vento agevolano la riproduzione di muschi e licheni; i licheni creano fenomeni di copertura, fratturazione, decoesione e corrosione; i muschi coprono la superficie e, penetrati in profondità, svolgono un'azione meccanica di disaggregazione. La comparsa di muschi e licheni implica la presenza di un elevato tasso d'umidità e ne incrementa ulteriormente la persistenza agevolando l'accumulo e il ristagno delle acque. Per quanto concerne la vegetazione superiore l'azione distruttiva operata dalle radici radicatesi all'interno delle discontinuità può comportare dei danni meccanici che portano, in molti casi, alla caduta del materiale.

12.1. Generalità

Prima di procedere con le operazioni diserbanti, in special modo quelle indirizzate alle piante infestanti, è opportuno:

- identificare il tipo di vegetazione (erbacea o arbustiva) e la specie di pianta, così da poter capire quanto profonde e resistenti potranno essere le loro radici;
- prevedere i danni che le operazioni meccaniche di asportazione delle radici e dei semi penetrati in profondità potrebbero recare alla struttura muraria;
- definire la reale possibilità d'intervento sulle diverse specie presenti e soprattutto accertare se esistono le circostanze per cui poter operare su tutta la superficie invasa.

Nel caso si decida di ricorrere all'utilizzo di biocidi, la scelta dovrà essere fatta in riferimento al compito specifico che dovranno assolvere; in base a questo si distingueranno in:

- prodotti indicati per estirpare piante a foglia larga e prodotti per piante a foglia stretta;
- prodotti da assorbimento fogliare e prodotti da assorbimento radicale;
- prodotti circoscritti contro la vegetazione erbacea e prodotti arbusticidi;
- prodotti come erbicidi "di contatto" (agiscono sugli apparati vegetativi delle specie già sviluppate) ed erbicidi "residuali" (penetrano anche nel terreno garantendo un'azione prolungata nel tempo).

I biocidi impegnati dovranno, inoltre, indipendentemente dal tipo selezionato, presentare le seguenti caratteristiche:

- essere incolore o trasparenti con principi attivi poco solubili in acqua;
- presentare un basso grado di tossicità;
- essere degradabili nel tempo;
- non provocare azione fisica o chimica nei riguardi delle strutture murarie;
- non persistere dopo l'applicazione sulla superficie trattata lasciando residui di inerti stabili (per questo si dovranno evitare sostanze oleose o colorate).

Indipendentemente dal tipo di prodotto chimico selezionato l'applicazione potrà avvenire per:

- irrorazione sulla vegetazione, previa diluizione (normalmente 0,1-1%) del biocida in acqua. Si può applicare sia su piante erbacee sia su arboree; l'irrorazione avverrà utilizzando annaffiatori dotati di pompe manuali (da evitare pompe a pressione) o più specifici nebulizzatori;
- iniezioni di soluzioni acquose di biocidi (diluizione 1:10) direttamente nei canali conduttori della pianta; tecnica che si attua previo taglio della pianta all'altezza del colletto radicale, particolarmente adatta per piante lignificate di una certa consistenza. L'iniezione eviterà la dispersione della soluzione al di fuori dell'area del trattamento evitando in questo modo possibili fenomeni d'interferenza con il materiale lapideo;
- impacchi applicati al colletto della radice appena tagliato, particolarmente indicati contro le piante lignificate e realizzati con argille impregnate di biocida.

L'uso dei biocidi dovrà essere fatto con la massima attenzione e cautela da parte dell'operatore che, durante l'applicazione, dovrà ricorrere ai dispositivi di protezione personale, come guanti ed occhiali, ed osservare le norme generali di prevenzione degli infortuni relative all'utilizzo di prodotti chimici velenosi.

Specifiche sui materiali

Erbicidi

Il controllo dello sviluppo della vegetazione infestante superiore potrà essere assicurato solo utilizzando prodotti che intervengano sulla fotosintesi; tali composti potranno, talvolta, essere indicati anche per la soppressione di certi tipi di alghe. Per la rimozione di vegetazione inferiore e superiore su apparecchi murari, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, dovranno essere preferiti erbicidi non selettivi (ovvero che impediscano qualsiasi sviluppo vegetale) a base nitro-organica.

Solfato di ammonio è impiegato per il trattamento puntuale delle radici degli alberi così da trattenerne lo sviluppo.

Fluometuron da impiegare contro muschi e licheni in soluzioni acquose al 2%.

Simazina prodotto antigerminativo di preemergenza da utilizzare per impedire la crescita di vegetazione superiore, licheni e muschi, presenta una azione preventiva che copre circa 1-2 anni. Da utilizzare preferibilmente in area archeologica.

Picloram erbicida non selettivo da impiegare per il controllo della vegetazione, dovrà, pertanto, essere impiegato con estrema cautela e solo dietro specifiche indicazioni della DL e degli organi di tutela del bene oggetto di trattamento.

Glyphosate diserbante sistematico da utilizzare per sopprimere licheni e piante superiori in soluzioni acquose al 2%. È l'unica molecola in grado di devitalizzare alla radice infestanti come gramigna e rovo. Dovrà essere applicato nel momento di massimo rigoglio vegetativo. Non presenterà, una volta terminato il trattamento, composti residui.

12.2. Diserbo da piante superiori

Lo scopo della pulitura sarà di asportare, dai materiali lapidei, vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea. L'asportazione dovrà essere preferibilmente eseguita nel periodo invernale e potrà essere fatta sia meccanicamente, mediante il taglio a raso con l'ausilio di mezzi a bassa emissione di vibrazioni (seghe elettriche, seghe manuali, forbici, asce, accette ecc.), sia ricorrendo all'uso di disinfestanti liquidi selezionati seguendo le indicazioni riportate nell'articolo sulle generalità. Le due operazioni potranno coesistere nei casi in cui l'asportazione meccanica non risulterà risolutiva. Si potrà ricorrere all'uso dei biocidi quando l'asportazione diretta delle piante (vive e con radice profonde) risulterà eccessivamente lesiva per il substrato e in situazioni d'abbandono prolungato dove le piante crescono, solitamente, rigogliose.

L'uso dei biocidi non dovrà essere fatto nei periodi di pioggia, di forte vento o eccessivo surriscaldamento delle superfici allo scopo di evitare la dispersione o l'asportazione stessa del prodotto. Tra i biocidi indicati per estirpare organismi macrovegetali ci sono anche i composti neutri della triazina, a bassa solubilità in acqua, e i derivati dell'urea che, presentando una scarsissima mobilità nel terreno, consentono di ridurre i pericoli d'inquinamento delle aree limitrofe circoscrivendo l'intervento alle sole zone interessate: la clorotriazina (per assorbimento radicale) risulterà efficace per applicazioni al suolo, su piante a foglia larga e a foglia stretta, la metossitriazina potrà essere utilizzata anche sulle murature.

La verifica dell'efficacia dei biocidi, indispensabile per procedere all'estirpazione della radice, avverrà dopo 30-60 giorni dalla loro applicazione. L'applicazione del prodotto sulla vegetazione potrà essere realizzata seguendo le metodologie

(irrorazione, iniezione ed impacco) che la DL riterrà più consone al caso specifico. L'operazione terminerà con un accurato lavaggio delle superfici con acqua pulita a pressione moderata, così da garantire l'eliminazione di ogni traccia residua di biocida.

12.3. Disinfestazione da muschi e licheni

Muschi e licheni crescono su substrati argillosi depositatisi sulle pietre e su queste si manifestano tramite delle escrescenze più o meno aderenti e spesse; la loro asportazione potrà essere, sia meccanica (che difficilmente risulterà completamente risolutiva) mediante l'ausilio di spazzole rigide, bisturi, spatole ecc. facendo attenzione a non intaccare la superficie, sia con biocidi. Se i licheni risulteranno molto spessi e tenaci la rimozione meccanica sarà preceduta dall'applicazione sulla superficie di una soluzione di ammoniaca diluita in acqua al 5% al fine di ammorbidire la patologia e facilitarne l'asportazione. L'uso dei biocidi potrà essere in alternativa o in correlazione alla rimozione meccanica, utilizzandoli sia nello specifico della patologia da rimuovere sia a vasto raggio d'azione; l'applicazione potrà essere fatta a spruzzo, a pennello o ad impacco in relazione alle caratteristiche del prodotto prescelto. Un'efficace risoluzione per l'asportazione di muschi e licheni prevederà l'utilizzo di biocidi ad azione immediata quali: acqua ossigenata 120 volumi (l'operazione dovrà essere ripetuta a distanza di 24 ore fino alla totale "bruciatura" degli organismi vegetali), formaldeide in soluzione acquosa 0,1-1% ed ossido di etilene (ETO) al 10% in miscela gassosa di aria ed anidride carbonica; trascorso un tempo variabile tra i 5-15 giorni dall'ultimo trattamento biocida si procederà all'asportazione delle patine biologiche e depositi humiferi (i quali si manifesteranno fragili, ingialliti, secchi e/o polverulenti) mediante spazzolatura con spazzole di saggina. Inoltre, nello specifico, possiamo ricorrere a biocidi come i lichenicidi, che comprendono i sali di ammonio quaternario e gli enzimi proteolitici; questi biocidi sono solubili in acqua e si applicano in soluzioni acquose debolmente concentrate (1-3%). Dopo l'applicazione del biocida, si dovrà eseguire un ripetuto lavaggio della superficie con acqua pulita e, con l'eventuale utilizzo d'idropulitrice (regolando la pressione in relazione alla consistenza del supporto) così da garantire la rimozione completa del prodotto. L'uso del biocida dovrà implicare tutte le precauzioni illustrate sia nell'articolo sulle generalità sia in quello inerente il diserbo da piante superiori.

13. Rimozione microflora

La microflora è costituita da batteri, funghi, alghe e cianobatteri; il loro sviluppo è favorito da condizioni al contorno caratterizzate da elevata umidità relativa e/o dalla presenza di acqua ristagnante all'interno del materiale lapideo condizioni aggravate, in molti casi, anche da una limitata circolazione d'aria. Questi microrganismi possono indurre sulla superficie un degrado di natura meccanica e/o chimica; i funghi possono, infatti, rivelarsi nocivi penetrando, con le appendici filiformi, all'interno delle fessure presenti nel manufatto, sollecitando meccanicamente la struttura, incrementando la decoesione del materiale; le alghe, invece, provocano sulla superficie un'azione meccanica corrosiva agevolando l'impianto d'ulteriori micro e macrorganismi. La loro presenza sulle superfici lapidee si manifesta tramite macchie, efflorescenze di sali solubili e patine di ossalati, patologie che, inevitabilmente, ne alterano l'aspetto estetico. È opportuno ricordare che, l'asportazione della microflora non potrà essere considerata definitiva se, preventivamente, non sono state eliminate le cause al contorno che ne favoriscono la crescita.

13.1. Generalità

Le sostanze biocide utilizzate per la rimozione della microflora dovranno rispondere a delle specifiche esigenze tra le quali:

- non dovranno risultare tossiche per l'uomo e per gli animali;
- dovranno essere biodegradabili nel tempo;
- non dovranno provocare azione fisica o chimica nei riguardi delle strutture murarie;
- dopo l'applicazione non dovranno persistere sulla superficie trattata con residui di inerti stabili e per questo si dovranno evitare sostanze oleose o colorate.

L'uso dei biocidi dovrà essere fatto con la massima attenzione e cautela da parte dell'operatore che, durante l'applicazione, dovrà ricorrere ai dispositivi di protezione personale, come guanti ed occhiali, ed osservare le norme generali di prevenzione degli infortuni relative all'utilizzo di prodotti chimici velenosi.

Specifiche sui materiali

Algheicidi, battericidi, fungicidi

Perossido di idrogeno (acqua ossigenata), utilizzato a 120 volumi risulta adatto per sopprimere alghe e licheni su apparecchi murari. Presenta forti capacità ossidanti; può essere causa di sbiancamenti del substrato, ed agisce esclusivamente per contatto diretto. La sua azione non dura nel tempo.

Ipoclorito di sodio (varechina), utilizzato in soluzione acquosa al 2%-7% per asportare alghe e licheni. La varechina può essere causa di sbiancamenti del materiale lapideo; inoltre, se non è interamente estratta dal materiale lapideo ne può determinare l'ingiallimento.

Formalina, soluzione acquosa di aldeide formica, disinfettante utilizzato in soluzione acquosa al 5% per irrorare superfici attaccate da alghe verdi, licheni e batteri.

Orto-fenil-fenolo (OPP) ed i suoi sali sodici (OPNa) sono attivi su un largo spettro di alghe, funghi e batteri; la loro tossicità può ritenersi tollerabile. L'orto-fenil-fenolo risulta preferibile poiché presenta una minore interazione con il supporto.

Di-clorofene, prodotto ad amplissimo spettro, con tossicità molto bassa, non presenta interazioni con il supporto anche se organico.

Penta-clorofenolo (PCP) ed i suoi sali sodici (PCPNa) utilizzati in soluzioni acquose all'1% presentano un largo spettro. La loro tossicità è al limite della tolleranza; la loro interazione con il supporto può determinare l'annerimento del legno ed il mutamento cromatico dei pigmenti basici.

Benzetonio cloruro, derivato dell'ammonio quaternario, da utilizzare in soluzione dall'0,5-4% (ossia 5-40 ml per litro) in acqua demineralizzata per la disinfestazione di alghe, muschi e licheni, anche se per questi ultimi la sua efficacia risulta, talvolta, discutibile. La miscelabilità in acqua del prodotto permette un elevato potere di penetrazione e di assimilazione dei principi attivi da parte dei microrganismi eliminandoli e neutralizzando le spore. Il benzetonio cloruro è di fatto un disinfettante germicida con spettro d'azione che coinvolge batteri, lieviti, microflora ed alghe. Può essere aggiunto a tensioattivi non ionici per avere anche un effetto detergente. La sua azione risulta energica ma non protratta nel tempo, in quanto non è in grado di sopprimere le spore; l'eventuale presenza di nitrati ne ridurrà considerevolmente l'efficienza. Potrà essere utilizzato sia su pietra che su superfici lignee, i materiali trattati devono essere lasciati asciugare

naturalmente.

13.2. Rimozione della patina biologica

La rimozione della patina biologica potrà essere fatta tramite pulitura manuale (bisturi, spazzole ecc.), meccanica (microsabbatura) o mediante l'uso di biocidi. L'efficacia dei sistemi d'asportazione manuale potrà risultare limitata poiché non risulteranno sempre in grado di rimuovere completamente la patologia così come la sabbatura potrà risultare lesiva per il substrato del materiale. Le sostanze biocide utilizzate dovranno essere applicate seguendo le indicazioni dettate nello specifico dal prodotto utilizzato e si dovranno relazionare alla natura del materiale lapideo allo scopo di evitare il danneggiamento del substrato e l'alterazione dello stato conservativo, in molti casi, precario. Le sostanze biocide, in relazione al tipo d'organismi che saranno in grado di rimuovere, si distingueranno in battericidi e fungicidi; la loro applicazione potrà essere fatta a pennello, a spruzzo o tramite impacchi. In presenza di materiali molto porosi sarà preferibile applicare il biocida mediante impacchi o a pennello che favoriscono la maggior penetrazione del prodotto e ne prolungano l'azione (per il timolo e la formaldeide si può ricorrere anche alla vaporizzazione, poiché si tratta di sostanze attive sotto forma di vapore); o a trattamento a spruzzo (applicato con le dovute precauzioni e protezioni da parte dell'operatore) che sarà particolarmente indicato in presenza di materiali fragili e decoesi. Gli interventi saranno ripetuti per un numero di volte sufficiente a debellare la crescita della patologia. Dopo l'applicazione della sostanza biocida si procederà all'asportazione manuale della patina; l'operazione verrà ultimata da una serie di lavaggi ripetuti con acqua deionizzata, in modo da eliminare ogni possibile residuo di sostanza sul materiale. In presenza di patine spesse ed aderenti, prima dell'applicazione del biocida, si eseguirà una parziale rimozione meccanica (mediante l'uso di pennelli dotati di setole rigide) della biomassa.

10.3.2 OPERAZIONE DI PULITURA MATERIALI LIGNEI

1. Generalità

Prima di eseguire le operazioni di pulitura sulle superfici lignee, è opportuno attenersi a delle specifiche procedure al fine di salvaguardare l'integrità del materiale. Le operazioni preliminari comprendono le seguenti fasi esecutive:

- identificazione dell'essenza lignea;
- identificazione dei depositi incoerenti da dover rimuovere e campagna di saggi al fine di verificare eventuali tracce di cromie originali;
- eventuale preconsolidamento, se si riscontra la necessità, del materiale prima di iniziare la pulitura;
- applicazione del sistema di pulitura prescelto su campionature di materiale;
- analisi dei risultati ottenuti sulla superficie campione prima di estendere le operazioni di pulitura a tutta la superficie.

Tutte le operazioni di pulitura dovranno essere sempre eseguite rispettando l'andamento delle venature e non in senso ortogonale o trasversale ad esse.

2. Pulitura meccanica manuale

La procedura sarà impiegata qualora sia necessario un lavoro accurato e basato sulla sensibilità operativa di maestranze specializzate, oppure per quelle superfici (ad es. tinte a calce o tempere) difficilmente trattabili con tecniche tradizionali (svernicatura tramite decapante neutro). Prima di iniziare l'operazione di pulitura sarà necessario esaminare la superficie lignea con lo scopo di determinare l'eventuale presenza di olio, grasso o altri contaminanti solubili; in tal caso un ciclo di pulitura con solventi opportuni precederà ed eventualmente seguirà quella manuale. Gli strumenti occorrenti per la pulizia manuale saranno costituiti da spazzole metalliche, raschietti, spatole, scalpelli, lana di acciaio e carta abrasiva di varie grane, oppure utensili speciali (tipo sgorbie) sagomati in modo da poter penetrare negli interstizi da pulire; tutti questi strumenti verranno impiegati, alternativamente, in base alle condizioni delle varie superfici. Le spazzole metalliche potranno essere di qualsiasi forma e dimensione mentre le loro setole dovranno essere di filo d'acciaio armonico. Le scaglie di vernice in fase di distacco saranno eliminate attraverso un'adeguata combinazione delle operazioni di raschiatura e spazzolatura.

A lavoro completato, la superficie dovrà essere spazzolata, spolverata e soffiata con getto d'aria compressa al fine di rimuovere tutti i residui e le parti di materiale distaccato, quindi trattata con leggera carteggiatura con carta abrasiva a secco (grana/cm² 200-250).

2.1. Levigatura e lamatura manuale

La levigatura consisterà nell'asportazione manuale meccanica di un sottile strato di materiale (0,2-1 mm) qualora questo si presentasse seriamente compromesso, mentre con l'operazione di lamatura si opererà una levigatura totale dello strato di vernice o pellicola presente riportando "al vivo" la superficie lignea. Di norma pavimenti o altri rivestimenti lignei potranno sopportare al massimo, nell'arco della loro esistenza, 8-10 lamine integrali ogni 20-25 anni (per i prefiniti i passaggi integrali scendono a tre). Previa esecuzione di tasselli di prova su modeste porzioni dell'elemento oggetto di intervento, la procedura prevedrà un'operazione di sgrossatura eseguita con l'ausilio di carta abrasiva di grana semi-grossa (40-80 grani al centimetroquadrato) atta a rimuovere i depositi incrostati e le eventuali macchie o patine presenti nonché livellerà la superficie in prossimità di movimenti degli elementi lignei. Eseguiti questi primi passaggi si passerà a quelli operati con grana sempre più fine (80-120 grana media grossa, 150-200 grana media; oltre i 320 grana fine) così da eliminare gli eventuali segni lasciati dalla sgrossatura iniziale. La carta dovrà essere avvolta su appositi tamponi o in alternativa su pezzi di legno (per i passaggi con grana fine sarà consigliabile utilizzare legno tenero come ad es. legno di balza) o sughero di dimensioni tali da poter essere correttamente e comodamente impugnati. Questa procedura potrà essere eseguita a umido o a secco. Quella ad umido si utilizzerà, generalmente, su vernici grasse o su lacche sintetiche, presenterà il vantaggio di non produrre polveri ma al termine della procedura sarà necessario attendere l'asciugatura della superficie,

inoltre la carta tenderà ad impastarsi con la vernice: questo "fenomeno" potrà essere ovviato immergendo ripetutamente la carta in acqua pulita o passandovi del sapone di Marsiglia neutro. La levigatura a secco risulterà un'operazione altrettanto veloce ma presenterà l'inconveniente della polvere, che dovrà, successivamente, essere asportata con l'ausilio di spazzole o scopini di saggina o, con idonei aspirapolvere. Al termine della procedura sarà consigliabile eseguire un passaggio con straccio o spugna, leggermente umidi al fine di rimuovere ogni residuo di polvere.

3. Sverniciatura con decapante neutro

Lo scopo dell'intervento sarà la rimozione, dalla superficie lignea, di vecchie vernici o pellicole protettive degradate (per le quali non sarà possibile operare un'eventuale ripresa) tramite l'applicazione di un prodotto decapante generalmente costituito da miscele solventi addizionate con ritardanti dell'evaporazione presenti sia sottoforma di gel sia di liquidi. Prima di procedere con questo tipo d'operazione sarà opportuno assicurarsi del reale stato conservativo del materiale ovvero accertarsi che non siano presenti parti fragili facilmente danneggiabili o asportabili, inoltre si dovrà provvedere alla rimozione di tutte le parti metalliche, come serrature, borchie e cerniere, al fine di evitarne il danneggiamento da parte del solvente. In riferimento alle prove eseguite preventivamente su tasselli di materiale campione capaci di definire i tempi e i modi d'applicazione, si procederà con la stesura a pennello, a spazzola o con spatole del prodotto (in ragione di 100 g/m² ca.) sulla superficie in uno strato sottile e uniforme allo scopo di riuscire ad ammorbidire la pellicola di rivestimento. Passato il tempo d'attesa (che potrà variare da 1 a 20 ore in relazione ai singoli casi poiché dipenderà dallo spessore degli strati di pittura presenti, dalla temperatura ambientale e dal tipo di pellicola da rimuovere), quando la vernice sarà morbida e sollevata dal supporto si rimuoverà ricorrendo all'uso di spatole e/o raschietti avendo cura di non danneggiare il supporto asportandone parti corticali in fase di decoesione. Nei punti difficili come intagli, modanature minute o fessurazioni la pittura potrà essere rimossa aiutandosi con spazzolini o punteruoli. L'intervento potrà e sarà ripetuto se specificamente indicato dalla DL Terminate le operazioni di raschiatura, al fine di ovviare l'asciugatura dei residui di prodotto rimasti sul materiale, sarà effettuato l'immediato lavaggio manuale della parte trattata con spugne di mare e soluzioni detergenti (ad es. soluzione blanda di soda calcinata ovvero soluzione ammoniacale diluita al 2% in acqua) evitando di risciacquare la superficie con l'acqua poiché lesiva per il materiale (rigonfiamento delle fibre). Al termine della pulitura si controllerà lo stato del supporto ligneo accertando l'eventuale rimanenza di residui di sverniciatura.

In alternativa potranno essere utilizzati sverniciatori in pasta la cui procedura operativa sarà molto simile a quella adottata per quelli in gel: facendo uso di una spatola si applicherà la pasta stesa in strati più o meno sottili (1,5-3 mm) in ragione del numero di strati di vernice o dello sporco presente; nel caso in cui le condizioni atmosferiche od ambientali dovessero far asciugare troppo velocemente l'impasto sarà conveniente mantenere umida la superficie con l'aiuto di panni bagnati o fogli di polietilene così da ritardare l'evaporazione del solvente e di conseguenza consentire la corretta reazione. Al termine dell'operazione sarà necessario asportare il prodotto con spatola o pennello a setola dura, dopodiché si potranno eliminare gli ultimi residui con spugna inumidita. L'uso di sverniciatori in pasta richiederà dei tempi di lavorazione più dilatati ma, al contempo, permetterà di asportare contemporaneamente più strati di pellicola pittorica.

4. Pulitura ad aria calda o a fiamma

La procedura di sverniciatura con l'utilizzo di aria calda avrà lo scopo di rimuovere dalla superficie vecchi strati di vernici o colori, residui di scialbature, croste organiche od inorganiche, pellicole protettive ecc.; la differenza di comportamento al calore tra il legno e le pellicole di vernice faranno sì che queste si staccino (dando vita a vesciche di rigonfiamento) dal supporto sia grazie alla dilatazione termica subita dal legno e dalle sostanze che costituiscono il rivestimento, sia dalla rapida evaporazione dell'umidità eventualmente presente sotto le superfici da rimuovere. L'operazione, proprio per la sua stessa natura (abbastanza "violenta") dovrà essere eseguita con molta attenzione al fine di non provocare la combustione del legno.

L'intervento prevedrà l'asportazione del rivestimento mediante il riscaldamento con idonea pistola termica (produttore aria calda) da far scorrere sulla superficie da pulire in posizione ortogonale ad una velocità ed ad una distanza variabile in ragione dello stato di conservazione del legno, del tipo di deposito da asportare e dalla facilità o meno con cui i residui di rivestimento si distaccano dalla superficie del manufatto oggetto di trattamento (ad es. per vecchie verniciature a smalto la distanza media sarà di circa 8-10 cm). Nel momento in cui il rivestimento accennerà a sbollare e a distaccarsi dal supporto si procederà con la raschiatura mediante l'utilizzo di raschietti o spatole a manico lungo; la rimozione di vecchie vernici dovrà essere radicale. La procedura terminerà, previa spazzolatura della superficie al fine di eliminare tutti i residui non completamente staccati, con una leggera carteggiatura della superficie mediante carta abrasiva semi grossa a secco (grana/cm² 80-100-120) montata su tappi di sughero.

In alternativa alla pistola con aria calda si potrà utilizzare una fonte di calore più elevata ricorrendo ad una lancia termica collegata ad una bombola di combustibile (acetilene o gas propano). La procedura operativa sarà simile a quella con la pistola ad aria calda ad eccezione del fatto che, con la fiamma, oltre alla velocità di passaggio sulla superficie, varierà anche l'angolazione (di norma intorno ai 45°); l'asportazione del rivestimento prevedrà il riscaldamento con la fiamma facendo attenzione a non causare localizzate bruciature dovute alla troppa insistenza della fonte di calore. Su manufatti d'interesse storico-artistico sarà consigliabile non utilizzare tale tecnica.

10.4 AGGIUNTE, INTEGRAZIONI

Premessa metodologica

Le operazioni d'integrazioni comprendono tutta una serie d'interventi che hanno come fine ultimo quello di ripristinare le mancanze, più o meno consistenti, rintracciabili in un manufatto riconducibili a svariati motivi tra i quali: naturale invecchiamento dei materiali, mancata manutenzione, sollecitazioni meccaniche, decoesioni superficiali, interventi restaurativi antecedenti ecc. Indipendentemente dalle scelte metodologiche adottate, scaturite dai diversi indirizzi culturali,

nel progetto di conservazione le mancanze richiedono necessariamente un'azione procedurale a prescindere che l'obiettivo prefisso sia il mantenimento dello stato di fatto o il ripristino finalizzato a restituire l'efficienza tecnica, che potrà essere denunciato oppure, come accade sovente, poiché mirato alla restituzione della configurazione "originale" nella sua totalità ed interezza, celato. Attribuire alla mancanza un valore storico-stratigrafico, se da un lato può rappresentare un atteggiamento estremamente rispettoso nei riguardi dell'entità materica ed estetica del manufatto, dall'altro limita le operazioni tecniche indirizzate alla conservazione ovvero, al recupero di quei requisiti di integrità strutturale che, venuti a mancare, possono incrementare l'innescarsi dei fenomeni degradanti.

Le operazioni di ripristino dovranno, per questo, essere pianificate puntualmente cercando, dove sarà possibile, di ponderare sia l'aspetto tecnico che quello conservativo in modo da tenere in debito conto i limiti imposti dalla valenza storica intrinseca nel manufatto e, allo stesso tempo, riuscire a restituire l'efficienza strutturale venuta meno. Il ripristino di parti mancanti, se da un lato contribuisce a dare durezza al manufatto, proteggendolo ed aiutandolo a conservarsi nel tempo, dall'altro comporta, inevitabilmente, alterazioni e perdite dei segni stratigrafici nascondendoli o cancellandoli con aggiunte che, come spesso avviene, rendono estremamente difficile il recupero di ciò che di originale è rimasto. Questo dato di fatto, dovrebbe essere per il Tecnico motivo di ponderate riflessioni al fine di riuscire a pianificare un intervento circoscritto a risolvere le varie problematiche rilevate durante la fase conoscitiva del manufatto scaturito da riferimenti culturali che lo hanno indirizzato nelle scelte metodologiche, cosciente che, delle diverse opzioni disponibili, per risolvere un determinato problema, nessuna sarà in grado di ovviare alle problematiche sino ad ora esposte; di ogni soluzione dovranno essere valutati i relativi vantaggi e svantaggi relazionandoli strettamente alle singole esigenze. In un progetto di restauro inevitabilmente l'interazione con il manufatto e, in special modo se si tratta di operare delle integrazioni, avrà come conseguenza un'alterazione dello stato di fatto originale; gli interventi, anche quelli meno invasivi, apporteranno delle modifiche più o meno rilevanti all'integrità della struttura che potranno essere accettate, e in parte giustificate, dalla priorità perseguita di restituire al manufatto la sua efficienza strutturale cosicché possa protrarre nel tempo il lento consumarsi. Le integrazioni che si mimetizzano con l'esistente, mirate non solo a dare integrità strutturale ma, soprattutto, a ripristinare un'unità figurativa in riferimento a come presupposto in origine, se da molti considerato un modo di intervenire che poco tiene conto della dignità storica del manufatto, da altri è ritenuto lecito, poiché il progetto è il risultato di ponderate riflessioni supportate da ricerche e documentazioni puntuali e dettagliate, per cui il risultato finale non deriva dal gesto creativo del Tecnico ma dal suo bagaglio di conoscenze storiche.

Gli accorgimenti utilizzati, in molti casi, al fine di distinguere la preesistenza dall'aggiunta (ad. es., diversificare la lavorazione superficiale della parte nuova rispetto all'originale, riprodurre le parti mancanti ricorrendo a materiali compatibili ma diversi, ripristinare le superfici in leggero sottosquadro o soprasquadro, segnalare il nuovo mediante marchi ecc.) se attuati, dovranno essere realizzati con estrema cura e sensibilità da parte del Tecnico in modo che il risultato finale, pur essendo coerente e rispettoso dello stato di fatto, non sia tale da tradursi in una visione paradossale dove la varietà di integrazioni visivamente rintracciabili fanno perdere la valenza figurativa d'insieme intrinseca del manufatto. Il dilemma di quale sia la risoluzione più consona difficilmente potrà avere una risoluzione chiara, capace di definire un modo di procedere adattabile a tutte le diverse situazioni, in special modo quando l'intervento non si limita alla manutenzione ma, per impellenti necessità scaturite dal bisogno di salvare ciò che si può rischiare di perdere, diviene di restauro.

10.4.1 OPERAZIONI DI STUCCATURA, INTEGRAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI (AGGIUNTE)

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

1. Generalità

Prima di mettere in pratica i protocolli di stuccatura, integrazione ed aggiunte sui materiali lapidei sarà opportuno seguire delle operazioni preliminari indirizzate alla conoscenza del materiale oggetto di intervento (pietra arenaria, calcarea, travertini, tufi ecc.). L'adesione tra la superficie originale e quella d'apporto sarà in funzione della scrupolosa preparazione del supporto, operazione alla quale si dovrà porre molta attenzione dal momento che si rileverà fondamentale per assicurare l'efficacia e la durabilità dell'intervento di "stuccatura-integrazione". Le modalità con cui si eseguiranno questo tipo di operazioni saranno correlate alle caratteristiche morfologiche del materiale da integrare (pietra, laterizio, intonaco ecc.) e alla percentuale delle lesioni, oltre che dalla loro profondità ed estensione.

Verifiche preliminari

Prima di eseguire qualsiasi operazione sarà necessario procedere alla verifica del quadro fessurativo così da identificare eventuali lesioni "dinamiche" (che potranno essere dovute a svariati motivi tra i quali assestamenti strutturali non ancora terminati, dilatazioni termiche interne al materiale o fra materiali diversi ecc.); in tal caso non si potrà procedere semplicemente alla stuccatura della fessurazione ma si dovranno identificare e risolvere le cause a monte che hanno procurato tale dissesto. L'intervento di stuccatura ed integrazione sarà lecito solo su fessurazioni oramai stabilizzate (lesione statica).

Asportazione di parti non compatibili

Si procederà, seguendo le indicazioni della D.L., all'ablazione puntuale tramite scopini (di saggina), spatole, cazzuolini, mazzetta e scalpello di piccole dimensioni, martelline, vibroincisori ecc., di tutte le parti non compatibili con il supporto (legno, ferro, malte erose o gravemente degradate ecc.), ovvero stuccature od integrazioni realizzate con malte troppo crude (cementizie) in grado di creare col tempo stress meccanici. L'operazione dovrà avvenire con la massima cura evitando accuratamente di non intaccare il manufatto originale.

Pulitura della superficie

Ciclo di pulitura con acqua deionizzata e successiva spazzolatura (o con altra tecnica indicata negli elaborati di progetto) della superficie da trattare allo scopo di rimuovere sporco, polveri, oli, scorie e qualsiasi altra sostanza estranea al materiale lapideo. Tutte le operazioni di pulitura dovranno tendere a lasciare l'interno della lesione o del giunto privo di detriti o patine, ma con la superficie scabra, così da favorire un idoneo contatto con malta da ripristino. Nel caso in cui la superficie, oggetto di intervento, si dovesse presentare con efflorescenze saline od altre patologie derivate dalla presenza di sali si renderà indispensabile procedere alla desalinazione della muratura utilizzando metodi e tecniche dettate dalla D.L. (ad es. impacchi di polpa di cellulosa imbevuti in acqua deionizzata). Lo stesso criterio sarà utilizzato se l'apparecchio murario risultasse affetto da umidità di risalita capillare od ancora dovesse presentare muschi, licheni o vegetazione superiore infestante: prima di qualsiasi intervento d'integrazione si dovrà procedere alla bonifica della muratura.

Per specifiche sulle tecniche di pulitura, desalinazione, bonifica o deumidificazione si rimanda a quanto esposto agli articoli specifici.

Specifiche sulle stuccature

Saranno da evitare le stuccature a base di cementi tradizionali, perché questi potranno cedere ioni alcalini e solfati che potrebbero portare alla formazione di sali solubili dannosi per il materiale lapideo. Inoltre, gli impasti a base di cemento sono, spesso, meno porosi di molti materiali lapidei, cosicché, se si verificasse un movimento d'acqua all'interno di una struttura, la sua evaporazione e la conseguente cristallizzazione dei sali presenti potrebbe avvenire a carico delle parti più porose e non delle stuccature. Infine, le differenze di dilatazione termica fra pietra e cemento potrebbero provocare fessurazioni o danni di tipo meccanico (estratto dalla Raccomandazione NorMaL n. 20/85).

Avvertenze

Sarà vietato effettuare qualsiasi procedura di stuccatura, integrazione o, più in generale, utilizzo di prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; su tale etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

2. Stuccatura-integrazione di elementi in laterizio

L'intervento si rivolge agli apparecchi "faccia vista" in laterizio e avrà come obiettivo quello di mettere in sicurezza i frammenti in cui si sono suddivisi i laterizi, integrare le eventuali lacune (dovute alla disgregazione, erosione, alveolizzazione del materiale) e, allo stesso tempo, difendere l'apparecchio dagli agenti atmosferici. Sarà un'operazione, sia di consolidamento che di protezione, che dovrà essere, necessariamente, estesa anche alle più piccole lesioni e fratture del mattone, affinché la superficie non abbia soluzioni di continuità e possa, così, opporre alla pioggia ed agli agenti aggressivi ed inquinanti, un corpo solido e compatto.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari di preparazione (asportazione parti non consistenti e lavaggio della superficie) ed abbondante bagnatura con acqua deionizzata della superficie oggetto d'intervento, si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati separati e successivi secondo la profondità della lacuna da riempire, al fine di evitare spaccature e lesioni durante la stagionatura e successivi rischi di distacco. L'impasto della malta sarà effettuato seguendo le indicazioni di progetto; in assenza di queste si potrà utilizzare uno stucco a base di grassello di calce (10 parti) caricato con tre parti di polvere di cocchiopesto (30 parti); in alternativa il cocchiopesto potrà essere sostituito per metà, o del tutto, con pozzolana (rapporto legante-inerte 1:3); questo impasto potrà, eventualmente, essere "aiutato" con una parte di resina acrilica in emulsione al 10% in acqua con funzione di fluidificante (quantità inferiore al 2%). La stuccatura sarà effettuata utilizzando cazzuolini, cucchiari o piccole spatole tipo quelle a foglia d'olivo evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta, sia con gli attrezzi); a tal fine potrà essere conveniente schermare le superfici limitrofe utilizzando nastro di carta, o altro sistema idoneo. Con la spatola si dovrà dare forma alla porzione mancante del mattone costipando il materiale al fine di eliminare sia l'acqua in eccesso, sia di migliorare la compattezza e l'aderenza alla parte sana del laterizio oggetto di intervento.

Dovranno essere effettuate miscele di prova, delle quali si trascriveranno le proporzioni e si prepareranno dei piccoli campioni di malta, così da poterli avvicinare alla superficie da stuccare per la verifica del tono finale. Nel realizzare i provini delle malte bisognerà tener conto di eseguirli molto tempo prima per confrontare i colori dopo la presa e la naturale stagionatura.

In presenza di lievi fessure ovvero sacche intergranulari nel mattone, si potrà ricorrere ad applicare a pennello o mediante iniezioni una boiaccia (miscelata con l'ausilio di frusta da zabaione) simile a quella descritta precedentemente, ma con un rapporto legante-inerte di 1:1 (1000 parti di acqua; 100 parti calce idraulica naturale NHL 2; 100 parti cocchiopesto o pozzolana; 10 parti di resina acrilica in emulsione; 1 parte di gluconato di sodio); le cariche saranno superventilate (granulazioni inferiori ai 60 μ m). Al fine di favorire l'efficacia dell'assorbimento, in special modo per le iniezioni, si renderà necessario un pre-trattamento della cavità con acqua ed alcool denaturato con l'eventuale aggiunta di dispersione acrilica al 10%.

Specifiche sul grassello

Si dovrà cercare di evitare la consuetudine di realizzare grassello semplicemente aggiungendo un'adeguata quantità d'acqua (circa il 20%) alla calce idrata. Così facendo si otterrà un grassello in appena 24 ore ma sarà un prodotto scadente; pertanto, risulterà opportuno utilizzare grassello di calce spenta da almeno dodici mesi al fine di diminuire la possibilità che restino grumi di calce non spenta nella malta.

Eventuale inserimento di armatura

Nel caso in cui si dovesse operare in cospetto di parti mancanti consistenti si renderà necessario “armare” la stuccatura con rete metallica elettrosaldata a doppia zincatura a maglia stretta (per es., filo \square 2 mm, maglia 10x10 mm) e/o con perni filettati di acciaio inossidabile (ad es. 2-3 \square 4 mm), preferibilmente di tipo austenitico, della serie AISI 300L (314L o 316L), che presenterà anche buone doti di piegabilità, opportunamente sagomati allo scopo di migliorare l'aderenza al supporto della malta da ripristino. Si eseguiranno i fori per l'inserimento dei perni con trapano a sola rotazione a bassa velocità dopodiché, previa aspirazione degli eventuali detriti con pera di gomma ed iniezione di acqua deionizzata ed alcool, (rapporto 5:1 in volume) si inserirà il perno. In questa operazione si dovrà ricorrere ad ogni accortezza al fine di evitare danni o rotture ai manufatti.

I perni dovranno essere annegati in particolari malte a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e pozzolana superventilata, rapporto 1:2, con l'eventuale aggiunta di gluconato di sodio (per migliorare la fluidità) ed, eventualmente, di cemento bianco (per aumentare le proprietà meccaniche). In alternativa si potranno utilizzare collanti a base di resine epossidiche a bassa viscosità, esenti da solventi, polimerizzabili a temperatura ambiente ed in presenza di umidità. In ogni caso si utilizzerà un impasto di adeguata tissotropicità o fluidità in relazione alla dimensione e caratteristiche degli elementi da far riaderire.

Specifiche sui perni

Dovrà essere evitato l'uso di metalli facilmente ossidabili come il ferro, il rame e le sue leghe, mentre potranno essere utilizzati con tutta tranquillità perni in titanio o in acciaio inossidabile o, se l'integrazione interessa parti non sottoposte a particolari sollecitazioni meccaniche, barre in vetroresina. Il perno dovrà possedere buona stabilità chimica e coefficiente di dilatazione termica lineare il più possibile vicino a quello dei materiali da ripristinare.

Trattamento finale

A presa avvenuta la superficie stuccata dovrà essere trattata con spugna inumidita (esercitando una leggera pressione) con il risultato di arrotondare gli spigoli, compattare lo stucco e, nello stesso tempo, rendere scabra la superficie rendendola simile ai mattoni limitrofi. Allo scopo di rendere l'integrazione non troppo discordante dagli elementi originali, si può trattare la superficie con una patinatura di polvere di pozzolana (per maggiori dettagli si rimanda alla procedura specifica).

3. Stuccatura di elementi lapidei

Lo scopo dell'intervento sarà quello di colmare le lacune e le discontinuità (parziale mancanza di giunti di malta, fratturazione del concio di pietra ecc.) presenti sulla superficie della pietra (qualsiasi sia la loro origine) così da “unificare” la superficie ed offrire agli agenti di degrado (inquinanti atmosferici chimici e biologici, nonché infiltrazioni di acqua) un'adeguata resistenza.

Previa esecuzione delle operazioni preliminari di preparazione (asportazione di parti non consistenti e lavaggio della superficie) e bagnatura con acqua deionizzata, si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati separati e successivi secondo la profondità della lacuna da riempire: per le parti più arretrate sarà consigliabile utilizzare una malta a base di calce idraulica naturale NHL 2 a basso contenuto di sali composta seguendo le indicazioni di progetto e la tipologia di lapideo (ad es. si utilizzeranno, preferibilmente, delle cariche pozzolaniche su materiali di natura vulcanica e degli inerti calcarei se si opererà su pietre calcaree); in assenza di queste si potrà utilizzare, un impasto caricato con una parte di sabbia silicea lavata (granulometria costituita da granuli del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%) ed una parte di cocchiopesto; in alternativa al cocchiopesto si potrà utilizzare pozzolana ventilata (rapporto legante-inerte 1:3). La stuccatura si eseguirà utilizzando piccole spatole a foglia o cazzuolini, evitando con cura di intaccare le superfici non interessate (sia con la malta sia con gli attrezzi); si potranno, eventualmente, mascherare le superfici limitrofe utilizzando nastro di carta. Nel caso occorra preparare una malta particolarmente resistente a compressione si potrà ricorrere all'utilizzo di piccole quantità di cemento bianco esente da gesso e sali solubili; le eventuali quantità dovranno essere limitate in quanto il cemento bianco presenta notevoli ritiri in fase di presa (un sovradosaggio porterebbe a delle malte di eccessiva durezza, ritiro e scarsa permeabilità al vapore acqueo).

La stuccatura di superficie sarà eseguita con grassello di calce (sarà necessario utilizzare grassello ben stagionato, minimo 12 mesi; se non si avrà certezza sulla stagionatura si potrà aggiungere un minimo quantitativo di resina acrilica in emulsione); la carica dell'impasto sarà di pietra macinata (meglio se tritata a mano così da avere una granulometria simile a quella del materiale originale); verrà, preferibilmente, utilizzata la polvere della pietra stessa o, in mancanza di questa, un materiale lapideo di tipologia uguale a quella del manufatto in questione in modo da ottenere un impasto simile per colore e luminosità; potranno essere utilizzate anche polveri di cocchiopesto, sabbie silicee ventilate, pozzolana, o carbonato di calcio: rapporto tra legante-inerte di 1:3 (per es. 1 parte grassello di calce; 1 parte pietra macinata; 2 parti di polvere di marmo fine). Sarà consigliabile tenere l'impasto dello stucco piuttosto asciutto in modo da favorire la pulitura dei lembi della fessura.

In alternativa si potranno effettuare stuccature di superficie invisibili utilizzando idoneo stucco costituito da elastomeri fluorurati e polvere della stessa pietra o altra carica con caratteristiche e granulometria simile (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto all'articolo sul fissaggio e riadesione di elementi sconnessi e distaccati).

Specifiche sulla stuccatura

La scelta di operare la stuccatura a livello o in leggero sotto-quadro nella misura di qualche millimetro (così da consentirne la distinguibilità), dovrà rispondere principalmente a criteri conservativi; sovente, infatti, le integrazioni sottolivello creano

percorsi preferenziali per le acque battenti innescando pericolosi processi di degrado. Gli impasti dovranno essere concepiti per esplicare in opera valori di resistenza meccanica e modulo elastico inferiori a quelli del supporto, pur rimanendo con ordini di grandezza non eccessivamente lontani da quelli del litotipo.

Additivi organici

Le malte utilizzate potranno essere caricate, se le disposizioni di progetto lo prevedono, con additivi organici (in quantità inferiore al 2-5%), quali: resine acriliche in emulsione al 10% in acqua con funzione di fluidificante, o, nel caso d'utilizzo con calce aerea, di colloidale protettore che tende a trattenere l'acqua, così da non far "bruciare" prematuramente la pasta da stucco. Qualora, invece, venga richiesta alla malta una forte adesività strutturale (ad es. per stuccature profonde non esposte ai raggi UV) ed un'alta resistenza meccanica sarà più opportuno impiegare resine termoindurenti come quelle epossidiche. In ogni caso, salvo diverse disposizioni della D.L., il rapporto legante-additivo sarà generalmente 10:1.

Colore stuccatura

Al fine di rendere possibile un'adeguata lettura cromatica si potrà "aiutare" il colore dell'impasto additivandolo con terre colorate e pigmenti (massimo 5% di pigmenti minerali o 10% di terre). Il colore della pietra si raggiungerà amalgamando, a secco, le cariche fino ad ottenere il tono esatto ma più scuro per bilanciare il successivo schiarimento che si produrrà aggiungendo la calce. Effettuate le miscele di prova si dovranno, necessariamente, trascrivere le proporzioni e preparare dei piccoli campioni di malta su mattone o lastra di pietra, così da poterli avvicinare alla superficie da stuccare per la verifica del tono finale. Per tutte quelle stuccature che interesseranno porzioni di muro vaste potrà essere preferibile ottenere una risoluzione cromatica in leggera difformità con la pietra originale.

Trattamento finale

A presa avvenuta, al fine di ottenere una stuccatura opaca, la superficie interessata verrà lavata e/o tamponata (esercitando una leggera pressione) con spugna inumidita di acqua deionizzata, così da compattare lo stucco, far emergere la cromia della punteggiatura ed eliminare eventuali residui di malta.

4. Risarcimento-stilatura giunti di malta

L'intervento prevedrà l'integrazione delle porzioni di malta mancanti e sarà eseguito mediante impasti a base di calce con i requisiti di resistenza simili a quelli del materiale originale e con caratteristiche fisiche (tessitura, grana, colore ecc.) simili o discordanti in relazione alle disposizioni di progetto. Lo scopo della rabboccatura sarà quello di preservare le cortine murarie da possibili fenomeni di degradazione e di restituire continuità alla tessitura, al fine di evitare infiltrazioni od attacchi di vegetazione infestante, accrescendone le proprietà statiche. L'operazione di stilatura dovrà essere evitata (previa rimozione) su manufatti saturi di sali, in particolare in presenza di estese efflorescenze saline, ovvero di muffe, polveri o parti non solidali che potrebbero impedire la solidificazione della malta tra gli elementi.

Previo esecuzione delle verifiche e delle operazioni preliminari (asportazione parti non consistenti e lavaggio della superficie) la procedura prevedrà l'abbondante bagnatura con acqua pulita (specialmente se il substrato è particolarmente poroso) del giunto, così da garantire alla malta originale ed alle superfici limitrofe l'utile saturazione, basilare per evitare che si verifichi l'assorbimento del liquido dalla nuova malta compromettendone la presa. Una volta inumidito il giunto si effettuerà l'applicazione dell'impasto in strati successivi secondo la profondità e la lunghezza della lacuna da riempire. Per l'impasto, seguendo le disposizioni di progetto, si potranno utilizzare appositi formulati costituiti da calce idraulica, grassello di calce, sabbie od altri aggregati minerali di granulometria nota; per le parti più arretrate sarà opportuno utilizzare un impasto a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 (ottenuta per calcinazione a bassa temperatura, esente da sali solubili, con un'ottima permeabilità al vapore) e sabbia di fiume vagliata (granulometria 0,5-1,5 mm). In alternativa alla sabbia si potranno utilizzare altre cariche quali pozzolana o cocchiopesto (coccio macinato disidratato ricavato dalla frantumazione d'argilla cotta a basse temperature); in ogni caso il rapporto legante inerte sarà sempre di 1:2. Questo strato di "fondo" si effettuerà utilizzando cazzuolino, cucchiaretto o una piccola spatola metallica facendo attenzione a non "sporcare" le superfici non interessate. A questo scopo sarà conveniente proteggere, preventivamente, con idonea pellicola protettiva (ad es. nastro di carta adesivo) o con teli di nylon, sia le superfici lapidee o laterizie dei conci che delimitano il giunto d'allettamento, sia gli eventuali serramenti od elementi ornamentali prossimi alla zona d'intervento. Per la stilatura di finitura si potrà utilizzare un impasto a base di grassello di calce; la carica dell'impasto potrà essere di pietra macinata, sabbia di fiume fine (granulometria 0,5-0,8 mm) o, in caso di apparecchio in laterizi, polvere di cotto macinato: rapporto tra legante-inerte di 1:3. La scelta degli inerti sarà dettata dalle analisi preventive effettuate su materiali campione, e dalla risoluzione cromatica che si vorrà ottenere in sintonia o in difformità con le malte esistenti.

Dopo un periodo di tempo sufficiente a consentire un primo indurimento dell'impasto si provvederà a "stringere" la malta mediante una leggera pressione della mano o della punta della cazzuola, così da compattarla e renderla più solida. Questa operazione andrà ripetuta dopo circa 5-6 ore d'estate e dopo 24 ore d'inverno nell'arco di mezza giornata fino a che il giunto apparirà coeso e senza cretti.

Se gli elaborati di progetto richiederanno un giunto con finitura scabra si potrà intervenire sulla malta della stilatura (appena questa abbia "tirato" ma sia ancora modellabile) "segnandola" con spazzola di saggina o tamponandola con tela di Juta ruvida. Si ricorda che la spazzola non dovrà essere strofinata sulla superficie, ma battuta leggermente, altrimenti si rischierà di danneggiare la rabboccatura. Saranno da evitare spazzole di ferro in quanto si potrebbero danneggiare il giunto ed i supporti limitrofi.

Specifiche

A seconda delle disposizioni di progetto l'operazione di integrazione-risarcitura potrà essere più o meno connotata; si potrà, infatti, eseguire una stillatura dei giunti seguendo il filo esistente oppure eseguirla in leggero sottofilo od, ancora, sfruttando la granulometria ed il colore degli inerti si potrà ottenere un risultato mimetico o di evidente contrasto tra la vecchia e la nuova malta.

Nel caso in cui il progetto preveda una risarcitura "mimetica" si dovrà porre particolare attenzione nell'individuazione della composizione e colorazione specifica della malta che dovrà accordarsi, mediante la cromia dell'impasto e la granulometria degli aggregati, una volta applicata ed essiccata, alla granulometria delle malte di supporto, considerando le diverse gradazioni cromatiche e caratteristiche tessiturali presenti nell'apparecchio murario dovute al diverso orientamento, esposizione agli agenti atmosferici ed alla presenza di materiali diversi.

Trattamento finale

L'operazione di stuccatura si completa con spugna ed acqua deionizzata per eliminare i segni della spazzola, far risaltare le dimensioni e la cromia dell'aggregato e per togliere le eventuali cariche distaccate che potrebbero conferire al giunto asciutto un aspetto polverulento.

5. Stuccatura salvabordo lacune di intonaco (bordatura)

In presenza di lacune d'intonaco, nei casi in cui le indicazioni di progetto non prevedano il ripristino del materiale, l'intervento dovrà essere indirizzato alla protezione dei bordi della lacuna mediante una stuccatura che avrà la funzione di ristabilire l'adesione tra lo strato di intonaco e la muratura così da evitare, lungo il perimetro della mancanza, dannose infiltrazioni di acqua meteorica o particolato atmosferico che potrebbero aggravare, nonché aumentare, la dimensione della lacuna nel tempo. L'operazione di stuccatura salvabordo, in particolar modo se realizzata su pareti esterne, dovrà essere eseguita con la massima cura; questo tipo di protezione proprio per la sua configurazione di raccordo tra due superfici non complanari costituirà un punto particolarmente soggetto all'aggressione degli agenti atmosferici (pioggia battente). Le malte adatte per eseguire tale operazione dovranno essere simili ai preparati impiegati per la riadesione degli intonaci distaccati (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo specifico sulla riadesione degli intonaci al supporto), in ogni caso, oltre ad evitare l'utilizzo d'impasti con grane e leganti diversi da quelli presenti nell'intonaco rimasto sulla superficie non si dovrà ricorrere né all'uso di malte di sola calce aerea e sabbia (poco resistenti alle sollecitazioni meccaniche), né a malte cementizie (troppo dure e poco confacenti all'uso). Le bordature dovranno essere realizzate con malte compatibili con il supporto, traspirabili (coefficiente di permeabilità $\alpha < 12$) e con buone caratteristiche meccaniche; a tale riguardo si potrà utilizzare un impasto composto da 1 parte di grassello di calce e 0,5 parti di calce idraulica naturale NHL 2 esente da sali solubili; la parte di calce idraulica potrà essere sostituita anche con del cemento bianco. Gli impasti potranno essere caricati con metacolino o con sabbia silicea vagliata e lavata a granulometria fine (diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 40%, di 0,50-1,00 mm per un 60%). La malta dovrà essere facilmente spalmabile in modo da poter definire con precisione l'unione dei lembi, a tale riguardo, per facilitare l'operazione, sarà opportuno ricorrere all'uso di strumenti da stuccatore come, ad esempio, spatolini metallici a foglia di olivo. Prima dell'applicazione della stuccatura la muratura interessata dall'intervento dovrà essere adeguatamente preparata, ovvero dovrà essere pulita, si dovranno rimuovere eventuali sali solubili e fissare i conci sconnessi. In presenza di macchie di umidità, prima di applicare il salvabordo dovrà essere eliminata la causa ed atteso che la parete sia ben asciutta.

6. Trattamento lacune di intonaco

Il distacco d'interi porzioni (o di più strati tecnici) d'intonaco dalle superfici parietali implicherà delle evidenti discontinuità sull'apparecchio murario e l'inevitabile messa a nudo di parti di muratura che, in questo modo, si troveranno esposte all'aggressione degli agenti atmosferici; l'acqua, infatti, potrà penetrare facilmente all'interno della struttura veicolando agenti inquinanti che favoriranno l'insorgenza di degradi in superficie ed in profondità. Al fine di ovviare a quest'inconveniente, si potrà intervenire proteggendo le porzioni scoperte del muro, ripristinando la parte d'intonaco mancante.

6.1. Rappezzo di intonaco

Previa un'attenta valutazione del reale stato conservativo del supporto, il rappezzo d'intonaco dovrà relazionarsi sia all'intonaco ancora presente sulla superficie sia alla natura della muratura garantendo, per entrambi, un'efficace adesione, l'affinità fisico/chimica e meccanica. Il rappezzo dovrà essere realizzato con un intonaco compatibile con il supporto e simile a quello esistente per spessore (numero di strati), composizione e traspirabilità; i coefficienti di dilatazione termica e di resistenza meccanica dovranno essere simili a quelli dei materiali esistenti così da poter garantire lo stesso comportamento alle diverse sollecitazioni (pioggia battente, vapore, umidità ecc.). La formulazione della malta per realizzare il nuovo intonaco dovrà presentare le caratteristiche tecnologiche dell'intonaco rimasto sulla superficie ovvero, dall'analisi della rimanenza si dovranno dedurre le varie stratificazioni, i diversi componenti e in che modo siano stati combinati tra loro: rapporto aggregato-legante, granulometria inerte e il tipo di legante. Prima di procedere con il rappezzo la superficie dovrà essere preparata; la muratura interessata dall'intervento dovrà essere sufficientemente asciutta (esente da fenomeni d'umidità), scabra (mediante picchiettatura, bocciardatura ecc.) e pulita (priva di sali e/o patine; al riguardo si rimanda agli articoli specifici inerenti le puliture) in modo da consentire la totale aderenza della nuova malta al supporto, dopodiché si eseguirà l'inumidimento della muratura tramite pennello imbevuto d'acqua, o mediante l'uso di un semplice nebulizzatore manuale (contrariamente una parete asciutta potrebbe assorbire esageratamente l'acqua presente nell'impasto provocando un eccessivo ritiro della malta). Al fine di garantire la corretta realizzazione dell'impasto dovranno essere presi degli accorgimenti sul modo di dosare e amalgamare i diversi componenti.

La preparazione della malta, se avverrà in cantiere, dovrà essere fatta in contenitori puliti privi di residui di sostanze che potrebbero alterare la natura dell'impasto, facendo cura di dosare sapientemente la quantità d'acqua (sarà consigliabile iniziare l'impasto con circa 2/3 della quantità d'acqua necessaria aggiungendo, durante le fasi di lavorazione, la parte

rimanente) onde evitare la formazione di impasti o troppo fluidi o poco lavorabili; lo scopo dovrà essere quello di ottenere una consistenza tale da garantire la capacità di adesione fino all'avvenuta presa sul supporto (la malta dovrà scivolare dalla cazzuola senza lasciare traccia di calce sulla lama); il dosaggio degli ingredienti dovrà essere fatto con estrema cura e precisione evitando, dove è possibile, metodi di misurazione troppo approssimativi (pala o badile) in modo da riuscire ad ottenere formulati aventi le caratteristiche indicate e richieste da progetto; la quantificazione in cantiere potrà avvenire prendendo come riferimento un'unità di volume identificata in un contenitore facilmente reperibile in sito (secchi e/o carriole). Il secchio da murature corrisponde a circa 12 l (0,012 m³) mentre una carriola avrà una capacità di circa 60 l, circa cinque secchi, (0,060 m³). L'impasto potrà essere eseguito a mano lavorando i componenti su di un tavolato (non sul terreno), o ricorrendo ad attrezzature meccaniche quali piccole betoniere o impastatrici.

Compiuta la pulitura, e se necessario il consolidamento, dei margini del vecchio intonaco si procederà all'applicazione sulla parete del rappezzo seguendo i diversi strati indicati da progetto; previa bagnatura del muro, verrà applicato il rinzafo (in malta morbida con aggregati a grana grossa 1,5-5 mm) in modo tale da penetrare bene negli interstizi dell'apparecchio a presa avvenuta, previa bagnatura della superficie, si procederà alla stesura dell'arriccio, tramite cazzuola, in strati successivi (1-1,5 cm) fino a raggiungere lo spessore indicato da progetto utilizzando una malta composta da aggregati medi (0,5-1,5 mm); l'ultimo strato di arriccio verrà pareggiato e frattazzato. La finitura, verrà applicata con frattazzo in strati sottili lisciati con frattazzini di spugna, leggermente imbevuti di acqua. In presenza di spessori considerevoli (tra i 6-8 cm) sarà consigliabile realizzare una rincoccatura (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo specifico) della cavità con malta idraulica (calce idraulica naturale NHL 3,5 e scaglie di laterizio rapporto legante-inerte 1:3). Particolare attenzione dovrà essere fatta nella messa in opera in prossimità delle zone d'unione tra le due superfici, poiché la loro corretta esecuzione potrà evitare l'insorgenza di punti di discontinuità, a tale riguardo sarà consigliabile rifinire i lembi con spatolini da stuccatore in modo da garantire una maggiore precisione nella rifinitura. L'applicazione del nuovo intonaco dovrà essere fatta con i valori della temperatura esterna tra i 5 °C e i 30 °C; la malta dovrà essere accuratamente compressa all'interno della lacuna al fine di ottenere delle buone caratteristiche meccaniche, inoltre tra la posa dei vari strati dovranno intercorrere dei tempi d'attesa (relazionati alle diverse tipologie di malte) durante i quali le superfici dovranno essere bagnate. La presenza del rappezzo sulla superficie muraria se specificato dagli elaborati di progetto potrà non mimetizzarsi con la preesistenza così da tutelare le diverse stratificazioni storiche; a tale riguardo i rappezzi esterni potranno essere rilevabili diversificando la lavorazione dello strato di finitura (ad esempio passando una spazzola di saggina a presa iniziata quando è ancora lavorabile), utilizzando granulometria di inerti leggermente differenti o dipingendolo con una tonalità di colore più chiara o più scura (a discrezione del progettista) mentre, per quanto riguarda i rappezzi interni (meno soggetti all'azione degradante), oltre alle soluzioni sopra citate, si potrà decidere di arretrare lo spessore del rappezzo di pochi millimetri rispetto allo spessore del vecchio intonaco.

Specifiche

Nel caso in cui il rappezzo presentasse un'ampiezza considerevole, sarà opportuno predisporre, sopra il primo strato di rinzafo, delle idonee guide al fine di controllare lo spessore e la planarità dell'intonaco. Tali guide potranno essere messe in opera come segue: si fisseranno alla parete dei piccoli conci di laterizio (allineati verticalmente distanziati di circa 50-100 cm) utilizzando la stessa malta dell'intonaco per uno spessore corrispondente a quello definitivo indicato da progetto, tra i conci verticali verrà eseguita una striscia di malta (la stessa realizzata per l'intonaco), tirata a piombo. È buona norma, al fine di consentire la corretta lavorazione della superficie, che l'interasse delle guide sia 40-50 cm inferiore rispetto alla lunghezza della staggia disponibile in cantiere. Le fasce così realizzate costituiranno il dispositivo di controllo dello spessore dell'intonaco.

Al fine di ridurre il rischio di cavillature sarà conveniente seguire delle accortezze: non utilizzare malta con elevato dosaggio di legante (malta grassa) che dovrebbe, in ogni caso essere decrescente dallo strato di rinzafo a quello di finitura, così come dovrebbe essere la resistenza a compressione; applicare la malta per strati successivi sempre più sottili con aggregati a granulometria più minuta partendo dagli strati più profondi fino ad arrivare a quelli più superficiali.

Rappezzo di intonaco di calce (aerea e idraulica)

La malta di calce aerea, largamente utilizzata in passato per intonacare le pareti esterne, si componeva principalmente di calce spenta, sabbia e terre colorate; il legante era lo stesso per i diversi strati, ciò che variava era la quantità e la dimensione degli inerti (più grandi per gli strati interni più piccoli per quelli esterni). Il rappezzo d'intonaco con questo tipo di malta dovrà essere eseguito con particolare cura tenendo conto dei fattori vincolanti per il risultato finale come i lunghi tempi d'attesa fra le diverse fasi della posa e la necessità di irrorare costantemente la superficie onde evitare di "bruciare" l'impasto con conseguente diminuzione delle caratteristiche di resistenza e di durabilità; durante il processo di presa, infatti, la perdita d'acqua dovrà essere graduale; il quantitativo d'acqua dovrà essere relazionato ai singoli casi specifici poiché l'asciugatura più o meno veloce dipenderà da diversi fattori tra i quali: l'umidità atmosferica, il sole battente e la velocità del vento. Considerata la difficoltà della messa in opera si potrà realizzare un rappezzo limitando la malta di calce aerea (sia grassello di calce sia calce idrata) allo strato finale, mentre per i primi strati aggiungere all'impasto una quantità di legante idraulico (calce idraulica naturale NHL o in alternativa calce idraulica naturale con aggiunta di materiali pozzolanici fino ad un massimo del 20% NHL-Z) in modo da poter accorciare i tempi d'attesa fra le diverse fasi operative. Previa preparazione del supporto come indicato nell'articolo inerente il rappezzo di intonaco, si procederà alla posa del primo strato di rinzafo che potrà essere composto da 2 parti di grassello di calce; 1 parte di calce idraulica naturale NHL 5 e 9 parti di sabbione (in alternativa si potranno sostituire 3 parti di sabbione con altrettante di cocchiopesto o pozzolana) lasciando la superficie a ruvido, dopo aver atteso almeno tre giorni (durante i quali la superficie verrà costantemente bagnata); previa bagnatura del supporto si stenderà lo strato di arriccio (ad es. 4 parti di grassello di calce; 1 parte di calce idraulica naturale NHL 3,5; 10 parti di sabbia vagliata) in eventuali strati successivi (di spessore non superiore a 1-1,5 cm per singolo strato) fino al raggiungimento dello spessore indicato da progetto. L'ultimo strato verrà stagiato superficialmente portando il profilo dell'intonaco al giusto livello aiutandosi con le fasce di guida; si dovrà provvedere alla frattazzatura così da uniformare la planarità e le superfici dovranno risultare piane ma allo stesso tempo scabre per

consentire alla finitura di aderire bene (per maggiori dettagli sulle finiture si rimanda a quanto detto negli articoli specifici).

Specifiche

Sarà opportuno ricordare che i rappezzi di sola malta di calce aerea idrata in polvere saranno poco confacenti per superfici esterne poiché poco resistenti nel tempo all'aggressione degli agenti atmosferici (poco resistenti alle sollecitazioni meccaniche e spiccata propensione all'assorbimento capillare d'acqua); si consiglierà pertanto di limitare l'intervento, dove sarà consentito, alle superfici interne. Nella preparazione delle malte con grassello di calce, il grassello dovrà essere anticipatamente stemperato (in pari volumi d'acqua) così da ottenere una densità tale da mantenere limitatamente le forme, in ogni caso tale da non essere autolivellante in superficie; ottenuto il latte di calce, sempre mescolando, verrà aggiunto l'inerte scelto. In caso di malte bastarde con grassello e calce idraulica quest'ultima dovrà essere mescolata precedentemente all'impasto con l'inerte.

Per quanto concerne le malte idrauliche dovranno essere utilizzate entro le 2 ore in estate (3 ore in inverno) dall'aggiunta dell'acqua.

Ad operazione conclusa sarà possibile porre in risalto l'aggregato, tamponando la superficie con spugne ed acqua deionizzata o sfregando la superficie con pasta abrasiva, rimossa in un secondo tempo con spugna bagnata.

Rappezzo di intonaco civile

Per rappezzo d'intonaco civile s'intende un intonaco steso in due strati; il primo costituisce il fondo ed il secondo lo strato di finitura. Questo tipo di rappezzo è di facile e rapida esecuzione; risulterà particolarmente adatto per colmare lacune poco profonde (considerato il suo spessore limitato intorno ai 1,5-2 cm), principalmente su cortine murarie in laterizio, in edifici di poco pregio. Se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto si potrà utilizzare come intonaco di fondo un impasto costituito da: 1 parte di calce idraulica; 0,10 parti di cemento bianco e 2,5 parti di sabbione (granulometria 1,5 parti di 1,5-3 mm più 1 parte di 0,5-1,2 mm), mentre per lo strato a finire 1 parte di calce idraulica e 2 parti di sabbia fine (granulometria 0,5-0,8 mm). L'applicazione sulla superficie seguirà le procedure elencate nell'articolo inerente il rappezzo d'intonaco; previa bagnatura della parete verrà applicato lo strato di fondo dopodiché, a presa avvenuta, si procederà con la stesura dello strato di finitura tramite cazzuola americana o sparpatoio; la superficie verrà successivamente rifinita con frattazzo in legno o di spugna secondo la finitura desiderata.

Rappezzo di intonaco colorato in pasta

Questo tipo di rappezzo consiste nella realizzazione di uno strato di finitura in malta di calce aerea e sabbie fini e selezionate (pigmentate con terre naturali o pietre macinate) su di un intonaco di calce idraulica. Previa preparazione del supporto come indicato nell'articolo inerente il rappezzo d'intonaco, si procederà alla preparazione degli impasti e alla conseguente messa in opera, previa bagnatura del supporto, dello strato di rinzafo (se necessario) e di arriccio formulati se, non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, come segue: il rinzafo con una malta costituita da 1 parte di calce idraulica naturale NHL 5 e 3 parti di sabbia a grana grossa (1,5-5 mm); mentre l'arriccio con una malta composta da 1 parte di calce idraulica naturale NHL 3,5 e 2 parti di sabbia a grana media (0,5-1,5 mm). L'arriccio verrà successivamente frattazzato. Lo strato di finitura pigmentato sarà realizzato con una malta morbida; se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si potrà utilizzare un impasto così composto: 5 parti di grassello di calce; 1 parte di calce idraulica naturale NHL 2; 12 parti di aggregato a grana fine (0,1-0,8 mm) con l'aggiunta di terre colorate e pigmenti (massimo 5% di pigmenti minerali ricavati dalla macinazione di pietre o 10% di terre). La finitura (per uno spessore massimo di 4-5 mm) verrà applicata, previa bagnatura dell'arriccio, mediante l'uso di frattazzi metallici in spessori sottili, dopodiché si procederà alla lisciatura con frattazzini di spugna leggermente imbevuti d'acqua così da ottenere una ruvidezza uniforme.

6.2. Finiture superficiali

La finitura, così come da definizione, costituisce l'ultimo strato dell'intonaco; realizzata in spessori ridotti si ottiene utilizzando impasti con miscele selezionate di materiali vagliati accuratamente e messi in opera seguendo diverse tecniche, a seconda dell'effetto finale desiderato; a tale riguardo importante è la tipologia e la granulometria dell'inerte prescelto visto che a questo elemento si lega la consistenza e soprattutto l'aspetto della finitura stessa (liscia o rugosa).

Marmorino

L'intonaco a marmorino può essere considerato uno degli intonaci più pregevoli del passato, composto in antico da uno spesso strato di malta a base di calce aerea e cocciopesto (con rapporto inerte-legante 2:1 ed 1 parte d'acqua) e da un secondo strato formato da 1 parte di calce; 1,5 di polvere di marmo e 0,7 parti di acqua; l'effetto marmoreo delle superfici si otteneva con olio di lino, sapone o cera applicati con un panno morbido e strofinati. Attualmente, quando si dovrà realizzare una finitura a marmorino si potrà ricorrere all'uso di grassello di calce, calce idrata, polveri di marmo, aggregati selezionati a granulometria finissima (esenti da sostanze organiche), terre colorate naturali, pietre macinate e lattice acrilico come additivo. Se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto si potrà utilizzare un impasto costituito da 2 parti di grassello di calce; 0,50 parti di calce idraulica naturale; 2 parti di polvere di marmo; 1 parte di sabbia eventualmente additivata con pigmenti e terre naturali (massimo 5%); in alternativa si potrà utilizzare un composto costituito da 1 parte di grassello; 0,5 parti di calce idraulica naturale NHL 2; 0,5 parti di cemento bianco; 4 parti di polvere di marmo (granulometria impalpabile di colorazione prescelta dalla D.L.). Prima di procedere con l'applicazione della finitura occorrerà verificare la corretta realizzazione dello strato d'arriccio (tenendo presente che la messa in opera del marmorino dovrà essere fatta entro tre mesi dalla sua avvenuta esecuzione) e l'assenza di eventuali anomalie (fessurazioni, elementi contaminanti come polveri, assenza di patine, efflorescenze ecc.).

La preparazione dell'impasto potrà essere realizzata a mano o con l'ausilio di impastatrici; all'interno di contenitori puliti verrà introdotto l'aggregato, il legante, i pigmenti e l'acqua (nel caso s'impasti manualmente si aggiungeranno prima 2/3 della quantità di acqua necessaria e poi la parte rimanente) e s'impasterà fino a che il composto non risulterà uniforme.

L'acqua per l'impasto dovrà essere limpida, priva di materie organiche e terrose; gli additivi, se richiesti da progetto, verranno aggiunti diversamente a seconda se saranno liquidi o in polvere; nel primo caso dovranno essere miscelati insieme all'acqua d'impasto mentre, se in polvere s'introdurranno nell'impastatrice tra la sabbia e il legante. L'applicazione dello strato di finitura a marmorino dovrà essere fatto con una temperatura esterna compresa tra i +5 °C e i +35 °C; previa bagnatura del supporto verrà applicato in strati sottilissimi (2-3 mm), con l'ausilio di cazzuole metalliche, per successive rasature, dopodiché la superficie verrà levigata e compattata con forza tramite rasiere metalliche allo scopo di ottenere superfici lisce. Nei casi in cui le indicazioni di progetto richiederanno una superficie particolarmente lucida, impermeabile ed allo stesso tempo traspirante si potrà applicare, a pennello, un composto untuoso formato da sapone di Marsiglia neutro disciolto in acqua (1 parte di sapone, 10 parti d'acqua tiepida); passato il tempo necessario affinché la saponatura si sia asciugata, mostrandosi opaca e bianchiccia (circa 1-2 ore), sulla parete andrà passato energicamente un panno di lana o tampone di ovatta al fine di ottenere la cosiddetta lucentezza a specchio; in alternativa la parete potrà essere lisciata energicamente con frattazzo metallico.

Intonachino o colla

La finitura ad intonachino verrà applicata su di uno strato d'intonaco, realizzato con calce aerea od idraulica naturale, non lavorato (lasciato a rustico); l'impasto, che si comporrà di grassello di calce (in alternativa si potrà utilizzare una malta imbastardita con una porzione di calce idraulica naturale NHL 2 con un rapporto grassello-calce idraulica 5:1) ed inerte la cui granulometria dipenderà dall'effetto finale desiderato (fine o rustico); il rapporto legante-inerte potrà variare da 1:2 (se si utilizzerà una malta bastarda) a 1:1 e lo spessore non dovrà essere superiore a 3 mm. L'intonachino verrà applicato mediante spatola americana in acciaio in uno o più strati, secondo il grado di finitura che si desidera ottenere e in riferimento alle specifiche di progetto. Il risultato dell'operazione dipenderà molto dall'applicazione dell'inerte, per questo la messa in opera sarà preferibile eseguirla quando il supporto d'intonaco si presenterà ancora sufficientemente fresco in modo tale che l'inerte possa ben aderire. La temperatura d'applicazione potrà oscillare tra i +10 °C e i +30 °C.

INTONACHINO FINE

La finitura ad intonachino fine si otterrà mediante l'uso di un impasto con inerti a granulometria compresa tra i 0,4-0,8 mm (ad es. 0,40-0,60 mm per un 55%, di 0,6-0,8 mm per il restante 45%) applicati in due strati successivi, applicando il secondo strato ad asciugatura del primo avvenuta. L'ultimo strato verrà lavorato a frattazzo (di spugna o di legno secondo la finitura desiderata) prima della completa asciugatura.

INTONACHINO RUSTICO

La finitura ad intonachino rustica, si otterrà mediante l'uso di un impasto con inerti di granulometria compresa tra i 0,6-1,2 mm (ad es. 0,6-0,8 mm per un 15%, di 8-10 mm per un 30% e di 1,00-1,20 mm per il restante 55%); l'effetto finale sarà in grado di mascherare eventuali fessurazioni presenti nell'intonaco oltre a respingere l'assorbimento dell'acqua proteggendo così la parete. La messa in opera dell'impasto potrà essere realizzata, se non diversamente specificato da progetto, anche in un solo strato da fratazzare prima del completo essiccamento, mediante spatola di plastica o con frattazzo di spugna.

7. Integrazione cromatica

Lo scopo dell'integrazione cromatica sarà quello di colmare le lacune esistenti nella pellicola pittorica che ricoprirà l'intonaco, in modo tale da ripristinare la continuità cromatica e, allo stesso tempo, ristabilire la funzione protettiva propria dello strato pittorico. Prima di procedere al ripristino il supporto dovrà, necessariamente, essere preparato mediante pulitura (ricorrendo alle tecniche in riferimento al tipo di deposito da rimuovere) e successivo consolidamento (o eventuale preconsolidamento laddove si renderà necessario). Sul supporto così preparato si procederà all'integrazione cromatica rispettando la tipologia di tinteggiatura presente sulla parete. I prodotti che si potranno utilizzare, sempre in relazione alla preesistenza, potranno essere: pitture (la pellicola risulterà prevalentemente coprente), vernici (la pellicola anche se colorata risulterà trasparente) e tinte (non formeranno pellicola). Le tecniche pittoriche che più frequentemente si potranno rintracciare sulle superfici intonacate saranno: tinteggiatura alla calce, pittura alla tempera e pitture a base di silicati (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici).

8. Integrazione di stucchi e modanature

La procedura si pone lo scopo di consolidare e/o ricostruire le modanature di pietre artificiali (ad es. cornicione di gronda o cornice marcapiano, profilo di archi ecc.) e di finti elementi architettonici (elemento di bugnato, paraste ecc.) presenti sull'apparecchio murario.

8.1. Integrazione cornici

L'intervento tenderà a ricostruire elementi architettonici con presenza di modanature allorché la loro condizione estremamente degradata non permetta il recupero mediante semplice integrazione-stuccatura.

Operazioni preliminari

La procedura operativa prevedrà, previa accurata asportazione sia di materiale incoerente (polveri e detriti) sia d'eventuali materiali d'alterazione (croste nere, pellicole, efflorescenze saline ecc.) un'eventuale regolarizzazione dei bordi della lacuna e l'asportazione, con l'ausilio di mazzetta e scalpello, delle parti disancorate o fortemente degradate al fine di produrre una superficie scabra che faciliti il successivo ancoraggio dei materiali aggiuntivi. Nel caso di cornici o modanature in genere di malta di calce o cemento con presenza di armature metalliche interne, oramai ossidate o scoperte, si renderà necessario (previa spazzolatura a "metallo bianco" dei ferri a vista) un primo trattamento, al fine di fermare i fenomeni degradanti, con idonea boiaccia passivante anticarbonatante, reoplastica-pennellabile realizzando uno strato continuo di almeno 1 mm (caratteristiche minime: adesione all'armatura > 2,5 N/mm², pH > 12, tempo di lavorabilità a 20 °C e 50%

U.R. circa 40-60 min, temperatura limite di applicazione tra +5 °C e +35 °C).

Armatura di sostegno

Ove richiesto da specifiche di progetto o indicazioni della D.L., si procederà alla messa in opera di un'armatura di sostegno al fine di impedire allo stucco di deformarsi sotto il suo stesso peso proprio o di aderire in modo imperfetto al supporto. Queste armature, seguendo le indicazioni di progetto, potranno essere di vario tipo in ragione delle dimensioni e della complessità delle modanature da restaurare. In presenza di mancanze di modeste dimensioni sarà sufficiente armare con chiodi inossidabili (minimo \square 4 mm) a testa larga o perni costituiti da barrette filettate in acciaio inossidabile, preferibilmente di tipo austenitico, della serie AISI 300L (314 o 316) che presenterà anche buone doti di piegabilità (\square variabile dai 3 ai 6 mm) inseriti in perfori (con diametro e lunghezza leggermente superiori), e successivamente sigillati. La disposizione dei perni sarà, di norma, eseguita a distanza regolare (così da poter sostenere eventuali elementi in laterizio costituenti il corpo della cornice) in ragione del tipo di volume da ricostruire in alternativa si potrà adottare una disposizione a quinconce, in tal modo si favorirà l'eventuale messa in opera di un reticolo di sostegno costituito unendo gli elementi con filo di ferro zincato ovvero d'ottone. Dietro specifica indicazione della D.L. si potranno installare perni con l'estremità libera piegata ad uncino o con altra sagoma specifica. In ogni caso le barrette dovranno avere una luce libera pari ad un sotto livello di 1 o 2 cm rispetto alla superficie finale.

In presenza di volumi di notevole oggetto si potrà ricorrere ad armature "multiple" ovvero a una prima armatura di lunghezza sufficiente a sostenere solo la parte più retrostante; una volta che questo livello sia indurito si provvederà ad armare il livello successivo fino ad arrivare allo spessore desiderato. Per il primo livello d'armatura, se non diversamente specificato dalla D.L., si utilizzeranno elementi in laterizio (mattoni, tavelline, tozzetti ecc.) allettati con malta di calce idraulica; questi elementi dovranno preventivamente essere saturati d'acqua così da evitare eventuali sottrazioni di liquido all'impasto. L'esecuzione di supporti in laterizio sarà da adottare specialmente in presenza di cornici con base geometrica, all'intonaco sarà, in seguito, demandato il compito di raccordare le volumetrie di base e di creare le eventuali varianti. In alternativa si potranno utilizzare anche altre tecniche d'armatura come quella di predisporre un supporto costituito da listelli e tavolette di legno (di spessore sottile ad es. 5x25 mm) ben stagionato con funzione di centina di sostegno. Con questa seconda tecnica si potranno ottenere grandi cornicioni leggeri, economici e di facile quanto rapida esecuzione.

Malta da ripristino

L'integrazione potrà essere seguita con un impasto a base di calce idraulica, grassello di calce o, nel caso di elementi interni, di gesso, con l'eventuale aggiunta di resine acriliche (al fine di migliorare l'adesività della malta) e cariche di inerti selezionati di granulometria compatibile con il materiale da integrare (ad es. 1 parte grassello di calce; 3 parti calce idraulica naturale NHL 2; 10 parti di sabbia lavata e vagliata; 0,4 parti resina acrilica in emulsione; rapporto legante-inerte 1:2,5). In alternativa a questo tipo di malta si potrà utilizzare un impasto a base di polimeri sintetici, preferibilmente acrilici (buone caratteristiche agli agenti atmosferici, incolori e trasparenti anche in massa e scarsa tendenza all'ingiallimento) caricati con detriti e/o polveri della pietra dell'elemento originario (rapporto legante-inerte 1:2). Entrambi le tipologie d'impasto potranno essere additivate con pigmenti minerali al fine di avvicinarsi maggiormente come grana e colore al materiale originario (per maggiori specifiche sulla composizione di malta da stuccatura si rimanda agli articoli specifici). La reintegrazione andrà eseguita per strati successivi, analogamente al procedimento utilizzato per le stuccature, nel caso d'utilizzo d'impasto a base di resina acrilica, sarà consigliabile applicare strati di modeste dimensioni (massimo 10-15 mm) così da favorire la catalizzazione della resina. In presenza di notevoli sezioni da reintegrare potrà rivelarsi vantaggioso eseguire lo strato di fondo con un impasto formato da calce e cocchiopesto con granulometria media (1,5-5 mm) (ad es. 3 parti di grassello di calce, 1 parte di calce idraulica naturale NHL 2; 8 parti di sabbia lavata e vagliata, 4 parti di cocchiopesto; rapporto legante-inerte 1:3). Questo impasto permetterà di applicare strati spessi (massimo 30-40 mm) contenendo la manifestazione di fessurazioni (fermo restando la bagnatura diretta o indiretta, servendosi di teli umidi, delle superfici per più volte al giorno per la durata di una settimana).

Modellazione con modine

Al fine di ricostruire le modanature delle cornici sarà necessario preparare preventivamente una sagoma in metallo (lamiera di alluminio o zinco di 3-4 mm; saranno da evitare il ferro o il ferro zincato in quanto di difficile lavorabilità) che dovrà riprodurre in negativo il profilo della cornice da ripristinare. Sarà, inoltre, necessario applicare al di sopra e al di sotto della cornice (ovvero ai due lati se la cornice sarà verticale) una guida preferibilmente in legno duro dove far scorrere, a più riprese il modine (il movimento dovrà essere deciso e sicuro tale da non compromettere con sviluppi anomali il risultato finale). In alternativa si potranno utilizzare delle sagome libere (ad es. per la realizzazione di cornici a porte e finestre) che prenderanno come riferimento spigoli e/o rientranze precedentemente realizzati. In ogni caso la modellazione della malta con le sagome dovrà, necessariamente, essere eseguita solo quando questa cominci a far presa ma sia ancora modellabile. La sagoma dovrà essere tenuta sempre pulita recuperando la malta in abbondanza e pulendo accuratamente il profilo della lamina.

Per ripristinare cornici in stucco o in gesso di particolare complessità potrà essere vantaggioso predisporre due sagome: una per il fondo grezzo (di alcuni millimetri più piccola rispetto al disegno finale) l'altra (con dimensioni definitive) per lo strato di finitura. In ogni caso, per realizzare un cornicione di notevoli dimensioni, sarà sempre consigliabile operare in più passaggi (almeno 4 o 5) piuttosto che in uno solo, per cantieri di lavoro che non dovranno superare i 2-2,5 m di lunghezza.

Modellazione con strumenti da muratore

In alternativa alla modine, per cornici realizzate in cotto, si potrà sagomare la sezione anche con l'ausilio della sola

cazzuola: si stuccheranno da prima i giunti portandoli alla quota della superficie del laterizio, in seguito si stenderà a finitura un sottile strato d'intonaco. La lavorazione con la cazzuola seppure più lenta presenterà il vantaggio di poter operare anche in situazioni particolari come, ad esempio, quando il fondo in muratura risulterà talmente irregolare o compromesso tanto da essere impossibile impiegare sagome rigide, bacchette o frattazzi. Questi ultimi strumenti si riveleranno molto utili allorché si intervenga su una cornice con parziali lacune e si riesca a modanare la superficie utilizzando le tracce rimaste.

Specifiche

Al fine di riportare esattamente il disegno della modanatura sulla sagoma sarà necessario eseguire un calco in gesso o in resina sintetica il cui negativo verrà tagliato lungo una sezione trasversale e utilizzato per riprodurre l'esatto profilo.

8.2. Integrazione bugne di facciata ed anteridi

L'intervento tenderà a ricostruire finti elementi architettonici come bozze di bugnato, paraste ecc. presenti sull'apparecchio murario allorché il loro stato di conservazione non permetterà più il recupero mediante semplice integrazione-stuccatura (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici).

La procedura seguirà quella enunciata nell'articolo sul ripristino di cornici, ad eccezione di qualche precisazione dovuta alla natura stessa degli elementi oggetto di intervento. La malta da ripristino sarà, prevalentemente, (se non diversamente prescritto dagli elaborati di progetto) a base di calce, gli eventuali leganti sintetici dovranno avere, esclusivamente, una funzione di additivi. La modellazione avverrà per ogni singola bozza mediante l'uso di due sagome libere munite di supporto ligneo da far scorrere una in senso orizzontale da destra verso sinistra, l'altra in senso verticale dal basso verso l'alto.

La malta dovrà inevitabilmente essere messa in opera su superficie scabra da ricavare, a seconda delle prescrizioni di progetto, mediante leggere striature del supporto, bocciardatura oppure mediante delle vere e proprie armature di sostegno costituite da reti di acciaio inossidabile a maglia stretta o in polipropilene. Nel caso di ricostruzione totale di bozza con oggetto di notevoli dimensioni sarà consigliabile eseguire un supporto, da ancorare alla parete, con l'ausilio di elementi in cotto allettati con malta di calce idraulica, sarà però necessario che questi elementi siano preventivamente saturati d'acqua così da evitare eventuali sottrazioni di liquido all'impasto.

9. Integrazione, ripristino pavimentazioni

L'intervento di ripristino delle pavimentazioni dovrà, necessariamente, essere preceduto dalle analisi, non invasive, dei fenomeni che hanno provocato patologie di degrado dei materiali oggetto di intervento; pertanto prima di intervenire con i diversi sistemi di stuccatura o protezione sarà appropriato procedere asportando le eventuali sostanze inquinanti (efflorescenze saline, crescite microorganiche, concrezioni ecc.) o più generalmente con un trattamento di pulitura, sgrassatura o deceratura utilizzando la tecnica che si riterrà più idonea al singolo caso, in ragione del tipo di pavimento, del suo stato di conservazione, della natura delle sostanze degradanti e dei risultati delle analisi di laboratorio (per maggiori dettagli sulle tecniche di puliture si rimanda alle procedure specifiche).

Nel caso in cui l'integrazione sia rivolta a fratture ovvero piccole cavità, il protocollo seguirà le procedure indicate per gli elementi lapidei o per quelli lignei ad eccezione di qualche precisazione dovuta alla natura della mancanza (piccola entità sia in termini di estensione sia di profondità). La stuccatura sarà eseguita con materiali in pasta costituiti da un legante di tipo inorganico (ad es. calce idraulica naturale) o, più di frequente, organico (ad es. polimeri sintetici come le resine acriliche) e da una carica (polvere di legno, caolino, argilla finissima, polvere di marmo ecc.) in ragione del supporto (cotto, pietra, legno ecc.) oggetto d'intervento; se espressamente richiesto dagli elaborati di progetto questi impasti potranno essere additivati (ad es. cariche di gluconato di sodio, pigmenti colorati ecc.) al fine di esaltare ad esempio le caratteristiche di presa, fluidità, antiritiro, resistenza meccanica ecc. (per maggiori dettagli sugli impasti si rimanda a quanto detto agli articoli precedenti).

Previo eventuale sgrassamento delle superfici si applicherà la pasta, della consistenza voluta, sulle parti mancanti adoperando piccole spatole metalliche o bacchette di legno esercitando una modesta pressione al fine di otturare la cavità, in caso di fessure più profonde si potranno eseguire più strati di materiale intervallati tra loro con un tempo di attesa necessario per l'essiccazione. In questo caso, inoltre, si renderà vantaggioso, ai fini di un corretto aggrappaggio tra gli strati, graffiare la superficie di quello sottostante, prima del suo indurimento.

Al fine di eludere il fenomeno del ritiro e di permettere le eventuali successive operazioni di arrotatura, levigatura e lucidatura (soprattutto in presenza di pavimenti in cotto, marmo, marmette colorate in pasta) sarà consigliabile impiegare una quantità di stucco moderatamente eccedente il volume da riempire.

Integrazione con nuovi elementi

In caso di elementi non più solidali con il sottofondo (parti mobili o totalmente distaccate) la procedura prevedrà, solo se espressamente indicato dagli elaborati di progetto, il loro cauto smontaggio e la loro pulitura (per le procedure operative riguardanti lo smontaggio del pavimento si rimanda a quanto prescritto nell'articolo specifico) con spazzole di saggina, scopinetti, piccole spatole, tamponi imbevuti di sostanze detergenti o altra tecnica ritenuta idonea dalla D.L.; in seguito si procederà alla riposa in opera definitiva che dovrà essere eseguita con malta di allettamento il più possibile simile a quella originale. In presenza di vaste zone d'intervento si renderà necessaria la rimozione degli elementi fino all'intera asportazione del massetto costituente il sottofondo. Il nuovo massetto (a base di calce idraulica naturale NHL 5 e sabbione in rapporto 1:2) dovrà essere lasciato stagionare per il tempo necessario (almeno 7 giorni); le eventuali lesioni che dovessero manifestarsi andranno riempite con boiaccia di calce idraulica. Si procederà, successivamente, alla posa in opera degli elementi recuperati (ovvero dei nuovi elementi se questi non potranno essere recuperati) con un letto di malta di calce idraulica (a consistenza plastica) di adeguato spessore (di norma 2 cm, comunque uguale a quello asportato)

disteso sul sottofondo; gli elementi saranno collocati uno alla volta, accostati tra loro mediante appositi distanziatori al fine di creare le fughe desiderate (minimo 0,5 massimo 5 mm). Si premerà, infine, su ogni elemento (battendo gli angoli con il martello di gomma o con il manico di legno della mazzetta) facendo refluire la malta e, allo stesso tempo, in modo da posizionarlo ad una quota leggermente superiore al piano finito così da compensare l'abbassamento dovuto al naturale ritiro della malta. A distanza di 2-4 ore (in ragione delle condizioni ambientali) dal termine della posa, le superfici pavimentate dovranno essere bagnate al fine di garantire una stagionatura ottimale della malta di appoggio. Per la stuccatura delle fughe sarà consigliabile utilizzare una boiaccia liquida così da essere capace di penetrare agevolmente nelle fessure, inoltre si renderà necessario ripetere l'operazione 2/3 volte, a distanza di almeno 8 ore una dall'altra. Ultimata la stuccatura e passate 4-6 ore, sarà necessario bagnare il pavimento posato. La boiaccia utilizzata per la stuccatura delle fughe sarà composta seguendo le disposizioni di progetto o indicazioni della D.L., in mancanza di queste si potrà comporre un impasto a base di cemento bianco pigmentato con ossidi colorati (massimo 10%) con l'eventuale aggiunta di lattice acrilico al fine di conferire un minimo di elasticità allo stucco; sarà consigliabile effettuare delle prove al fine di individuare la giusta tonalità della stuccatura in modo che il colore delle fessure riempite si mimetizzi con quello degli elementi adiacenti.

Specifiche

In linea generale si dovrà evitare l'inserimento di nuovi elementi, cercando di riutilizzare quelli originali, se questo non dovesse essere possibile (causa mancanze, eccessivi degradi ecc.) sarà opportuno utilizzare, per le eventuali parziali sostituzioni, materiali e tecniche di lavorazione similari a quelle originali ma al contempo, se specificatamente indicato dagli elaborati di progetto, dovranno attestare la "modernità", in modo da distinguersi.

Nel caso di utilizzo di pietra da taglio, questa dovrà presentare la forma e le dimensioni indicate negli elaborati di progetto ed essere lavorata, secondo le prescrizioni che verranno impartite dalla D.L. all'atto dell'esecuzione, nei seguenti modi:

- a grana grossa: (spuntato grosso, medio o fine secondo il tipo di subbia utilizzata) si intenderà quella lavorata semplicemente "alla punta", ottenuta mediante mazzetta e scalpello a punta detto Subbia o punta; questo tipo di lavorazione sarà, generalmente, eseguita a mano (su spessori di almeno 4 cm) pertanto si rivelerà un'operazione onerosa ma di particolare effetto, la cui resa finale sarà accentuata dal risalto conferito al carattere del litotipo; (in alternativa si potrà operare con l'ausilio di microscalpelli elettrici);
- ordinaria: (spuntato alla martellina a tre denti) lavorazione simile alla precedente ma eseguita con l'ausilio di martellina a denti larghi, anche questo tipo di lavorazione si eseguirà su spessori minimi di 4 cm;
- a grana mezza fina: (a martellina mezza fina, a bocciarda grossa, a bocciarda media, gradinato medio, gradinato fine) lavorazione eseguita tradizionalmente a mano su spessori minimi di 3 cm con utensili per urto tipo le martelline a 6 denti allineati, polka, bocciarde (da 9 e 16 punti) e scalpelli (a penna, raschino, gradina a penna dentata, calcagnolo, ferrotondo ecc.); essendo una lavorazione molto onerosa, oggi, sovente si ricorre all'utilizzo degli stessi strumenti ma di tipo pneumatico (ad es. microscalpelli elettrici), in alternativa, per la lavorazione su vaste aree, si può ricorrere a macchine automatiche. Questo tipo di lavorazione sarà indubbiamente il più utilizzato per i rivestimenti e per le pavimentazioni esterne;

- a grana fina: (a bocciarda fine, scalpellato medio, scalpellato fine) lavorazione simile alla precedente (spessore minimo di lavorazione 3 cm), ma eseguita con strumenti più fini (ad es. bocciarde da 24 o 36 punti, scalpelli minuti od unghietti). In tutte le lavorazioni, esclusa quella a grana grossa, le facce esterne di ciascun concio della pietra da taglio dovranno avere gli spigoli vivi e ben cesellati affinché le connessioni fra i conci non superino la larghezza di 5 mm per la pietra a grana ordinaria e di 3 mm per le altre. Qualunque sia il grado di lavorazione delle facce a vista, i letti di posa e le facce adiacenti dovranno essere ridotti a perfetto piano e lavorate a grana fina. Non dovranno essere presenti né smussature agli spigoli né cavità nelle facce o stuccature in malta.

Nel caso di arrotatura, levigatura e lucidatura di pavimenti in marmette (elementi di pasta cementizia colorata o impasto di graniglia, polvere di marmo e cemento fino alla dimensione di 250x250 mm spessore minimo 25 mm), o marmettoni (elementi di impasto con scaglie di marmo, polvere di marmo e cemento fino alla dimensione di 500x500 mm spessore minimo 35 mm), si dovrà porre particolare attenzione allo spessore dello strato superficiale al fine di evitarne la completa asportazione, con la conseguente esposizione dello strato di supporto grigio in malta cementizia.

ARROTATURA E LEVIGATURA

Avvenuta la presa della malta delle stuccature (in ogni caso non prima di 20 giorni) le superfici pavimentate subiranno una prima sgrossatura con idonea macchina (manettone). La fase di arrotatura-levigatura conterà di più passaggi successivi della macchina, la cui opera raffinatrice sarà realizzata da apposite mole abrasive che agiranno in presenza di acqua; le mole utilizzate per i primi passaggi (arrotatura) saranno del tipo a grana grossa 60-120 (1/60 di mm identifica il diametro dell'abrasivo nell'impasto delle mole) ed avranno lo scopo di rendere uniforme il piano trasformandolo in un'unica lastra piana. Il fango di risulta dovrà essere opportunamente rimosso ed il pavimento dovrà essere accuratamente lavato cosicché sulla superficie non rimanga alcuna traccia di melma. Al fine di togliere eventuali rigature, lasciate dalla prima molatura, dovrà essere spalmato sul pavimento uno strato di boiaccia convenientemente colorata con le percentuali di pigmenti scelti. Passato il tempo necessario all'indurimento della boiaccia si passerà alla levigatura meccanica mediante l'utilizzo di appropriate mole di grana media (220-600) fino ad arrivare a grane fini (600-800); dove la macchina levigatrice non potrà operare, cioè negli angoli, o sotto ostacoli come lavelli, sanitari o radiatori, sarà consigliabile ricorrere a idonei frullini manuali muniti di idoneo distributore di acqua (al fine di evitare "bruciature" delle marmette). Nel caso di posa in opera di battiscopa, o rivestimenti in genere, sarà consigliabile la posa in opera dopo aver eseguito alcune passate di arrotatura così da aver costituito un perfetto piano di posa.

LUCIDATURA

Previa eliminazione delle rigature si procederà alla fase di lucidatura eseguita mediante un feltro localizzato sotto la macchina e l'uso d'acido ossalico. In questa fase si effettuerà la piombatura del pavimento che sarà eseguita grazie all'azione di due fogli di piombo inseriti in modo incrociato al di sotto del feltro; i fogli ruoteranno sull'interfaccia del pavimento ed il calore creato dall'attrito favorirà il distacco di residui di piombo dai dischi che andranno ad occludere i pori presenti sulle marmette. A lucidatura eseguita sarà consigliabile lavare con acqua e detergente neutro più volte la superficie al fine di rimuovere eventuali velature biancastre create dalla lucidatura.

9.1. Integrazioni, ripristino pavimentazioni in battuto

La procedura volta ad integrare le lacune o ripristinare porzioni degradate più o meno estese richiederà tecniche e metodologie molto simili a quelle utilizzate per la messa in opera di una pavimentazione *ex novo*. In ogni caso, per tutte le tipologie di pavimento incluse in questa categoria, sarà necessario effettuare delle operazioni preliminari ovvero:

- individuazione ed analisi (qualità e percentuale) dei granuli e degli eventuali pigmenti presenti nel pavimento originale, così da avere una mistura dei diversi aggregati del tutto simile a quella originale;
- eventuale taglio dei bordi della lacuna o della zona degradata, con l'ausilio di martello da taglio;
- pulitura accurata dei detriti di demolizione e delle polveri (si veda la procedura specifica sulla demolizione di pavimenti) e successiva stuccatura dei bordi del taglio, con malta di calce, al fine di evitare sgretolature.

Battuti alla veneziana

Con il termine battuto sono raggruppate due tipologie leggermente differenti di pavimentazioni: il terrazzo a base d'impasti di calce e graniglie di marmo e il cosiddetto pastellone, caratterizzato, oltre che dall'uso di calce, da cariche d'aggregato a base di pezzame (con granulometrie variabili) di ciottolo e di rottami di pietra.

La procedura del terrazzo alla veneziana prevederà la preparazione, sul piano di posa, di un sottofondo magro (rapporto legante-inerte 1:4) composto ad esempio da 1 parte di calce spenta; 2 parti di calce idraulica naturale NHL 5; 9 parti di rottami di laterizi scelti e 3 parti di pietrisco (granulometria 8-12 mm). La stesura del sottofondo (per uno spessore di circa 10-20 cm) avrà inizio con la formazione di guide lungo i muri perimetrali o i bordi dei grandi rappezzi; dopo la stesura con cazzuola questo dovrà essere ben battuto (mediante mazzapicchio, battipalo o pestello meccanico) e rullato (mediante rulli cilindrici del peso di almeno 80-100 kg); sia la battitura che la rullatura dovranno essere eseguite secondo direzioni incrociate al fine di omogeneizzare la superficie e in modo da poter controllare l'azione di costipatura (la verifica dello spessore e della planarità sarà eseguita mediante l'utilizzo di stadie e livelle appoggiate sulle guide perimetrali). Queste operazioni andranno ripetute più volte fino a quando l'acqua dell'impasto avrà cessato di spurgare. Al di sopra di questo strato verrà steso un coprifondo (coperta) dello spessore di 2-4 cm composto da un impasto di grassello di calce, polvere grossa di laterizi (granulometria 1,2-3 mm) ed, eventualmente, una minima quantità di sabbia grossa lavata solo per dare struttura (rapporto legante-inerte 1:3). La stesura della coperta avverrà mediante l'ausilio di staggia e livella accertandosi che lo spessore sia uniforme e non si verifichino infossamenti o pendenze non desiderate, dovrà coprire i tassi di presa ed essere ad una quota sopra il livello finito così da compensare l'abbassamento dovuto alla battitura e rullatura successiva; all'interno di questo strato e solo dietro specifica indicazione di progetto potrà essere inserita in fase di stesura una rete zincata a maglie strette (massimo 20x20 mm) posizionata secondo parere della D.L., comunque di norma a mezza quota su tassi di presa a circa 1-2 cm.

Lo strato di stabilitura, destinato a ricevere la semina della graniglia di marmo, avrà lo spessore di 1-1,5 cm, sarà costituito da un impasto grasso e plastico a base di calce spenta e polveri di marmo (fine e grossa) in rapporto di 1:1. Sulla stabilitura si eseguirà, a mano la semina della graniglia partendo dalle scaglie più grosse fino ad arrivare a quelle più minute seguendo le indicazioni di progetto e soprattutto la granulometria della pavimentazione originale (la granulometria della graniglia sarà variabile da 5 a 40 mm in ragione del tipo di pavimento su cui sarà eseguito l'intervento di ripristino se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si potrà utilizzare 2 parti di graniglia 20-25 mm e 1,5 parte di graniglia 4-7 mm). Alla semina dovranno seguire la rullatura e la battitura con mazzapicchio e staffa o "ferro da battere" (sorta di grande cazzuola di ferro, del peso di circa 5 kg, costituita da un lungo manico collegato ad una specie di spatola pesante lunga circa 80 cm) al fine di far penetrare le scaglie nella malta, ovvero per far compattare l'impasto malta-granulato e per livellare la superficie del battuto. A stagionatura avviata ma non ancora terminata il pavimento dovrà essere levigato a mano in più riprese (orsatura), fino ad ottenere il livello voluto; ultimata questa operazione il pavimento dovrà essere lasciato stagionare per almeno 30-40 giorni. A stagionatura avvenuta si potrà stuccare il pavimento con lo scopo di eliminare le piccole cavità o le imperfezioni del getto; la stuccatura potrà essere eseguita con una miscela di calcio idrato e olio di lino cotto, con eventuali aggiunte di pigmenti colorati (massimo 5-10%); passata una settimana si potrà operare l'ultima levigatura ed il trattamento finale di lucidatura, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, potrà essere eseguito con più passate di olio di lino crudo diluito al 95%, 85%, 70% con solvente tipo essenza di trementina fino ad impregnare il pavimento in profondità. Quando l'olio sarà bene assorbito si potrà passare allo strato di protezione mediante trattamento con cera naturale o sintetica mediante stracci di juta.

Il pastellone avrà in comune con il terrazzo solo il sottofondo, la sottile coperta dello spessore di circa 1-2 cm sarà costituita da un impasto composto da 1 parte di grassello di calce; 2,5 parti di polvere grossa di cocci; 0,5 parti di pietra (rapporto legante-inerte 1:3) che dovrà essere adeguatamente battuto e stagionato. La stesura finale, eseguita con spatola e lavorata con cazzuolino, sarà costituita da una pasta composta da calce e ciottolo vagliato e lavato (al fine di eliminare la polvere impalpabile e la pezzatura troppo grossa) in rapporto di 1:1, per le prime due mani e da polvere di ciottolo fine (granulometria 0-1,2 mm) e terre coloranti (rosso cinabro, terra vermiglia, terra di Siena, terre d'ombra ecc.) per la terza ed ultima mano. Il trattamento finale prevederà la levigatura con carta abrasiva a grana fine e la lucidatura ad olio di lino eseguita con stracci di juta.

Specifiche

In entrambi i casi sarà sconsigliato l'uso di levigatrice meccanica in quanto questa, oltre a far perdere la compattezza e il naturale colore al terrazzo o al pastellone, sovente danneggia irrimediabilmente il vecchio legante che sotto l'azione della macchina si debilita e si sgretola; pertanto l'uso di macchinari per le operazioni di arrotatura, levigatura e lucidatura saranno ammessi solo dietro specifiche indicazioni di progetto e comunque consigliate solo nei casi di rifacimenti ex novo di tutta la superficie pavimentata.

Il battuto di terrazzo potrà anche essere costituito da un sottofondo composto da un impasto quasi asciutto di cemento e rottami vagliati di cotto (rapporto legante-inerte 1:4), talvolta gli aggregati sono composti da argilla espansa o vermiculite al fine di ottenere un cls leggero in ragione di 200 kg di cemento per metro cubo di impasto. Il coprifondo (coperta), dello spessore di 2-4 cm, sarà composto di polvere grossa di mattone e cemento, in ragione di 300 kg per metro cubo di polvere, mentre la stabilitura (di almeno 1-1,5 cm di spessore) sarà eseguita con impasto secco di cemento e graniglia di marmo sottile in ragione volumetrica di due parti di graniglia e tre parti di cemento, con l'eventuale aggiunta di terre colorate. Seguiranno le operazioni di semina della graniglia (con granulometria richiesta dagli elaborati di progetto) e la bagnatura, al fine di ottenere una malta plastica che consenta, con l'aiuto del rullo, la penetrazione e l'inglobamento delle scaglie lapidee. La rullatura e la battitura verranno seguite contemporaneamente alla bagnatura con lo scopo di amalgamare il granulato nella malta cementizia e di livellare il piano finito. La levigatura finale sarà eseguita a macchina impiegando abrasivi progressivamente a grana grossa, media, fine e finissima.

Battuto di graniglia

Previa esecuzione delle operazioni preliminari si procederà a stendere sul piano di posa (costituito da un massetto a base di calce idraulica e sabbione, rapporto legante-inerte 1:4) uno strato di conglomerato di calce idraulica naturale NHL 5 avente lo spessore di circa 3 cm (o quanto sarà necessario al fine di arrivare ad un sottolivello del piano finito di circa 2,5-3 cm) successivamente costipato mediante battitura con mazzeranghe. Sul conglomerato ancora umido, dovrà essere disteso uno strato di malta grassa di calce idraulica naturale NHL 5 o cemento bianco con graniglia di marmo di granulometria e tipo selezionata come da progetto (in ogni caso dovrà corrispondere al pavimento originale ed essere priva di impurità) per uno spessore di circa 2 cm ed un ulteriore strato di cemento bianco misto a micrograniglia selezionata, lavata e depolverizzata, polvere di marmo, dello spessore di 5 mm, lisciato e mantenuto umido per i primi 7 giorni. Il trattamento finale prevedrà arrotatura, levigatura e lucidatura a piombo.

10. Integrazione di porzioni murarie

L'operazione di integrazione di porzioni di murature potrà rendersi necessaria in situazioni dove l'apparecchio murario risulti particolarmente degradato o lacunoso di elementi componenti tanto da rendere la struttura muraria a rischio di conservazione. Le integrazioni potranno riguardare murature o strutture murarie incomplete, interrotte o da consolidare (in questo caso si parla di operazione di "scuci e cuci"), che in ogni caso porranno problemi di connessione con le porzioni preesistenti.

In linea di massima la procedura si identificherà come un vero e proprio intervento costruttivo che, confrontandosi con il manufatto preesistente dovrà valutare di volta in volta le relazioni tra le parti ovvero, la messa in opera di elementi analoghi o meno per forma, dimensione, tecnica di lavorazione e posa in opera rispetto a quelli "originali" (o meglio preesistenti). Tutto questo non dipenderà esclusivamente da ragioni di tipo tecnico-costruttivo ma, piuttosto, da precisi intenti progettuali, primo dei quali il rispetto o meno verso l'autenticità, la riconoscibilità e la distinguibilità dell'intervento ex novo.

I fattori che potranno indirizzare le scelte di progetto saranno principalmente i materiali, le forme, le dimensioni e le lavorazioni degli elementi scelti per l'integrazione, i tipi di apparecchiatura e le tipologie di posa in opera; le casistiche possibili saranno svariate, le più ricorrenti possono essere individuate in:

- integrazione con elementi di materiale, forma, dimensione, tipo di lavorazione uguali a quelli dell'apparecchio preesistente e con lo stesso tipo di apparecchiatura (integrazione mimetica);
- integrazione con elementi di materiale, forma, dimensione, tipo di lavorazione uguali a quelli dell'apparecchio preesistente ma apparecchiati in modo differente rispetto a quelli dei tratti limitrofi;
- integrazione con elementi di materiale uguale a quelli dell'apparecchio preesistente ma con forma, dimensione, tipo di lavorazione differenti rispetto a quelli dei tratti limitrofi e posti in opera con apparecchiature analoghe o differenti rispetto a quelle delle porzioni confinanti;
- integrazione con elementi di materiale, forma, dimensione uguali a quelli dell'apparecchio preesistente, ma diversi per il tipo di lavorazione e posti in opera con apparecchiature analoghe o differenti rispetto a quelle dei tratti limitrofi;
- integrazione con elementi di forma, dimensione, tipo di lavorazione uguali a quelli dell'apparecchio preesistente ma di materiale diverso (di norma più resistente o di colore differente) posti in opera con apparecchiature analoghe o differenti rispetto a quelle dei tratti limitrofi;
- integrazione eseguita con elementi di dimensione uguale a quelli dell'apparecchio preesistente ma di materiale diverso e di forma opposta a quella preesistente.

In linea generale la procedura operativa di integrazione dovrà seguire le fasi sotto elencate.

Operazioni preliminari

Accurato rilievo in scala adeguata (minimo 1:25) dello stato di fatto dell'apparecchio murario con tecnica e strumentazione indicata dalla D.L., se non diversamente specificato si eseguirà un rilievo fotogrammetrico, analitico o digitale esteso non soltanto, alla porzione della muratura da integrare ma a tutta la sezione oggetto di integrazione. Se non diversamente specificato dalla D.L. si procederà, inoltre, alla redazione di rilievo in scala 1:1 delle sole porzioni di murature da integrare.

Le informazioni ricavate dalla suddetta analisi dovranno servire a definire la qualità, le forme e i modi di posa in opera dei nuovi elementi. Questi elaborati costituiranno la base per la "progettazione" dell'integrazione, sarà, pertanto, utile elaborare delle simulazioni con diverse soluzioni progettuali al fine di verificare meglio le scelte operate.

Nel caso in cui le operazioni di rilievo manuale e/o strumentale non fossero sufficienti ad apprendere tutti i dati necessari (specialmente informazioni riguardanti le sezioni interne dell'organismo murario) potranno essere eseguiti eventuali accertamenti diagnostici (indagini endoscopiche, termografiche ecc.) specifici da scegliersi in accordo con la D.L.

Previa messa in sicurezza della struttura con idonee opere provvisorie, sarà possibile procedere alla rimozione degli elementi particolarmente sconnessi e/o decoesi. La rimozione dovrà avvenire per cantieri successivi di limitata entità dall'alto verso il basso così da non arrecare ulteriore stress all'organismo murario. Successivamente a questa fase di rimozione sarà necessario operare una pulitura generalizzata dei piani di appoggio e di connessione dei nuovi conci. La pulitura, se non diversamente specificato, avverrà mediante strumenti meccanici (quali ad es. spazzole, scopinetti eventuali piccoli aspiratori) o eventualmente blande puliture ad acqua facendo attenzione a non arrecare danno ai materiali preesistenti (per ulteriori specifiche inerenti le metodologie di pulitura si rimanda a quanto detto negli articoli specifici).

Messa in opera dei nuovi elementi

La vera messa in opera degli elementi dovrà essere preceduta dalla "presentazione", ovvero la sistemazione provvisoria degli elementi nuovi nella sede prevista, al fine di verificare l'accettabilità della loro forma e l'effettiva realizzabilità dell'intervento, oppure dalla "presentazione" di un campione tipo di integrazione (ad es. nel caso di integrazione di apparecchio in opus reticulatum con un altrettanto opus reticulatum ma convesso e realizzato in malta). Per agevolare l'operazione di "presentazione" del primo caso si potrà far uso di zeppe o liste di legno per appoggiare provvisoriamente gli elementi nella loro sede.

Nel caso di integrazioni murarie con nuovi elementi lapidei la messa in opera degli stessi avverrà previa preparazione dei letti con malta di calce preferibilmente simile per composizione a quella presente in situ, eventualmente additivata per migliorarne l'aderenza o diminuirne il ritiro. Dietro specifica indicazione della D.L. si provvederà all'inserimento di eventuali perni (ad es. barre filettate) o zanche in acciaio inox al fine di migliorare la connessione tra i nuovi elementi.

Dopo la messa in opera degli elementi di integrazione, nel caso di un paramento a faccia vista, si dovrà eseguire la finitura e la stillatura dei giunti soprattutto in prossimità dei bordi d'unione tra il vecchio e il nuovo al fine di evitare, proprio in questi punti delicati, discontinuità strutturali.

11. Rincocciatura di murature

La rincocciatura è un'operazione che interessa la ricostruzione di mancanze o lacune murarie (generate ad esempio da crolli o distruzioni), nella massa e nel volume, tramite l'inserimento di nuovi materiali compatibili con quelli presenti allo scopo di ripristinare la continuità della parete. Potrà limitarsi al paramento esterno od interessare la muratura, per tutto il suo spessore; questo ultimo caso si differenzia dall'integrazione muraria poiché coinvolge porzioni limitate di muratura e, dallo scuci e cuci perché non prevede la rimozione delle parti di muratura degradate. L'operazione di rincocciatura si renderà necessaria, inoltre, per evitare il progredire e/o l'insorgenza dei fenomeni di degrado (infiltrazioni d'acque meteoriche, di radici infestanti ecc.) che potranno attecchire all'interno della lacuna. Il compito strutturale dell'intervento potrà essere più o meno incisivo secondo i singoli casi; se la rincocciatura dovrà assolvere un ruolo di sostegno i materiali utilizzati dovranno avere delle caratteristiche di resistenza meccanica a compressione tale da garantire la stabilità della struttura (sarà opportuno a tale riguardo ricorrere a materiali compatibili e similari, per natura e dimensioni, a quelli originali), se invece si tratterà di colmare un vuoto si potranno utilizzare materiali come: frammenti di mattone, scaglie di pietra ecc. Se richiesto dalle specifiche di progetto, nei casi di strutture a rischio di crollo, prima di procedere con l'intervento, si dovranno mettere in opera dei sostegni provvisori circoscritti alla porzione che dovrà essere ripristinata; dalla cavità dovranno essere rimosse tutte le parti incoerenti o eccessivamente degradate tramite l'utilizzo di mezzi manuali (martelli o punte) facendo cura di non sollecitare troppo la struttura evitando di provocare ulteriori danni.

All'interno della lacuna, se indicato dagli elaborati di progetto, potranno essere realizzate delle forature per l'inserimento di perni e connettori necessari per facilitare e, allo stesso tempo, garantire l'efficace ancoraggio dei nuovi elementi (per maggiori delucidazioni sulla tipologia dei perni si rimanda agli articoli inerenti: stuccatura elementi in laterizio e fissaggio e riadesione elementi sconnessi e distaccati). La cavità dovrà poi essere pulita ricorrendo a mezzi manuali come spazzole, raschietti o aspiratori in modo da rimuovere i detriti polverulenti e grossolani (nel caso sia necessario ricorrere ad un tipo di pulitura che preveda l'uso di acqua, l'intervento dovrà attenersi alle indicazioni specificate negli articoli inerenti la pulitura a base di acqua). La posa in opera dei nuovi materiali dipenderà dal tipo di rincocciatura che s'intenderà realizzare (se limitata al paramento esterno oppure estesa in profondità) e dalla relativa tecnica utilizzata; in ogni modo sarà sempre buona norma ricorrere a materiali affini agli originali in modo da evitare l'insorgenza d'incompatibilità fisico-chimiche. La malta di connessione dovrà essere simile a quella presente sul paramento murario per rapporto legante-inerte e granulometria dell'inerte; se non diversamente specificato da progetto, si potrà ricorrere all'uso di una malta di calce (rapporto legante-inerte 1:3) così composta: 2 parti di calce aerea; 1 parte di calce idraulica; 9 parti di inerte (4 parti di cocchiopesto, 5 parti di sabbia vagliata). Dopo la messa in opera del materiale di risarcitura, nel caso di un paramento a faccia vista, si dovrà eseguire la finitura e la stillatura dei giunti soprattutto in prossimità dei bordi d'unione tra il vecchio e il nuovo al fine di evitare, proprio in questi punti delicati, discontinuità strutturali.

Se specificatamente indicato dagli elaborati di progetto l'intervento di rincocciatura, potrà essere denunciato realizzando la nuova porzione di muratura in leggero sottosquadro o soprasquadro, tenendo presente però che la non complanarietà delle due superfici costituirà una zona facile da degradarsi.

12. Tassellatura

L'intervento di tassellatura ha lo scopo di integrare mancanze generate da diversi fenomeni (rimozioni eseguite a causa di degrado avanzato, distacchi generati da azioni meccaniche ecc.) utilizzando materiali compatibili (meglio se di recupero) similari per consistenza e colore al supporto. L'operazione riguarderà in particolare, il ripristino di porzioni di paramenti decorativi quali: modanature, cornici, riquadrature di porte e finestre, fasce marcapiano ecc. Il tassello posto in opera dovrà riprodurre con esattezza la parte asportata o mancante; a sbazzatura avvenuta, previa pulitura della cavità, dovrà essere inserito ed adattato in modo da garantire la continuità superficiale tra la parte nuova e quella vecchia. L'adesione di tasselli di piccole dimensioni potrà essere realizzata, oltre che con l'ausilio di resine epossidiche, con una malta di calce idraulica naturale NHL 5 additivata con emulsioni acriliche (per migliorare l'adesività) caricata con carbonato di calcio od altro aggregato di granulometria fine (ad es. cocchiopesto, pozzolana ecc.). Nei casi, invece, in cui l'intervento presenti delle dimensioni considerevoli e il tassello risulti particolarmente aggettante si potrà ricorrere all'uso di sostegni interni come perni in acciaio inossidabile o zincato ($\square\square$ variabile da 4 a 10 mm) Fe B 44 K ad aderenza migliorata o barrette filettate in acciaio inossidabile AISI 316L (in caso di elementi non sottoposti a particolari sollecitazioni meccaniche si potrà ricorrere a barre in vetroresina), saldati con l'ausilio di resine epossidiche bicomponenti ed esenti da solventi; l'impasto, steso con l'ausilio di piccole spatole, dovrà presentare un grado di tissotropicità o fluidità idoneo alla dimensione e caratteristiche degli elementi da far riaderire (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo sul fissaggio ed adesione degli elementi sconnessi e distaccati). Per tassellature in ambienti interni si potranno utilizzare, oltre alle resine epossidiche, anche le resine poliestere. I fori d'inserimento dei perni, eseguiti con trapano a sola rotazione, potranno essere, secondo i casi specifici, passanti o ciechi; le fessure in corrispondenza dell'unione del tassello andranno stuccate con polvere dello stesso materiale, legato con resine sintetiche (acriliche o elastomeri fluorurati) o calce naturale.

13. Malte da restauro

Malte da stuccatura o da ripristino (integrazioni, rappezzi ecc.) ovverosia impasti costituiti da un legante (calce aerea, calce idraulica naturale, cemento bianco) e da acqua, oppure da un legante, da acqua e da un inerte (sabbia, pietra macinata, polvere di marmo, cocchiopesto, pozzolana ecc.) in rapporto variabile, da 1:3 a 1:1, secondo le prescrizioni di progetto ovvero a seconda delle caratteristiche che si vogliono conferire alla malta (maggiore resistenza, maggiore lavorabilità). In linea generale le malte da utilizzare per le procedure di restauro dovranno essere confezionate in maniera analoga a quelle esistenti, per questo motivo saranno necessarie una serie di analisi fisico-chimiche, quantitative e qualitative sulle malte esistenti, in modo da calibrare in maniera ideale le composizioni dei nuovi agglomerati.

La malta dovrà presentarsi più o meno fluida a seconda dell'uso specifico e a seconda della natura dei materiali da collegare, in linea generale è buona norma che l'acqua utilizzata sia quella strettamente necessaria per ottenere un impasto omogeneo. L'impasto delle malte, eseguito con idonei mezzi meccanici o manualmente (da preferire per impasti di modesta quantità ma molto specifici) dovrà risultare omogeneo e di tinta uniforme. I vari componenti, con l'esclusione di quelli forniti in sacchi di peso determinato, dovranno essere ad ogni impasto misurati preferibilmente sia in peso che a volume. Nel caso in cui la malta preveda l'uso di grassello di calce, questo dovrà essere "stemperato" e ridotto in pasta omogenea prima di incorporarvi l'inerte; nel caso in cui si preveda un impasto con più leganti, sarà necessario impastare precedentemente i leganti tra loro e solo successivamente aggiungere gli aggregati, dando tra questi, la precedenza a quelli di granulometria più minuta.

La malta potrà essere eventualmente caricata da pigmenti o terre coloranti (massimo 5% di pigmenti minerali ricavati dalla macinazione di pietre o 10% di terre) e/o da additivi di vario genere (fluidificanti, aeranti ecc.). Nel caso in cui il pigmento dovesse essere costituito da pietra macinata o da polvere di cocchiopesto, questo potrà sostituire parzialmente o interamente l'inerte.

Se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto o dalla D.L. gli impasti impiegati in operazioni di restauro dovranno possedere le seguenti caratteristiche:

- presentare un'ottima compatibilità chimico-fisica sia con il supporto sia con le parti limitrofe. La compatibilità si manifesterà attraverso il coefficiente di dilatazione, la resistenza meccanica e lo stato fisico dell'impasto (granulometria inerte, tipologia di legante ecc.);
- presentare una resistenza minore degli elementi da collegare così da evitare un'eventuale disomogeneità che potrebbe essere la causa di fessurazioni nelle strutture;
- avere una consistenza tale da favorire l'applicazione;
- aderire alla struttura muraria senza produrre effetto di *slump* e legarsi opportunamente a questa durante la presa;
- essere sufficientemente resistente per far fronte all'erosione, agli inconvenienti di origine meccanica e agli agenti degradanti in genere;
- contenere il più possibile il rischio di cavillature (dovrà essere evitato l'utilizzo di malte troppo grasse);
- opporsi al passaggio dell'acqua, non realizzando un rivestimento di sbarramento completamente impermeabile, ma garantendo al supporto murario la necessaria traspirazione dall'interno all'esterno;
- presentare un aspetto superficiale uniforme in relazione alle tecniche di posa utilizzate.

Specifiche

Gli impasti dovranno essere preparati nella quantità necessaria per l'impiego immediato e, per quanto possibile, in prossimità del lavoro; i residui d'impasto che non avessero per qualche ragione immediato impiego, dovranno essere gettati a rifiuto.

Campi di impiego

Le malte da restauro, a seconda del loro impiego, potranno essere classificate in:

- 1) malte per restauro di apparecchi murari: ossia allettamento di elementi lapidei, stilatura e/o rabbocatura dei giunti,

riempimento dei vuoti o di soluzioni di continuità dell'organismo murario, protezione delle creste dei muri;

- 2) malte per restauri di intonaci: ossia rappezzi e/o integrazioni di porzioni di intonaco con eventuale, se presente, riproposizione dei diversi strati;
- 3) malte per applicazione di rivestimenti (musivi e pavimenti ecc.);
- 4) malte per il restauro di decorazioni: ossia impasti per integrazione di elementi architettonici plastici a rilievo;
- 5) malte per stuccature e sigillature: ossia impasti per il riempimento di lesioni, fratture, modeste mancanze;
- 6) malte per iniezione: ossia malte fluide caratterizzate da bassa viscosità applicabili a bassa pressione attraverso soluzioni di continuità o fori di modeste dimensioni con la finalità di riempire vuoti non superficiali o allo scopo di far aderire tra loro strati diversi.

Le malte da restauro dovranno essere conformi alle prescrizioni dettate dalle Raccomandazioni NorMaL 26/87 "Caratteristiche delle Malte da Restauro" e alle norme UNI 11088:2003, Beni Culturali – Malte storiche e da restauro. Caratterizzazione chimica di una malta. Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di specie solubili, UNI EN 11089:2003 Beni Culturali – Malte storiche e da restauro. Stima della composizione di alcune tipologie di malte; UNI EN 990:2004 "Specifiche per malte per opere murarie – parte 1: malte da intonaco e parte 2: malte da muratura.

10.4.2 OPERAZIONI DI INTEGRAZIONE PITTORICA IN DIPINTI MURARI (AFFRESCHI, GRAFFITI E PITTURE A SECCO)

1. Generalità

Le integrazioni pittoriche delle lacune presenti in dipinti murari (affreschi, graffiti e pitture a secco) dovranno essere realizzate in funzione dell'entità della mancanza e dello stato di conservazione del dipinto stesso. L'intervento dovrà, indipendentemente dalla tecnica prescelta, essere distinguibile dall'originale, reversibile e preceduto da operazioni preventive allo scopo di verificare ed assicurare l'effettiva stabilità del supporto e della superficie dipinta. La superficie interessata dall'intervento dovrà, per questo, essere ispezionata al fine di rintracciare eventuali anomalie come distacchi localizzati di intonaco dal supporto (per la procedura di riadesione dell'intonaco al supporto si veda quanto esplicito nello specifico articolo) o fenomeni di degrado (efflorescenze saline, depositi humiferi, distacco di scaglie, polverizzazione superficiale, patine, sostanze grasse ecc.). Prima di procedere con le operazioni di integrazione la superficie dovrà, inoltre, essere pulita seguendo le indicazioni dettate dalla D.L. (in relazione a quanto enunciato nelle specifiche procedure di pulitura) in modo da poter disporre di riferimenti cromatici non alterati da patologie degenerative o da interventi postumi (ridipinture, interventi recenti di restauro ecc.). Dovranno, inoltre, essere individuate delle aree campione (localizzate in diverse zone del dipinto) così da poter effettuare le specifiche prove che dovranno essere, in seguito, documentate fotograficamente in modo da riuscire a valutare i risultati raggiunti. La fotografia dovrà essere effettuata ravvicinata, sia a quadro verticale sia, per un'ulteriore verifica, a luce radente, inoltre, dovrà essere utilizzata una scheda di riferimento (come la banda Kodak color control) che, posta alla base della campionatura, consentirà la fedele riproducibilità delle cromie. Al fine di garantire un buon risultato finale, dovranno essere utilizzate fotocamere reflex su cui potranno essere montate diapositive o pellicole a colori (100, 64 ASA). Nel caso in cui si tratti di integrazioni realizzate in interni le riprese fotografiche potranno essere agevolate ricorrendo all'uso di luci artificiali (lampade al quarzo con temperatura 3200 °K) posizionate ai margini della campionatura.

L'integrazione pittorica dovrà essere anticipata dalla stuccatura della lacuna, nei casi in cui manchi lo strato di intonaco (se non diversamente indicato dalla D.L., potrà essere eseguita utilizzando calce e aggregati fini come sabbia di fiume setacciata), realizzata in modo da risultare complanare alla superficie dipinta e tale da riproporre, in maniera non mimetica ma distinguibile, l'imprimitura originale dedotta dall'analisi delle caratteristiche dominanti della superficie dipinta. La natura dei colori adatti per ripristinare la continuità cromatica saranno: tempere di calce, colori ad acquarello, pigmenti in polvere stemperati con acqua e legati con caseinato di ammonio in soluzione al 4%.

La selezione della tecnica da utilizzare per ripristinare la lacuna si leverà al tipo di mancanza ovvero: per zone ampie si potrà utilizzare l'astrazione cromatica, per lacune interpretabili si potrà ricorrere alla selezione cromatica, per cadute di colore di limitate dimensioni alla tecnica del tratteggio.

2. Astrazione cromatica

Questa tecnica di integrazione risulterà particolarmente adatta nei casi in cui l'estensione consistente della lacuna non consentirà di dedurre e, quindi realizzare, il collegamento formale della mancanza al dipinto. Le tonalità dei colori (generalmente quattro: giallo, rosso, blu o verde e nero) da utilizzare dovranno essere dedotte dall'analisi delle tonalità predominanti sulla superficie dipinta. L'applicazione dei colori dovrà essere tale da consentirne sempre la loro identificazione, per questo le pennellate dovranno essere stese sfalsate e intrecciate tra loro e applicate con la punta del pennello. La prima stesura di colore (giallo) applicato con piccole pennellate verticali, dovrà essere molto fitta in modo da riuscire a coprire il bianco della stuccatura; il secondo colore (rosso) dovrà essere steso sovrapposto al primo in maniera inclinata; si procederà allo stesso modo con il terzo colore (verde o blu) e il quarto colore (nero).

3. Selezione cromatica

Questa tecnica risulterà particolarmente adatta quando si tratterà di ripristinare lacune pittoriche di limitate dimensioni per cui sarà possibile ripristinare la parte mancante tramite un collegamento cromatico e figurativo realizzato con stesure successive di colore desunto dall'analisi delle cromie originali presenti ai bordi della lacuna. Perché ciò sia fattibile sarà necessario ricavare le componenti che caratterizzano il colore, così da poter ricostruire l'effetto tramite una serie di stesure alternate. L'applicazione di tale tecnica prevedrà l'applicazione alternata del colore partendo da quello più chiaro verso il più scuro per sovrapposizione, facendo attenzione a non coprire totalmente il colore già steso e realizzando piccoli tratti

netti tracciati seguendo l'orientamento delle pennellate originali utilizzando pennelli sottili non eccessivamente carichi di colore sulla punta.

4. Tecnica del tratteggio

L'integrazione delle lacune pittoriche mediante questa tecnica prevedrà il ripristino delle parti pittoriche perdute realizzando un tratteggio (utilizzando colori ad acquarello) sottile e visibile grazie al quale risulterà possibile, ove richiesto, collegare figurativamente il nuovo all'originale. Potrà essere opportuno, prima di procedere all'applicazione della tecnica, stendere sulla superficie una velatura di colore uniforme in modo da creare una base cromatica di supporto all'integrazione. I tratti dovranno essere realizzati (orizzontali, verticali od obliqui) in relazione alle forme e ai piani limitrofi alla lacuna e dovranno essere eseguiti con la punta del pennello facendo attenzione a non caricarlo eccessivamente sulla punta, in modo da poter evitare colature di colore; a tale scopo potrà essere opportuno, prima di eseguire il tratto, passare il pennello carico di colore su di una superficie assorbente.

10.4.3 OPERAZIONI DI INTEGRAZIONE, STUCCATURA MATERIALI LIGNEI

La procedura prevedrà il riempimento di fori, fessure ed altre soluzioni di continuità d'elementi lignei appartenenti sia ad unità strutturali (travi, arcarecci, travicelli ecc.) sia a serramenti o elementi secondari (portoni, finestre, scalini ecc.) con stucco steso a spatola e composto con impasti diversi.

Previa eventuali operazioni preliminari di pulitura da eseguire secondo le prescrizioni di progetto (sverniciatura con aria calda, pulitura manuale ecc.) la procedura prevedrà la spolveratura, con un pennello morbido, della fessura e il successivo trattamento con tampone imbevuto d'alcool denaturato al fine di eliminare velocemente l'umidità così da favorire l'adesione dell'impasto prescelto. Passato il tempo necessario (di norma fino ad esaurimento dell'odore di alcool) affinché il supporto sia asciutto, si passerà a riempire il vuoto con lo stucco. Questa operazione potrà avvenire con l'ausilio di piccole spatole o bacchette (od altri strumenti ritenuti idonei) premendo bene e passando più volte in tutte le direzioni, in modo da avere la certezza di una perfetta otturazione del foro. Generalmente lo stucco tenderà, se pur in minima parte, a ritirarsi durante l'essiccazione, pertanto si rivelerà utile applicare una quantità sovrabbondante o, più correttamente, ripetere l'operazione dopo l'essiccazione della parte più profonda. In seguito, dopo l'essiccazione dello strato superficiale di stucco, comunque entro le 12 ore successive, si potrà procedere alla carteggiatura manuale con grana media (120-180) al fine di eliminare l'eccesso di prodotto. Per agevolare la completa essiccazione dell'impasto si potrà trattare la superficie d'intervento con tampone imbevuto d'alcool denaturato. L'operazione di levigatura finale potrà essere facilitata regolando la percentuale del legante degli impasti in modo da avere uno stucco resistente ma allo stesso tempo carteggiabile. Nel caso d'interventi rivolti alla "ricostruzione" di spigoli o porzioni vive, sarà vantaggioso mettere in opera uno stucco più denso con l'aggiunta di colla di coniglio.

Le ricette per confezionare stucchi sono svariate in ragione del tipo di legno e della fessurazione da riempire, in linea generale, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, si potrà utilizzare un impasto composto da un legante inorganico da scegliere tra gesso, colla animale (ad es. di coniglio), cera d'api o da un legante organico (polimero sintetico come, ad es. le resine acriliche) e da un inerte (con funzione di antiritiro e di colorante) costituito da polvere di legno o microfibre. All'interno di questo impasto potranno essere inseriti, in percentuali non superiori al 5%, eventuali pigmenti al fine di avvicinare la tonalità cromatica originale. In alternativa a questo impasto si potrà utilizzare uno stucco a base di gommalacca e cera d'api vergine; dovranno essere fuse delle scaglie di gommalacca regolandone la densità con la cera (un eccesso di gomma lacca potrà causare un effetto perlato sulla superficie trattata) al fine di formare delle bacchette sottili e abbastanza consistenti che dovranno essere scaldate e fatte colare all'interno della fessura con l'aiuto di piccole spatole prescaldate.

Nel caso di stuccature d'elementi strutturali si potranno utilizzare leganti a base di polimeri sintetici (le resine più utilizzate sono quelle epossidiche o poliuretaniche in ragione del tipo di stuccatura da eseguire) opportunamente carichi con polvere di segatura o fillers allo scopo di migliorare la resistenza a compressione e ridurre il volume di resina impiegato, così da contenere lo sviluppo di calore al momento della reazione esotermica. L'impasto dovrà avere una consistenza tissotropica e sarà applicato per eventuali strati successivi con spatola (tempo di presa a 23 °C ca. 6-8 h, tempo d'indurimento completo ca. 5-7 giorni). Le resine utilizzate dovranno essere compatibili con il legno, pertanto dovranno presentare un'elasticità tale da sostenere variazioni dimensionali imposte dagli sbalzi termici e modulo elastico simile a quello del legno (ca. 3000 N/mm²).

Nel caso in cui le dimensioni delle lacune saranno tali da non rendere conveniente operare delle stuccature si dovrà intervenire attraverso la procedura della tassellatura.

10.4.4 CONSOLIDAMENTI

Premessa metodologica

Gli interventi di consolidamento operati sui materiali lapidei devono essere mossi dalla volontà di ristabilire una continuità, alterata a causa dei diversi fenomeni di degrado tra la parte esterna del materiale e quella più interna, in modo da poter garantire una coesione materica capace di eliminare le differenze fisico-meccaniche che si sono generate tra i vari strati. Le operazioni di consolidamento devono, infatti, assicurare l'adesione del materiale danneggiato a quello sano in modo da ristabilire un equilibrio strutturale capace di assicurare un comportamento solidale nei confronti delle diverse

sollecitazioni e, allo stesso tempo, permettere di fronteggiare le condizioni al contorno; il fine è quello di ripristinare la resistenza meccanica originale del materiale sano, evitando, per questo, interventi eccessivi che potrebbero alterare la costituzione intrinseca della struttura con effetti, a lungo termine, difficilmente prevedibili.

L'intervento di consolidamento di un apparecchio murario risulta particolarmente complesso poiché, la sua reale efficacia è relazionata alla conoscenza di diversi fattori tra i quali: la natura dei materiali, i cambiamenti riconducibili al naturale invecchiamento della struttura, le diverse patologie di degrado compresenti, lo stato conservativo e le sollecitazioni in atto. Definito il quadro conoscitivo della struttura è importante stabilire se è realmente possibile eliminare le cause che hanno provocato le patologie degeneranti; contrariamente l'intervento di consolidamento non potrà essere considerato risolutivo e duraturo nel tempo. L'analisi puntuale della struttura deve servire al fine di evitare operazioni generalizzate a tutta la superficie; alle diverse problematiche riscontrate deve corrispondere un intervento specifico opportunamente testato, prima della messa in opera, su appositi provini campioni in situ al fine di comprovarne la reale efficacia e, allo stesso tempo, rilevare l'eventuale insorgenza di effetti collaterali.

L'operazione di consolidamento dei materiali lapidei si concretizza impregnando il materiale in profondità, al fine di evitare la formazione di uno strato superficiale resistente sovrapposto ad uno degradato, con sostanze di varia natura (organiche e/o inorganiche) applicate utilizzando diversi strumenti a seconda dei casi specifici (pennelli, spatole, impacchi, siringhe ecc.); la riuscita dell'intervento dipende sia dalla sostanza utilizzata sia dalla sua corretta modalità di applicazione. È opportuno ricordare che la sostanza consolidante deve essere compatibile con la natura del materiale per modulo di elasticità e di dilatazione termica così da non creare traumi interni alla struttura, inoltre deve essere in grado di ostacolare l'aggressione degli agenti patogeni. Il materiale introdotto non deve saturare completamente i pori così da non alterare i valori di permeabilità al vapore propri del materiale.

È buona norma inserire all'interno dei programmi di manutenzione, postumi all'intervento di conservazione, dei controlli periodici mirati alla verifica dell'effettiva validità delle operazioni di consolidamento in modo da poter realizzare il monitoraggio nel tempo e testarne il comportamento.

10.4.5 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI MATERIALI LAPIDEI

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

1. Generalità

Le procedure di consolidamento risultano essere sempre operazioni particolarmente delicate, e come tali, necessitano di un'attenta analisi dello stato di fatto sia dal punto di vista della conservazione dei materiali sia del quadro fessurativo, così da poter comprendere a fondo e nello specifico la natura del supporto e le cause innescanti le patologie di degrado; in riferimento a queste analisi si effettuerà la scelta dei prodotti e delle metodologie di intervento più idonee; ogni operazione di consolidamento dovrà essere puntuale, mai generalizzata; sarà fatto divieto di effettuare qualsiasi procedura di consolidamento o, più in generale, utilizzare prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; sull'etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzati, le modalità ed i tempi di applicazione.

Ad operazione eseguita dovrà, sempre, essere verificata l'efficacia, tramite prove e successive analisi, anche con controlli periodici cadenzati nel tempo (operazioni che potranno essere inserite nei programmi di manutenzione periodica post-intervento). I consolidamenti che si potranno realizzare sono diversi:

- **consolidamento coesivo**, il prodotto consolidante verrà applicato localmente o in modo generalizzato sulla superficie del materiale (consolidamento corticale) per ristabilire la coesione di frazioni degradate con gli strati sani sottostanti: l'obiettivo che si porrà sarà di ristabilire con un nuovo prodotto il legante degradato o scomparso. Le sostanze consolidanti potranno essere leganti dello stesso tipo di quelli contenuti nel materiale (consolidanti inorganici o a base di silicio), oppure sostanze sintetiche (consolidanti organici) estranee alla composizione originaria del materiale ma comunque in grado di migliorarne le caratteristiche fisiche; di norma si realizzerà con impregnazione fino al rifiuto;

- **consolidamento adesivo**, con questo termine s'intenderà un'operazione di "rincollaggio" di rivestimenti distaccati dal loro supporto originale come, ad esempio, un frammento di pietra o uno strato di intonaco per i quali si renderà necessario ristabilire la continuità fra supporto e rivestimento. Questo tipo di consolidamento avverrà tramite iniezioni di malte fluide o resine acriliche in emulsione ovvero, con ponti di pasta adesiva a base di calce idraulica o resina epossidica. Sarà obbligatorio verificare, anche sommariamente, il volume del vuoto da riempire al fine di scegliere la giusta "miscela" da iniettare. Cavità piuttosto ampie dovranno essere riempite con malte dense e corpose; al contrario, modeste cavità necessiteranno di betoncini più fluidi con inerti piuttosto fini.

2. Fissaggio e riadesione di elementi sconnessi e distaccati (mediante perni)

La procedura ha come obiettivo quello di far riaderire parti in pietra staccate o in fase di distacco mediante idonei adesivi sia a base di leganti aerei ed idraulici (calci) sia leganti polimerici (soprattutto resine epossidiche). Si ricorrerà a questa procedura allorché si dovranno incollare, o meglio far riaderire, piccole scaglie di materiale, porzioni più consistenti, riempire dei vuoti o tasche associate a un distacco di strati paralleli alla superficie esterna della pietra (dovuti, ad es. a forti variazioni termiche). La procedura applicativa varierà in ragione dello specifico materiale di cui sarà costituito l'elemento

da incollare, dei tipi di frattura che questo presenterà e che occorrerà ridurre e dei vuoti che sarà necessario colmare affinché l'operazione risulti efficace.

Nel caso di interventi su manufatti e superfici particolarmente fragili e degradate e su frammenti molto piccoli, l'adesivo dovrà presentare una densità e un modulo elastico il più possibile simile a quello dei materiali da incollare, in modo tale che la sua presenza non crei tensioni tra le parti; per la riadesione di pellicole pittoriche, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, sarà opportuno utilizzare un'emulsione acrilica (tipo Primal) al 2-3% diluita in alcool incolore stesa a pennello a setola morbida.

Allorché si dovranno riaderire dei frammenti o porzioni più consistenti, sarà preferibile inserire adeguati sistemi di supporto costituiti da perni in acciaio inossidabile AISI 316L (minimo 4 mm), in titanio o, se l'incollaggio interesserà parti non sottoposte a particolari sollecitazioni meccaniche, barre in vetroresina. La procedura operativa seguirà quella descritta nell'articolo sulle stuccature degli elementi lapidei.

In alternativa alla malta di calce idraulica, per il fissaggio e la riadesione di parti più consistenti si potranno utilizzare modeste porzioni di resina epossidica (bicomponente ed esente da solventi) in pasta stesa con l'ausilio di piccole spatole ed eventualmente, se indicato dagli elaborati di progetto, caricate con aggregati tipo carbonato di calcio o sabbie silicee o di quarzo, al fine di conferire maggiore consistenza alla pasta e consentire il raggiungimento degli spessori previsti. I rinforzanti da impiegare per la formazione di betoncini di resina dovranno avere un tasso d'umidità in peso non superiore allo 0,09% ed un contenuto nullo d'impurità o di sostanze inquinanti; salvo diverse prescrizioni di progetto, le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno essere costituite da granuli puri del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%.

In ogni caso si ricorrerà ad un impasto d'adeguata tixotropicità o fluidità in relazione alla dimensione e caratteristiche degli elementi da far riaderire. Durante la fase di indurimento dell'adesivo sarà necessario predisporre dei dispositivi di presidio temporaneo costituiti, a seconda delle dimensioni del frammento, da carta giapponese, nastro di carta, morsetti di legno ecc. facendo attenzione a non danneggiare in alcun modo il manufatto.

Al fine di coprire gli eventuali ponti di resina epossidica, stesi per il consolidamento, si potrà utilizzare un betoncino elastico del colore simile al supporto originario, ottenuto dall'impasto fra polvere della stessa pietra e da un legante fluorurato al 10% in acetone. La preparazione dell'impasto, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, avverrà amalgamando una parte in peso di prodotto con 0,75 parti d'inerte della stessa granulometria e colore dell'originale (in alternativa si potrà utilizzare sabbia silicea con granulometria tra 0,10-1,5 mm e aiutare il colore con pigmenti in polvere) mescolando bene fino ad ottenere una consistenza simile ad una malta. Sarà consigliabile non preparare grandi quantità di stucco al fine di evitare la presa prima della completa messa in opera, sarà, inoltre, consigliabile non eseguire alcun intervento sulla stuccatura prima di un'ora dalla stesura dello stucco. Il prodotto sarà completamente reversibile tramite acetone.

Specifiche sui materiali

Gli adesivi epossidici (ovvero resine utilizzate come leganti per ricongiungere frammenti distaccati), normalmente utilizzabili, saranno liquidi con indurente a lenta o a rapida reattività (da utilizzare per consolidamenti o più spesso per intasamento delle fessure o per imperniature) o in pasta lavorabili con indurente a lenta o a rapida reattività (per stuccature, ponti di adesione, piccole ricostruzioni e fissaggio perni); in questo secondo caso si provvederà ad intervenire, in fase di formulazione, aggiungendo additivi tixotropizzanti. Di norma questi adesivi saranno totalmente esenti da solventi, non subiranno ritiro durante l'indurimento e grazie alla loro natura tixotropica potranno essere facilmente applicabili anche su superfici verticali in consistenti spessori.

Resine poliestere derivate dalla reazione di policondensazione dei glicoli con gli acidi bi-basici insaturi o loro anidridi. Prima dell'indurimento potranno essere impastati con fibre di vetro o sintetiche, così da migliorare la resistenza dei prodotti finali. Come riempitivi possono essere usati polveri di varia granulometria di calcari, gesso, o sabbie. La resistenza a raggi solari e UV è abbastanza bassa, specialmente per prodotti reticolari con monomeri aromatici, mentre la resistenza meccanica e le proprietà adesive sono abbastanza buone. La resina potrà presentare un certo ritiro del volume (sino ad 8-10%) che la rende non proprio adatta per riempire le fessure del materiale lapideo, al contrario potranno essere utilizzate come collanti per congiungimenti o fissaggio di perni, barre filettate, tiranti ecc. anche se sarà necessario evitare che la resina raggiunga la superficie estrema poiché per esposizione alla luce darebbe marcate variazioni di colore. Orientativamente il pot life a 20 °C sarà di circa 5-7 minuti e il tempo di fissaggio intorno ai 40-60 minuti.

Copolimeri fluorurati, legante incolore elastomerico per stuccature, dotato di notevole elasticità alle dilatazioni, isola in maniera efficace la fessura o rottura da stuccare. L'elevata inerzia chimica anche verso aggressivi molto energici, la stabilità termica ed alla radiazioni, oltre alla permeabilità all'aria e alla reversibilità in acetone anidro, lo rendono particolarmente adatto su supporti lapidei.

3. Consolidamento dello strato corticale mediante impregnazione con consolidanti organici

La procedura di impregnazione può essere eseguita su manufatti in pietra, intonaco, laterizio e legno allorché si renda necessario garantire il consolidamento non solo corticale ma anche in profondità. Questa procedura si basa sul principio fisico della capillarità, ovverosia la capacità dei fluidi in genere (i liquidi in particolare), di riuscire a penetrare naturalmente per adesione dentro lo spazio tra due superfici molto vicine di una cavità. Grazie all'impiego di sostanze organiche, che penetreranno all'interno del manufatto, si potranno ristabilire o migliorare sia le proprietà fisiche (riduzione della porosità e aumento della coesione) sia meccaniche (incremento della resistenza a compressione) dei materiali trattati. Il consolidante entrerà all'interno del manufatto, in una prima fase, per capillarità e solo in un secondo tempo si distribuirà per diffusione; al fine di permettere questa seconda fase che, sovente, si sviluppa molto lentamente è opportuno che il prodotto scelto non polimerizzi troppo velocemente così da poter riuscire a diffondersi in maniera uniforme nel manufatto. I parametri da valutare prima di iniziare la procedura sono:

- viscosità del fluido consolidante;

- diametro dei pori e dei capillari e loro distribuzione all'interno dell'elemento da trattare;
- bagnabilità del materiale.

La procedura d'intervento varierà in ragione del consolidante indicato dagli elaborati di progetto (silicato di etile, resine acriliche in dispersione o in soluzione, fluoroelastomeri ecc.) in ogni caso saranno necessarie alcune operazioni preliminari comuni a tutti i trattamenti. Prima di iniziare il trattamento sarà opportuno eseguire delle campionature al fine di valutare la quantità di consolidante (percentuale di diluizione e scelta del solvente), la riuscita della procedura e la reale penetrazione di impregnazione; inoltre dovranno essere predisposte opportune protezioni sulle superfici limitrofe a quelle da consolidare in modo da evitare che queste vengano a contatto con il prodotto consolidante.

Qualsiasi trattamento consolidante prescelto dovrà essere applicato su superficie perfettamente pulita e sgrassata (in modo da evitare che depositi superficiali impediscano la penetrazione) così come, in presenza di scaglie in fase di distacco o superfici particolarmente decoese, sarà indispensabile effettuare un preconsolidamento al fine di evitare che l'eventuale passaggio ripetuto del pennello possa rimuovere tali frammenti.

La procedura di consolidamento per impregnazione dovrà essere ripetuta più volte (in genere non più di 5 passaggi) fino ad ottenere la saturazione dell'elemento (fino "a rifiuto") in ragione sia del fluido prescelto sia, soprattutto, della porosità del materiale oggetto di intervento. La scarsa penetrabilità dei materiali poco porosi dovrà essere ovviata con passaggi alternati di soluzione diluita e nebulizzazione di solvente puro (in tal modo si faciliterà l'ingresso della soluzione consolidante e, nello stesso tempo, si ridurrà al minimo l'effetto bagnato) oppure ricorrendo all'impiego di soluzioni particolarmente diluite, aumentando gradualmente la concentrazione nelle ultime mani. La procedura dovrà, comunque, essere operata per zone limitate e non simultaneamente su tutta la superficie al fine di agevolare la fuoriuscita dell'aria dall'interno dei fori e dalle discontinuità presenti nel manufatto così da migliorare la penetrazione e la distribuzione interna del consolidante.

Specifiche sui materiali

Tra i materiali consolidanti utilizzabili con questa tecnica il silicato di etile (si veda l'articolo specifico), le resine acriliche (in emulsione o in soluzione), le resine acrilico-siliconiche, le emulsioni acquose di silicato di potassio e i silossani oligomerici in solventi organici sono i prodotti più versatili e di conseguenza più comunemente utilizzabili. La scelta, in ogni caso, dovrà essere fatta in ragione delle problematiche e del materiale riscontrato.

I prodotti impregnanti da impiegarsi per il consolidamento e/o la protezione dei manufatti architettonici od archeologici, salvo eventuali prescrizioni o specifiche inerenti il loro utilizzo, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- a) elevata capacità di penetrazione nelle zone carenti di legante;
- b) resistenza chimica e fisica agli agenti inquinanti ed ambientali;
- c) spiccata capacità di ripristinare i leganti tipici del materiale oggetto di intervento senza dar vita a sottoprodotti di reazione pericolosi (quali ad es. sali superficiali);
- d) capacità di fare traspirare il materiale così da conservare la diffusione del vapore;
- e) penetrazione in profondità così da evitare la formazione di pellicole in superficie;
- f) "pot-life" sufficientemente lungo tanto da consentire l'indurimento solo ad impregnazione completata;
- g) perfetta trasparenza priva di effetti traslucidi;
- h) spiccata capacità a mantenere inalterato il colore del manufatto;
- i) presentare un coefficiente di dilatazione termica simile a quello del materiale da consolidare al fine di evitare fenomeni di fessurazione che costituirebbero vie preferenziali per l'ingresso dell'acqua e di possibili distacchi.

3.1. Consolidamento mediante impregnazione a pennello, tampone o rullo

Di norma è la tecnica più usuale per eseguire il consolidamento per impregnazione; ci si servirà di pennelli a setola morbida di medie dimensioni, rulli, o tamponi (in questo caso gli stracci o i tamponi saturi di prodotto dovranno essere mantenuti in contatto prolungato al fine di assicurare l'assorbimento nella superficie). L'applicazione dovrà procedere dall'alto verso il basso per settori omogenei con uso di addetti in numero appropriato alla natura e alla tipologia del manufatto; tra una mano e l'altra il prodotto non dovrà essere lasciato asciugare. Sarà opportuno che gli attrezzi (pennelli, rulli o tamponi) siano sempre ben puliti (sarà, pertanto, consigliabile lavarli spesso) e il consolidante non sia "contaminato" d'eventuali residui rimasti sul pennello o rullo da trattamenti operati su aree limitrofe. Nel caso di consolidamenti di superfici lapidee particolarmente disgregate ed esfoliate (specialmente su pietre arenarie come ad es. pietra serena, pietra forte ecc.) o pellicole pittoriche in fase di distacco, l'impregnazione risulterà più efficace se eseguita "attraverso" una velatura provvisoria della zona da trattare utilizzando fogli di carta giapponese, precedentemente fissata con resina acrilica in soluzione (ad es. al 10-20% p/v, in solvente volatile come acetone o diluente nitro).

3.2. Consolidamento mediante impregnazione a spruzzo

Questa tecnica di norma verrà eseguita con l'utilizzo di specifiche apparecchiature in grado di nebulizzare il liquido messo in pressione da una pompa oleo-pneumatica (massimo 0,5 bar) o più semplicemente a mano; questo trattamento potrà essere migliorato realizzando intorno alla parte da trattare uno spazio chiuso mediante fogli di polietilene resistente ai solventi e continuando la nebulizzazione anche per giorni. La sola applicazione a spruzzo sarà sufficiente se il materiale risulterà essere poco poroso ed il degrado interesserà uno spessore di pochi millimetri (degrado corticale); nel caso di interventi su lapidei porosi, dove si renderà necessaria una penetrazione maggiore, sarà preferibile utilizzare pennelli o applicazioni per percolazione (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli specifici). In zone particolarmente degradate o su pellicole pittoriche in fase di distacco sarà necessario, dopo un primo trattamento a spruzzo, applicare (mediante emulsione acquosa di alcool polivinilico o resina acrilica in soluzione al 20% in diluente nitro) dei fogli di carta giapponese:

a superficie asciutta si applicherà una nuova mano di consolidamento a pennello morbido. Dopo che il solvente sarà totalmente evaporato si rimuoveranno i fogli mediante tampone inumidito con acqua.

L'interfaccia da trattare dovrà essere pulita e ben asciutta al fine di assicurare l'assenza di reazioni secondarie e buona penetrazione del prodotto. La nebulizzazione consolidante (□ area coperta dal getto 25-30 cm) sul manufatto dovrà essere ripetuta più volte (senza lasciare asciugare il prodotto fra una ripresa e l'altra) fino a completa saturazione del manufatto, distribuita uniformemente per aree omogenee partendo dalle parti più elevate per poi scendere a quelle più basse; contemporaneamente si dovrà aver cura di rimuovere eventuali sbavature od eccessi di consolidante mediante tampone imbevuto di solvente od acqua a seconda del prodotto utilizzato. Questo metodo risulterà idoneo solo in condizioni favorevoli di temperatura (+10 °C +25 °C) con prodotti (ad es. silicato di etile) in diluizione molto alta al fine di migliorare l'assorbimento. Per migliorare la penetrazione del consolidante dato a spruzzo si potrà ricorrere all'applicazione, da effettuarsi posteriormente al trattamento, di almeno tre mani di solvente puro.

3.3. Consolidamento mediante impregnazione a tasca o ad impacco

La procedura rientrerà in quelle "a contatto diretto" e si baserà sul principio della capillarità. Questo metodo verrà utilizzato per l'impregnazione di particolari come decori, cornici, capitelli lavorati ecc. particolarmente degradati che presenteranno la necessità di essere tenuti a contatto, per un determinato periodo, con la sostanza consolidante. I fattori che regolano il processo sono la tensione superficiale, la viscosità del prodotto e la bagnabilità del materiale da trattare. La procedura prevedrà la messa in opera, intorno alla zona da trattare, di una tasca chiusa con particolari guarnizioni in poliuretano, così da renderla stagna; nella parte inferiore verrà posizionata una piccola "gronda impermeabilizzata" allo scopo di recuperare il prodotto consolidante in eccesso. La zona da consolidare verrà ricoperta da strati di materiale bagnante (ad es. cotone idrofilo, carta giapponese ecc.) che verranno alimentati, dall'alto e molto lentamente, dalla soluzione consolidante e coperti da teli di polietilene, allo scopo di ridurre l'eventuale troppo rapida evaporazione del solvente. L'operazione di distribuzione dovrà essere interrotta quando la quantità di prodotto immesso dall'alto sarà uguale a quella del prodotto recuperato dal basso. Il distributore potrà essere costituito da un tubo o da un canaletto munito di tanti piccoli fori o da una serie di spruzzatori che creeranno il fronte di consolidante discendente. L'eccesso di prodotto sarà raccolto nella grondaia, e rimesso in circolo; per la buona riuscita di questo metodo sarà necessario assicurarsi che il materiale assorbente sia sempre perfettamente in contatto con la superficie interessata. Ad assorbimento avvenuto (in genere 8-10 ore) le tasche saranno rimosse e il manufatto dovrà essere ricoperto con cellofan al fine di isolarlo dall'atmosfera per almeno 10-12 giorni. Dal momento che aumentando la superficie da trattare aumenterà anche la quantità di consolidante e di conseguenza il peso, sarà opportuno, onde evitare costose operazioni di presidio, procedere per settori di dimensioni limitate, migliorando in questo modo il controllo della procedura.

3.4. Consolidamento mediante impregnazione a percolazione

Metodo "a contatto diretto" molto simile a quello a tasca, ma più semplice: un distributore, collocato nella parte superiore della superficie da trattare, erogherà il prodotto per gravità impregnando la superficie da trattare per capillarità. La quantità del trattamento in uscita dall'impianto dovrà essere calibrata dalla valvola di Offman localizzata nella parte terminale del tubo di distribuzione (seguendo le indicazioni di progetto) in modo tale da assicurare un lento e continuo assorbimento evitando eccessi di formulato tali da coinvolgere aree non interessate. Anche in questo caso il distributore potrà essere costituito da un tubicino in plastica o da un canaletto forato munito, nella parte inferiore, di un pettine, tamponi di cotone o di una serie di pennellesse con funzione di distributore.

L'eccesso di prodotto sarà raccolto in una sorta di grondaia e rimesso in circolo; a trattamento terminato dovranno essere eliminati gli eccessi di consolidante utilizzando un idoneo solvente o, nel caso in cui il progetto preveda l'utilizzo d'emulsioni acquose, la superficie dovrà essere lavata con spugne assorbenti ed acqua deionizzata. Questa operazione si renderà sempre necessaria al fine di evitare la formazione di patine superficiali che potrebbero ridurre la permeabilità al vapore del manufatto e conferire, all'interfaccia un effetto perlante innaturale (effetto bagnato) e/o il generarsi di locali sbiancamenti. I tempi d'impregnazione varieranno secondo le dimensioni e il materiale del manufatto; al fine di accelerare tale processo si potrà ricorrere a trattare preventivamente il supporto con nebulizzazione di solvente puro (così che possa penetrare con facilità sfruttando la bassa viscosità) e, solo in seguito, applicare il fluido consolidante che, trovando una via di accesso più agevole, potrà distribuirsi in modo più diffuso.

4. Consolidamento (riaggregazione) mediante silicato di etile

Un buon consolidante per laterizi decoesi o pietre arenarie e silatiche, da applicare su superfici assolutamente asciutte, è il silicato di etile composto da esteri etilici dell'acido silicico: monocomponente fluido, incolore, a bassa viscosità, si applicherà in solvente organico (ad es. metil etil chetone), in percentuali (in peso) comprese fra 60% e 80%. Al fine di stabilire la quantità di prodotto da utilizzare si renderanno necessari piccoli test da eseguirsi su superfici campione; questi test serviranno, inoltre, da spia per determinare l'eventuale alterazione dell'opacità della pietra e della sua tonalità durante e subito dopo il trattamento. In linea generale si potrà utilizzare una quantità pari a 500-600 g/m² per il consolidamento di apparecchi in cotto e 300-400 g/m² per superfici intonacate con malta di calce.

Il silicato di etile, precipitando a seguito di una reazione spontanea con l'umidità atmosferica, libererà, come sottoprodotto, alcool etilico che evaporerà con i solventi impiegati nella soluzione, pertanto l'uso di questo consolidante, presenterà il vantaggio di far sì che, nella pietra trattata, oltre all'acido silicico non rimangano altre sostanze che potrebbero in qualche forma (ad esempio efflorescenze) danneggiare l'aspetto e soprattutto le caratteristiche del materiale lapideo consolidato; la reazione si completerà nell'arco di 2 o 3 settimane in ragione delle condizioni atmosferiche, della porosità del materiale, della sua natura e struttura chimica ecc. Il trattamento potrà essere eseguito a pennello, a spruzzo mediante irroratori a bassa pressione (massimo 0,5 bar), per percolazione, a tampone mediante spugne (nel caso di manufatti modellati tipo le volute dei capitelli) o per immersione (esclusivamente per piccoli manufatti mobili); la superficie da trattare andrà completamente saturata "sino a rifiuto", evitando però eventuali accumuli di prodotto sulla superficie; nel caso in cui dopo

il trattamento il supporto rimanesse bagnato o si presentassero raccolte in insenature si dovrà procedere a rimuovere l'eccedenza con l'ausilio di tamponi asciutti o inumiditi con acetone o diluente nitro. Solitamente sarà sufficiente un solo ciclo di applicazione, ma se sarà necessario e solo dietro specifica autorizzazione della D.L., sarà possibile ripetere il trattamento dopo 2 o 3 settimane.

Questo tipo di consolidante si rivelerà molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non verrà alterato dai raggi ultravioletti e presenterà il vantaggio di possedere un elevato potere legante (dovuto alla formazione di silice amorfa idrata) soprattutto nei confronti di materiali lapidei naturali contenenti silice anche in tracce, quali arenarie, tufi, trachiti, ma anche su altri materiali artificiali quali mattoni in laterizio, terracotte, intonaci, stucchi; risultati positivi potranno essere ottenuti anche su materiali calcarei (ad es. pietra leccese, pietra di Vicenza ecc.). Tale prodotto non risulta idoneo per il trattamento consolidante di superfici in gesso o di pietre gessose.

La natura chimica dei silicati sarà tale per cui potranno esercitare soltanto un'azione consolidante, ma non avranno alcun effetto protettivo nei riguardi dell'acqua, pertanto, al trattamento di superfici esterne con un silicato, generalmente, si dovrà far seguire l'applicazione di una sostanza idrorepellente, salvaguardando le caratteristiche di traspirabilità e di permeabilità al vapore acqueo dei materiali lapidei, garantendo la conservazione nel tempo, nel rispetto della loro fisicità (per maggiori dettagli sulle procedure di protezione si rimanda agli articoli specifici).

Avvertenze

Si rivelerà di fondamentale importanza non esporre le superfici da trattare all'irraggiamento del sole né procedere all'applicazione su superfici riscaldate dai raggi solari; sarà pertanto cura degli operatori proteggere le superfici mediante opportune tende parasole; l'impregnazione con silicato di etile sarà, inoltre, da evitare (se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto) nel caso in cui il materiale da trattare non sia assorbente, in presenza di temperatura troppo alta ($>25^{\circ}\text{C}$) o troppo bassa ($<10^{\circ}\text{C}$), con U.R. non superiore al 70% o se il manufatto trattato risulti esposto a pioggia nelle quattro settimane successive al trattamento; pertanto in caso di intervento su superfici esterne, si renderà necessaria la messa in opera di appropriate barriere protettive.

Indicativamente per una soluzione contenente il 60% in peso di estere etilico dell'acido silicico su supporti in medio stato di conservazione si potranno effettuare i seguenti consumi al metro quadrato: intonaco da 0,3 a 0,5 l/m²; pietre porose e tufi da 0,5 a 2,5 l/m²; laterizi da 0,6 a 3,0 l/m²; pietre arenarie da 0,8 a 3,5 l/m².

5. Sigillatura materiali lapidei (mediante resine sintetiche)

La procedura prevedrà l'esecuzione di stuccature delle soluzioni di continuità mediante intasamento eseguito con iniezione, colatura o spatola in profondità di miscela adesiva costituita da polimeri sintetici acrilici in soluzione, o in emulsione, caricata con carbonato di calcio o polvere di pietra macinata (in alternativa si potranno utilizzare polveri di cocciopesto o cariche pozzolaniche); le resine acriliche non potranno, causa la loro natura termoplastica, essere impiegate come adesivi strutturali, pertanto se si rendesse necessario effettuare una sigillatura con tale caratteristica sarà opportuno ricorrere ad un adesivo epossidico bicomponente (componente A = resina, componente B = indurente; i più utilizzati sono indurenti che reagiscono a temperatura ambiente come gli amminici o ammidici, il rapporto tra A e B sarà variabile da 1:1 a 1:4) esente da solventi, dietro specifica indicazione di progetto, il composto potrà essere caricato con sabbia silicea (granulometria massima 0,3 mm), filler, quarzo. I rinforzanti da impiegare per la formazione di betoncini di resina dovranno avere un tasso d'umidità in peso non superiore allo 0,09% ed un contenuto nullo d'impurità o di sostanze inquinanti; salvo diverse prescrizioni di progetto, le miscele secche di sabbie silicee o di quarzo dovranno essere costituite da granuli puri del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%. Normalmente il composto di resina epossidica verrà preparato a piè d'opera e, a seconda del tipo di impasto (fluidico, colabile, tissotropico), in relazione alle necessità di progetto, potrà essere applicato a pennello con setole rigide, con iniettori, o con spatole, in ogni caso sotto scrupoloso controllo dal momento che presenta, generalmente, un limitato tempo pot-life. Nel caso in cui si prevedrà, invece, l'utilizzo di composti a base di resina acrilica, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, si utilizzerà lattice acrilico aggiungendo al lattice non diluito una quantità adeguata di carbonato di calcio sino a rendere la maltina estraibile.

La procedura prevedrà, dopo le opportune operazioni preliminari di pulitura, eventuale preconsolidamento di parti particolarmente decoese o distaccate, la predisposizione di opportune protezioni (ad es. delimitazione con nastro di carta) sulle superfici limitrofe a quelle da consolidare, in modo da evitare che queste vengano a contatto con il prodotto consolidante e l'esecuzione d'idonee campionature al fine di valutare la quantità e la tipologia del consolidante. Eseguite tutte queste operazioni si potrà procedere alla sigillatura in profondità delle soluzioni di discontinuità mediante l'utilizzo di siringhe o piccole spatole secondo le dimensioni delle fessurazioni da sigillare e le specifiche di progetto, in ogni caso la resina dovrà penetrare fino a rifiuto nel vuoto da colmare tra le facce e tra i frammenti destinati a combaciare nella nuova unione. Durante la procedura sarà opportuno che siano controllate eventuali vie di fuga che potrebbero far percolare il materiale intromesso (specialmente se verrà fatto uso di resine epossidiche), in tal caso si renderà necessaria l'immediata rimozione con spugne o tamponi umidi se si utilizzeranno maltine a legante acrilico, con acqua e detergenti idonei (ovvero seguendo scrupolosamente le indicazioni del produttore della resina) se invece si utilizzeranno adesivi epossidici. Una volta che sarà verificato "l'intasamento" della fessurazione si potrà passare alla realizzazione di stuccature di superficie, costituite da malte a base di leganti idraulici naturali a basso contenuto di sali, sabbie silicee vagliate e lavate (granulometria 0-1,2 mm), eventuali additivi polimerici, terre colorate o pietre macinate, in ogni caso eseguite seguendo la procedura descritta nell'articolo sulle stuccature di materiali lapidei.

In alternativa si potranno effettuare delle stuccature invisibili utilizzando idoneo stucco costituito da copolimeri fluorurati ovvero legante incolore elastomerico per stuccature e polvere della stessa pietra, utili anche a coprire micro lesioni o fori di trapani (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo sul fissaggio e riadesione d'elementi sconnessi e distaccati).

Avvertenze

Il rapporto di miscelazione tra resina ed indurente andrà accuratamente rispettato, gli errori di dosaggio tollerabili non dovranno essere superiori al $\pm 5\%$. La miscelazione dei componenti andrà eseguita preferibilmente con miscelatore meccanico e andrà prolungata fino a che non si sarà certi di aver ottenuto una perfetta omogeneità.

Specifiche sui materiali

Le resine epossidiche, prodotti termoindurenti (molecole tridimensionali) sono ottenute dalla formazione di catene con due tipi di molecole con un gamma illimitata di variazioni possibili (questa caratteristica fa sì che non esista un solo tipo di resina epossidica, ma svariati formulati epossidici che cambiano di volta in volta le proprie caratteristiche a seconda sia del rapporto resina-indurente sia degli eventuali additivi plastificanti, fluidificanti, acceleranti ecc.) e presentano il vantaggio di poliaddizionarsi senza produrre sottoprodotti che porterebbero ad un aumento di volume. Si distinguono dalle resine acriliche per l'elevato potere collante che ne giustifica l'uso come adesivo strutturale; presentano una buona resistenza chimica (soprattutto agli alcali), resistono molto bene all'acqua ed ai solventi organici. I maggiori pregi delle resine epossidiche risiedono nelle loro elevate proprietà meccaniche (resistenze a compressione, a trazione, a flessione), nella perfetta adesione al supporto e nel ritiro molto limitato durante l'invecchiamento; gli svantaggi sono riconducibili alla difficoltà di penetrazione (dovuta all'elevata viscosità), alla bassa resistenza al calore ed ai raggi ultravioletti (con i conseguenti fenomeni d'ingiallimenti e sfarinamento superficiale).

Per le resine acriliche si rimanda alle specifiche dell'articolo sul consolidamento mediante impregnazione.

Per i copolimeri fluorurati si rimanda alle specifiche dell'articolo sul fissaggio e riadesione di elementi sconnessi.

6. Riadesione di distacchi mediante iniezioni con miscele leganti

La procedura sarà eseguita al fine di consolidare strati di intonaco, anche affrescato, distaccato dal supporto, così da risarcire le eventuali lesioni e riempire le sacche perimetrali presenti tra il substrato e l'apparecchio retrostante. Prima di procedere al consolidamento vero e proprio sarà necessario effettuare delle operazioni di "saggiatura" preventiva eseguite mediante leggera, ma accurata battitura manuale (tramite martelletto di gomma o semplicemente con le nocche della mano) sulla muratura, al fine di individuare con precisione sia le zone compatte sia delimitare (ad es. con un segno tratteggiato a gesso) il perimetro di quelle in fase di distacco (zone gonfiate e formanti "sacche"). In alternativa potranno essere individuate le zone di distacco mediante indagine termografica od altra indagine non distruttiva specificata dagli elaborati di progetto.

In assenza di piccole fessure, lacune o fori già presenti sulle superfici intonacate attraverso le quali operare l'iniezione, si eseguiranno delle perforazioni, tramite piccolo trapano a mano (se le condizioni di conservazione del materiale lo consentono si potrà usare trapano elettrico) ad esclusiva rotazione con una punta di circa 2-4 mm (in caso di microconsolidamento si potrà ricorrere all'utilizzo di punteruoli), rade nelle zone ben incollate e più ravvicinate in quelle distaccate; il numero dei fori sarà proporzionato all'entità del distacco ed indicato negli elaborati di progetto (in assenza di indicazioni si potrà operare in ragione di 8-10 fori per m²); in genere la distanza tra loro sarà di circa 40-60 cm, mentre la loro localizzazione sarà tale da favorire il percolamento della miscela da iniettare, pertanto sarà necessario iniziare la lavorazione a partire dalla quota più elevata. In caso di distacco d'estensione limitata si potrà procedere all'esecuzione di un unico foro ed eventualmente, di un secondo se necessario per la fuoriuscita dell'aria dalla sacca di distacco durante l'immissione del consolidante.

Dopo aver eseguito le perforazioni si renderà necessario aspirare, attraverso una pera di gomma, gli eventuali detriti della foratura, le polveri e quanto altro possa ostacolare la corretta immissione e percolazione della miscela. In seguito si eseguirà una prima iniezione di acqua deionizzata ed alcool (5:1 in volume) con lo scopo di creare dei canali nella parte retrostante e di verificare allo stesso tempo l'eventuale esistenza di lesioni o fori da dove la miscela consolidante potrebbe fuoriuscire; in presenza di queste fessure si procederà alla loro puntuale stuccatura (che verrà rimossa a presa avvenuta) tramite malta "magra", a bassa resistenza meccanica di ancoraggio al supporto, cotone idrofilo, lattice di gomma, argilla ecc.

In presenza di forti distacchi e di supporti in buono stato di conservazione, si potranno inserire nel foro piccole guarnizioni in gomma a perfetta tenuta opportunamente sigillate per impedire la fuoriuscita del prodotto.

Risultati soddisfacenti potranno essere raggiunti con miscele formate da 2 parti di calce aerea naturale a basso peso specifico e 1 parte di metacaolino pozzolanico o cocchiopesto superventilato e lavato (rapporto 1:1) con l'aggiunta di una minima parte di resina acrilica in emulsione al 10% in acqua (con funzione di fluidificante). In alternativa si potrà ricorrere ad una miscela formata da 1 parte di grassello di calce (sostituibile parzialmente o totalmente con calce idraulica naturale NHL 2) e 1 parte di carbonato di calcio (granulometria 0,02-0,06 mm); la miscela sarà diluita con percentuali del 5-10% di resina acrilica (con funzione di colloide protettore oltretutto tenderà a trattenere l'acqua così da non far "bruciare" prematuramente la miscela iniettata) ed eventualmente additivata con gluconato di sodio (con funzione di fluidificante); nei casi di distacchi consistenti, con una parte di cocchiopesto vagliato e lavato o in alternativa pozzolana (granulometria massima 0,5 mm).

Per distacchi di lieve entità, fra strato e strato, con soluzioni di continuità dell'ordine di 0,5 mm, non essendo possibile iniettare miscele idrauliche si rileverà utile una micro-iniezione di 1 parte di resina acrilica in emulsione acquosa in concentrazione variabile (comunque compresa tra l'8% e il 10%), caricata con 0,5-1 parte di carbonato di calcio o polvere di pomice (granulometria tra 0,02 mm e 0,06 mm) per rendere il composto più granuloso e facilitare l'aggrappaggio dello stesso al supporto da consolidare.

Un altro composto, utilizzabile in ambienti interni e per piccole cavità (spessore non superiore a 4-5 mm), sarà il caseato di calcio, ottenuto mescolando caseina lattica e grassello di calce; esistono due tipi di "ricette": la prima (alla fiorentina) si comporrà di 1 parte di caseina, 4 parti di grassello di calce, 0,4 parti di resina acrilica in emulsione; la seconda (alla romana) sarà costituita da 1 parte di caseina (gonfiata nell'acqua), 9 parti di grassello di calce, 1/5 parte di dispersione acrilica (allo scopo di elasticizzare l'adesivo); questo composto presenterà sia ottime proprietà collanti sia ottima stabilità nel tempo, ma avrà l'inconveniente di avere tempi d'incollaggio molto lenti. Il caseato di calcio, dopo la presa, sarà fragile a trazione e resterà permeabile al vapore acqueo, per questo potrà essere indicato utilizzarlo in ambienti asciutti.

Previa umidificazione del foro e della zona circostante con acqua pulita, si eseguiranno le iniezioni con una normale siringa di plastica (da 10 cc o 60 cc) procedendo attraverso i fori posti nella parte più bassa, per poi avanzare, una volta che la miscela sarà fuoriuscita dai fori limitrofi, verso quelli situati in alto (questo per evitare sia che squilibri di peso possano alterare l'eventuale precario equilibrio della struttura sia per favorire la distribuzione uniforme del consolidante); nel caso in cui la miscela non dovesse penetrare in profondità si passerà al foro successivo. Ad infiltrazione del formulato avvenuta, passati circa 30-35 minuti, si procederà con il consolidamento di un'altra area di distacco.

Le iniezioni verranno eseguite o tramite la punta dell'ago metallico (per fori ed aree di modeste dimensioni od in presenza di intonaci particolarmente degradati), o direttamente dal beccuccio della siringa nel foro di accesso attraverso una cannula precedentemente posizionata (in caso di sacche di maggiori dimensione ed estensione), controllando e graduando la compressione dello stantuffo. Le miscele dovranno essere iniettate a bassa pressione poiché le tensioni prodotte dal fluido sotto pressione, alterando l'equilibrio del manufatto, potrebbero causare pericolosi fenomeni di precarietà statica. Nel corso dell'operazione occorrerà stare attenti che il colante non fuoriesca da fori o linee di fratture limitrofe sulla superficie sottostante, nel caso questo succedesse si procederà all'immediata pulizia tramite spugnette ad alto potere assorbente (ad es. ritagli di gommapiuma o spugnette tipo *Blitz Fix*). In caso di iniezione per mezzo di ago metallico sarà consigliabile tamponare il punto di innesto dell'ago con un batuffolo di cotone imbevuto di acqua distillata al fine sia di favorire la riadesione del supporto sia in modo da asportare l'eventuale prodotto in eccesso fuoriuscito dai fori. Per la riadesione di elevate superfici d'intonaco potrà rivelarsi utile una compressione della superficie in questione tramite una pressione regolare ed uniforme, sia durante il periodo di iniezione del consolidante, sia durante la presa; tale pressione potrà essere eseguita, a seconda dei casi, per mezzo di mani, molle, martinetti a vite montati sull'impalcatura, tavolette di legno rivestite di feltro o carta per una durata variabile da qualche decina di minuti a 12-14 ore in ragione del tipo e della quantità di prodotto immesso.

Previo indurimento del consolidante (minimo 7 giorni) si rimuoveranno manualmente le stuccature provvisorie e le eventuali cannule in gomma e si sigilleranno i fori con stucco costituito da grassello di calce e polveri di marmo (per maggiori dettagli sulla stuccatura si rimanda alla procedura specifica). Il collaudo si effettuerà mediante le stesse tecniche non distruttive utilizzate per individuare le zone di intervento.

Specifiche sui materiali

L'iniezione della sola emulsione acrilica dovrà essere evitata (se non dietro specifica indicazione di progetto) in quanto potrebbe dar vita ad un corpo di plastica che riempirebbe la sacca ma non farebbe aderire le facce distaccate.

Anche l'iniezione di calci idrauliche potrà avere degli inconvenienti in quanto il calcio idrato potrebbe non carbonatare all'interno della muratura e migrare dentro di essa (a causa della sua parziale solubilità in acqua) provocando efflorescenze di calcio carbonato in superficie o, in presenza di solfati e alluminati, potrebbe reagire dando vita a subefflorescenze quali thaumasite o ettringite.

Specifiche sui materiali premiscelati

La malta premiscelata per iniezione di consolidamento e riadesione di intonaci dovrà presentare un'ottima penetrabilità nelle murature senza aver bisogno della preliminare bagnatura dei supporti. L'impasto dovrà essere composto da calce idraulica naturale, chimicamente stabile e a bassissimo contenuto di sali solubili, inerti silicei (o in alternativa carbonato di calcio scelto e micronizzato), pozzolana superventilata (o in alternativa polvere di cocciopesto o metacaolino) e idonei additivi fluidificanti, ritentivi ed areanti. Dopo aver impastato energicamente per qualche minuto il premiscelato con acqua demineralizzata sarà consigliabile filtrare la boiacca ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe con aghi di tipo veterinario (diametro di uscita superiore ai 2 mm). Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico 1,02 kg/dm³, lavorabilità 2 h, *bleeding* assente, aderenza 0,8 N/mm², inizio presa a +20 °C 24 h, fine presa a +20 °C 48 h, resistenza a compressione a 28 giorni 6 N/mm², resistenza a flessione a 28 giorni 2 N/mm², modulo elastico 5000 N/mm², ritiro 0,7-1,8 mm, ritenzione acqua superiore all'80%, permeabilità al vapore 6 µ.

7. Consolidamento lastre lapidee da rivestimento (messa in sicurezza)

7.1. Generalità

Prima di procedere ad un qualsiasi intervento di smontaggio e successivo consolidamento che potrebbe, se mal effettuato, andare a peggiorare la situazione (per maggiori dettagli sulla procedura di smontaggio si rimanda a quanto detto all'articolo specifico) sarà sempre conveniente preventivare un'accurata campagna diagnostica preliminare piuttosto approfondita volta a conoscere in maniera completa il manufatto oggetto di intervento, i materiali che lo compongono, la loro consistenza fisico-materica, le tecniche costruttive e di ancoraggio, le patologie in atto, le lesioni esistenti, le eventuali cause indirette di degrado, non sottovalutando mai la possibilità di consistenza di situazioni diversificate nell'ambito dello stesso apparecchio murario.

Non di rado la causa del dissesto del rivestimento lapideo potrà essere attribuita all'assenza di punti d'appoggio distribuiti a varie quote, i quali permetterebbero di assorbire frazionatamente il peso delle lastre. Il paramento potrà, inoltre, essere ancorato alla muratura di supporto attraverso un'imbottitura posteriore completa o parziale, eseguita con colatura di malta di calce, in questo caso con il passare del tempo, a causa della perdita progressiva di adesività della malta alla struttura, le sollecitazioni delle lastre potrebbero diventare insostenibili.

In altri casi le strutture di sostegno utilizzate (per lo più zanche) potrebbero essere in ferro, materiale che, con il passare del tempo, potrebbe subire fenomeni di forte ossidazione e corrosione causando, sul rivestimento lapideo, l'ovvia perdita

del sostegno (che non sarà più in grado di reggerlo), la generazione di sforzi di trazione, causati dal maggior peso specifico degli ossidi e idrati di ferro nonché sgradevoli colature di ruggine che andranno a deturpare il pannello lapideo. Allo stesso tempo, nel caso in cui il manufatto avesse già subito un'operazione di manutenzione, potrebbe verificarsi il fenomeno opposto, ovvero la presenza di un numero elevato di tasselli potrebbe vincolare eccessivamente la struttura generando situazioni tensionali insopportabili (per questo risulterà opportuno procedere alla loro eliminazione, progettando un nuovo e più idoneo sistema di ancoraggio).

Raramente gli ancoraggi preesistenti si presenteranno efficienti e ben conservati, in tal caso potranno comunque essere integrati all'interno di un valido sistema di messa in sicurezza; se dovessero rilevarsi ancoraggi assolutamente inefficienti, ormai inutili, ma non dannosi poiché realizzati con materiali stabili e posizionati in modo da non disturbare la struttura, si potrà, dietro specifica indicazione di progetto, lasciarli in opera.

Non di rado si rileva la mancanza di efficienti sigillature tra i pannelli, se non addirittura di adeguati giunti di dilatazione, in questo modo l'acqua piovana, non incontrando idonee barriere, riuscirà facilmente ad infiltrarsi velocizzando la corrosione delle zanche in ferro, erodendo la malta di allettamento ed innescando tutta una serie di patologie (creazione di muschi, cristallizzazione dei sali, cicli di gelo e disgelo ecc.) dannose al rivestimento. L'assenza dei giunti di dilatazione potrà costituire un punto critico della struttura, tanto da determinare pressioni insostenibili indotte dalle variazioni della temperatura.

7.2. Messa in sicurezza

Previa esecuzione di tutte le procedure di smontaggio e di analisi preventive si potrà procedere con l'intervento; i materiali per risultare idonei dovranno possedere caratteristiche meccaniche, di resistenza fisico-chimica e di durabilità adeguate, mantenendo il più possibile nel tempo le prestazioni richieste; gli elementi metallici (zanche, perni, piastre ecc.) da utilizzare potranno essere:

- in rame o in ottone trafilato: ottima resistenza alla corrosione ma scarsa resistenza meccanica da impiegare per pannelli di peso modesto;
- in acciaio a doppia zincatura a caldo: ottima resistenza meccanica e alla corrosione (acciaio ad alta resistenza);
- in acciaio inossidabile AISI serie 300: eccellenti prestazioni a livello di resistenza meccanica e con le migliori proprietà di inalterabilità.

La tipologia di zancatura potrà essere non portante o di ritegno (semplice fissaggio alla parete di supporto) o portante a sistema rigido (cioè quelle impiegate per rivestimenti con imbottitura posteriore di malta) e regolabile (sistemi più complessi di norma utilizzati su manufatti di pregio o per il ripristino d'ampie zone di rivestimento) secondo le disposizioni di progetto (in questo caso le zanche dovranno essere state calcolate come vere e proprie mensole di sostegno ai pannelli).

Nell'eseguire la suddetta procedura si dovranno tenere presenti le seguenti accortezze:

- l'esecuzione delle perforazioni sul supporto murario, al fine di alloggiare l'apparato di fissaggio (zanche, tasselli ecc.), dovrà essere eseguita, preferibilmente, con strumenti a sola rotazione; gli strumenti a roto-percussione potranno essere utilizzati, solo dietro specifica indicazione della D.L., su materiali particolarmente compatti come ad esempio elementi in c.a. o murature in laterizio pieno. La profondità della foratura, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovrà essere maggiore dell'ancoraggio così da lasciare lo spazio ad eventuali polveri di trapanatura e, nel caso di utilizzo di tasselli, per la fuoriuscita della vite della punta del tassello. Nel caso di messa in opera di zanche, anche il diametro del foro sarà maggiore affinché la malta a ritiro compensato possa ben avvolgere l'ancoraggio metallico. L'eventuale perforazione delle lastre dovrà, invece, obbligatoriamente essere eseguita con strumenti a sola rotazione (ad es. carotatrici) così da evitare la possibilità che le sollecitazioni meccaniche, fornite da mezzi a roto-percussione, deteriorino ulteriormente il rivestimento (ad es. estendendo le situazioni di distacco o generando nuove lesioni);
- la sigillatura dell'apparato di fissaggio, ad esclusione dell'utilizzo di tasselli meccanici o chimici, dovrà avvenire previa accurata pulitura della perforazione e abbondante bagnatura (solo in caso di uso di malta) mediante idonea malta di calce idraulica naturale NHL 5 caricata con inerti pozzolanici o cocchiopesto, con l'eventuale aggiunta di idoneo additivo così da compensare il ritiro della malta, in alternativa e solo dietro specifica indicazione di progetto, si potrà utilizzare betoncino di resina epossidica bicomponente a consistenza colabile esente da solventi;
- ogni pannello lapideo, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovrà sostenersi da solo, dovrà essere appeso (sistemi portanti) e non appoggiato a quello sottostante che
- il sistema di ancoraggio dovrà considerare adeguati coefficienti di sicurezza che dovranno, necessariamente, tener conto dell'effetto combinato di forze, quali ad esempio la depressione causata dal vento, l'eventuale attività sismica, le vibrazioni generate dal traffico di superficie o sotterraneo ecc.;
- il sistema di ancoraggio dovrà, inoltre, essere progettato in modo adeguato soddisfacendo esigenze, talvolta contrapposte: realizzare tasselli di dimensioni sufficientemente contenute applicando contemporaneamente alla struttura il minor numero possibile di vincoli. Il nuovo sistema non dovrà, infatti, ostacolare i movimenti naturali del rivestimento e dovrà essere dotato di opportune guarnizioni (che dovranno presentare caratteristiche d'indeforabilità ed elasticità protratte nel tempo, ad es. in resine siliconiche) al fine di evitare una concentrazione eccessiva di tensioni;
- la chiusura dei fori e delle giunture dovrà essere eseguita adottando una stuccatura composta da materiali stabili (ad es. elastomeri fluorurati e polvere di pietra) tali da evitare cavillature e infiltrazioni (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto per le procedure riguardanti le stuccature superficiali); in alternativa, nel caso si ricorra a tasselli, si potranno mettere in opera idonei dischi lapidei di chiusura, costituiti da materiale lapideo dello stesso tipo del pannello e di dimensione adeguata a quella del foro; i suddetti dischi dovranno essere applicati mediante idonei collanti e successivamente sigillati con attente stuccature.

Avvertenze

Sarà, in ogni caso, sempre consigliabile effettuare controlli sistematici in corso d'opera con l'eventuale ausilio di endoscopie, in quanto potrebbero passare inosservate particolari situazioni costruttive differenti da quelle rilevate nel corso

della campagna di indagini preliminari.

Messa in sicurezza con sistemi di fissaggio portanti rigidi

I sistemi portanti rigidi più comunemente utilizzati sono:

- piattina metallica (dimensioni minime 6x40x250-300 mm) da inserire nelle scanalature (di dimensioni di circa 2-3 mm superiori a quella della piattina) eseguite nei bordi di due pannelli sovrapposti, munita di doppia zancatura (costituita da due monconi di dimensioni minime 8x40x100 mm) annegate nella muratura d'ambito con malta di calce idraulica naturale NHL 5 a ritiro compensato. Le zanche di questo tipo si rileveranno particolarmente resistenti e quindi indicate per lastre di grande spessore (maggiore 3-4 cm);
- piattina metallica (dimensioni minime 8x60x150-180 mm) sdoppiata, in ambedue le teste, in due lembi ripiegati in versi opposti: un'estremità si inserirà nelle scanalature (di dimensioni di circa 2-3 mm superiori a quella della piattina) eseguite nei bordi di due pannelli sovrapposti, l'altra estremità verrà inghisata nella muratura con malta di calce a ritiro compensato; questo sistema potrà essere utilizzato per lastre di spessore medio-grande (2-3 cm);
- due piattine metalliche (dimensioni minime singola piattina 6x40x150 mm) accostate e ripiegate in versi opposti alle estremità, in modo da trattenere separatamente i bordi di due pannelli contigui, le zanche dovranno essere posizionate sui bordi orizzontali del pannello di spessore medio-grande;
- sistema con tassello meccanico (ad espansione forzata o geometrica) o chimico (tasselli a calza, a rete, a bussola retinata o a fiala di vetro, in ragione del supporto murario; la fiala di vetro sarà da utilizzarsi solo in presenza di materiali compatti) da inserire in perfori eseguiti sul pannello mediante l'ausilio di strumenti a sola rotazione (ad es. carotatrici); i tasselli dovranno essere serrati seguendo i tempi ed il valore del carico previsto, così da evitare sia serraggi troppo elevati che potrebbero provocare fenomeni di snervamenti delle viti sia serraggi troppo lenti che non garantirebbero un'adeguata rigidità all'ancoraggio. Questo sistema rigido sarà adatto per pannelli di spessore medio-grande.

Il tassello meccanico ad espansione forzata o geometrica sarà inserito nel perforo (precedentemente ben pulito con scovolino) con un'adeguata, quanto debole, percussione, dopo aver controllato l'assialità dell'elemento, si passerà all'operazione di serraggio mediante l'ausilio d'idonea chiave dinamometrica tarata al valore di carico prefissato dal progetto. L'ancoraggio con i tasselli ad espansione geometrica, al contrario di quello a percussione, provocherà meno tensioni nel materiale di supporto e, pertanto, consentirà l'applicazione con interasse e distanze dai bordi ridotte.

L'esecuzione del fissaggio del tassello chimico sarà leggermente differente: la procedura prevedrà, previo inserimento del tassello a rete, a calza o di una bussola retinata (in ragione del tipo di materiale costituente il supporto) di dimensioni uguali a quelle del foro (precedentemente ben pulito sia con scovolino sia con soffietto) e lunghezza misurata a partire dal fondo cieco della perforazione, l'estrusione, mediante pompa manuale o pneumatica, della resina collante entro i fori precedentemente predisposti iniziando l'iniezione dal fondo sino al riempimento di circa 2/3 del volume della cavità. Successivamente si inserirà manualmente, con movimento circolare, la barra metallica filettata, con diametro e lunghezza stabiliti dagli elaborati di progetto; al fine di favorire l'introduzione nella resina sarà vantaggioso tagliare la punta della barra a 45°. Dopo aver controllato la corretta assialità si procederà all'inserimento della rondella di guarnizione (in resina siliconica), alla rondella in metallo ed al dado, passato il tempo necessario affinché la resina indurisca (circa 60-90 minuti) si potrà procedere al serraggio del dado con l'ausilio di chiave dinamometrica tarata al valore di carico prefissato dal progetto.

Messa in sicurezza con sistemi di fissaggio portanti regolabili

I sistemi portanti regolabili più comunemente utilizzati sono:

- *sistema con piastre metalliche sagomate* di spessore minimo di 5 mm, inserite ed ancorate con bulloni (ad es. 10x30 mm) e dadi muniti di rosetta, in appositi profili metallici, generalmente sagomati a "C" con irrigidente, (ovvero piastre metalliche dello spessore minimo di ca. 10 mm) ancorati alla parete mediante tasselli meccanici o chimici o zanche di altro tipo. Uno dei vantaggi maggiori di questo sistema risiede nella possibilità di fissare i profili o le piastre alla parete sia in posizione orizzontale sia verticale in relazione alle dimensioni dei pannelli. Il vincolo utilizzato in questo sistema sarà di tipo a ritenuta.

La sagomatura delle piastre sarà in funzione della loro posizione: la prima presenterà bordi ripiegati solo verso l'alto in modo da sostenere il solo pannello superiore, la piastra intermedia, utilizzata per il giunto chiuso (per pannelli medio-piccoli, spessore ca. 2-3 mm) presenterà dei bordi tutti d'eguale altezza ottenuti ripiegando l'estremità dell'ala orizzontale, mentre quella utilizzata per il giunto aperto (per pannelli medio-grandi, spessore ca. 6-8 mm o 15-20 mm se il giunto sarà a livello solaio) avrà bordi con altezze differenti: il labbro inferiore sarà più lungo così da poter entrare nella scanalatura della lastra sottostante. La piastra sommitale presenterà bordi piegati solo verso il basso. Al fine di risolvere l'eventuale mancanza di piombo della muratura si potrà ricorrere a cavalotti di spessoramento in acciaio interposti fra il profilo sagomato e la piastra di sostegno; in alternativa, nel caso di fissaggio con tasselli, si potrà intervenire anche sulla lunghezza della barra filettata;

- *sistema a spinotti*, simile a quello a piastra, utilizza profilati metallici ad "L" (ad es. 60x80x8 mm) muniti di fori sull'anima (al fine di consentire l'ancoraggio mediante tasselli alla muratura) e di asole sull'ala così da collocare degli spinotti metallici (ad es. □ 6x60 mm) che si inseriranno nelle scanalature praticate nei bordi delle lastre vincolandole a ritenuta. Anche questo sistema avrà la possibilità di fissare i profili alla parete sia in posizione orizzontale sia verticale in relazione alle dimensioni dei pannelli.

10.4.6 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DIPINTI MURARI (AD AFFRESCO ED A SECCO)

1. Generalità

Il consolidamento dei dipinti murari si rende necessario nei casi in cui si verifichi il distacco dell'intonaco dal supporto murario (consolidamento in profondità) e/o il disfacimento dello strato dipinto in scaglie o la polverizzazione (consolidamento corticale della pellicola pittorica).

2. Consolidamento in profondità

L'operazione di consolidamento in profondità delle superfici dipinte si rende necessaria nei casi in cui sia accertato il distacco dell'intonaco dal supporto murario. L'intervento prevede gli stessi passaggi espliciti nella procedura di consolidamento in profondità mediante miscele leganti facendo attenzione, in questo caso, ad utilizzare malte a base di calce idraulica (premiscelata o realizzate in situ) a basso peso specifico; inoltre, nella fase di foratura delle parti distaccate, dovrà essere fatta particolare attenzione a non intaccare zone figurate (volti o arti) sfruttando, dove risulterà possibile, piccole fessure o lacune già presenti sulla superficie.

Specifiche sui materiali premiscelati

La malta premiscelata per riadesione e riempimento di vuoti in sistemi ornamentali, dovrà presentare basso peso specifico ($0,4 \text{ kg/dm}^3$) e medie resistenze meccaniche, così da risultare idoneo per eseguire riadesione di elementi privi di funzioni statiche e non appesantibili come intradossi di volte affrescate, stucchi e superfici musive. L'impasto dovrà essere composto da leganti idraulici naturali, chimicamente stabili e a bassissimo contenuto di sali solubili, pozzolana, perlite ventilata e idonei additivi fluidificanti, ritentivi ed areanti. Dopo aver impastato energicamente per qualche minuto il premiscelato con acqua demineralizzata sarà consigliabile filtrare la boiaccia ottenuta al fine di eliminare eventuali piccoli grumi formati in fase di impasto. Se non diversamente specificato questi prodotti dovranno essere iniettati entro 30 minuti dalla preparazione. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa. Sarà consigliabile utilizzare siringhe di tipo veterinario prive di ago (diametro di uscita superiore ai 6 mm). Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico $0,4 \text{ kg/dm}^3$, lavorabilità 4 h, *bleeding* assente, aderenza $0,9 \text{ N/mm}^2$, inizio presa a $+20^\circ\text{C}$ 20 h, fine presa a $+20^\circ\text{C}$ 44 h, resistenza a compressione a 28 giorni 31 N/mm^2 , resistenza a flessione a 28 giorni 8 N/mm^2 , modulo elastico 5200 N/mm^2 , ritiro $0,4\text{-}1,2 \text{ mm}$, ritenzione acqua $> 85\%$, permeabilità al vapore 3μ .

3. Consolidamento della pellicola pittorica

Il consolidamento corticale della pellicola pittorica si prefigge lo scopo di arrestare il disfacimento della superficie dipinta procedendo alla riadesione e al fissaggio dello strato cromatico al supporto ricorrendo all'utilizzo di prodotti consolidanti e riaggreganti. Prima di procedere con l'intervento di consolidamento, la superficie dovrà essere ispezionata al fine di rintracciare eventuali alterazioni postume (integrazioni, restauri mal riusciti ecc.) o stati avanzati di degrado (efflorescenze saline, patine, polveri, sostanze grasse ecc.). In presenza di consistenti cristallizzazioni saline dovrà esserne operata la rimozione procedendo prima all'asportazione superficiale mediante l'ausilio di pennelli morbidi e, successivamente, all'estrazione dei sali solubili seguendo quanto indicato nella specifica procedura. L'eventuale presenza di solfati dovrà essere ovviata ricorrendo all'ausilio di carbonato d'ammonio.

Dovranno, inoltre, essere attuate, se necessarie, le operazioni di preconsolidamento e di pulitura della superficie, seguendo quanto indicato nelle specifiche procedure. Il preconsolidamento potrà essere effettuato per mezzo di velinatura con carta giapponese o velatino di cotone per garantire il fissaggio della parti sollevate della pellicola pittorica e con iniezioni localizzate per garantire la riadesione di scaglie e sollevamenti di parti macroscopiche dello strato pittorico; in quest'ultimo caso dovrà essere fatta particolare attenzione sia nell'esecuzione dell'operazione, sia nella scelta del prodotto da utilizzare al fine di evitare di compromettere la riuscita dell'operazione finale di consolidamento dell'intera superficie ovvero l'impedimento dell'adequata penetrazione del consolidante in profondità poiché ostacolato dal prodotto applicato per la riadesione di scaglie.

La risoluzione prescelta per realizzare il consolidamento dovrà essere preventivamente verificata su campioni così da poterne attestare l'effettiva efficacia, ovvero l'azione fissativa ed adesiva delle parti di colore sollevate e la compatibilità materica rispetto alle componenti costituenti il dipinto. I prodotti che potranno essere utilizzati dovranno relazionarsi alla specifica tecnica utilizzata per il dipinto (affresco o a secco) così da poter definire le giuste proporzioni delle diverse parti componenti. Il prodotto potrà essere applicato sulle superfici ricorrendo a diverse tecniche (spruzzo, impacco o a pennello) da prescegliere in funzione delle caratteristiche e dello stato di conservazione del dipinto e del supporto; per questo risulterà necessario eseguire delle campionature. Il prodotto consolidante potrà essere scelto tra: idrato di bario, caseinato d'ammonio e di calcio, silicato di potassio, esteri dell'acido silicico, resine acriliche (in solventi come acqua distillata, diluente per etilsilicato, diluente nitro ecc.) inoltre, grassello di calce, cocchiopesto e carbonato di calcio micronizzato in relazione alla specificità del caso. L'applicazione del prodotto consolidante dovrà essere effettuata con un'umidità relativa non superiore al 70% e con temperatura superficiale compresa tra $+10$ e $+35^\circ\text{C}$.

L'impacco risulterà adatto su dipinti a buon fresco o a mezzo fresco; a spruzzo (manuale o a volume d'aria) su dipinti a secco, l'applicazione a pennello su limitate porzioni di dipinti a secco. Per i dipinti a secco potranno essere utilizzati prodotti inorganici in soluzione acquosa; per dipinti ad affresco potrà essere utilizzato, tra le varie soluzioni, idrato di bario in soluzione satura o caseinato d'ammonio al 5% applicati ad impacco. Le superfici non interessate dall'intervento (soprattutto quelle limitrofe) dovranno essere opportunamente protette; risulterà opportuno per questo, mettere in atto presidi con fogli di polietilene, carte ecc. e delimitare il contorno dell'area di intervento con polpa di cellulosa, impastata con poca acqua distillata, così da garantire una zona di contenimento al fine di ovviare il percolamento della sostanza consolidante.

10.4.7 PROTEZIONI

Premessa metodologica

Gli interventi di protezione devono assolvere principalmente il ruolo di salvaguardare il materiale dall'aggressione degli agenti naturali esterni (infiltrazioni d'acqua, depositi superficiali di sostanze nocive ecc.) e/o di natura antropica, ricorrendo all'uso di tecniche consone ad ogni caso specifico. Eseguite generalmente a compimento dell'intervento conservativo, le protezioni possono essere concepite sia come veri e propri presidi (schermi, tettoie, barriere ecc.) inseriti con l'intento di ostacolare l'innescarsi di patologie degenerative, proteggendo il manufatto in modo da ovviare direttamente alle cause di degrado, sia come applicazioni superficiali di materiali sacrificali, compatibili con la preesistenza, deteriorabili nel tempo. Lo scopo di entrambe le risoluzioni è quello di difendere i materiali da diversi fattori, in molti casi concomitanti, come l'attacco fisico-chimico operato dagli agenti atmosferici e dalle sostanze nocive veicolate da questi, dalle azioni di organismi vegetali e animali, dai raggi ultravioletti, aerosol marini ecc. Fondamentalmente lo scopo principale richiesto alle operazioni di protezione è quello di impedire il passaggio dell'acqua all'interno del materiale e, allo stesso tempo, ostacolare l'aggressione degli inquinanti atmosferici; per fronteggiare entrambi i fattori i prodotti utilizzati devono presentare i requisiti di idrorepellenza, reversibilità, traspirabilità, assenza di sottoprodotti dannosi e stabilità alle radiazioni UV. L'idrorepellenza è determinante al fine di evitare i degradi connessi alla penetrazione dell'acqua come i fenomeni ciclici di gelo e disgelo, la cristallizzazione dei sali solubili (efflorescenze saline, subefflorescenze ecc.) e la veicolazione di sostanze nocive; la reversibilità deve essere concepita come la possibilità di poter rimuovere il prodotto (applicato superficialmente) in caso si dovessero verificare, nel tempo, indesiderati e nocivi effetti collaterali ("effetto bagnato" ovvero un'alterazione cromatica dell'aspetto originale); la traspirabilità è altrettanto incisiva per la riuscita dell'operazione, poiché il protettivo applicato non deve ostacolare il passaggio del vapore acqueo presente nei muri ma deve consentirne il regolare deflusso, così da mantenere costanti i valori igrometrici delle strutture evitando pericolosi ristagni interni d'acqua. I prodotti adatti ad assolvere queste funzioni devono presentare, necessariamente, una buona compatibilità materica con il supporto così da avere comportamenti fisico-chimici simili mentre, per quanto concerne l'impatto visivo, le protezioni possono essere concepite sia come apporti totalmente trasparenti e neutri tali da consentire la totale leggibilità del supporto (sostanze principalmente di natura organica o a base di silicio) sia, come degli strati la cui funzione di protezione, (scialbature, velature, sagramature, ecc.) nasconderà in parte la superficie muraria. La scelta di una delle due soluzioni a discapito dell'altra è strettamente connessa alla metodologia d'intervento scelta a discrezione del tecnico. Le superfici lapidee, inoltre, possono essere trattate con sostanze chimiche analoghe a quelle impiegate per il consolidamento, stese a formare una barriera superficiale trasparente ed idrorepellente capace di impedire o limitare considerevolmente il contatto con sostanze patogene esterne, ma al contempo di non eliminare la traspirabilità e la permeabilità al vapore acqueo. Nel caso di preesistenti trattamenti protettivi coprenti si potrà decidere o di ripristinarli nelle parti dove sono venuti a mancare, così come in origine (diversificando, se ritenuto opportuno, il nuovo dal vecchio) o lasciare l'apparecchio a vista, accettandone il mutamento come fattore essenziale dell'aspetto della struttura, e proteggerlo ricorrendo a trattamenti neutri.

Generalmente le protezioni hanno una durata limitata nel tempo; risultano efficaci per un periodo che va dai 5 ai 10 anni dopodiché vengono a mancare le caratteristiche di idrorepellenza, per questo si rende necessario la messa in opera, previa la totale asportazione dei residui rimasti sulla superficie, di un nuovo intervento protettivo. Per questo motivo, l'applicazione programmata nel tempo dei cicli protettivi deve essere inserita nei programmi di manutenzione periodica.

10.4.8 OPERAZIONI DI PROTEZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI

Con il termine "materiale lapideo" dovranno sempre essere intesi (in accordo alle raccomandazioni NorMaL) oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci (affrescati, dipinti a secco, graffiti) ed i prodotti ceramici come laterizi e cotti.

1. Generalità

Considerato l'impatto e il ruolo attribuito ai protettivi la loro scelta dovrà essere operata sulla base dei risultati delle analisi di laboratorio realizzate su campioni di materiale; i provini dovranno essere preservati così da essere in grado di valutare l'effettiva efficacia e la durata nel tempo. Le campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L. dovranno, necessariamente, essere catalogate ed etichettate; su tale etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzato, le modalità ed i tempi di applicazione.

La durata e l'inalterabilità del prodotto dipenderanno, principalmente, dalla stabilità chimica e dal comportamento in rapporto alle condizioni igrotermiche e all'azione dei raggi ultravioletti. L'alterazione dei composti, oltre ad essere determinante sulle prestazioni, potrà portare alla composizione di sostanze secondarie, dannose o insolubili, che invalideranno la reversibilità del prodotto.

2. Applicazione di impregnante idrorepellente

La procedura dovrà essere eseguita alla fine del ciclo di interventi previsti e solo in caso di effettivo bisogno, su apparecchi murari e manufatti eccessivamente porosi esposti sia agli agenti atmosferici, sia all'aggressione di umidità da condensa o di microrganismi animali e vegetali.

L'applicazione si effettuerà irrorando le superfici dall'alto verso il basso, in maniera uniforme ed abbondante fino a completa saturazione del supporto. Le mani da applicare dipenderanno dalla capacità di assorbimento del supporto, in ogni caso

non potranno essere inferiori a due passaggi (consumo variabile da 0,2 a 1 l/m²). L'intervallo di tempo tra le varie applicazioni potrà variare, fermo restando che la mano precedente sia stata completamente assorbita; di norma i prodotti saranno applicati:

– a spruzzo, tramite l'utilizzo di apposite apparecchiature in grado di vaporizzare il liquido messo in pressione manualmente o da pompa oleo-pneumatica;

– a pennello morbido o rullo sino a rifiuto, utilizzando i prodotti in soluzione particolarmente diluita, aumentando gradualmente la concentrazione sino ad oltrepassare lo standard nelle ultime mani. Sarà utile alternare mani di soluzione delle resine (se in solvente) a mani di solo solvente per ridurre al minimo l'effetto bagnato (per maggiori dettagli sulle tecniche d'applicazione si rimanda a quanto detto nell'articolo sul consolidamento per impregnazione).

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto il trattamento protettivo dovrà essere applicato su supporti puliti, asciutti, privi d'umidità e di soluzioni di continuità (fessure superiori di 0,3 mm dovranno essere adeguatamente stuccate come da articoli specifici) a temperature non eccessivamente alte, intorno ai 20 °C (possibilmente su apparecchi murari non esposti ai raggi solari) al fine di evitare una brusca evaporazione dei solventi utilizzati. I prodotti utilizzabili, di norma, dovranno possedere un basso peso molecolare ed un elevato potere di penetrazione; buona resistenza all'attacco fisico-chimico degli agenti atmosferici; buona resistenza chimica in ambiente alcalino; assenza d'effetti collaterali e di formazione di sottoprodotti di reazione dannosi (produzione di sali); perfetta trasparenza ed inalterabilità dei colori; traspirazione tale da non ridurre, nel materiale trattato, la preesistente permeabilità ai vapori oltre il valore limite del 10%; dovranno risultare atossici.

Sarà sempre opportuno, a trattamento avvenuto, provvedere ad un controllo (cadenzato nel tempo) mirato a valutare la riuscita dell'intervento, così da verificarne l'effettiva efficacia.

La pluralità del potere idrorepellente sarà direttamente proporzionale alla profondità di penetrazione all'interno dei materiali. Penetrazione e diffusione del fluido dipenderanno, quindi, dalla porosità del materiale, dalle dimensioni e dalla struttura

molecolare della sostanza impregnante in relazione al corpo poroso (pesanti macromolecole ricche di legami incrociati non attraverseranno corpi molto compatti e si depositeranno in superficie), dall'alcalinità del corpo poroso, dalla velocità e catalisi della reazione di condensazione (prodotti fortemente catalizzati possono reagire in superficie senza penetrare nel supporto).

Specifiche sui materiali

I protettivi più efficaci per materiali lapidei (naturali ed artificiali tipo intonaci e cotti) apparterranno fondamentalmente alla classe dei composti organici (resine florurate, acril-siliconiche e poliuretaniche) e dei composti a base di silicio; la scelta dovrà, necessariamente, essere operata in relazione alle problematiche riscontrate, così come la quantità ottimale di protettivo sarà determinabile in via sperimentale su superfici campione; orientativamente su intonaco di calce nuovo asciutto saranno sufficienti 100-140 g/m² di soluzione protettiva. Nel caso di manufatti lapidei ovvero intonaci a calce di particolare valore storico-artistico dovranno, necessariamente, essere seguite scrupolosamente le raccomandazioni NorMaL vigenti.

I prodotti utilizzabili per i trattamenti di protezione, di norma, dovranno possedere le seguenti caratteristiche comprovate da prove ed analisi da eseguirsi in situ o in laboratorio:

- a) basso peso molecolare ed elevato potere di penetrazione;
- b) buona resistenza all'attacco fisico-chimico degli agenti atmosferici;
- c) buona resistenza chimica in ambiente alcalino;
- d) assenza di effetti collaterali e di formazione di sottoprodotti di reazione dannosi (produzione di sali);
- e) perfetta trasparenza ed inalterabilità dei colori;
- f) traspirazione tale da non ridurre, nel materiale trattato, la preesistente permeabilità ai vapori oltre il valore limite del 10%;
- g) non tossicità;
- h) reversibilità.

Normalmente un trattamento protettivo ha una durata massima di circa 5-6 anni, è, pertanto, consigliabile programmare una attenta manutenzione ordinaria ogni 4-5 anni.

Per le caratteristiche dei protettivi fluorurati così come per quelli a base di resine acril-siliconiche si rimanda alle specifiche dell'articolo inerente il consolidamento dello strato corticale mediante impregnazione.

3. Tinteggiatura alla calce (scialbatura)

La tinteggiatura alla calce potrà essere utilizzata in ambienti interni ed esterni a patto che non siano aggressivi e a condizione che il supporto non sia stato ancora "compromesso" da una precedente pitturazione a legante polimerico che ne renderebbe difficoltosa l'adesione (in questo caso sarà necessario procedere all'asportazione totale della precedente pittura prima dell'applicazione della tinta). I vantaggi di una tintura alla calce risiedono nell'alta compatibilità con i materiali del supporto, nel "rispetto" dei colori e dei toni cromatici degli edifici storici e nella sanificazione dell'ambiente con conseguente prevenzione di muffe grazie alla naturale basicità e all'elevato tasso di traspirabilità; per contro, saranno soggetti all'azione degradante dell'anidride carbonica combinata con l'acqua e dei gas inquinanti dell'aria.

La procedura prevede che il grassello di calce, stagionato almeno 24 mesi (o calce idrata in fiore) venga stemperato in una quantità d'acqua necessaria al fine di ottenere un composto sufficientemente denso (rapporto grassello acqua 1:2); dovrà essere lasciato riposare da un minimo di 6-8 ore ad un massimo di 48 ore. A stagionatura avvenuta il composto sarà passato al setaccio (con vaglio a 900 maglie/cm²) allo scopo di eliminare le impurità presenti nell'impasto (parti insolubili o corpi estranei). L'acqua utilizzata per l'impasto dovrà essere esente da impurità di carattere organico (acidi, sali e alcali) causa di incompattezza delle tinte, alterazioni dei colori e macchie. La coloritura dell'impasto si otterrà tramite l'aggiunta di pigmenti minerali (massimo 10% in volume rispetto al latte di calce) e terre naturali o artificiali (massimo 25-30% in volume, superando queste dosi potrebbe essere necessario integrare il potere del legante con additivi di varia natura: generalmente resine acriliche). I pigmenti prima di essere amalgamati al latte di calce, al fine di poter ottenere la

dispersione omogenea dei colori, dovranno essere stati immersi in una quantità d'acqua pari al doppio del loro volume, lasciati riposare per alcune ore e passati al setaccio (in modo da trattenere i grumi più grossi). La tinteggiatura alla calce, perde tono nei primi mesi dopo l'applicazione, pertanto sarà consigliabile amplificare leggermente il dosaggio di pigmento al fine di ottenere, a distanza di tempo, la coloritura desiderata.

Prima di procedere all'operazione di tinteggiatura dovranno essere verificate le condizioni del supporto che dovrà presentarsi pulito, ben aderente, privo di depositi superficiali, macchie di umidità e patine di smog; a tal fine sarà opportuno eseguire uno o più cicli di pulitura così da rimuovere eventuali efflorescenze saline o presenze di muffe od altri infestanti biologici (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli inerenti le puliture) e nel caso l'intonaco si presentasse disgregato o distaccato sarà opportuno procedere ad un eventuale consolidamento (riadesione di distacchi mediante iniezioni), facendo cura di ovviare ad ogni lacuna, cavillatura o fessurazione tramite rappezzi e/o stuccature (per maggiori dettagli si rimanda agli articoli inerenti le stuccature e i rappezzi d'intonaco), così come, al fine della buona riuscita, sarà sconsigliato stendere la pittura a calce in condizioni climatiche di eccessiva umidità, eccessivo caldo o freddo.

Per ottenere una superficie compatta, duratura e colorata uniformemente, sull'intonaco ancora fresco si dovrà stendere una mano di fondo composta da latte di calce molto grasso dopodiché, prima della completa asciugatura, si applicherà il colore molto diluito; in questo modo si assicurerà una maggior capacità legante al tinteggio senza dover ricorrere ad additivi. Quando la tinteggiatura a calce verrà impiegata come integrazione pittorica sarà opportuno aggiungere al composto utilizzato per la stesura della seconda mano, un additivo (legante) allo scopo di migliorare le caratteristiche fisiche della tinta; si potrà ricorrere a delle emulsioni acriliche al 2-3% o al caseinato di calcio con aggiunta di ammoniaca (antifermentativa). Prima di applicare la tinta su tutta la parete, al fine di ottenere la tonalità di colore desiderata, si dovranno eseguire delle prove campione poiché la tinta a base di calce schiarisce notevolmente una volta essiccata; inoltre la tinta, seccando, aumenterà il proprio potere coprente, fattore che dovrà essere tenuto conto in funzione dell'effetto che si intenderà ottenere, (le prove potranno essere eseguite o direttamente su piccole porzioni di intonaco oppure su blocchetti realizzati con terra d'ombra). Per la stesura della tinta sul supporto si dovranno utilizzare pennelli a setola animale o le pompe impiegate per le irrorazioni delle viti. Nel caso di pennelli, la stesura dovrà procedere sempre nella stessa direzione (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso). La tinta dovrà essere frequentemente mescolata, al fine di evitare il deposito del materiale, e protetta da luce, aria e polvere durante gli intervalli di lavoro, così da evitare alterazioni che potrebbero produrre variazioni di tonalità; andrà, in ogni caso tenuto presente che sarà da evitare di consumare per intero la quantità di prodotto contenuta nel recipiente in modo che il pennello non tocchi il fondo dove, comunemente, si ha un deposito di pigmenti che intensificano la tonalità del colore.

In alternativa al grassello di calce potrà essere utilizzata della calce idraulica naturale NHL 2 in rapporto di 1:2 con l'acqua (in caso di superfici molto porose occorrerà una maggiore diluizione).

Al fine di ovviare veloci degrading, dovuti agli agenti atmosferici ed inquinanti, dopo che la tinta si sia asciugata e comunque non prima di circa quattro settimane, sarà consigliabile provvedere alla stesura di una mano di protettivo a base di silossani ovvero, dietro specifica indicazione della D.L., mani successive di soluzioni di silicato di potassio.

Specifiche

Prima di iniziare l'operazione di tinteggiatura accertarsi che il supporto sia esente da fenomeni d'umidità poiché potrebbero generare, ad operazione ultimata, l'insorgenza di macchie. Nel caso in cui l'intervento dovesse adattarsi alla tonalità di colore di una preesistente tinteggiatura "storica" alla calce si ricorda che con l'uso dei pigmenti artificiali difficilmente potrà essere riprodotto lo stesso tono di colore; gli ossidi naturali risulteranno, pertanto, più consoni allo scopo. Per l'applicazione della tinta di calce sarà sconsigliato l'utilizzo del rullo.

La tinta a calce, se applicata su di un intonaco di malta di calce aerea, potrà essere stesa direttamente anche se lo strato non risulterà completamente asciutto; mentre, se data su intonaco di malta di calce idraulica naturale o su tinteggiatura a calce preesistente, dovrà essere preceduta dall'imbibizione, a più riprese, di tutta la superficie da trattare, con uno strato d'ancoraggio realizzato con una mano di latte di calce grassa su cui applicare a bagnato la tinta a calce; quest'ultima operazione sarà da eseguire con cura specialmente durante la stagione estiva ed in presenza diretta di irraggiamento solare, così da evitare il fenomeno della "bruciatura" che comprometterebbe il risultato finale. La tinteggiatura a calce non dovrà essere applicata su supporti contenenti gesso né su superfici cementizie od intonacate con malte a base di cemento. Nel caso di messa in opera di formulato con percentuali di resina acrilica sarà necessario invertire la procedura tradizionale, ovvero si dovrà stendere la tinta su supporto perfettamente asciutto. La durabilità di una tinta a calce additivata con resina acrilica crescerà in base alla percentuale di resina contenuta; al fine di ottenere una durabilità elevata occorrerà una percentuale di resina intorno al 30-35% in volume sul secco, a discapito, però, della trasparenza e della ritenzione di sporco.

Nel caso in cui la tinteggiatura avvenga su superfici esterne sarà necessario, dopo aver terminato l'applicazione, proteggere la superficie per alcuni giorni da eventuali piogge al fine di evitare "sbiancamenti" dovuti alla migrazione dell'idrossido di calcio.

Nel caso invece di applicazione in ambienti interni sarà consigliabile, dopo avere terminato l'applicazione, arieggiare i locali per alcuni giorni per favorire l'indurimento del legante mediante il processo di "carbonatazione".

La tinteggiatura a calce dovrà essere, preferibilmente, eseguita in primavera o in autunno in quanto la calce subisce alterazioni irreversibili se utilizzata a temperature troppo rigide o elevate; in queste condizioni si verificano, in genere, due patologie di degrado: la calce "brucia" dando vita ad imbianchimenti diffusi e perdendo di coesione rispetto al supporto; la tinteggiatura "sfiamma" producendo superfici non omogenee in cui le pennellate risultano particolarmente evidenti. Applicare, pertanto, la tinta con temperature del supporto comprese tra i +5 °C ed i +30 °C e con umidità relativa inferiore all'80%; non tinteggiare in presenza di forte vento.

4. Trattamento all'acqua sporca (velatura)

Questo tipo di trattamento potrà avere la funzione di protettivo (e allo stesso tempo blando consolidante) su materiali come

pietre, laterizi ed intonaci. L'applicazione acquosa del latte di calce (idrossido di calcio) dovrà essere realizzata su superfici perfettamente pulite (seguendo le metodologie indicate nell'articolo specifico sulle puliture) e, se necessario, consolidate (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo inerente il consolidamento degli intonaci mediante iniezioni e a quello inerente i rappezzi d'intonaco); il supporto, infatti, dovrà presentarsi privo di lacune con le fessure di piccole dimensioni opportunamente stuccate (per maggiori dettagli si rimanda all'articolo inerente le stuccature). La preparazione della cosiddetta acqua sporca consisterà nel colorare leggermente l'acqua di calce mediante l'aggiunta di pigmenti colorati; un cucchiaino di pigmento naturale in un secchio d'acqua (10-12 l). L'intervento verrà realizzato inumidendo, preventivamente, la parete da trattare per mezzo di un pennello morbido imbevuto d'acqua, dopodiché si procederà alla stesura del protettivo mediante l'uso di pennelli (preferibilmente a setola animale morbida), nebulizzatori o rulli. L'applicazione dovrà procedere a strati successivi (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso) in modo da garantire la copertura totale della superficie; dopo l'ultima mano potrà essere applicato un fissativo (caseinato di calcio) addizionato all'acqua. In alternativa al latte di calce ricavato da grassello si potrà utilizzare una parte di calce idraulica naturale NHL 2 stemperata in 4-6 parti di acqua.

5. Tinteggiatura ad affresco

Tecnica pittorica da mettere in opera solo in casi particolari (a causa delle difficoltà operative-logistiche che necessitano una stretta collaborazione tra colui che applica l'intonaco e colui che dovrà "pitturare" la superficie) garantisce senza dubbio maggior brillantezza e durabilità dei colori, i quali penetrano all'interno della superficie intonacata ancora fresca partecipando all'essiccazione e diventano un tutt'uno con il supporto: la tinteggiatura durerà quanto durerà l'intonaco. Dal momento che in questa tecnica l'intonacatura dovrà anticipare di poco le operazioni di tinteggio, sarà indispensabile fissare con attenzione le aree di lavoro giornaliere in modo da localizzare opportunamente le "giunzioni" tra le successive stesure dell'intonaco in aree poco visibili. La "tinta", in questo caso, dovrà essere esente da alcun legante poiché composta solamente da pigmenti naturali accuratamente macinati e stemperati in acqua pura.

Su superfici murali nuove sarà necessario avere molta cura della stesura degli strati di rinzafo e arriccio e, soprattutto, nelle operazioni di bagnatura della superficie prima e dopo l'arriccatura, così da evitare che parti non adeguatamente bagnate sottraggano l'acqua alla malta provocando cavillature che potrebbero facilitare il distacco dell'intonaco. Secondo le indicazioni della D.L. si procederà alla messa in opera del velo (generalmente composto da 1 parte di grassello ben stagionato ed 1 parte di polvere di marmo con l'eventuale aggiunta di 1 parte di sabbia silicea vagliata e lavata) solamente su quelle porzioni che potranno essere tinteggiate nel giro di 2 o 3 ore. Questa operazione potrà essere eseguita con frattazzo di legno, di acciaio o di spugna a seconda delle finiture dell'intonaco che saranno prescritte nel progetto. Nel caso che la superficie presenti una non perfetta levigatura sarà necessario intervenire mediante spazzolatura leggera eseguita con pennello morbido al fine di rimuovere i granuli di sabbia che, ancora mobili, impasterebbero la tinta.

Le tecniche di tinteggio a fresco vere e proprie potranno essere due: la prima darà una superficie compatta e dalla colorazione uniforme, la seconda darà una superficie a velatura. In entrambi i casi non si potrà iniziare a dipingere subito dopo avere steso il velo ma sarà necessario attendere circa 4/6 ore dalla stesura dell'intonaco, quando cioè, premuto un dito sulla superficie, questa non lascia alcuna traccia.

Con la prima tecnica, previa leggera bagnatura, eseguita con nebulizzatore, potrà essere eseguita la tinteggiatura che dovrà essere stesa a pennello in due mani successive, intervallate da circa un'ora, incrociando le pennellate stese in precedenza.

Il colore dovrà essere molto guazzoso ed abbondante, il segnale-spia di un intonaco non più fresco verrà fornito dalla mancata scorrevolezza del pennello. Prima di stendere il terzo ed ultimo strato sarà necessario rullare la superficie con cilindro di vetro (bottiglia di vetro o frattazzo di plastica duro) così da rompere la pellicola vetrosa e far trasudare l'acqua contenuta dalla calce. Compiuta questa operazione si procederà a stendere velocemente il terzo ed ultimo strato di tinta. La seconda tecnica, quella della "velatura", dovrà lasciare intravedere la tramatura dell'intonaco sottostante il quale, per ovvi motivi, dovrà essere eseguito a perfetta regola d'arte. Previa bagnatura della superficie si stenderà una sola mano di colore che dovrà essere molto allungata con acqua. Una volta terminata la stesura del colore, per tutte e due le tecniche sopra descritte, sarà opportuno provvedere a nebulizzare acqua sopra la superficie intonacata così da ritardare l'essiccazione del velo e rendere i colori ancora più brillanti.

Una volta indurito l'intonaco le decorazioni ad affresco potranno essere ritoccate solo a secco.

Al fine di ovviare a veloci degradi, dovuti agli agenti atmosferici ed inquinanti, dopo circa quattro settimane sarà consigliabile, come per le tinteggiature alla calce, provvedere alla stesura di una mano di protettivo a base di silossani.

Specifiche

Una variante della tinteggiatura ad affresco è il "mezzo fresco" ovvero la tinteggiatura su intonaco già "stanco", ossia quasi del tutto indurito; anche in questo caso si utilizzeranno pigmenti in polvere ma al posto dell'acqua verrà utilizzato come "legante" il latte di calce. Chimicamente il risultato che si otterrà sarà molto simile a quello dell'affresco, infatti il latte di calce subisce lo stesso processo di carbonatazione, ma visivamente il risultato sarà diverso: una parete decorata con il metodo del mezzo fresco risulterà più "sbiadita" rispetto ad una decorata ad affresco.

Una sorta di variante rispetto all'affresco è la tecnica del "graffito". Previa la stesura e la quasi asciugatura di una mano di velo diversamente pigmentato, di norma scuro (se non diversamente specificato si eseguirà un velo in grassello di calce, sabbia o pozzolana e carbone di legna polverizzato, rapporto legante inerte 1:2) si stenderà un ulteriore intonachino costituito da calce e sabbia bianca per uno spessore di circa 2-3 mm. Una volta indurito l'ultimo strato si potrà procedere a tracciare a spolvero il motivo ornamentale voluto e successivamente si potrà passare ad incidere con spatole di ferro od altri attrezzi di varia forma, così da evidenziare il decoro attraverso il contrasto cromatico delle due superfici.

6. Pittura a tempera o a colla

La pittura a tempera prevede l'applicazione, su superficie bene asciutta, di una miscela composta da pigmenti colorati dispersi in acqua e di una sostanza legante predominante come la colla animale, la colla vegetale (preferibile perché meno

grassa di quella animale) o più raramente l'uovo, il latte e i suoi derivati. Fondamentalmente la tecnica della pittura a tempera potrà essere eseguita in tre modi:

- stemperare i colori con acqua e dipingere mischiando la soluzione con colla;
- dipingere con i colori senza legante ossia, stemperare con sola acqua i pigmenti e poi, quando la pittura sarà perfettamente asciutta vaporizzare delle soluzioni molto lunghe di colla;
- amalgamare le polveri colorate con la colla e diluire con acqua al momento di dipingere avendo l'accortezza di miscelare bene mediante frusta meccanica.

La quantità di legante (colla) dipenderà dalla sua qualità e dalla quantità dei colori, essendo questi più o meno assorbenti. In linea generale le colle andranno miscelate alle tinte così da conferire loro maggiore adesività; potendo fare con limitatissime quantità, si guadagnerà una maggior purezza della tinta, una maggiore durata e nitidezza e le tinte risulteranno meno soggette ad alterarsi con il passare del tempo. Orientativamente sulla quantità di colla da utilizzare potranno essere fissate le seguenti regole: le tinte per esterni dovranno contenere più colla di quelle per interni; la prima mano di tinta dovrà essere più carica rispetto alle successive e le ultime mani dovranno essere progressivamente meno adesive. Sarà sempre necessario, pertanto, eseguire delle prove al fine di valutare la consistenza della tinta.

La procedura prevedrà, previa stesura di imprimitura uniforme della parete a base di colla ed acqua (in rapporto di 1:2), due mani di colore intervallate da almeno 12 ore, ovvero la seconda dovrà essere stesa solo quando la prima mano risulterà completamente asciutta.

Nella preparazione del primo strato sarà sempre consigliabile (obbligatorio per gli esterni) caricare la tinta con carbonato di calcio o caolino (cariche che resistono meglio all'azione degli agenti atmosferici) mischiati alle polveri colorate, anch'esse ben stemperate. Questa miscela colorata dopo essere stata lasciata riposare e più volte miscelata dovrà prima essere filtrata con un setaccio poi, previa aggiunta di collante, potrà essere utilizzata come tinta. La tinta dovrà essere non troppo densa né troppo fluida.

Nella composizione della tinta finale si potranno utilizzare tutti i colori tenendo presente però che dovranno essere lasciati per un certo periodo di tempo in acqua così da dare modo ai colori in polvere di disciogliersi uniformemente. Sarà preferibile lasciare riposare la tinta per almeno 12 ore così da evitare, a tinteggiatura asciutta, eventuali striature. La tinta per l'ultima mano non dovrà essere né troppo diluita né troppo densa, dovrà essere fluida così da coprire bene senza fare croste.

Il pennello per l'applicazione dovrà essere a setola animale e la stesura dovrà procedere sempre nella stessa direzione (da sinistra a destra, o dall'alto verso il basso incrociando la direzione negli strati successivi). Nell'intingere i pennelli non si dovrà né toccare il fondo del recipiente né comprimere il pennello per fare uscire la tinta. Il grado di resistenza alla temperatura della tinteggiatura a tempera dipende dalle caratteristiche del legante utilizzato.

Specifiche

La tempera non risulterà indicata per le superfici intonacate con malte cementizie e con malte contenenti calce eminentemente o mediamente idraulica.

7. Tinteggiatura ai silicati

La pittura ai silicati si compone essenzialmente di silicato di potassio, sabbia di quarzo e pigmenti minerali. Le pareti da tinteggiare dovranno risultare asciutte sia in superficie che negli spessori retrostanti; questo requisito dovrà essere controllato anche con appositi apparecchi; l'umidità non dovrà superare il 14%. Questa pittura potrà essere applicata su intonaci a base di calce aerea, idraulica o cementizi previa eventuale mano (preferibilmente a spruzzo) di imprimitura:

- le pareti intonacate con malta di calce dovranno preventivamente essere trattate con una soluzione di 0,200 kg di acqua, 0,700 kg di latte non acido e 0,100 kg di grassello di calce;
- le superfici di cemento od intonacate con malta di cemento dovranno essere preventivamente lavate con una soluzione al 5% di acido cloridrico in acqua;
- le superfici in muratura dovranno preventivamente essere lavate con soluzione al 5% di acido solforico in acqua.

Eventuali efflorescenze saline che si rilevassero dopo l'essiccazione dei suddetti trattamenti preliminari dovranno essere asportate mediante spazzolatura prima di iniziare la tinteggiatura.

Le tinteggiature a base di silicati non dovranno essere eseguite su supporti contenenti gesso.

L'inizio delle operazioni di tinteggiatura non dovrà aver luogo prima che siano trascorse almeno 12 ore dai trattamenti preliminari. Tra l'applicazione di una mano di tinteggiatura e l'altra dovranno trascorrere almeno 12 ore e lo strato successivo dovrà essere preceduto dalla accurata spolveratura di quello sottostante.

Il silicato, utilizzato come diluente e fissativo del colore, si presenterà come un liquido denso e trasparente che, diluito con acqua pulita priva di sali (ad es. acqua distillata) e aggiunto con una base di bianco (tipo bianco di Spagna, carbonato di calcio o bianco di zinco, quest'ultimo poco coprente potrà essere utilizzato per raggiungere un effetto finale di trasparenza) e pigmenti minerali macinati finemente, potrà essere steso in due mani mediante pennellesse rettangolari grandi a setola morbida, o spruzzo (con quest'ultimo sistema si otterrà un effetto più omogeneo); in linea generale la resa, in ragione del supporto, potrà essere stimata intorno ai 150-250 g/m² per la prima mano, 100-200 g/m² per la seconda passata. La tinta non dovrà essere applicata su pareti assolate, ed in genere nelle ore più calde, né in condizioni di vento; la tinta potrà essere applicata anche alla temperatura di zero gradi e con tempo umido.

La preparazione della tinta avverrà seguendo una precisa procedura, ovvero si disperderanno il bianco di base (bianco di zinco) e i pigmenti in acqua distillata fino a formare un miscuglio sciolto, dopo si introdurrà il silicato in ragione, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, di 1:8 o 2:8 rispetto alla restante massa; il preparato, a causa dell'instabilità del silicato di potassio, dovrà essere frequentemente amalgamato (in modo che i pigmenti siano sempre ben dispersi) e steso entro le 4 ore successive se si opererà all'interno, 6 se si utilizzerà all'esterno. Sarà pertanto consigliabile preparare la sola quantità di prodotto realmente utilizzabile nei tempi di lavoro previsti. Al fine di stabilizzare il silicato di potassio si potrà aggiungere alla miscela una quantità minima di resina in emulsione (< al 5%). La tinta ai silicati sarà tanto più scura quanto più silicato sarà utilizzato, pertanto sarà consigliabile preparare la tinta prima di mescolarvi il silicato di un tono più chiaro rispetto a quello previsto dal progetto.

Il silicato di potassio a contatto con la superficie d'intonaco genererà la formazione di silice che a sua volta legherà intimamente il pigmento con il sottofondo e lo consoliderà rendendolo durevole e resistente senza la formazione di film continuo (assenza di discontinuità tra finitura e supporto). Questo tipo di pittura renderà quasi del tutto impermeabile il supporto murario ma, allo stesso tempo, manterrà una certa permeabilità al vapore (coefficiente di permeabilità $< 90 \text{ } \mu\text{g/m}^2\text{hPa}$). Con il trattamento ai silicati si otterrà, inoltre, una finitura in grado di contrastare l'attacco da parte di agenti inquinanti (ritenzione dello sporco bassa), atmosferici e dei raggi ultravioletti senza sacrificare l'aspetto estetico. La stabilità cromatica di questo tipo di tinteggiatura permetterà, attraverso l'ausilio di spugna naturale o frattazzo, di mostrare ed esaltare la tessitura e la trama della finitura superficiale dell'intonaco.

Avvertenze

Una volta terminata la tinteggiatura questa non dovrà presentare nessuno dei seguenti difetti: tinta non uniforme ed irregolare, macchie in superficie, croste ed efflorescenze, problemi di adesione, distacchi crostosi, colaggi di tinta, spolvero superficiale, zone lucide, striature, cretti e screpolature.

Specifiche sui pigmenti

I pigmenti da impiegare con i silicati non stabilizzati sono quelli minerali utilizzati per la tecnica dell'affresco; sarà, tuttavia consigliabile eseguire delle campionature al fine di verificare la reale compatibilità: si scioglierà una minima parte di pigmento in una modesta quantità di silicato, se il pigmento non precipita depositandosi sul fondo significherà che sarà idoneo all'uso.

7.1. Tinte semitrasparenti ai silicati organici

Queste tinte si differenzieranno da quelle tradizionali in quanto conterranno, oltre all'agente silicato di potassio legante, una dispersione sintetica resistente agli alcali, cariche, additivi reologici e antibiodeteriogeni; la quantità totale di sostanze organiche potrà raggiungere al massimo il 5% del peso, con riferimento al peso totale del prodotto finito. La dispersione sintetica contenuta in queste tinte organosilicati e che non darà vita a pellicola e perciò non sarà considerata agente legante; queste tinte risulteranno traspiranti ed invecchieranno per progressiva erosione e dilavamento superficiale. La dispersione sintetica avrà soltanto una funzione reologica e protettiva subito dopo l'applicazione della tinta fino a che la "silicificazione" non progredisca in modo sufficiente. Sovente in questa seconda tipologia di tinta ai silicati non si fa uso di pigmenti bianchi (con elevato potere coprente), di conseguenza risultando semitrasparente potrà rivelarsi valida alternativa alla tinta alla calce specialmente in ambienti esterni particolarmente aggressivi sia dal punto di vista climatico che atmosferico. L'invecchiamento di queste pitturazioni si manifesta con un degrado per successivi erosione e dilavamento, come per quelle alla calce ma molto più lento e controllato.

Indicazioni per l'applicazione

Le tinte ai silicati organici, come le tinte alla calce, non potranno essere applicate su supporti precedentemente trattati con pitture a base di leganti polimerici (in questi casi prima di eseguire la tinteggiatura sarà necessario rimuovere la vecchia pellicola pittorica mediante spazzolatura, raschiatura e/o sabbiatura controllata fino ad asportazione completa).

Intonaco antico di malta di calce aerea e/o idraulica e in buono stato di conservazione: si potrà procedere, previa leggera pulitura ed eventuale spazzolatura con scopa di saggina dura al fine di asportare ogni residuo di polvere, direttamente alla stesura della mano di fissativo ai silicati e di due mani di tinta, opportunamente diluite, stese con estrema accuratezza (il colore dovrà essere steso sempre nello stesso verso orizzontale o verticale, senza ripassare troppe volte sullo stesso punto, bisognerà fermarsi allorché la superficie diventa di nuovo assorbente) e a 12 ore (meglio dopo 24 ore) di distanza l'una dall'altra. In alternativa al fissativo ai silicati la superficie potrà essere preparata con una o due mani di un composto a base di acqua, latte bollito e calce idrata nelle seguenti proporzioni: acqua 20 l, latte bollito 65 l, grassello di calce 25 dm³, calce idrata in fiore 30 dm³. Nel caso in cui siano presenti alghe, funghi, muschi, licheni sarà necessario bonificare e/o disinfestare l'intonaco con idonei biocidi.

Intonaco nuovo di malta di calce aerea e/o idraulica: è opportuno, prima di procedere alla stesura del fissativo ai silicati e alla doppia mano di tinteggiatura, attendere almeno 4 settimane dal completamento dello stesso; nel caso l'intonaco fosse realizzato in malta bastarda (calce e cemento) o di solo cemento è, inoltre, consigliabile provvedere ad un trattamento al fine di neutralizzare l'alcalinità e abbassare il pH dell'intonaco. Questa operazione risulta particolarmente indicata in caso di rappezzo di intonaco eseguito con malta bastarda: in questo caso, infatti, è basilare uniformare il pH dell'intonaco così da evitare un diverso grado di igroscopicità tra intonaco antico e nuovo rappezzo ed il conseguente fenomeno della comparsa di macchie a tinteggiatura ultimata.

Superfici non omogenee (rappezzi): l'applicazione di queste tinteggiature (fissativo + 2 mani di tinta) su superfici non omogenee, caratterizzate da rappezzi realizzati in epoche diverse od in presenza di efflorescenze saline, dovrà essere preceduta da un trattamento di fluatazione tramite l'utilizzo di fluosilicati di magnesio e alluminio, allo scopo di trasformare i sali solubili in acqua in composti insolubili, in tal modo vengono bloccate ulteriori possibilità di sviluppo di efflorescenze saline e, nello stesso tempo, viene omogeneizzata la struttura chimica del supporto, garantendo lo stesso livello di reattività alcalina. Il supporto su cui intervenire non dovrà, inoltre, presentare residui di pitturazioni sintetiche. Il trattamento con fluatanti è a base acida contrariamente alle pitture ai silicati che sono a base alcalina per cui è fondamentale evitare il contatto diretto tra pittura e fluatante ancora bagnato. In alternativa al lavaggio fluatante, dietro specifica indicazione delle D.L., si potrà operare un accurato lavaggio con acqua possibilmente calda e vaporizzata del vecchio intonaco avanti l'esecuzione dei rappezzi e, cosa indispensabile, lasciare stagionare per almeno 4 settimane la superficie rappezzata.

Pietre naturali: prima di procedere si dovrà accertare che la superficie sia opportunamente asciutta, compatta, ben pulita, esente da efflorescenze saline. Dopo un pre-trattamento con fissativo ai silicati di procederà all'applicazione di due mani di tinta.

Specifiche

Prima di iniziare la tinteggiatura ai silicati sarà opportuno schermare con cura le parti che non dovranno essere dipinte (in particolar modo le parti in vetro, in pietra, in ceramica e in metallo), gli eventuali spruzzi dovranno inoltre essere rimossi celermente con abbondante acqua e non lasciati asciugare in quanto la pittura al silicato risulta irreversibile una volta asciutta.

8. Applicazione trattamento antigraffito

I graffiti, generalmente presenti sulle superfici dei materiali che rivestono gli edifici, sono realizzati mediante vernici spray e pennarelli indelebili e, come tali, particolarmente difficoltosa potrà risultare la loro asportazione; l'uso di solventi o della sabbatura, anche se in parte metodi efficaci, risulteranno tecniche troppo aggressive tanto da alterare la natura stessa del supporto.

Al fine di agevolare la rimozione di queste vernici, si potrà preventivamente trattare la superficie (pietra, laterizio ed intonaco) mediante formulati capaci di limitare i danni provocati dai graffiti ovvero impedire l'assorbimento delle vernici e degli inchiostri da parte del materiale; questi prodotti potranno essere permanenti (resistendo a più cicli di pulitura) o sacrificali (la loro durata si limiterà ad un solo intervento di pulitura). I protettivi permanenti si comporranno di sostanze fluorurate (alchilfluorosilano), resine poliuretaniche e miscele di resine sintetiche; quelli sacrificali invece, da cere microcristalline, polisaccaridi, resine acriliche e sostanze siliconiche. In entrambi i casi, i prodotti utilizzati dovranno essere: trasparenti (il più possibile in modo da non alterare l'aspetto cromatico della superficie), impermeabilizzanti, traspiranti, oleofobici e capaci di consentire la rimozione del graffito ricorrendo a tecniche che non implichino apparecchiature specifiche. Il prodotto, che dovrà essere messo in opera su superfici pulite ed asciutte, potrà essere applicato a pennello, rullo o a spruzzo; la temperatura di applicazione dovrà essere compresa tra i +5 °C e i +35 °C e in assenza di fenomeni come: sole battente, pioggia o vento. Dovrà, inoltre, essere resistente ai raggi UV e non originare solventi durante l'applicazione. Dopo la stesura, il prodotto dovrà asciugarsi e stagionarsi (il tempo sarà relazionato alle diverse tipologie di materiale) dopodiché risulterà efficace. La tecnica di rimozione del graffito dal protettivo antigraffito dipenderà dal tipo di prodotto utilizzato; generalmente per i protettivi non sacrificali verrà utilizzato lo specifico remover, asportato poi con acqua e spugna, mentre per quelli sacrificali potrà essere sufficiente acqua calda, spugna ed eventualmente spazzolino a setole morbide.

Specifiche

L'uso di protettivi sacrificali, in virtù della loro estrema reversibilità, risulterà particolarmente adatto per edifici di valenza storica.

9. Sagramatura

La procedura si pone l'obiettivo di proteggere e regolarizzare gli apparecchi "faccia a vista" in mattoni: avrà come caratteristica principale quella di lasciar trasparire la trama muraria dell'apparecchio retrostante. Questa leggerissima velatura verrà realizzata applicando, su muratura abbondantemente bagnata, con l'ausilio di cazzuola o lama metallica, uno strato di malta molto sottile (circa 1-2 mm), rifinito e lisciato con cazzuola americana o rasera in legno in modo da seguire le irregolarità della cortina a mattoni.

L'impasto sarà a base di calce aerea in pasta e polvere di cocciopesto, ad esempio, per sagramatura a velo (spessore 1-1,5 mm) si potrà ricorrere ad un impasto composto da: 1 parte di grassello di calce; 1,5 parti di cocciopesto vagliato e lavato (granulometria impalpabile 000-00 mm) eventualmente pigmentato (massimo 5%) con terre naturali (terre rosse ventilate, terra di Siena bruciata, terre d'ombra ecc.) al fine di ritrovare l'intensità cromatica preesistente. In presenza di cortine non perfettamente arrotate o nel caso si debba mettere in opera una sagramatura semi trasparente (in ogni caso spessore massimo 2-3 mm), si potrà impastare 2 parti di grassello di calce; 0,5 parti di calce idraulica naturale bianca NHL 2; 4 parti di cocciopesto vagliato e lavato (granulometria polvere 0-1,2 mm), anche questo impasto potrà essere eventualmente additivato con pigmenti naturali. In ogni caso per la buona riuscita della procedura sarà opportuno dedicare attenzione alle operazioni preliminari di preparazione del supporto ovvero: accurata pulitura (se non diversamente specificato negli elaborati di progetto) con spazzole di saggina e spray di acqua deionizzata; eventuale, successiva, rimozione (eseguita con l'ausilio di martelline, mazzette e scalpelli od altri strumenti esclusivamente manuali) delle malte degradate dei giunti e successiva stuccatura puntuale (con malta pigmentata o caricata con cocciopesto) di ogni soluzione di continuità presente sull'apparecchio murario; la stuccatura dovrà essere particolarmente curata ed eseguita da mano esperta; l'impasto che potrà essere steso con l'ausilio di cazzuolino cucchiaretto o piccole spatole a foglia d'olivo sarà costituito da calce aerea sabbia silicea vagliata e lavata e polvere di cocciopesto (granulometria 0-1,2 mm) in rapporto legante-inerte 1:3 (per maggiori dettagli sulla stuccatura di elementi in cotto si rimanda alla procedura specifica).

La tecnica tradizionale prevede la lisciatura eseguita mediante levigatura a mano con altro mattone più duro mantenendo al contempo bagnata la superficie affinché le materie (strato di malta e polvere di sfregamento) si possano impastare e colorare uniformando la cortina muraria.

Avvertenze

Sovente, a lavoro ultimato, si potrà riscontrare una mancanza di compattezza e uniformità nel colore causato dalla sagramatura; nel caso si volesse compattezza ed uniformità cromatica si potrà trattare la superficie con un passaggio di acqua sporca di terra colorante cosicché lo strato di malta possa assumere l'unità cromatica richiesta dagli elaborati di progetto (per maggiori dettagli sulla tecnica dell'acqua sporca si rimanda alla procedura specifica).

10. Patinatura

L'operazione di patinatura sarà eseguita mediante spolvero di pozzolana allo scopo di rendere (mediante velatura di colore) le eventuali integrazioni non troppo discordanti dagli elementi originali e, allo stesso tempo, di unificare il grado di porosità con conseguente diverso assorbimento d'acqua piovana e umidità di risalita tra i materiali originali e quelli di restauro.

Dopo aver ben pulito con spazzole di saggina ed acqua i residui di malta presenti sulla cortina si procederà a gettare a

mano, sulla superficie ancora umida, la polvere di pozzolana vagliata e ben asciutta (granulometria 0-1 mm) la quale si attaccherà in modo omogeneo sulla parete umida restando inglobata nel velo di carbonato presente sulla superficie della cortina. Passate una o due settimane la polvere non inglobata verrà rimossa mediante pennellata morbida da imbianchino, alla fine del cantiere (quando si smonteranno i ponteggi) si ripasserà sulla superficie con una leggera spazzolatura mediante spazzole di saggina.

11. Trattamento con olio di lino crudo e cere naturali

Il trattamento protettivo, (rivolto in modo particolare ai pavimenti in cotto) dovrà sempre avvenire su pavimento perfettamente pulito ed asciutto; pertanto sarà necessario intervenire, preventivamente, all'asportazione di sostanze inquinanti (efflorescenze saline, crescite microorganiche, concrezioni ecc.) o più generalmente con un trattamento di pulitura, sgrassatura o deceratura (al fine di rimuovere tutti i depositi superficiali compresi i residui di trattamenti precedenti utilizzando ad esempio acqua deionizzata e spazzole morbide, prodotti sgrassanti, deceranti e sfilanti), inoltre dovranno essere stuccate le eventuali cavità o fessurazioni presenti sugli elementi in cotto e, se indicato dagli elaborati di progetto, gli stessi dovranno essere trattati mediante un consolidamento a base di silicato di etile. Passati almeno 20-30 giorni, dall'eventuale consolidamento a base di silicato di etile si potrà applicare (con l'ausilio di stracci, pennelli o rulli) una prima mano di olio di lino crudo in soluzione al 10% con acquaragia, ed una seconda mano al 20% sempre in soluzione di acquaragia, da effettuarsi solo dopo l'assorbimento del primo passaggio (cioè quando la superficie sarà in grado di assorbire ancora, dopo circa 3-4 h), passati circa 20-30 minuti dall'ultima passata, l'eventuale, eccesso di prodotto non assorbito verrà tolto con un pennello od un panno pulito. A superficie perfettamente asciutta (circa 6-8 giorni) si applicherà la stesura finale di cera naturale animale o vegetale (tipo cera d'api o cera carnauba) o minerale (cera paraffina o microcristallina) in modo uniforme, l'applicazione della cera dovrà essere ripetuta due o più volte (consumo medio del prodotto 10-20 l/m² in ragione del grado d'assorbimento del supporto), ad intervalli di 4/5 ore una dall'altra con minime quantità così da permettere il perfetto assorbimento. Se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si utilizzerà la cera d'api naturale diluita in acquaragia vegetale o essenza di trementina sia come finitura (o manutenzione ordinaria) di superfici lignee impregnate o laccate, sia su superfici in cotto o pavimenti in battuto alla veneziana. Ad avvenuta essiccazione si passerà all'operazione di lucidatura con panno o spazzola morbida.

In alternativa si potranno utilizzare le cere microcristalline le quali presenteranno migliori caratteristiche rispetto a quelle animali (cera d'api), repellenza verso l'umidità e verso i depositi superficiali, trasparenza, reversibilità anche dopo molto tempo, proprietà di flessibilità alle basse temperature, buona stabilità ai raggi UV, generalmente utilizzate in soluzione al 40% in toluene o in soluzione al 20% in ragia vegetale.

Le manutenzioni dei pavimenti in cotto andranno ripetute periodicamente. Previo lavaggio con blando detergente liquido non schiumogeno, sui pavimenti interni si effettuerà la stesura di cera liquida emulsionata alla quale seguirà lucidatura con feltro o panno di lana.

12. Protezione di cornici ed elementi decorativi aggettanti

La protezione delle cornici e degli elementi decorativi aggettanti, al fine di ovviare all'infiltrazione delle acque meteoriche, potrà essere realizzata ricorrendo all'ausilio di elementi in metallo, comunemente denominati "scossaline", piegati e sagomati secondo le specifiche necessità. I materiali comunemente utilizzati sono: il piombo, il rame e la lamiera zincata. La procedura prevede la messa in opera, sull'elemento da proteggere, di una lastra (spessa circa 1,5 mm) più larga della superficie da coprire (almeno 10 cm per parte) tagliata e sagomata in opera. Nel caso in cui debbano essere protetti elementi aggettanti addossati alla muratura si procederà alla realizzazione di uno scasso (profondo non meno di 3 cm), lungo il profilo dell'oggetto, necessario per poter murare la lamina; lo scasso dovrà essere adeguatamente richiuso tramite accurata stuccatura rifinita a sguscio così da evitare gli inconvenienti legati al ristagno dell'acqua.

Dopo aver sagomato la lamina sulla superficie, si procederà ripiegando la parte eccedente del foglio di piombo sul bordo dell'oggetto (praticando dei tagli così da consentirne la piegatura) utilizzando, per questo, una tavoletta di legno appoggiata sul lembo piegato battendola, lievemente, con un'altra tavoletta in modo da farla meglio aderire alla superficie. Il materiale in eccesso potrà essere tagliato utilizzando un ferro piegato ad L dotato di punta sull'estremità: il passaggio del ferro sull'estradosso dell'oggetto garantirà il taglio della lamina. Le sovrapposizioni delle parti ripiegate potranno essere fermate tramite graffette così da impedirne il movimento. Si procederà poi nella pulitura, mediante spazzola metallica, dei lembi da saldare così da renderli scabri; la superficie dovrà essere scaldata con un cannello a gas applicando contemporaneamente la stearina (in modo da garantire la perfetta adesione del metallo al riporto), infine si fonderà una barretta composta di una lega di stagno e piombo sul giunto da sigillare. La perfetta adesione e stabilità delle protezioni sommitali delle superfici aggettanti (specialmente se di considerevoli dimensioni) potrà essere ulteriormente garantita con la messa in opera di tasselli chiodati di cui si dovrà provvedere a proteggere la testa con un rettangolo di piombo saldato alla lastra principale in modo da ostruire i fori, evitando possibili infiltrazioni di acqua.

13. Coperture provvisorie - Protezione dei siti archeologici

La procedura prevede la messa in opera di particolari presidi di protezione al fine di salvaguardare i materiali e le strutture architettoniche dagli effetti delle condizioni patologiche generate da cause non direttamente affrontabili e risolvibili nell'ambito dell'intervento come, ad esempio, la presenza di sostanze inquinanti nell'atmosfera, le piogge acide, il ruscellamento delle acque piovane ecc. Nei siti di scavo archeologico o in presenza di manufatti ridotti allo stato di rudere risulterà essenziale la messa in opera di ripari, tettoie temporanee stagionali o fisse per evitare l'azione delle piogge e ridurre gli effetti delle variazioni termiche e del particolato atmosferico.

Nella scelta della tipologia di copertura da adottare si dovrà tenere conto della natura e dello stato di conservazione di ciò che necessita di protezione e delle effettive condizioni climatiche del luogo, evitando di utilizzare materiali che potrebbero innescare interazioni chimiche e fisiche con quanto è stato ritrovato; dovrà, inoltre, essere valutata la durata di esercizio del sistema di protezione poiché esiste una sostanziale differenza tra le coperture temporanee messe in opera in funzione degli interventi connessi con il cantiere archeologico (scavo, restauro ecc.) da quelle che dovranno poi permanere anche

a lavori ultimati al fine di garantire una conservazione prolungata del sito.

Le coperture provvisorie comprenderanno: teli e strutture in elevazione.

I teli in nylon, polietilene (PE) o in fibre di polipropilene (PP) trasparenti, bianchi, neri, blu o verdi sono facili da applicare, offrono la possibilità di adattarsi a diverse situazioni; risultano essere impermeabili all'acqua e all'aria, sono capaci, inoltre, di fornire una buona resistenza all'azione meccanica di piogge molto forti. L'impermeabilità del materiale può essere la causa di pericolosi ristagni di acqua, causati da forti acquazzoni, nelle zone caratterizzate da superfici articolate; in questo caso la pressione del liquido solleciterà sia le strutture protette sia il telo che potrebbe strapparsi causando pericolose e inevitabili infiltrazioni. Per questo risulterà di basilare importanza la corretta messa in opera dei teli ed il loro periodico controllo dello stato di conservazione così da poter provvedere alla manutenzione o, se necessario, sostituzione.

In linea generale, se non diversamente specificato dalla D.L. o dalla D.S., si utilizzeranno teli in polietilene o in fibre di polipropilene di colore scuro, di medie dimensioni (2x2 m o 3x3 m) e solo per il tempo strettamente necessario a proteggere i reperti dalle precipitazioni o per impedire l'asciugatura. L'uso di teli per proteggere aree direttamente esposte all'irraggiamento solare è sconsigliato, in particolare si dovrà escludere l'uso di teli trasparenti nel caso di reperti organici o dipinti murali a secco. Nel caso di utilizzo di teli per protezione di reperti inorganici sarà conveniente apporli sollevati di qualche centimetro dalle strutture da proteggere poiché il mancato riciclo dell'aria potrebbe implicare la creazione di un microclima, tra telo e strutture, tale da favorire lo sviluppo di colonie batteriche e il lento disfacimento degli elementi che costituiscono i ritrovamenti. È opportuno, nel caso di permanenza prolungata dei teli sui reperti, effettuare un preventivo trattamento antibiotico per ovviare ad eventuali attacchi biologici e, quando possibile, interporre tra il telo in plastica e le strutture da proteggere un geotessuto.

In alternativa ai teli in polietilene potranno essere usati geotessuti e tessuto-non-tessuto ovvero teli in fibre saldate di poliestere o di polipropilene, permeabili, bianchi; se non diversamente specificato dalla D.L. o dalla D.S. si potranno impiegare come protezione a contatto temporaneo, dalle polveri, dai materiali di risulta ma anche dall'azione meccanica delle piogge e dall'eventuale calpestio. In linea generale si impiegheranno teli di dimensione non superiore a 4-5 m² adagiandoli sulle superfici dei manufatti in modo tale da seguirne i profili, non dovranno essere messi in tensione così da non danneggiare eventuali creste di muro decoese. In caso di pioggia dovranno necessariamente essere rimossi dal manufatto, prima del loro nuovo posizionamento dovranno essere fatti asciugare e spolverati; se le precipitazioni piovose diventano cospicue e frequenti dovranno essere coperti da teli in polietilene o in fibre di polipropilene. Anche per questo tipo di teli si renderà necessario il periodico controllo dello stato di conservazione così da poter provvedere alla manutenzione o, se necessario, sostituzione.

Le protezioni in elevazione saranno, in linea di massima, caratterizzate da una struttura portante verticale che sostiene una struttura di copertura (tettoia). La struttura di copertura, indipendentemente dalla tipologia prescelta (a capanna, a falda unica ecc.), dovrà possedere la prerogativa di essere reversibile ovvero, offrire la possibilità di essere montata e smontata senza arrecare nessun danno al sito, di essere neutrale, vale a dire essere la più semplice possibile (evitando qualsiasi esercizio formale) e possedere un'altezza (tra i 3,5 m e i 4 m, altezza minima frequentabile 2,20 m) tale da consentire tutte le operazioni legate al cantiere archeologico, come le procedure di scavo, le procedure di conservazione e quelle di documentazione come le riprese zenitali. La tettoia, se non diversamente specificato dalla D.L. o dalla D.S., dovrà essere dotata di un sistema di raccolta e deflusso delle acque meteoriche le quali dovranno essere condotte lontano dall'area archeologica e scaricate in appositi pozzetti di raccolta. Nel caso di siti ancora aperti sarà necessario che la tettoia sia abbastanza ampia in modo da garantire l'eventuale sviluppo dello scavo. In linea generale il perimetro della copertura non dovrà superare i 30/35 m², per estensioni maggiori si potrà ricorrere alla combinazione di più moduli contigui. Le strutture di copertura dovranno assicurare stabilità tanto da sopportare le sollecitazioni anche di forti venti o precipitazioni nevose, pertanto i punti di appoggio della struttura portante verticale dovranno avere una distanza tra l'uno e l'altro non superiore a 150 cm. La trasparenza della copertura dovrà essere tale da agevolare le operazioni di scavo evitando però di implicare la crescita di vegetazione (macro e microflora) nel sito (non dovranno per questo essere eccessivamente trasparenti).

Le coperture in elevazione se non diversamente specificato, potranno essere realizzate con una struttura portante verticale in metallo zincato (ad es. sistema dei tubi innocenti con diametro esterno minimo 49 mm) ed orizzontamenti in materiale sintetico (polietilene, nylon ecc.) o metallico (lamiera grecata o microdogata) anch'esso zincato o quantomeno trattato con prodotto anti-corrosivo. L'inclinazione della tettoia, se non diversamente specificato dalla D.L. o dalla D.S., dovrà essere minimo del 10% (per ogni metro lineare) nel caso siano previste solo precipitazioni piovose e del 20-25% qualora siano previste anche precipitazioni nevose. Queste coperture, di facile impiego e di rapida messa in opera, offrono la possibilità di adattarsi alle diverse esigenze di scavo. Qualora la protezione temporanea sia ubicata all'interno di un'area pubblica o, in ogni caso, accessibile al pubblico, dovrà, necessariamente, essere dotata di idonea recinzione: questa, a seconda del luogo e delle necessità operative potrà essere realizzata con pannelli di lamiera grecata o microdogata, con rete o membrane in polipropilene o in polietilene estruso ad alta densità (HDPE) per recinzione dei cantieri, ovvero con altro sistema da concordarsi con la D.L. o la D.S.

Specifiche sui materiali

La categoria dei geotessuti comprenderà i prodotti ottenuti dalla combinazione di fibre di poliestere e caratterizzati da una forte resistenza alla trazione, di norma utilizzati per costituire strati filtranti, di separazione (interfaccia tra strati archeologici e strati di materiale di riporto), contenimento, drenaggio in opere di terra (rilevati, scarpate, strade, giardini, rinterri di scavi ecc.) ed in coperture ovvero per foderature. Si distingueranno in:

- tessuti: stoffe realizzate intrecciando due serie di fili (realizzando ordito e trama);

- non-tessuti: feltri costituiti da fibre o filamenti distribuiti in maniera casuale, legati tra loro con trattamento meccanico (agugliatura) oppure chimico (impregnazione) oppure termico (fusione). Si avranno non tessuti ottenuti da fiocco o da filamento continuo.

Tessuti-non-tessuti, prodotti composti da sottili filamenti di polipropilene stabilizzato ai raggi UV, saldati tra loro per termopressione. Si presenteranno come teli non tessuti, ma formati da una massa disordinata molto morbida e resistente,

traspirante e alcuni potranno essere dotati di una buona permeabilità all'acqua. Nelle grammature medio basse (15-30 g/m²) potranno essere utilizzati per protezione a contatto di reperti mobili.

14. Protezione delle creste dei muri

Lo scopo che si prefigge tale procedura è quello di garantire la conservazione delle sommità dei muri e delle parti in vista dei manufatti architettonici ridotti allo stato di rudere tramite la realizzazione di "superfici di sacrificio" che si degradano, nel tempo, al posto della muratura sottostante. Le porzioni di muratura superiori, soprattutto quando si tratta di manufatti archeologici, costituiscono la parte più debole e più esposta al degrado, quella che più di altre è soggetta a subire l'azione meccanica della pioggia e l'aggressione dalle erbe infestanti; per questo, in assenza di un'adeguata protezione, l'infiltrazione delle acque e la disgregazione delle malte avviano il lento disfacimento della muratura. Le diverse tipologie di intervento indirizzate a salvaguardare le creste dei muri sono accomunate da alcuni accorgimenti preliminari indispensabili al fine di garantire la buona riuscita della specifica operazione di protezione. Indipendentemente dalla risoluzione che verrà prescelta, l'intervento di protezione dovrà risultare in ogni sua parte facilmente riconoscibile distinguendosi chiaramente dalla preesistenza così da non ostacolare e confondere la leggibilità dei muri e l'analisi stratigrafica.

Operazioni preliminari

Rilievo dello stato di fatto: pianta al livello del terreno e della cresta, sezioni verticali (intervallate ogni 30-60 cm) per tutta la lunghezza della cresta da proteggere;

- asportazione delle eventuali erbe infestanti presenti nella zona sommitale della muratura, verificando, preventivamente, se i loro apparati radicali si sono sviluppati in profondità, ramificandosi all'interno della muratura tanto da contribuire all'effettiva stabilità della struttura. La rimozione della vegetazione e delle eventuali incrostazioni di licheni nocivi rinvenuti (ricorrendo a trattamenti biocidi) dovrà essere realizzata seguendo quanto riportato negli articoli specifici;
- pulitura meccanica della superficie ricorrendo all'utilizzo di spazzole di saggina o di aspiratore e successivo lavaggio con acqua deionizzata allo scopo di rimuovere lo sporco rinvenuto (terra e depositi vari) seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici;
- consolidamento ed, eventuale, integrazione della muratura se necessario procedendo seguendo le indicazioni riportate negli specifici articoli;
- stuccatura delle eventuali fessure presenti tra i diversi elementi (previa rimozione della malta ammalorata) utilizzando malta di calce (eventualmente addizionata a cocchiopesto) o con stoppa imbevuta di calce.

14.1. Protezione delle creste dei muri con la messa in opera di bauletto di malta

Previo esecuzione delle operazioni preliminari precedentemente descritte, questo tipo di protezione si effettua mediante la realizzazione, al disopra della cresta muraria, di uno strato di malta modellato a "schiena d'asino" (bauletto di malta), alto circa 10-15 cm e caratterizzato da una superficie omogenea, allo scopo di agevolare lo scorrimento delle acque piovane. La composizione della malta da impiegare dovrà avere un rapporto legante/inerte 1:3: il legante potrà essere costituito da una combinazione, in proporzione del 50%, di calce idraulica e calce grassa con inerti preferibilmente ricavati dalla triturazione di pietre analoghe a quelle costituenti la muratura da proteggere, così da evitare fenomeni dovuti ad una incompatibilità fisico-meccanica tra la malta e la muratura antica (ad esempio: 2 parti di calce idraulica naturale, 2 parti di grassello di calce, 12 parti di sabbia lavata e vagliata oppure, in alternativa, 0,5 di calce idraulica naturale, 0,5 di grassello di calce, 1 parte di pietra calcarea a grana media, 1 parte di pietrisco a grana grossa, 1 parte di sabbia a grana fine). Le cretture da ritiro potranno essere evitate aggiungendo al composto prodotti antiritiro così da evitare inconvenienti riconducibili all'infiltrazione dell'acqua all'interno della muratura. Al fine di garantire una maggiore protezione alla cresta potrà essere inserita, tra la muratura e il bauletto, una lamina di piombo. Nel caso in cui si tratti di proteggere una cresta particolarmente estesa in lunghezza (oltre i 10 m) sarà opportuno interrompere il bauletto (ogni 6 m) interponendo dei giunti di dilatazione opportunamente sigillati con materiale a comportamento plastico/elastico.

14.2. Protezione delle creste dei muri con la messa in opera di malta e sassi infissi

La messa in opera di malta e sassi a protezione delle creste dei muri risulta essere, tra le diverse superfici di sacrificio realizzabili, l'operazione più semplice. Dopo aver effettuato le operazioni preliminari precedentemente descritte, si procederà alla messa in opera, direttamente sulla superficie della cresta, di una guaina (o tessuto-non-tessuto), il cui scopo dovrà essere quello di assolvere una funzione strutturale (impermeabilizzante) così da prevenire l'eventualità sia di dannose infiltrazioni di acqua agevolate dal profilo frastagliato della cresta, sia di delimitazione dell'intervento facilitandone, allo stesso tempo, la rimozione. Al di sopra della guaina dovrà essere steso uno strato di malta (alto circa 5-8 cm) nel quale saranno infissi o sassi o frammenti di laterizio, in maniera tale da inglobarli, ma non ricoprirli, nella malta. La malta dovrà essere di calce idraulica naturale (o contenere limitate quantità di cemento bianco) all'occorrenza addizionata con prodotti antiritiro così da evitare il probabile inconveniente di cretture da ritiro e da gelività, causa principe di infiltrazioni d'acqua all'interno di murature. La composizione della malta dovrà tener conto delle caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale costituente la muratura da proteggere allo scopo di evitare danni riconducibili ad una incompatibilità materica tra le due superfici. Lo scopo dei sassi è quello di ovviare ad una monotona uniformità delle superfici così da rendere la linea delle creste più frastagliata.

In relazione al materiale (sassi) che verrà messo in opera, varierà la composizione della malta: per pietre calcaree si potrà utilizzare una malta rapporto legante inerte 1:2,5 (3 parti di calce idraulica naturale, 1 parte di grassello di calce, 10 parti di sabbia lavata e vagliata); nel caso di pietre silicee la malta potrà avere un rapporto legante inerte 1:3 (2 parti di calce idraulica naturale, 1 parte di cemento bianco, 12 parti di sabbia lavata e vagliata); per la messa in opera di laterizi la composizione della malta potrà avere un rapporto legante inerte 1:2,5 (1 parte di calce idraulica naturale, 3 parti di grassello di calce, 2 parti di cocchiopesto, 8 parti di sabbia lavata e vagliata).

L'operazione si concluderà con l'applicazione (per infiltrazioni o pennellature) del trattamento protettivo idrorepellente delle

superfici; tale trattamento dovrà essere ripetuto nel tempo ad intervalli regolari così da mantenere l'efficacia e la durata della protezione.

14.3. Protezione delle creste dei muri utilizzando strati di sacrificio

Dopo aver eseguito le operazioni preliminari precedentemente descritte si procederà alla messa in opera, sopra alla cresta del muro, di uno spessore costituito da più filari (da 3 a 5 in relazione all'altezza del muro da proteggere), in laterizio o pietra. La procedura consiste nel posizionamento di più strati sovrapposti di altezza costante seguendo la linea frastagliata della parte sommitale del muro. La scelta del materiale che costituirà i diversi strati dovrà essere fatta tenendo conto che, ad intervento ultimato, la copertina dovrà ben distinguersi dalla muratura; tenendo presente questa priorità, i diversi filari potranno essere realizzati in diversi modi, ad esempio ricorrendo a materiali della stessa natura di quello presente nella muratura ma diversi per grandezza, con materiale reperito in situ da eventuali crolli, oppure differenti dall'originale tenendo conto però, che tale soluzione potrebbe comportare inconvenienti legati all'incompatibilità materica con la preesistenza. La malta da utilizzare per allettare i diversi filari dovrà essere tale da possedere caratteristiche meccaniche simili a quelle della muratura sottostante così da evitare fenomeni degenerativi riconducibili ai diversi comportamenti delle due superfici. La copertina dovrà essere, infine, sottoposta a trattamento protettivo idrorepellente (per pennellatura o per infiltrazione) ripetuto, ad intervalli regolari, nel tempo. Al fine di demarcare meglio il confine tra la struttura e la copertina e, allo stesso tempo, garantire una buona impermeabilizzazione della muratura da proteggere, potrà essere interposta, tra la cresta e i filari, una guaina.

15. Dissuasori per volatili

Lo scopo che si prefigge tale procedura è quello di dissuadere la sosta e la nidificazione di piccioni, tortore, colombe di città, gabbiani ecc. i quali, colonizzando il manufatto, provocano accumulo di materiale organico che, tramite l'azione acida e corrosiva amplificata sia dall'instaurarsi di microrganismi (il guano offre un terreno di coltura ideale sia per gli ectoparassiti quali acari, pulci, cimici e zecche, sia per la proliferazione di organismi microscopici, quali batteri, virus, muffe e funghi, generando un pericolo per il personale che frequenta le aree contaminate), sia dalla non trascurabile azione meccanica distruttiva delle unghie degli animali stessi che scalfiscono la superficie dei materiali, costituisce una minaccia permanente per i manufatti, causando, talvolta, danni anche irreversibili. Le zone di accumulo corrispondono, di norma, alle parti superiori degli oggetti, agli elementi di ornato e a zone della fabbrica difficilmente accessibili e, pertanto, ampiamente utilizzate dai volatili per la sosta e la nidificazione.

In linea generale i sistemi di dissuasione o allontanamento volatili dovranno essere efficaci, esteticamente "invisibili", duraturi nel tempo ossia non essere danneggiati da agenti inquinanti presenti nell'atmosfera, di facile installazione e non offensivi per gli animali.

Operazioni preliminari comuni sia a dissuasori meccanici che elettrostatici

- Pulitura accurata delle superfici con asportazione meccanica delle eventuali incrostazioni e spazzolatura con spazzole di saggina o aspiratori e successivo lavaggio con acqua seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.
- Consolidamento ed eventuale integrazione di parti seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.
- Accurata stuccatura delle eventuali fessure presenti tra i diversi elementi impiegando malta di calce idraulica naturale e sabbia di origine alluvionale, seguendo le indicazioni riportate negli articoli specifici.

15.1. Protezione delle superfici estradossali con sistema meccanico a sproni

Previa esecuzione delle operazioni preliminari precedentemente descritte, la procedura prevede l'incollaggio con collante siliconico neutro (così da garantire una adeguata aderenza al supporto ed una facile rimozione, in caso di necessità, senza lasciare macchie e senza provocare alterazioni o degrado sulle superfici), di dissuasori meccanici composti da banda flessibile in policarbonato e sproni in acciaio inox opacizzato, smontabili, di lunghezza variabile da 10 a 15 cm e diametro di circa 1-1,2 mm. Gli elementi metallici (a spillo singolo, multispillo o a riccio) non dovranno essere soggetti ad alterazioni causate da fattori climatici o chimici, dovranno, inoltre, essere molto flessibili così da ostacolare la sosta del volatile ma, allo stesso tempo, non provocare ferite allo stesso. A seconda delle varie esigenze di localizzazione (balconi, modanature di aperture, elementi decorati, marcapiani ecc.) e previa attenta valutazione sul comportamento del volatile (punti di sosta, nidificazione, deambulazione ecc.) gli sproni saranno montati sulla banda più o meno fitti, verticali, orizzontali, incrociati con varie inclinazioni, singolarmente o su entrambi i lati. La suddetta banda dovrà essere posizionata leggermente arretrata rispetto al bordo (così da non essere visibile dal basso) e disposta in modo tale da non consentire l'atterraggio di volatili.

15.2. Protezione delle superfici estradossali con sistema di tipo elettrostatico

Previa esecuzione delle operazioni preliminari precedentemente descritte, la procedura prevede il posizionamento del sistema elettrostatico che si basa su rapidissimi impulsi elettrici ad alta tensione ma a bassa corrente funzionanti in corrente continua a 12 volt.

Il funzionamento del sistema è determinato dall'installazione di una centralina elettronica alimentata a 230 volt che eroga una tensione di scarica variabile tra 4,0 e 6,0 KV con amperaggio inferiore a 30 mA. La tensione è erogata verso l'impianto ad impulsi variabili, superiori al secondo, utilizzando speciali cavetti per alta tensione con protezione a doppia guaina in PVC trattata contro i raggi UV e garantiti fino a 25 KV. La distribuzione avviene tramite il collegamento con tondini in acciaio inox AISI 316, staffe in policarbonato trasparente, antistatico e antiurto, trattate contro i raggi UV, collegate con un apposito cavetto per alta tensione, creando, sulla distribuzione filare a copertura, un efficacissimo deterrente elettrostatico atto ad allontanare qualsiasi volatile. Grande cura dovrà essere dedicata alla installazione dei materiali, alle loro dimensioni ed alla loro sagomatura, provvedendo prima ad una accurata disinfezione sanitaria a largo spettro di azione, contro tutti i microrganismi patogeni. Nell'installazione dovranno essere tenute in considerazione le abitudini dei volatili, la tipologia dei materiali da proteggere e l'estetica della costruzione.

Specifiche

L'alimentazione del sistema può essere fornita da un generatore fotovoltaico ad energia solare, la continuità di funzionamento durante le ore notturne può essere garantita da una serie di accumulatori ubicata all'interno della centralina. Al fine di completare il sistema antivolatili potranno essere installate particolari barriere costituite da reti ornitologiche morbide in fibre polimeriche ad alta tenacità, resistenti agli agenti atmosferici ed ai raggi UV, non infiammabili ed esenti da cariche elettrostatiche atte ad impedire l'accesso ai volatili nelle parti più anguste, nelle aperture (ad es. celle campanarie) ovvero a protezione di elementi decorati e/o modellati tipo capitelli, statue, stemmi.

10.4.9 OPERAZIONI DI PROTEZIONE DI MATERIALI LIGNEI

1. Generalità

La salvaguardia del legno dall'attacco di funghi o insetti dovrà garantire la buona conservazione del materiale nel tempo; la protezione del legno avverrà mediante l'utilizzo di sostanze chimiche che lo renderanno tossico garantendone così la repellenza all'aggressione da parte di funghi, organismi marini e insetti. I protettivi da utilizzare saranno di vario tipo e potranno essere impiegati in base alla tipologia, l'esposizione e l'esercizio del manufatto da proteggere. Saranno, in ogni caso, da evitare applicazioni di prodotto in forti spessori, in quanto lo scopo dovrà essere quello di proteggere il legno e non isolarlo dall'ambiente.

I prodotti capaci di preservare i materiali lignei potranno essere; composti chimici semplici o miscele di diversi formulati come ad esempio, le sostanze sintetiche in solventi organici, i sali minerali solubili in acqua e i prodotti oleosi naturali.

1.1. Preparazione del supporto

Il legno dovrà risultare essiccato; nei legni placcati o compensati non dovrà essere presente, neppure in minima misura, l'acqua contenuta nella colla. Nei trattamenti dei manufatti in legno si dovrà aver cura di verniciare oltre le superfici in vista anche tutte le loro parti in grossezza; inoltre, nel corso dei trattamenti dei manufatti stessi, si dovrà tener conto della eventuale presenza di corpi estranei, quali ad esempio chiodi o simili, ed adottare ogni accorgimento e provvedimento per evitare futuri danni alle pitture o vernici dipendenti appunto dai predetti corpi estranei.

Bagnatura

La bagnatura dovrà essere effettuata inumidendo la superficie del legno con acqua calda mediante una spugna; quando la superficie risulterà essiccata si procederà alla eliminazione delle fibrille mediante carta abrasiva dei numeri 80-180; la carteggiatura dovrà essere sempre fatta nella direzione delle fibre del legno.

Carteggiatura di preparazione

La carteggiatura di preparazione dovrà essere eseguita a secco con carte abrasive dei numeri 80-180, impiegando prima le carte di grana più grossa e procedendo poi con le carte di grana più fina. Ultimata la carteggiatura dovranno essere eliminati i residui legnosi, vetrosi e di ogni altra natura mediante soffiatura con aria.

Impregnamento con olio di lino cotto

Per l'impregnamento dei manufatti in legno dovrà essere impiegato olio di lino cotto, senza aggiungere essiccanti, coloranti od altre sostanze di qualsiasi natura e specie. L'impregnamento con olio di lino cotto dovrà essere effettuato esclusivamente a pennello. L'olio di lino cotto dovrà essere dosato con ogni cura per evitare sia la scarsa adesione in difetto d'olio, sia una pellicola troppo molle per sopportare i successivi trattamenti in caso di eccesso d'olio. L'eventuale eccesso d'olio dovrà essere asportato mediante un tampone. I successivi trattamenti di verniciatura non dovranno essere applicati se non prima che siano trascorsi almeno 30 giorni dall'impregnamento dei manufatti con olio di lino cotto. L'impregnamento con olio di lino cotto non dovrà essere effettuato nel caso che sia impiegato turapori alla nitro.

Turapori

L'applicazione del turapori dovrà essere effettuata a tampone e con forza così da assicurare la perfetta otturazione dei pori. Il turapori dovrà essere applicato prima nel senso trasversale alla fibra del legno e poi nel senso longitudinale. Subito dopo l'applicazione del turapori la superficie trattata dovrà essere ripulita con un panno per eliminare ogni eccesso del prodotto e per ottenere una migliore penetrazione del prodotto stesso. L'applicazione del turapori dovrà essere effettuata prima dell'essiccazione dell'olio di lino cotto impiegato per l'impregnamento.

Stuccatura

Le stuccature, per eliminare limitatissime e consentite difettose formazioni del supporto, dovranno essere eseguite con stucco a spatola.

Carteggiatura di livellamento

La carteggiatura di livellamento dovrà essere effettuata ad umido con carte abrasive dei numeri 180-220, con apposite ed idonee emulsioni, oppure con carte abrasive autolubrificanti degli stessi numeri 180-220 e senza impiego di acqua; ad operazione ultimata si dovrà procedere alla asportazione, con segatura di abete, di ogni eccesso di liquidi e componenti oleosi della carteggiatura e quindi alla pulizia della superficie con stracci e con soffiatura d'aria.

2. Trattamento con prodotti vernicianti

I sistemi protettivi per il legno in esterni potranno essere classificati in:

– vernici trasparenti (*flattig*) a base di resine sintetiche monocomponenti. Queste vernici per effetto delle radiazioni solari (causa dell'indebolimento della pellicola pittorica) tenderanno a collassare nei punti critici come nodi, fessurazioni, giunti

ecc.;

– vernici semitrasparenti a velatura (impregnanti) alla coppale (soluzioni di resina in essenza di trementina, eventualmente addizionate con modeste quantità di olio siccativo). Gli impregnanti penetreranno nel supporto, senza formare pellicola, offriranno una maggiore protezione dai raggi solari, rispetto alle vernici trasparenti per contro, però, potranno risultare più “sensibili” all’azione delle precipitazioni;

– vernici coprenti pigmentate (smalti) a base di resine sintetiche monocomponenti o resine naturali ed oli. I prodotti a base di resine naturali presenteranno il vantaggio di una minore nocività in fase d’applicazione in confronto ai prodotti sintetici ma al contempo avranno tempi d’essiccazione lunghi, perdita di brillantezza e, in alcuni casi, propensione alla formazione di muffe. Gli smalti, grazie all’elevato spessore del film garantiranno una buona protezione delle strutture trattate, anche se, con il passare del tempo, potranno manifestare crepature e scrostature localizzate, soprattutto in corrispondenza dei nodi.

I sistemi coprenti nasconderanno completamente la fibratura ed il colore naturale del legno, le vernici trasparenti e gli impregnanti (sistemi semicoprenti a velatura) saranno utilizzati quando si vorrà lasciare a vista le venature della specie legnosa.

Specifiche

Verniciatura a smalto

I manufatti dovranno essere sottoposti al seguente trattamento:

- a) spolveratura con spazzole di saggina;
- b) bagnatura, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1. “Preparazione del supporto”;
- c) carteggiatura di preparazione, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1.;
- d) impregnamento con olio di lino cotto, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1.;
- e) applicazione di turapori, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1.; solo nel caso di legno di abete se ne potrà omettere l’applicazione;
- f) stuccatura, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1.;
- g) carteggiatura di livellamento, come specificato nell’articolo PR mli. 1.1.;
- h) mano di pittura opaca di fondo;
- i) due mani di smalto sintetico; la prima mano di smalto dovrà essere applicata soltanto quando il supporto sarà perfettamente asciutto e non prima che siano trascorse almeno 24 ore dall’applicazione della mano di fondo. Qualora il colore prescelto sia di tonalità scura, la prima mano dovrà essere di colore visibilmente più chiaro, mentre se il colore finale dovrà essere chiaro la prima mano dovrà essere di tonalità visibilmente più scura.

Verniciatura con pitture oleosintetiche

Per la verniciatura di manufatti in legno con pitture oleosintetiche, da effettuare solo nei casi specificatamente previsti, si dovrà procedere così come prescritto per le verniciature a smalto, ad eccezione delle due mani di smalto che saranno sostituite con due mani di pittura oleosintetica.

Lucidatura a spirito e gommalacca

La lucidatura a spirito dovrà essere effettuata, previa preparazione del supporto (come alle lettere a), b), c), d), e), f), mediante un tampone di ovatta imbevuto della soluzione di spirito e gommalacca. Il tampone dovrà essere ripetutamente passato con movimento circolare sulla superficie da lucidare facendo in modo che ogni passata insista su una superficie già asciutta ed evitando soste del tampone sulla superficie da lucidare. Ogni qualvolta il tampone risulterà asciutto lo si dovrà inumidire mediante aspersione della predetta soluzione. La lucidatura sarà considerata ultimata quando la superficie risulterà a specchio riflettendo l’immagine. La lucidatura a spirito non dovrà essere eseguita sulle superfici dei manufatti esposte agli agenti atmosferici.

Verniciature trasparenti

I manufatti dovranno essere sottoposti al trattamento di preparazione previsto per la verniciatura a smalto (lettere a), b), c), d), e), f), g). Particolare cura sarà posta nella eliminazione dell’eventuale eccesso di olio di lino. Il trattamento sarà completato con tre mani di vernice trasparente, da applicare a distanza di almeno 24 ore una dall’altra.

2.1. Trattamento con sistemi pellicolanti

Il trattamento dovrà, necessariamente, essere preceduto da un’adeguata preparazione del supporto realizzata mediante pulitura sgrassante al fine di rimuovere ogni traccia di sostanze incoerenti, untì, grassi ecc.; successivamente, previa asportazione dei precedenti strati di vernici o pitture in fase di distacco (mediante raschiatura manuale o sverniciatura con decapante o altro sistema indicato negli elaborati di progetto), dovranno essere eseguite le necessarie stuccature con stucco sintetico o colla di legno (per maggiori dettagli sulle stuccature si rimanda a quanto detto nell’articolo specifico) delle fessurazioni e la carteggiatura della superficie con carta abrasiva a secco (grana 80-100) al fine di eliminare il materiale eccedente e favorire l’adesione della nuova pitturazione. Prima dell’esecuzione del trattamento protettivo dovranno essere eseguite eventuali lavorazioni di ripristino di parti mancanti o eccessivamente degradate (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell’articolo sulla tassellatura).

Eseguite le operazioni preliminari, si applicherà, tramite pennello a setola morbida o mini-rulli, il primo strato di pittura, trasparente o pigmentata, eventualmente diluita (ad es. con ragia minerale); particolare attenzione dovrà essere fatta nel coprire uniformemente il supporto e nell’evitare di lasciare colature di materiale. Quando lo strato di fondo sarà asciutto al tatto (circa 24 ore), ma non completamente essiccato, si procederà ad eseguire la mano di finitura che, secondo le indicazioni di progetto, potrà essere brillante o satinata.

Specifiche

L'operazione dovrà avvenire con temperatura ambiente (+5 °C, +30 °C con U.R. inferiore al 70%), in assenza di vento; le superfici lignee trattate dovranno essere bene asciutte, inoltre, dovranno essere protette da pioggia battente ed umidità fino a completa essiccazione (almeno 5-6 giorni) del prodotto applicato.

3. Trattamento con olio di lino

Questo tipo di protezione verrà realizzata previa ispezione puntuale della superficie al fine di rilevare eventuali anomalie (marcescenze, parti mancanti ecc.) o deterioramenti (attacchi di insetti) che, se riscontrati, dovranno essere opportunamente risolti; dopodiché si procederà con il lavaggio sgrassante della superficie (utilizzando soda o altro materiale basico) allo scopo di eliminare tracce di sporco, unto e grasso, ultimando l'operazione con un lavaggio così da asportare il prodotto sgrassante. La superficie verrà successivamente raschiata (con l'ausilio di raschietti al fine di eliminare residui di pitture in fase di distacco) e carteggiata (con carta abrasiva a secco grana 80) in modo da garantire un maggiore aggrappaggio del trattamento successivo; la stuccatura delle fessure (e dei bordi delle eventuali parti ancora verniciate così da raccordare i dislivelli) potrà essere realizzata utilizzando stucco all'olio o, in caso di fessure considerevoli, con pasta di legno (polvere di legno e collante polimerico); dopo l'essiccazione dello stucco la superficie dovrà essere ulteriormente carteggiata allo scopo di togliere il materiale in eccesso.

Sul supporto verrà applicata una prima mano, mediante pennello, di primo fondo impregnante (a base di olio di lino e resine naturali) in particolare sulle parti di legno precedentemente preparate in modo da coprire uniformemente tutta la superficie assicurando la penetrazione all'interno delle venature del legno. Ad essiccazione avvenuta (circa dopo 2-6 giorni) previa verifica del suo stato (asciutta al tatto e ben aderente al supporto) si procederà alla levigazione della superficie mediante carteggiatura e alla messa in opera del fondo di riempimento (olio di lino eventualmente pigmentato con minio di piombo nel caso si dovessero raccordare la superficie pitturata con quella al naturale) mediante pennelli o mini rulli, stuccando con idoneo stucco l'eventuali restanti parti lacunose; quando questo strato risulterà essiccato (2-6 giorni) e carteggiato, asciutto e pulito verrà applicata una prima mano di finitura (olio di lino eventualmente pigmentato con ossidi di ferro precipitati o terre naturali) con pennelli o mini rulli in modo da coprire tutta la superficie e, ad asciugatura avvenuta, una seconda mano avendo cura di proteggere le superfici dalle intemperie fino ad avvenuto essiccamento. Dopo circa 10-15 minuti dall'applicazione, l'eventuale eccesso di prodotto impregnante (non assorbito dal supporto) dovrà essere rimosso con l'ausilio di panno morbido.

Avvertenze

L'applicazione del prodotto dovrà essere fatta con temperatura esterna compresa tra i +5 °C e i + 35 °C e, con un'umidità relativa non superiore al 70%, operando gli opportuni accorgimenti protettivi per superfici esposte al sole e al vento.

Specifiche sui materiali

L'olio di lino è un prodotto naturale essiccativo ricavato dalla *linum usitatissimum*. Olio grasso essiccativo costituito per l'85-90% da gliceridi degli acidi grassi non saturi. In strato sottile si ossida e solidifica se esposto all'aria; al fine di migliorare il potere essiccativo ed accelerare la formazione della pellicola si potrà far subire all'olio un principio di cottura a 150-320 °C. L'olio di lino cotto, rispetto a quello crudo ha un colore giallo-bruno rossastro (contro il più o meno giallo di quello crudo) secca in tempi più veloci (circa 24 ore), è più solubile in alcool ma si presenta molto denso e vischioso.

4. Trattamento con sostanze antitarlo, antimuffa e antifungo

La superficie lignea in oggetto dovrà essere priva di macroscopiche anomalie che potrebbero provocare l'insorgenza di degradi a trattamento ultimato (marcescenze, parti mancanti ecc.) e priva di residui di precedenti vernici, cere, grassi e polveri, che dovranno essere rimossi secondo le tecniche esplicitate nell'articolo inerente la pulitura degli elementi lignei. Prima di effettuare il trattamento preservante la struttura dovrà essere puntualmente ispezionata (per tutta la superficie in maniera puntuale) ricorrendo a strumenti come punteruolo, scalpello e martello al fine di saggiare la consistenza del legno, asportarne piccole porzioni da analizzare in laboratorio e battere il materiale al fine di individuare le zone, eventualmente, attaccate dagli insetti o funghi; se necessario si potrà ricorrere all'uso della lente d'ingrandimento per osservare gli eventuali fori di sfarfallamento e il rosario riscontrati (elementi in grado di rivelare la specie d'insetto e se l'attacco è ancora attivo); attraverso l'igrometro elettrico da legno sarà possibile misurare il contenuto d'umidità in modo da poter determinare se esiste o è in atto un attacco fungicida mentre, per accertare il reale stato conservativo si potrà utilizzare la trivella di Pressler che consentirà di effettuare piccoli carotaggi. È opportuno precisare che l'attacco da parte di insetti non sempre necessiterà di trattamento poiché alcuni di essi non depositano larve all'interno del materiale perciò, quando di queste specie (ad es. i Siricidi) si risconteranno i fori di sfarfallamento significa che la fuoriuscita è già avvenuta; inoltre occorre tenere conto della datazione del materiale, se l'attacco si riscontra su strutture molto antiche (oltre un secolo) spese volte non risulterà più attivo. Eseguito l'eventuale consolidamento della superficie (stuccature, sostituzioni parziali ecc.) si potrà eseguire la procedura.

Il prodotto utilizzato per la protezione o disinfestazione dovrà presentare un bassissimo grado di tossicità, non dovrà formare una pellicola superficiale, produrre alterazioni cromatiche e dovrà consentire l'eventuale applicazione di una successiva verniciatura. L'applicazione del prodotto, potrà essere fatta a pennello o a spruzzo (in questo caso l'operatore dovrà ricorrere alle opportune protezioni per gli occhi e per le vie respiratorie) in modo da garantire una copertura uniforme della superficie; a tale riguardo potranno essere applicate più mani relazionandosi allo specifico prodotto utilizzato. Ad essiccazione del prodotto avvenuta (in media 4-6 ore) la parte trattata dovrà essere carteggiata (nel senso della venatura del legno ricorrendo all'uso di carta abrasiva di grana 100, 120) al fine di eliminare le eventuali fibre legnose rialzate durante l'applicazione del prodotto. Nel caso in cui all'interno del materiale si dovesse riscontrare la presenza d'insetti si dovrà procedere alla disinfestazione puntuale.

4.1. Disinfestazione del legno

Dopo aver individuato con esattezza la tipologia d'insetto presente nel materiale si procederà con il trattamento disinfestante; questo dovrà essere fatto nel periodo di maggiore attività dell'insetto (generalmente primavera o inizio estate). I prodotti da utilizzare dovranno presentare una buona capacità di penetrazione all'interno del legno (tipo gli insetticidi disciolti in solvente organico), in modo da riuscire ad eliminare le larve e le crisalidi e, allo stesso tempo, dovranno essere in grado di impedire la penetrazione di altri insetti, per questo il prodotto dovrà essere applicato anche in superficie; l'applicazione del prodotto potrà essere fatta a spruzzo o a pennello per la superficie mentre tramite iniezioni (ricorrendo a siringhe) per garantire la penetrazione all'interno dei fori creati dagli stessi insetti in modo da assicurare il trattamento anche in profondità; le iniezioni dovranno essere realizzate seguendo le indicazioni specifiche al riguardo dettate dalla D.L. Il trattamento varierà in relazione alla tipologia di insetto presente (Anobiidi, Termiti del legno secco, Cerambicidi ecc.); i disinfestanti utilizzabili al riguardo potranno essere diversi (impiegati, generalmente, in media 250/300 g/m² di legno); tra i più comunemente usati si potrà ricorrere a quelli a base di naftalina clorurata, paradiclorobenzolo, ossido tributilico di stagno ecc. Nel caso di termiti sotterranee non sarà sufficiente limitare il trattamento alla struttura colpita ma dovrà essere interrotto il flusso degli insetti dal nido presente nel terreno dell'immobile; intorno a questo dovrà essere realizzata una barriera costituita da preservanti immessi direttamente nel terreno (dove non è possibile verranno realizzati dei fori nel pavimento più vicino al terreno) ricorrendo a prodotti a base di regolatori della crescita capaci di impedire la formazione della chitina in modo che le termiti sopperiscano al momento della muta. Per ovviare all'attacco del materiale da parte dei funghi, le sostanze utilizzabili potranno essere miscele a base di fluoruri (miscele di fluoruri con sali arsenicati di sodio); sarà importante, inoltre, mantenere i valori di umidità tra il 10% e il 15% (l'attacco dei funghi si manifesta generalmente quando il legno raggiunge un'umidità superiore al 20%). L'efficacia della procedura di disinfestazione sarà, in ogni caso, vincolata all'accuratezza della messa in opera e soprattutto al reale sviluppo su tutta la superficie: i punti delicati saranno le sezioni di testa, le giunzioni, gli appoggi e in genere le alterazioni dovute ad incastri, tratti di sega, buchi per chiodi; in questi tratti sarà essenziale porre la massima attenzione affinché il trattamento li coinvolga completamente. Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto ed in accordo con la D.L. si potrà operare nel seguente modo: s'inserirà tra le due superfici di contatto, oppure sulle sezioni di testa, una pasta composta al 50% da sale biocida (ad es. utilizzando una miscela composta da fluoruri e sali arsenicati di sodio) e al 50% d'acqua (di norma il consumo di pasta sarà di circa 0,75-0,80 kg/m² di superficie) e si ripasseranno, infine, tutte le connessioni e/o sezioni di testa con la medesima soluzione salina. La procedura operativa dovrà essere seguita dopo 2 anni da un intervento a spruzzo con gli stessi sali, intervento che andrà ripetuto dopo 5 anni dal primo.

5. Trattamento con sostanze ignifughe

L'impiego di prodotti vernicianti di protezione dal fuoco, su strutture lignee, è previsto e normato dal DM 6 marzo 1992: "Norme tecniche procedurali per la classificazione di reazione al fuoco e omologazione dei prodotti vernicianti ignifughi applicati sui materiali legnosi".

Il trattamento delle superfici lignee mediante l'applicazione di sostanze ignifughe avrà lo scopo di abbassare la velocità di penetrazione della carbonatazione: le vernici sottoposte alle temperature elevate, presenteranno, infatti, la caratteristica di espandersi generando una schiuma isolante ed incombustibile che creerà uno strato coibente intorno alla struttura trattata. Il tempo di protezione al fuoco (classe della pittura) sarà in rapporto alla natura del supporto e allo spessore applicato; di norma i prodotti utilizzati per una corretta ignifugazione saranno a base di silicati di sodio o di potassio miscelati a talco o caolino (rapporto 80:20), da applicarsi a pennello in tre spalmature.

I supporti oggetto di trattamento dovranno essere preventivamente puliti, asciutti ed esenti da polveri, muffe, grassi, parti marcescenti; al fine di favorire l'aggrappaggio potrà rivelarsi utile irruvidire la superficie mediante leggera carteggiatura.

Avvertenze

Sarà necessario che le sostanze ignifuganti non emettano in caso di incendio gas tossici per l'uomo, che assolutamente non corrodano eventuali parti metalliche e abbiano contemporaneamente una buona efficacia biocida.

10.5 DEUMIDIFICAZIONE

Premessa metodologica

L'acqua all'interno delle strutture murarie assume i caratteri di una patologia nociva quando la sua presenza non è più legata a residui di lavorazione o di cristallizzazione ma il rapporto tra il suo volume e quello dei capillari presenti nel materiale è tale per cui iniziano ad innescarsi vari fattori degenerativi di natura fisica (cicli di gelo-disgelo), chimico-fisica (cristallizzazione dei sali) e biologica (patine biologiche, vegetazione infestante, muschi, licheni ecc.). La presenza dell'acqua all'interno delle murature può avere diverse provenienze, direttamente dal terreno (umidità ascendente), per infiltrazione di piogge battenti, guasti idrici ecc. Le risoluzioni attuabili con il fine di ovviare a questo problema hanno lo scopo di allontanare o, quantomeno, ridurre l'azione disgregante dell'acqua per mezzo della messa in opera o del ripristino di elementi in grado di evitare l'impregnazione della muratura. La scelta della risoluzione più adeguata al caso specifico deve essere fatta dopo aver acquisito delle conoscenze dettagliate sull'ambiente e sul manufatto oggetto d'intervento; per questo occorre verificare sia la natura morfologica del terreno, l'altezza della falda freatica, l'eventuale presenza di acque sotterranee sia il reale stato conservativo del manufatto, controllando gli impianti di adduzione e di scarico delle acque per uso domestico, gli impianti di riscaldamento e di ventilazione, i sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche (canali, pozzetti e pluviali) in modo da poter capire se le cause che hanno provocato il fenomeno sono riconducibili a problemi legati alla mancata manutenzione della struttura oppure sono indirettamente connessi a questa dalla situazione al contorno.

Le cause dirette sono facilmente risolvibili poiché è sufficiente riparare il danno che ha generato la perdita sostituendo o aggiustando le strutture mallesse, mentre, per quando concerne le cause indirette, non sempre è possibile eliminarle per

cui la procedura deve essere relazionata all'insistenza del fenomeno. Le tecniche meno invasive, che non alterano la configurazione strutturale del manufatto, prevedono la messa in opera di risoluzioni (vespai, drenaggi, intercapedini, contropareti, intonaci macroporosi, elettrosmosi attiva blanda ecc.) che ostacolano l'accesso dell'acqua e allo stesso tempo consentono la traspirabilità della muratura; nei casi in cui queste risoluzioni risultano inefficaci è possibile operare interventi direttamente sulla struttura del manufatto come ad esempio: taglio della muratura, sifoni, barriere chimiche ecc. È opportuno tenere sempre presente, indipendentemente dalla risoluzione adottata, che difficilmente un trattamento può ritenersi completamente risolutivo e che ogni procedura ha i suoi limiti e le relative controindicazioni per cui può risultare conveniente ricorrere a sistemi integrati di più tecniche in modo da poter attuare una compensazione reciproca capace di annullare, in parte, le diverse limitazioni insite in ogni intervento. I fenomeni relativi all'umidità risultano, spesso volte, difficili da eliminare per questo lo scopo che deve prefiggersi l'intervento è quello di attenuarli in modo da renderli meno nocivi per la struttura. Il Tecnico deve disporre di un ampio ventaglio di risoluzioni e di un'analisi dettagliata dello stato di fatto, al fine di poter pianificare un progetto globale di controllo dell'umidità su tutto il manufatto, strettamente relazionata alle specifiche esigenze, evitando così, come contrariamente avviene nella pratica, sia lo scaglionarsi nel tempo di una serie illimitata di operazioni circoscritte poco risolutive sia l'estensione, arbitraria, di una medesima risoluzione a tutto il fabbricato.

10.5.1 OPERAZIONI DI DEUMIDIFICAZIONE DI APPARECCHI MURARI

1. Generalità

I lavori di deumidificazione delle murature, qualsiasi sia il sistema di risanamento adottato (drenaggi, vespai, intonaci macroporosi, iniezioni con miscele idrofobizzanti ecc.) necessiteranno di analisi preventive, al fine di stabilire la natura del degrado e, di conseguenza, definire la metodologia da adottare più appropriata per risolvere lo specifico problema.

2. Drenaggi, intercapedini, vespai

Le procedure d'intervento si riferiscono a varie tecnologie atte a fronteggiare la presenza dell'umidità; le operazioni si relazionano principalmente a fondazioni o muri controterra poiché elementi che possono facilmente impregnarsi d'acqua, in fase liquida, proveniente direttamente dal sottosuolo, per capillarità. L'assorbimento si può verificare al piede delle fondazioni, sulle pareti laterali e sulle pavimentazioni a diretto contatto con il terreno (mancanza del primo solaio a terra). Tutte queste procedure implicano demolizioni e scavi che potrebbero risultare dannosi per l'equilibrio statico del manufatto; per questo, prima di procedere dovranno essere attuate appropriate indagini preliminari allo scopo di definire un preciso quadro diagnostico sia sul terreno sia sulla muratura, al fine di conoscere la reale configurazione e natura geologica del suolo, nonché il reale stato conservativo delle murature interrate. L'eliminazione di una consistente parte di terreno con funzione di contenimento per la parte di muro fondale, potrebbe innescare cedimenti e provocare quadri fessurativi. Nella probabilità che ciò possa verificarsi sarà basilare intervenire preventivamente con il consolidamento delle strutture e, in seguito, con lo scavo della trincea. Maggiori specifiche sulle modalità di scavo potranno essere desunte dagli articoli specifici sugli scavi (scavi di sbancamento, scavi a sezione obbligata, scavi di accertamento ecc.).

2.1. Drenaggi

L'intervento, da effettuarsi all'esterno del manufatto, ha lo scopo di evitare il contatto diretto tra la muratura ed il terreno umido; la tecnica è in grado di convogliare lontano dalla muratura le acque di scorrimento e quelle derivanti dalla falda freatica. Questo tipo di dispositivo potrà essere localizzato, sia in aderenza agli apparecchi murari, (questi si riveleranno utili ad intercettare le acque in pendii vicini al manufatto) sia distaccato; nel primo caso si renderà necessario posizionare, a contatto con il muro, una barriera impermeabile costituita da membrane bitume polimero elastomeriche, o realizzata mediante vernici impermeabilizzanti (minimo 2 mani a distanza di 24-48 ore per uno spessore finale di circa 2-3 mm ed un consumo di almeno 2-2,5 kg/m²).

Previa la rimozione o la demolizione dell'eventuale marciapiede perimetrale, dovrà essere realizzato uno scavo (eseguito a mano o con l'ausilio di piccoli escavatori a cucchiaio) per piccoli cantieri successivi, al fine di creare una trincea di profondità e larghezza dettate dalle disposizioni di progetto; in assenza di queste si procederà fino all'estradosso della fondazione o, quantomeno, ad una quota inferiore a quella dei pavimenti interni (larghezza minima 40-50 cm, altezza circa 70-80 cm) eseguendo gli eventuali, quanto opportuni, sbatocchiamenti in presenza di terreno incoerente o con terreno che non offra assolute garanzie di sicurezza. Successivamente, previa accurata ripulitura della parete controterra (con tecnica indicata da disposizioni di progetto, ad es. acqua deionizzata ed energica spazzolatura con l'ausilio di spazzole di saggina) messa al vivo, al fine di rimuovere ogni traccia di terreno ed eventuali residui umiferi, si procederà alla stuccatura dei giunti con malta di calce idraulica ed all'eventuale messa in opera di un nuovo intonaco (spessore consigliato 20 mm) con malta sempre a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 caricata con cocchiopesto (per es. 1 parte di calce, 2 parti di sabbia fine, 1 di cocchiopesto). In alternativa, in presenza di apparecchio "faccia a vista", potrà essere sufficiente stillare i giunti di malta con apposita malta di calce idraulica caricata con cocchiopesto ovvero pozzolana (rapporto legante-inerte 1:2). Tirato e consolidato l'intonaco si applicherà la guaina isolante bituminosa che potrà essere a teli saldati a caldo (caratteristiche medie: spessore 4 mm; armata con tessuto-non-tessuto di poliestere imputrescibile; flessibilità a freddo di -20 °C, resistenza a trazione long. 970 N/cm² e trasv. 700 N/cm²; allungamento a rottura long. 50% e trasv. 50%; resistenza alte temperature >150 °C) o liquida data a pennello o a rullo (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri e filler in dispersione acquosa; allungamento a rottura ca. 1000%; resistenza alte temperature >150 °C; flessibilità a freddo -10 °C; resistenza a trazione long. 16 N/cm² e trasv. 20 N/cm²; tempo di essiccazione superficiale ca. 1 h); per l'applicazione su superfici cementizie sarà opportuno prevedere la stesura preventiva di apposito *primer*.

Al fine di evitare che il riempimento danneggi lo strato isolante potrà essere utile posizionare delle idonee membrane

bugnate in polietilene ad alta densità HDPE (spessore ca. 6-10 mm; volume d'aria tra le bugne ca. 5,3-5,5 l/m³; resistenza alla pressione > 200 kN/m²; stabilità termica da +30 °C a +80 °C; resistente agli agenti chimici, agli urti, alle radici, non degradabile). Queste membrane, applicate con le bugne rivolte verso la parete (avendo cura di avere una sormonta longitudinale di almeno 10-20 cm), mediante tasselli ad espansione o chiodi in acciaio inox muniti di appositi bottoni con maglia 100x100 cm, avranno, allo stesso tempo, sia la funzione di agevolare la circolazione dell'aria sia di proteggere la barriera isolante. Nel caso in cui si dovessero montare membrane bugnate munite di strato di geotessuto non-tessuto drenante in polipropilene a filo continuo si dovrà invertire la posa in opera ovverosia, il lato bugnato dovrà essere rivolto verso il terreno così da permettere al geotessuto un costante filtraggio delle particelle del terreno impedendo l'intasamento dei canali. In alternativa alla membrana bugnata si potranno realizzare dei pannelli in laterizio pieno posti in opera a coltello ed allettati con malta di calce idraulica.

Il drenaggio vero e proprio sarà costituito dal riempimento a secco della trincea, precedentemente scavata, con ciottoli, scheggioni (costituiti da materiali poco porosi ed assorbenti come pietre laviche) disposti a mano su terreno ben costipato mediante spianatura, bagnatura e battitura, al fine di evitare cedimenti, o su piano costituito in magrone di cls; in ogni caso il piano dovrà essere tirato in modo da avere una pendenza intorno al 2-4% così da favorire il deflusso delle acque. Il drenaggio sarà integrato con un tubo drenante (□ 200-400 mm) in materiale cementizio forato avente la corona superiore molto permeabile e la parte inferiore compatta ed impermeabile, posto sul fondo della fossa con la funzione di raccolta ed allontanamento delle acque nelle condotte principali di fognatura bianca, o in zona idonea al non ritorno dell'acqua reflua dal drenaggio. Il materiale di riempimento sopra il primo strato di ciottoli e scheggioni di grosse dimensioni (100-150 mm) dovrà essere di granulometria diversificata, sempre più fine a mano a mano che ci si avvicina alla superficie; una granulometria di riferimento potrà essere composta da ciottoli di 30-60 mm, ghiaia di 5-10 mm, rifiorimento in sabbia 1,5-3 mm. Tra i vari strati di granulometria diversa, se il progetto lo prevede, potrà essere inserito un foglio di tessuto-non-tessuto.

Al fine di impedire infiltrazioni d'acqua piovana si renderà necessario creare o ripristinare un marciapiede lungo tutto il perimetro dell'edificio di larghezza maggiore a quella della trincea drenante e d'inclinazione tale da allontanare l'acqua dalla parete. In tal modo l'assorbimento d'umidità sarà ridotto al solo piano di appoggio della fondazione.

Avvertenze

L'intervento, se correttamente eseguito ed affiancato all'interno dell'edificio dalla messa in opera di intercapedini o vespai areati, potrà risultare efficace e risolutivo nei casi in cui la risalita capillare dell'umidità non superi i 40-50 cm. In presenza di murature soggette ad elevata umidità di risalita sarà necessario evitare questo tipo di procedura ed orientarsi verso sistemi combinati più efficaci. Nel caso in cui lo scavo dovrà essere abbassato al di sotto della quota di fondazione, sarà opportuno (ai fini della sicurezza statica) posizionare la trincea drenante ad almeno 2 m dalla stessa per evitarne il possibile scalzamento.

2.2. Pozzi assorbenti

In presenza di una successione di terreni che, dalla superficie verso il basso, si presentano con strati saturi di acqua (livello fondazioni) e, poi, a profondità maggiori, con strati di suolo assorbente (per es. un banco di ghiaia sciolta anche mista a sabbia, argille molli ecc.) può rivelarsi conveniente procedere al risanamento dei locali interrati ricorrendo alla creazione di pozzi assorbenti. Questi pozzi potranno essere realizzati, secondo le disposizioni di progetto, o in pietrame o in mattoni pieni messi in opera in modo da lasciare aperti numerosi vuoti fra l'interno del pozzo ed il terreno limitrofo. Normalmente il pozzo sarà affondato per circa 30-40 cm all'interno dello strato assorbente e terminerà in superficie con un chiusino in cemento, asportabile per le periodiche ispezioni sulla condizione del pozzo.

Tali pozzi lasciano filtrare al loro interno l'acqua proveniente dal suolo saturo, convogliandola verso il sottostante banco assorbente. Con questo tipo di drenaggio si otterrà un abbassamento del livello della falda acquifera ed un rapido prosciugamento delle acque piovane che, per gravità, penetrano nel terreno.

Avvertenze

Questa procedura determina un calo della falda acquifera superficiale, pertanto potrà essere messa in opera solo se il progetto avrà considerato i possibili fenomeni di tipo statico (assestamenti, avvallamenti ecc.) che potrebbero verificarsi nelle strutture del manufatto ed abbia previsto o adottato adeguate misure di salvaguardia; sarà, pertanto, consigliabile, prima di procedere all'installazione del pozzo, consolidare la struttura muraria.

2.3. Intercapedini, scannafossi

L'intervento prevede la formazione di un'intercapedine ventilata perimetrale (circa 40-80 cm di larghezza per una profondità di almeno una volta e mezzo l'altezza dell'umidità di risalita; ad es. per umidità fino ad 1 m scannafosso profondo 1,5 m) con la funzione di realizzare il completo distacco tra il terreno umido e la faccia verticale della muratura interrata; così facendo si favorirà l'aerazione delle murature del manufatto e di eventuali locali seminterrati. Con la messa in opera di questo tipo di dispositivo la muratura potrà assorbire acqua soltanto dalla base e non più lateralmente, scaricandola nell'intercapedine sotto forma di vapore condotto, poi, verso l'esterno attraverso canali di ventilazione, griglie, aperture dirette ecc.

Previe operazioni di scavo, simili a quelle eseguite per il drenaggio, si procederà alla realizzazione, ad una distanza dettata dalle disposizioni di progetto (minimo 12 cm), di una controparete in mattoni pieni, in calcestruzzo armato o in elementi prefabbricati in c.a. (mezzi tubi □ 400 mm o elementi a "C" 400x400 mm) a seconda delle modalità descritte negli elaborati di progetto. L'intercapedine, indipendentemente dal materiale impiegato per costruirla, andrà realizzata in maniera indipendente rispetto alla struttura muraria dell'edificio interessata dall'intervento. Si eseguirà, pertanto, una struttura portante, parallela al perimetro delle murature, alla quale si appoggerà il sistema di chiusura che potrà essere realizzato con griglie metalliche, in tavelloni e massetto armato, in piastre in c.a. prefabbricate ecc. (in caso di intercapedine chiusa si dovranno necessariamente prevedere delle griglie di aerazione intervallate ogni 4-5 parti chiuse, da dimensionarsi

rispetto alla grandezza del manufatto).

L'interno dello scannafosso andrà completamente impermeabilizzato tramite applicazione di guaina bituminosa liquida stesa a pennello od a rullo (prodotto a consistenza liquida a base di bitumi con elastomeri e filler in dispersione acquosa, allungamento a rottura ca. 1000%, resistenza alte temperature >150 °C, flessibilità a freddo -10 °C, resistenza a trazione long. 16 N/cm² e trasv. 20 N/cm²); nel caso di parete controterra "faccia a vista" potrà essere sufficiente stillare i giunti di malta con apposita malta di calce idraulica naturale NHL 3,5 caricata con cocchiopesto, ovvero pozzolana (rapporto legante-inerte 1:2). L'intercapedine dovrà, inoltre, essere ispezionabile mediante la creazione d'idonei pozzetti rimovibili e presentare il fondo conformato in modo da raccogliere l'acqua e farla defluire (pendenza 2-4%) verso idonei pozzetti di raccolta collegati al sistema fognario. Tramite fori passanti nelle murature perimetrali (\square 10-20 mm), eseguiti con apposite carotatrici, le intercapedini potranno essere collegate con eventuali vespai aerati presenti all'interno della costruzione. I vantaggi di un sistema di questo tipo risiedono nel miglioramento delle condizioni termo-igrometriche dei locali interrati confinanti con lo scannafosso, nella possibilità di effettuare aperture di finestre a bocca di lupo migliorando, così, le condizioni di aerazione e, quindi, di abitabilità; inoltre, il vuoto crea una barriera alle vibrazioni meccaniche provenienti dalle strade e dai terreni limitrofi.

2.4. Controparete interna

Questa procedura risulta particolarmente adatta nei casi in cui risulta difficile, se non addirittura impossibile (sia per problemi economici sia strutturali), operare all'esterno. L'intervento si pone l'obiettivo di ottenere un'adeguata aerazione dei locali interrati e, allo stesso tempo, sfruttando i moti convettivi che si originano nell'intercapedine, ridurre per evaporazione, l'umidità relativa con un conseguente miglioramento delle condizioni di salubrità e di benessere dei locali interni. In linea generale una controparete dovrà:

- non presentare contatti con la parete umida (per essere efficace, anche contro l'umidità di condensazione, la camera d'aria dovrà essere di circa 6-7 cm);
- non avere alcuna comunicazione tra l'aria umida dell'intercapedine ed il locale da risanare;
- impostarsi su uno strato di materiale impermeabile (guaina bituminosa posizionata sul massetto);
- avere un ricambio dell'aria umida verso l'esterno od in modo naturale o tramite elettroaspiratore (solo in caso di umidità ascendente dal terreno);
- nel caso di umidità da condensazione dovrà possedere una chiusura ermetica anche verso l'esterno.

La procedura prevede, previa l'eventuale eliminazione dell'intonaco o di altro tipo di rivestimento sul lato interno della parete e successiva pulitura con acqua deionizzata e spazzolatura, la messa in opera di una controparete leggera e sottile costituita, seguendo le modalità indicate negli elaborati di progetto, da mattoni forati posti in piano o di coltello, ovvero da tavelline o lastre di calcestruzzo cellulare preverniciate con un impermeabilizzante sul lato interno ed unite con malte idrofughe. Per migliorare la resistenza termica della controparte dovrà essere posizionato un sottilissimo foglio d'alluminio che potrà rivestire indifferentemente, previa intonacatura rustica, l'una o l'altra faccia.

La soluzione di ventilazione più comune sarà data da una doppia fila di canali di aerazione (\square 20-40 mm) capaci di assicurare il collegamento dell'interno dell'intercapedine con l'esterno realizzate ogni 100-150 cm in corrispondenza della quota del pavimento e del soffitto (circa a 15 cm). In presenza di umidità ascendente e se il progetto prevede una ventilazione forzata, si potrà, in alternativa, disporre le bocche d'aerazione in alto verso l'interno e, quelle in basso, verso l'esterno.

Nel caso di intercapedine ventilata si otterrà, generalmente, un minore isolamento termico, in quanto l'aria esterna che entra a contatto con quella dell'intercapedine scambia direttamente il calore con quest'ultima; sarà, tuttavia, assicurato lo smaltimento del vapore acqueo che si creerà nei locali ed all'interno dell'intercapedine per evaporazione dell'acqua eventualmente filtrata dalla parete esterna.

Particolari precauzioni dovranno essere adottate per la realizzazione dei fori di ventilazione i quali, al fine di evitare l'entrata di acqua esterna all'interno dell'intercapedine, dovranno essere eseguiti con pendenza verso l'esterno ed essere protetti da un cappelletto (in metallo, pietra o laterizio) ad uso di gocciolatoio che impedisca l'ingresso della pioggia e del vento diretto.

2.5. Vespai orizzontali

L'intervento si rivolge a quei locali interrati o seminterrati che hanno il pavimento a diretto contatto con il terreno umido, che presentano sia problemi di umidità legati alla condensa, sia dipendenti dalle condizioni termoigrometriche. La procedura si pone come obiettivo quello di isolare il pavimento dalle masse umide del terreno attraverso la formazione di un vespaio orizzontale eventualmente collegato, tramite appositi bocchette, con intercapedine d'aerazione esterna. La suddetta predisposizione di bocchette di ventilazione potrà essere omessa, sia nei casi in cui il progetto preveda la messa in opera di un massetto di cls, con spessore minimo 10 cm, sul quale stendere una membrana impermeabile a base bituminosa, sia nel caso in cui il riempimento sia costituito da materiale asciutto e termoisolante.

I vespai, dove possibile, dovranno sempre avere sviluppo nord-sud, in modo da garantire un minimo di movimentazione d'aria ed un'altezza minima pari a circa 30-40 cm, ottenibile attraverso uno scavo di sbancamento, eseguito a mano o con l'ausilio di piccoli strumenti meccanici, o diminuendo l'altezza del locale (maggiori specifiche sulle modalità di scavo potranno essere attinte dagli articoli specifici sugli scavi).

I vespai fondamentalmente sono di due tipi:

- a camera d'aria;
- a riempimento.

Vespai a camera d'aria

La procedura prevede l'eliminazione del contatto diretto tra pavimento e terreno attraverso la creazione di un vano vuoto, asciutto e termicamente coibente messo in opera al disotto della quota del primo solaio, con la funzione di fermare l'acqua ascendente dispersa nel terreno e di agevolare la riduzione della condensa atmosferica. Nei locali con almeno una parete

che confina con l'esterno, il vespaio potrà essere collegato al di fuori mediante bocchette d'aerazione mentre, nei locali interni, il riciclo d'aria potrà mancare o, altrimenti, essere realizzato sfruttando un camino di tiraggio, cioè una condotta d'aerazione verticale che arrivi fino al tetto; il tiraggio di questi camini andrà calcolato in rapporto al carico disponibile ed alla portata.

GATTAIOLATO

Questo tipo d'intervento può essere messo in opera nei casi in cui si ha la possibilità sia di rimuovere la pavimentazione esistente (per maggiori dettagli su questa procedura si veda quanto prescritto nell'articolo specifico), sia di eseguire uno scavo di circa 80-100 cm di profondità. Una volta eseguito lo scavo il piano dovrà essere regolarizzato mediante un magrone (dosato 1,5-2 q/m³) di calce idraulica naturale NHL 5 di circa 8-10 cm eventualmente armato con rete elettrosaldata □ 6 mm maglia 200x200 mm; lo spessore del piano di posa sarà dimensionato in funzione del carico operato dagli strati superiori. Sopra il piano potrà essere collocata una guaina isolante bituminosa che avrà un risvolto verticale sulle pareti perimetrali per tutta l'altezza del vespaio più una decina di centimetri sopra il pavimento o, in alternativa, (se il progetto non prevede il ripristino dell'intonaco) si potrà fermare a filo pavimento. Il gattaiolato vero e proprio sarà costituito da muretti di sostegno (ovvero dei pilastri minimi a due teste) in mattoni pieni ad una testa intervallati da 80-100 cm e di altezza variabile, secondo le prescrizioni di progetto, da un minimo di 30 cm ad un massimo di 80 cm; questi muretti dovranno essere muniti di fori di ventilazione (ad intervalli di circa 50 cm) ricavati lasciando spazi tra i corsi di mattoni. Sopra ai muretti si potranno posizionare tavelloni in laterizio (dim. medie 100x25x8 cm), lastre di cls leggero (dim. medie 100x50x6 cm) o altro materiale idoneo a creare un piano di sottofondo. Al di sopra di questo piano verrà gettata la soletta in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa (spessore minimo di 10-12 cm) armata con rete elettrosaldata di acciaio Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (ad es. tondi □ 6 mm e maglia 100x100 mm) o rete in polipropilene (PP) bi-orientata prodotta per estrusione (maglia 42x30 mm). L'impasto di calcestruzzo da utilizzare dovrà avere i requisiti richiesti dagli elaborati di progetto con una resistenza minima di 250 kg/cm². Sulla soletta prima dell'esecuzione del sottofondo per il pavimento, potrà, se previsto dagli elaborati di progetto, essere posizionato, previa stesura di foglio separatore (in carta lana o carta Kraft), uno strato di materiale termocoibente (caratteristiche medie di pannelli termocoibenti in polistirene espanso sinterizzato a celle chiuse: spessore minimo 30-35 mm; densità 30-35 kg/m³; reazione al fuoco classe 1; conducibilità termica 0,025-0,028 Kcal/mh °C; resistenza a compressione 2,45-3,0 kg/cm²; esente da assorbimento d'acqua per capillarità).

In alternativa, per creare un gattaiolato di modesto spessore, (altezza scavo 40-45 cm per una intercapedine di circa 12-15 cm) si potranno montare, a guisa dei muretti di sostegno, dei filari costituiti da laterizi pieni o forati posti di coltello con interasse variabile in funzione della successiva collocazione di un piano ottenibile con tavelloni o anche semplicemente con altri mattoni (in questo caso l'interasse sarà di 25 cm). I filari dovranno consentire il flusso d'aria tra i vari comparti collegati alle condotte d'aerazione. La stillatura dei giunti dovrà essere eseguita con malta di calce idraulica naturale.

Se previsti dalle disposizioni di progetto potranno essere aperti, mediante carotaggi sui muri d'ambito, dei canali d'aerazione (minimo □ 120 mm interasse 4-5 m) in modo da creare correnti d'aria (l'orientamento consigliato sarà: a nord la presa d'aria e a sud l'emissione della stessa); ogni camera d'aria dovrà possedere almeno due aperture munite esternamente di griglie metalliche, così da consentire l'omogenea ventilazione di tutte le parti del solaio; nessuna apertura dovrà consentire il riflusso di aria verso l'ambiente interno; il sistema di canalizzazione dovrà permettere la naturale ventilazione aspirando e riversando aria in direzione di sbocchi aperti verso l'esterno.

VESPAI CON CASSERI PREFABBRICATI

L'intervento può essere considerato la variante moderna del gattaiolato; il supporto della pavimentazione verrà gettato direttamente su casseri a perdere prefabbricati in polipropilene riciclato di varie dimensioni (minimo 50x50 cm massimo 75x100 cm) ed altezze (minimo 10 cm massimo 70 cm) dalla forma ad igloo quadrilateri svuotati ai fianchi al fine di consentire la circolazione d'aria nelle quattro direzioni. Questa tecnologia offre la possibilità di posizionare in ogni direzione tubazioni, condutture e cavi.

I moduli, dotati di nervature per potenziare le caratteristiche meccaniche e il sistema d'incastro rapido senza necessità di fissaggio, verranno accostati per ricavare l'intercapedine ed, al tempo stesso, il piano per il getto della soletta (che dovrà essere minimo di 4-5 cm ed armata con rete elettrosaldata di acciaio Fe B 38 K □ 6 mm e maglia 200x200 o rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia 42x30 mm, da posizionare direttamente sopra il cassero). Si procederà con la messa in opera dei pannelli termoisolanti e del pavimento con il relativo sottofondo. I moduli poggieranno su sottofondo di livellamento realizzato in ghiaia e magrone (dosato 2 q/m³) di calce idraulica naturale NHL 5 di almeno 10 cm armato con rete elettrosaldata □ 6 mm maglia 200x200 mm. Attraverso perforazioni sulle pareti perimetrali si potranno aprire bocchette d'aerazione (si vedano le considerazioni fatte per il gattaiolato).

Vespai a riempimento

Questo tipo di intervento è adottato quando, pur avendo la possibilità di rimuovere la pavimentazione esistente, non risulta possibile effettuare lo scavo necessario per la realizzazione del vespaio aerato; in ogni caso il piano di posa dovrà essere preparato tramite la realizzazione di uno strato di magrone (dosato 1,5 q/m²) di calce idraulica dello spessore minimo di 8-10 cm o, in alternativa, mediante semplice livellamento e battitura del terreno.

Il vespaio sarà ottenuto dall'accostamento di elementi lapidei asciutti, poco porosi, ottenuti da frantumazione di rocce dure, preferibilmente silicee, con struttura compatta; dovranno essere banditi materiali porosi ed assorbenti (tipo calcarei teneri, tufi, arenarie ecc.) e ghiaie di granulometria fine. La disposizione delle pietre (per una altezza di circa 25-30 cm) non dovrà seguire il criterio della massiciata ma, al contrario, gli elementi dovranno essere posizionati in modo accurato, collocando gli elementi con dimensioni decrescenti dal basso verso l'alto e facendo sì che si formino delle continuità di spazi tra di essi, spazi che, collegandosi con idonei cunicoli d'aerazione messi in opera rudimentalmente con gli stessi elementi lapidei, nel senso della circolazione determinata dalle bocchette sulle pareti esterne, consentiranno all'aria una libera circolazione. Al di sopra delle pietre sarà sistemato uno strato di ghiaione o colaticcio di fiume (rifiorimento) di conveniente granulometria

(sino ad arrivare al piano prescritto di norma 6-8 cm) al fine, sia di creare una sorta di piano al massetto della pavimentazione, sia di impedire che questo, penetrando nel vespaio, occulti gli spazi vuoti predisposti. Il massetto sarà composto esclusivamente di calce idraulica naturale caricata con granulato d'argilla espansa (per uno spessore minimo di 10-12 cm) eventualmente armata con rete elettrosaldata d'acciaio Fe B 38 K adeguatamente dimensionata (per es. tondi \square 6 mm e maglia 200x200 mm). L'intervento terminerà con la messa in opera d'idonea membrana bituminosa (spessore 10 mm) e del successivo pavimento con relativo sottofondo. Sarà sempre opportuno far salire, verticalmente, la guaina per almeno 20-30 cm sulle pareti d'ambito; nel caso in cui gli elaborati di progetto non dovessero prevedere il rifacimento dell'intonaco o in presenza di apparecchio "faccia a vista", la guaina potrà essere tagliata subito al di sotto della quota del pavimento.

3. Applicazione di intonaco macroporoso

La procedura descrive una metodologia volta al prosciugamento di murature fuori terra, interessate da fenomeni di umidità di risalita, mediante l'applicazione di intonaci ad elevata porosità in grado di aumentare la velocità di evaporazione dell'acqua, presente all'interno della muratura, di quel tanto che basta affinché la stessa non sia in grado di umidificarsi in seguito al contatto ed al conseguente assorbimento d'acqua dal terreno umido. Questo tipo di operazione è consigliata quando risulta impossibile (per motivi tecnici e/o economici) intervenire con sbarramenti, deviazioni od altri sistemi più invasivi per cui non resta altra risoluzione che intervenire direttamente sull'apparecchio murario aiutandone la capacità di traspirazione. L'intonaco macroporoso, applicabile su tutti i tipi di muratura, potrà essere utilizzato anche su superfici di locali interni soggetti a forti concentrazioni di umidità o per ridurre i fenomeni di condensa sulle pareti degli ambienti confinanti, fermo restando un attivo ed efficiente sistema di aerazione. Questo tipo di intervento non sarà adatto in presenza di un costante contatto con acqua di falda.

L'intonaco macroporoso non sarà in grado di assicurare da solo nessun effetto di deumidificazione (ad eccezione di problematiche circoscritte a murature inferiori ai 30 cm interessate da modesti fenomeni d'umidità), ma assicurerà un buon prosciugamento dei residui d'acqua (specialmente nella stagione calda e secca) una volta limitata la fonte principale d'adescamento; inoltre, non essendo in grado di opporsi all'ingresso dell'acqua meteorica nel muro, dovrà essere trattato superficialmente con sostanze idrorepellenti ma traspiranti al vapore acqueo (ad es. pitture ai silicati), o con intonachino di finitura comunque additivato con idrorepellenti.

Questo tipo di intonaco sarà, di norma, ottenuto miscelando malte di base (ad es. calce idraulica naturale ed inerti leggeri selezionati o cocciopesto in rapporto 1:3) con agenti porogeni (additivi in grado di creare vuoti all'interno della massa legante come ad es. silicati idrati di alluminio espanso, perossido di calcio, agenti tensioattivi ecc.) o sostanze di per sé porose (perlite, polistirolo ecc.). L'intonaco così ottenuto sarà ricco di macropori (>35-40% del volume) intercomunicanti tra loro con la funzione, sia di aumentare la superficie di evaporazione sia di immagazzinare i sali cristallizzati senza pericolo di disgregazione meccanica dell'intonaco.

La procedura operativa prevede le seguenti fasi esecutive.

Asportazione intonaco

Si procederà con l'accurata spicconatura dell'intonaco danneggiato da acqua e sali fino ad un'altezza sopra la linea evidente dell'umidità, pari come minimo, a tre volte lo spessore della muratura (sarà consigliabile, comunque, non scendere al di sotto di un metro) avendo cura sia di rimuovere tutti gli eventuali materiali non compatibili estranei alla muratura (ad es. elementi metallici, lignei ecc.), sia di raschiare i giunti fra mattone e mattone (per almeno 2-3 cm di profondità) allo scopo di assicurarsi l'asportazione di sporco, muffe ed altri elementi contaminanti presenti tra gli interstizi, il materiale di scarto dovrà essere rimosso celermente dallo zoccolo del muro in quanto inquinato di sali (per maggior specifiche sulla asportazione dell'intonaco si rimanda all'articolo specifico).

Pulizia della superficie

La superficie, portata al vivo della muratura, dovrà essere pulita mediante un accurato lavaggio effettuato con l'ausilio di idropulitrice o con getto di acqua deionizzata a bassa a pressione, spazzolando la superficie mediante spazzole di saggina o con altro idoneo sistema prescelto dalla D.L.

In caso di consistenti concentrazioni saline dovrà, al contrario, essere evitato qualsiasi lavaggio con idropulitrice che potrebbe compromettere ulteriormente il supporto; la superficie subirà una pulizia di fondo a mezzo di scopinetti e/o spazzole di saggina, con lo scopo di allontanare dalla muratura tracce di sporco e residui pulverulenti; in caso di necessità la pulitura potrà essere coadiuvata da getti di aria compressa a bassa pressione; in ogni caso la superficie dovrà essere oggetto di desalinizzazione attraverso un minimo di due cicli di impacchi di polpa di cellulosa imbevuta di acqua deionizzata (per ulteriori specifiche si rimanda all'articolo inerente "Estrazione di sali solubili mediante applicazione di compresse assorbenti").

Successivamente a questa fase dovranno essere asportate le parti mobili e quelle eccessivamente degradate sostituendole con elementi nuovi e, nel caso di parti mancanti od accentuati dislivelli, sarà opportuno procedere alla ricostruzione con cocci di mattoni e malta di calce (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante le "Rincoccature").

Ristilatura dei giunti

Stuccatura dei giunti mediante malta a base di calce idraulica naturale ed inerti scelti e selezionati, eventualmente caricata con cocciopesto (per maggiori specifiche si rimanda all'articolo riguardante le "risarciture-stilature dei giunti di malta").

Eventuale primer antisale

In presenza di umidità elevata e di consistenti efflorescenze saline, previo periodo di traspirazione diretta della muratura, sarà consigliabile applicare a pennello od a spruzzo con un ugello erogatore di circa \square 2-4 mm (ad una pressione di circa 1 atm), su superficie perfettamente pulita ed asciutta un primer inibitore delle salinità e promotore della traspirazione,

costituito da emulsione polimerica, incolore, esente da solventi, ad alto contenuto ionico, traspirante, al fine di eliminare il problema della comparsa di efflorescenze saline senza la formazione di pellicola superficiale non traspirante. L'operazione dovrà essere eseguita su superfici non direttamente esposte ai raggi solari, alla pioggia, o in presenza di vento (temperature limite di esecuzione +5 °C +35 °C); dovrà essere, inoltre, eseguita dall'alto verso il basso, in più passate, bagnato su bagnato, facendo percolare per gravità, interrompendo l'applicazione solo quando la muratura sarà satura (ovverosia quando la superficie impregnata rimarrà lucida per almeno 10 secondi). Le eventuali eccedenze di prodotto rimaste sul supporto dopo il completamento del trattamento dovranno, necessariamente, essere asportate o, se sarà possibile, fatte penetrare nella muratura con applicazioni di solo solvente diluente.

Alla fine del trattamento si provvederà a proteggere la zona d'intervento dagli agenti atmosferici fino alla completa stabilizzazione della miscela applicata (tempo variabile da 12 a 48 ore).

Strato di rinzafo risanante

Previo bagnatura con acqua pulita della muratura (seguendo le accortezze in uso per l'applicazione di un normale intonaco) si procederà ad applicare, senza l'ausilio di guide e mediante cazzuola, lo strato di rinzafo (dello spessore variabile di 20-30 mm) a cui sarà demandato il compito di preparare un fondo ruvido atto all'adesione per il successivo strato di intonaco macroporoso. Il rinzafo, che dovrà essere applicato a copertura totale del supporto, sarà costituito da una malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 resistente ai solfati, rafforzata e stabilizzata con cocchiopesto vagliato e lavato (granulometria 3-8 mm) o, in alternativa pozzolane naturali di primissima qualità, unitamente a sabbie silicee e carbonatiche selezionate (granulometria: 2 parti 1,5/5 mm + 1 parte 0,5/1,2 mm) ed eventualmente additivata con idoneo agente porogeno/aerante così da essere caratterizzato da una porosità calibrata sottile (di norma 0,100-0,150 kg per 100 kg di legante) (rapporto legante-inerte 1:3). Caratteristiche medie dell'impasto: resistenza a compressione 6-8 N/mm²; resistenza a flessione 2-3 N/mm²; resistenza alla diffusione del vapore ca. 12-15 %, porosità >25 %.

Strato di arriccio macroporoso

Dopo almeno 24-48 ore, cioè solo quando il rinzafo inizierà a rapprendersi, si procederà ad applicare, previa bagnatura del supporto, il successivo strato di intonaco macroporoso (macroporosità controllata) mediante cazzuola, per uno spessore minimo di 20 mm (in due strati di 10 mm/cad) eventuali strati superiori (fino ad un massimo di 30 mm) si applicheranno in strati successivi a distanza di 24 ore uno dall'altro (caratteristiche medie dell'impasto: granulometria 0,5-2 mm; resistenza a compressione 2-4 N/mm²; resistenza a flessione 1-2 N/mm²; resistenza alla diffusione del vapore ca. 6-8 %; porosità >35%; conduttività termica 0,30-0,42 W/mK). La stesura dell'intonaco dovrà essere eseguita avendo l'accortezza di non esercitare alcuna pressione su di esso; inoltre andrà lavorato unicamente con staggia o cazzuola americana (al fine di non ostruire i vuoti) evitando l'uso di frattazzo fine o lisciature a cazzuola. L'impasto dell'arriccio macroporoso sarà a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e grassello di calce caricate con sabbia vagliata (0,5-1,5 mm) e cocchiopesto (grana 1-5 mm) o pozzolana selezionata di alta qualità con l'aggiunta di idoneo additivo porogeno/aerante, se non diversamente specificato si potrà utilizzare un impasto costituito da: 1 parte di grassello di calce; 1 parte di calce idraulica naturale; 2 parti di sabbia; 2 parti di cocchiopesto; 0,04 parti di agente porogeno/aerante (di norma 0,200-0,250 kg per 100 kg di legante).

Passati almeno 20 giorni si potrà procedere (secondo le disposizioni di progetto), alla stesura della rasatura superficiale che potrà essere tirata a frattazzo o rasata, colorata in pasta o meno, fermo restando le condizioni tassative di un alto valore di permeabilità al vapore acqueo; infine si potrà applicare un'eventuale coloritura che non alteri le caratteristiche di traspirabilità dell'intonaco come, ad esempio, le pitture alla calce o ai silicati (per specifiche sui trattamenti di finitura e/o protezione-coloritura si rimanda agli articoli specifici).

Passati almeno 20 giorni si potrà procedere (secondo le disposizioni di progetto), alla stesura della rasatura superficiale che potrà essere tirata a frattazzo o rasata, colorata in pasta o meno, fermo restando le condizioni tassative di un alto valore di permeabilità al vapore acqueo; infine si potrà applicare un'eventuale coloritura che non alteri le caratteristiche di traspirabilità dell'intonaco come, ad esempio, le pitture alla calce o ai silicati (per specifiche sui trattamenti di finitura e/o protezione-coloritura si rimanda agli articoli specifici).

Avvertenze

Nel caso di utilizzo di prodotti premiscelati le modalità ed i tempi di applicazione potranno variare secondo la natura del prodotto e sarà obbligo seguire accuratamente le istruzioni del produttore, sia per quanto riguarda la preparazione degli impasti sia per i vari strati da applicare; ad esempio alcuni produttori omettono il *primer* antisale in quanto già compreso nella malta da rinzafo, oppure altri non prevedono il rinzafo con copertura totale ma solo uno strato al 60% sopra il quale applicare un primo strato antisale macroporoso (spessore 15 mm) ed uno di risanamento sempre macroporoso (spessore minimo 20 mm).

Nel caso di spessori di malta maggiori di 30-40 mm potrà essere consigliabile inserire una rete di supporto così da evitare l'insorgenza di fessurazioni; preferibilmente sarà montata una rete in polipropilene (PP) bi-orientata a maglia quadrangolare (ad es. 30x45 mm) caratterizzata da totale inerzia chimica, elevate doti di deformabilità (? 13%) e leggerezza (peso unitario 140 g/m²), si ricorda che pannelli di rete adiacenti dovranno essere posati in modo da garantire almeno una sovrapposizione di due maglie.

Nel caso sia prevista l'applicazione dell'intonaco macroporoso soltanto su di una porzione di parete (ad es. per 150 cm), la linea di giunzione tra i due intonaci si potrà rivelare, nel tempo, un elemento critico: le diverse composizioni degli intonaci potrebbero far nascere cretti o piccole fessurazioni che demarcherebbero il nuovo intervento; si potrà cercare di ovviare a questo inconveniente mettendo sia in opera intonaci il più simile possibile (sia come leganti, sia come inerti) a quelli preesistenti sia posizionando, lungo la linea di giunzione (per un'altezza di circa 30-40 cm) una rete antifessurazione in polipropilene a maglia quadrangolare (ad es. 13x16 mm), le bande di rete potranno essere semplicemente appoggiate sulla malta ancora fresca procedendo dall'alto verso il basso, ed in seguito annegate con l'aiuto di un frattazzo o di una spatola; sarà oltremodo consigliabile sovrapporre eventuali teli adiacenti per un minimo di 10 cm.

4. Applicazione di intonaco termodepressurizzante

Messa in opera di intonaco termodepressurizzante (tipo *Novomur*), dotato di una struttura alveolare a cellula aperta macroporosa, diffusa nella massa, le cui cavità sono circondate da uno scheletro termoisolante che le mantiene distanziate, proteggendone le superfici interne. Gli alveoli, comunicanti fra loro attraverso una fitta rete di micropori, assicurano, quasi per aspirazione, il trasporto dell'umidità verso gli alveoli più grandi, da cui viene vaporizzata. L'effetto depressurizzante è dovuto al fatto che nello spessore dell'intonaco viene a crearsi un'elevatissima quantità d'aria di contatto con l'aria esterna tale da formare dei microvortici, i quali ispirano vapore permettendo che il prosciugamento si raggiunga anche in presenza di un processo di umidificazione continuo come potrebbe essere un muro contro terra. L'applicazione di questo specifico intonaco farà sì che l'umidità incorporata nello spessore si sposti, a flusso continuo, verso i lati caldi, dove verrà ispirata e vaporizzata dalla massa termica depressurizzante, fino a completo esaurimento. Il processo di deumidificazione continua si stabilizzerà così alla base del muro, impedendo la risalita sia dell'umidità, sia dei sali; in questo modo la muratura non verrà più umidificata dalle acque disperse e tanto meno sfaldata dai sali. Questo specifico intonaco ha la capacità di adempiere a più funzioni contemporaneamente: mantenere l'ambiente sano e la muratura costantemente asciutta e integra, perfettamente isolata termicamente ed acusticamente, evitando al tempo stesso la proliferazione di batteri.

La procedura operativa prevede le seguenti fasi esecutive:

- *asportazione intonaco* (si veda quanto descritto all'articolo "Applicazione di intonaco macroporoso");
- *pulizia della superficie* (si veda quanto descritto all'articolo "Applicazione di intonaco macroporoso");
- *messa in opera di primer*: previa abbondante bagnatura del supporto murario con acqua pulita si procederà applicando una "schizzata" con malta molto fluida composta da calce idraulica naturale, renone, acqua e ancorante, ossia resina acrilica emulsionata in acqua (rapporto acqua-resina: 10 l di acqua/1 kg di resina);
- *messa in opera di intonaco termodepressurizzante*: previa esecuzione di guide, eseguite con il materiale stesso o con listelli di legno, si procederà a stendere il prodotto a grosse mestolate, l'una vicina all'altra. L'applicazione può essere eseguita in una sola passata sino a 3 cm di spessore, spessori più consistenti dovranno essere applicati in più passate, in ogni caso la sovrapposizione della malta potrà essere effettuata dopo 24 ore.

Al fine di non rompere gli alveoli creatisi all'interno della massa dovranno essere prese delle precauzioni operative, ossia:

- *le sporgenze della malta dovranno essere tagliate con la sola cazzuola*;
- *in fase di tiraggio non si dovrà "ringrossare" l'arricciatura*;
- *si dovrà assolutamente evitare di "schiacciare" la malta*;
- non si dovrà impiegare il frattazzo per lisciare la superficie arriciata ma dovrà essere esclusivamente staggiata immediatamente dopo l'applicazione, altrimenti tenderà a strappare, pertanto non sarà consigliabile stendere la malta in una sola volta su una vasta superficie, ma sarà bene procedere a tratti di 70/80 cm alla volta. La staggiatura dovrà essere eseguita con riga metallica, azionata lentamente a zig-zag dal basso verso l'alto: se successivamente alla staggiatura alcuni punti dovessero rimanere sotto livello, si potrà ingrossare l'arricciatura; questa operazione dovrà essere eseguita con estrema cautela in quanto si potrebbe incorrere nel cedimento dell'intera massa. La seconda staggiatura potrà essere eseguita con riga di legno al fine di rendere la superficie ruvida, pronta per ricevere il velo di finitura. Il velo di finitura non dovrà contenere cemento né altri leganti resinosi ma dovrà essere composto solo da grassello di calce ben stagionato e sabbia. Il velo potrà essere applicato dopo minimo 48 ore su spessori medi di 2-3 cm e dopo 5-6 giorni su spessori alti 4-7 cm; così come lo strato di finitura, anche la tinteggiatura finale non dovrà contenere leganti resinosi ma dovrà essere a base di calce o, in alternativa, al silicato di potassio.

Specifiche sui materiali

L'intonaco termodepressurizzante dovrà presentare le seguenti caratteristiche tecniche:

- *coefficiente di resistenza al vapore $\mu = 5,3$ per spessore di 2,5 cm*;
- *coefficiente di velocità di trasmissione del vapore = 370 gr al giorno/m²*;
- *conducibilità termica $\lambda = 0,045$ Kcal/hm°C*;
- *peso specifico apparente 150kg/m³*;
- *resistenza alla compressione 12 kg/cm² dopo 30 giorni*.

5. Formazione di barriera chimica idrofobizzante

L'intervento si pone l'obiettivo di interrompere la risalita dell'umidità trasmessa dalle parti interrato del manufatto, tramite uno sbarramento (mediante impregnazione a lenta diffusione o per iniezione a bassa pressione) di natura chimica continua, orizzontale e/o verticale, capace di impedire l'infiltrazione capillare d'acqua. Questa procedura basa il suo funzionamento sul fatto che l'altezza della risalita d'umidità dipende dalla tensione superficiale delle pareti degli alveoli presenti all'interno dei materiali da costruzione. L'intervento sarà praticabile su qualsiasi tipo di muratura (ad eccezione, forse, di quelle a secco dove sarà consigliabile intervenire, con tecniche e con impregnanti diversi, sul contorno piuttosto che nel riempimento), sia fuori terra, sia interrata, in qualsiasi periodo dell'anno, salvo tenere presente che, a basse temperature, i tempi di indurimento dei formulati possono aumentare anche del 50%. La procedura operativa prevederà le seguenti fasi esecutive:

Indagine preventiva

Prima di procedere all'impregnazione della muratura dovranno essere appurati vari fattori: la conformazione delle malte presenti, l'omogeneità della struttura, la misurazione indicativa del livello di umidità e l'analisi chimica dei materiali e dei tipi di sali eventualmente presenti; alcuni di essi potrebbero, infatti, influire negativamente nella deumidificazione e, in ogni caso, sarà opportuno eliminarli trasformandoli da idrosolubili in insolubili.

Al fine di riuscire ad individuare la linea di perforazione sarà conveniente conoscere la differenza di quote tra interno ed esterno. Il livello sarà segnalato ad un'altezza pari a circa 15-20 cm sopra la quota 0,00 che coinciderà con quella rilevata più alta; l'andamento di tale livello potrà essere orizzontale, verticale od obliquo a seconda dei casi specifici e delle prescrizioni di progetto. Prima di eseguire le forature sarà opportuno accertarsi che la porzione di muratura interessata dall'intervento presenti uno spessore costante; in caso contrario sarà necessario segnare sulla muratura dove avviene il cambiamento di spessore riportando le eventuali, differenti misure così da poter perforare rimanendo sempre entro i 5-8 cm al di sotto dello spessore del muro.

Andrà, inoltre, accertato che, nella porzione interessata dall'intervento, non siano presenti elementi estranei, come tubazioni od impianti elettrici che potrebbero essere danneggiati con la perforazione, o fessurazioni che favorendo la dispersione del liquido, renderebbero inefficiente l'intervento; pertanto, nel caso di fessurazioni, si procederà al loro ripristino seguendo le procedure indicate negli articoli specifici (la messa in opera di una barriera chimica non arreca alcun mutamento alla statica del manufatto e non esistono riserve per il suo impiego in apparecchi lesionati o sconnessi escluso, ovviamente, la possibilità di insuccesso dell'intervento). Nel caso si debba operare su di una muratura particolarmente disgregata si renderà necessario, prima di iniziare le operazioni di perforazione, consolidare la muratura in modo da garantire il suo equilibrio statico durante e dopo l'intervento. Il consolidamento seguirà i criteri dettati da ogni caso specifico. Se, invece, si tratterà di operare su di una superficie intonacata distaccata o particolarmente degradata, prima di perforare sarà vantaggioso eseguire l'asportazione dell'intonaco, da terra fino a 20-30 cm, sopra la linea di demarcazione delle forature e realizzare una fascia d'intonaco contenitiva per mezzo di malta con struttura molto debole (per es. 300 kg di calce idrata per 1,00 m³ di sabbia) in modo da poter essere rimossa con estrema facilità alla fine dell'operazione.

Perforazione della muratura

La muratura verrà perforata, con l'ausilio di un trapano a lenta rotazione a punta lunga, al livello prestabilito (generalmente ad una altezza di 15-20 cm dalla quota più alta dei due pavimenti che delimitano la stessa parete) così da ottenere dei fori perpendicolari alla muratura (iniezione a pressione), ovvero leggermente inclinati verso il basso di circa 20° (lenta percolazione), con un diametro in ragione della dimensione e della tipologia dei diffusori, di norma 10 mm per il sistema a pressione, 15-30 mm per il sistema a percolazione, distanziati tra loro reciprocamente dai 10-12 cm ai 15-25 cm e profondi quanto lo spessore della muratura meno 8-10 cm in caso di diffusione lenta; in caso di diffusione a bassa pressione la profondità sarà limitata a 10-12 cm. Il numero e la distribuzione delle perforazioni e, di conseguenza, la quantità di miscela da immettere seguiranno le disposizioni di progetto; in ogni caso saranno in rapporto alle caratteristiche strutturali, alle dimensioni delle murature, nonché al potere assorbente dei materiali. Per uno spessore di muratura inferiore ai 50-60 cm si potrà sempre realizzare la corsia di fori da un solo lato per una profondità pari a circa l'80% della sezione muraria; per spessori maggiori sarà consigliabile interferire su entrambi i lati lasciando il solito margine di 8-12 cm al fine di evitare la trasudazione del formulato all'esterno.

Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, le perforazioni saranno eseguite sul materiale (pietra, mattone ecc.) e sul letto di malta se ambedue presenteranno potere assorbente, viceversa solo sui giunti di malta se il materiale sarà particolarmente compatto (ad es. muratura in laterizio pieno: una sola corsia di fori eseguiti nei giunti di malta o nell'elemento in cotto; muratura in elementi lapidei non assorbenti o muratura mista pietra e laterizio: doppia fila di forature eseguite solo nei giunti indicativamente, la prima a 10-12 cm dal piano 0,00 ed una seconda a 20-25 cm). Se il progetto prevede più file di fori, sarà consigliabile che queste siano disposte a quinconce, così da avere una sorta di maglia triangolare che potrà assicurare uno sbarramento continuo ed uniforme; particolare attenzione dovrà essere fatta dove la muratura presenti lesioni o soluzioni di continuità. In presenza di murature umide controterra sarà consigliabile praticare le perforazioni in verticale fino a superare circa 50-60 cm la quota di livello del terrapieno. Terminata l'operazione di perforazione dovrà, necessariamente, essere eseguita la pulitura dei fori da eventuali residui mediante aria compressa o scovolini.

Il fissaggio del diffusore o degli ugelli di iniezione (secondo la tecnica prescelta) alla muratura sarà realizzato in modo da ovviare l'eventuale fuoriuscita del liquido, con l'ausilio di una malta a presa rapida a base di calce idraulica esente da sali oppure con apposita guarnizione di tenuta. terminate le operazioni di iniezione si procederà alla rimozione degli iniettori presenti all'interno della muratura ed all'asportazione del materiale utilizzato per l'adesione dei diffusori alla muratura.

Specifiche sul liquido idrofobizzante

La tipologia dei formulati impregnanti è varia (silossano oligomero in solvente alifatico dearomatizzato, microemulsione silossanica in solventi eteropolari idrolizzati, silano in acqua demineralizzata ecc.); le caratteristiche che accrediteranno una buona miscela idrofobizzante dovranno essere:

- bassa tensione superficiale, bassa viscosità, basso peso specifico e buon potere bagnante al fine di conferire la massima facilità di penetrazione del liquido nella muratura;
- bassa velocità di polimerizzazione e capacità di polimerizzazione anche in presenza di acqua per consentire un rapido funzionamento della barriera ed evitare che, nel tempo successivo all'operazione, agenti estranei ne disperdano l'efficacia;
- valore di pH nullo, assenza di componenti tossici, nessuna efflorescenza in asciugatura.

In ogni caso i formulati dovranno rispettare i requisiti richiesti dalla Raccomandazione NorMaL 20/85.

Attivazione barriera chimica mediante lenta diffusione

La tecnica sarà caratterizzata dalla lenta immissione del formulato prescelto introdotto all'interno della muratura mediante dei trasfusori, composti, generalmente, da tre elementi: un recipiente graduato (a tasca, a bicchiere ecc.) dove verrà contenuto e misurato l'impregnante, un tubo iniettore, munito di regolatore di flusso, e "gommini diffusori" (in spugna sintetica, cellulosa pressata ecc.), talvolta è lo stesso tubo iniettore a compiere anche la funzione di diffusore.

Il formulato idrofobizzante potrà essere immesso, seguendo le disposizioni di progetto, in più riprese, impregnando, in genere, murature porose in poche ore, mentre quelle più compatte, saranno saturate in poco più di 24 ore. La procedura diventerà "operante" come idrofobizzante dopo circa 24-48 ore in ambienti molto aerati mentre, in ambienti chiusi o con

poca ventilazione, il tempo di completa polimerizzazione si potrà dilatare per qualche settimana (fino ad arrivare ad oltre un mese) in funzione del grado di umidità relativa e della sezione della muratura.

Attivazione barriera chimica mediante iniezione a pressione

La tecnica sarà caratterizzata dall'impregnazione della muratura con il formulato idrofobizzante prescelto utilizzando un sistema di iniettori di rame (ca. \square 10 mm) muniti di valvola di tenuta, collegati ad un compressore a bassa pressione (ca. 1-2 atm, nella fase conclusiva si potrà salire fino a 3-4 atm). In una muratura a mattoni compatti si potrà operare con pressioni di 4-5 atm; in quelle in pietra compatta, dove le iniezioni verranno eseguite nei letti di malta, non si dovrà superare le 2 atm; in ogni caso il formulato sarà immesso, in più cicli, che non dovranno superare i 40-45 secondi, così da evitare il pericolo di creazioni di fessurazioni nell'apparecchio murario. La quantità di liquido introdotto sarà in funzione dello spessore e della tipologia della muratura nonché del grado di umidità presente; in ogni caso, senza che si verifichino perdite non attese, potrà rifarsi a circa 0,5 l per metro lineare/cm di spessore. Nell'eventualità di murature di rilevante spessore (e se previsto dagli elaborati di progetto) l'iniezione potrà essere eseguita con applicazione progressiva avvicinando la perforazione all'iniezione, estendendo la profondità dei fori non appena la sezione di parete trattata si dimostrerà satura: in questo modo si impregneranno sezioni di muro sempre più profonde.

Per le superfici intonacate removibili

ELIMINAZIONE DELL'INTONACO DEGRADATO

Dopo aver eseguito il trattamento sarà opportuno rimuovere le superfici intonacate fino al vivo delle murature, (almeno 30/50 cm sopra il segno lasciato dall'umidità di risalita) al fine di agevolare l'asciugatura delle pareti dopo l'intervento; il ripristino dell'intonaco potrà avvenire solo dopo aver controllato il livello di umidità e dopo che la muratura si sia asciugata (minimo due settimane). Per maggiori specifiche sull'asportazione dell'intonaco si rimanda alla procedura specifica.

RIPRISTINO INTONACO

Previa operazioni preliminari di pulitura ed eventuale trattamento con *primer* antisale si opererà il ripristino di idoneo intonaco macroporoso al fine di completare l'operazione di deumidificazione. (Per maggiori specifiche si rimanda a quanto detto riguardo alla procedura sull'applicazione di intonaco macroporoso).

Superfici intonacate non removibili

PULITURA E CONSOLIDAMENTO INTONACO

Nel caso in cui le superfici intonacate non potranno essere asportate (per es. per la presenza di affreschi o decorazioni da tutelare) si opererà una desalinazione localizzata mediante impacchi assorbenti (carta giapponese o polpa di cellulosa ed acqua deionizzata) dopodiché si procederà con il consolidamento della superficie intonacata. (Per maggiori specifiche si rimanda a quanto detto riguardo alle procedure di consolidamento di superfici intonacate).

Avvertenze: generalmente si rivelerà difficile verificare se il materiale trasfuso abbia realmente impregnato, in modo omogeneo e tale da renderlo idrofobo, l'intero strato orizzontale di muratura oggetto di intervento; in ogni caso sarà da tenere presente che la sola riduzione, anche elevata della sezione assorbente, non impedirà all'acqua di risalire attraverso la strozzatura. Pertanto o l'intercettazione dell'umidità da risalita capillare sarà ottenuta al 100% della sua sezione orizzontale o, nel tempo, potranno apparire di nuovo patologie legate all'umidità, anche se rallentate ed in misura inferiore. In caso di perdite di liquido idrofobizzante sul pavimento o su altre superfici di finitura si dovrà provvedere all'immediata pulitura; sarà, pertanto, buona norma stendere della segatura od altro materiale assorbente alla base del muro su entrambi i lati della perforazione prima di iniziare la procedura operativa.

6. Formazione di barriera elettrosmotica

L'intervento si pone l'obiettivo di prosciugare la muratura in maniera diffusa e basa la sua tecnica sull'inversione del fenomeno fisico dell'elettro-osmosi, per mezzo di una differenza di potenziale elettrico tra due masse liquide separate da un corpo poroso quale può essere la muratura. Il terreno agisce, normalmente, da polo positivo pertanto, le forze elettro-osmotiche tenderanno a trasportare le molecole d'acqua verso il muro, che agisce da catodo (polo negativo): l'intervento realizzerà l'inversione di polarità, trasportando il polo negativo nel sottosuolo ed il polo positivo (anodo) nella muratura da risanare. La procedura, di norma, troverà buona applicabilità in tutti quei casi in cui sarà necessario abbassare in modo consistente il contenuto d'acqua presente in materiali porosi. Mediante questa procedura operativa si potrà diminuire, nei materiali a grande assorbimento (ad es. murature in tufo), il contenuto d'acqua sino al 25%; al contrario, in murature di materiali mediamente porosi come i laterizi, i risultati non potranno essere gli stessi (dall'iniziale 30% non si riuscirà a scendere al di sotto del 12-14%). Con un sistema di questo tipo si lasceranno evaporare solo le molecole d'acqua in prossimità della superficie del muro; al suo interno, invece, le correnti d'umidità torneranno per capillarità nel sottosuolo dal quale originariamente provengono.

6.1. Barriera elettrosmotica attiva

La procedura prevedrà l'esecuzione di una traccia orizzontale sulla muratura, per un'altezza variabile dai 3 a 30 cm (a seconda del tipo di anodo), nell'intonaco o nei giunti di malta al massimo livello visibile raggiunto dall'umidità all'interno o all'esterno del setto murario o, in alternativa se il progetto lo prevede, la rimozione totale degli intonaci degradati (per maggiori specifiche sulla procedura di rimozione intonaco si rimanda all'articolo specifico).

Si procederà con il fissaggio orizzontale, all'interno della traccia precedentemente realizzata, del semiconduttore elettrico (polo positivo) che potrà essere costituito da una rete metallica nel caso sia essa stessa conduttrice di corrente o di materiale plastico nel caso in cui la corrente sia attivata mediante una piattina conduttrice fissata sulla sua parte superiore; l'altezza della rete dovrà essere di circa 250-270 mm per uno spessore di 10 mm. In alternativa allorché occorra intervenire

in maniera meno invasiva possibile (ad es. sopra capitelli, cornici, pareti affrescate ecc.) si potrà ricorrere ad anodi lineari continui costituiti di poliuretano-carbonio con anima in lega di acciaio-tungsteno, a forma di "stringa" ovvero piattina alta 10-12 mm con uno spessore di 6-8 mm così da poter essere inserita lungo le tracce eseguite nei giunti di malta. La collocazione degli anodi seguirà le disposizioni di progetto, in assenza di queste si potranno localizzare poco sopra la linea di massima risalita (massimo $h = 250$ cm), lungo tutta l'estensione della muratura da trattare così da creare un circuito elettrico chiuso. Qualora la presenza di umidità superasse l'altezza di 300 cm sarà opportuno installare uno o più anodi supplementari (impianto a cascata) in parallelo alla fascia di base così da garantire la deumidificazione anche della zona murale superiore. Successivamente alla messa in opera delle reti o piattine si procederà all'eventuale ripristino dell'intonaco con impasto macroporoso. Per maggiori dettagli sull'applicazione di intonaco macroporoso si rimanda all'articolo specifico.

Prima esecuzione nel terreno, in prossimità della muratura da trattare, di perforazioni profonde 120-150 cm distanziate tra loro di circa 200-300 cm (distanza strettamente relazionata alla conducibilità elettrica del terreno) si procederà all'inserimento di puntazze di carbonio munite di conduttore vulcanizzato antifiamma con funzione di semiconduttori negativi lunghe circa 50-65 cm e con un diametro di 16-27 cm (in rapporto allo sviluppo dell'anodo) successivamente collegate tra loro al fine di creare un anello a circuito elettrico chiuso.

I due circuiti dovranno essere collegati in parallelo alla centralina di alimentazione attraverso idonei cavi elettrici inguainati. La centralina elettronica digitale (allacciata alla comune rete elettrica di 220 Volt) fornirà al sistema corrente continua ad impulsi con valori che non provocheranno corrosione su metalli ed intonaci; la tensione sarà mantenuta bassa tale da non superare i 2,8 Volt e 2m Ampère d'intensità massima per metro lineare di muro (qualsiasi siano lo spessore e la tipologia della muratura).

Eventuale ciclo di pulitura

Gli eventuali sali che dovessero emergere sulla superficie, generati dall'evaporazione dell'acqua presente nell'intonaco, potranno essere rimossi, secondo i casi specifici, o tramite pulitura dell'intonaco o, dove è consentito, con la rimozione ed il ripristino di uno nuovo.

Avvertenze

Occorrerà fare particolare attenzione ad eventuali interruzioni di corrente; in questo caso sarà indicato riattivare l'interruttore di alimentazione magneto-termico localizzato accanto alla centralina. La corretta riuscita dell'operazione si legherà all'esatto posizionamento dell'elettrodo positivo, se introdotto al di sotto del limite orizzontale dell'area umida-asciutta potrà insorgere una parziale stagnazione di acqua di ritenuta presente al di sopra della barriera elettrica. Il sistema potrà essere ripetuto, su di una superficie, più volte, generando il cosiddetto impianto a "cascata" composto da diverse fasce di anodi con relativo circuito; a tale sistema si ricorrerà quando sarà necessario ridurre l'eccessiva ed estesa stagnazione di sali a più livelli (si userà questo sistema in presenza di affreschi).

Specifiche

In alternativa alla creazione di un doppio circuito potrà essere impiegato il metodo "ad anello", che consiste nell'installazione di un unico circuito interrato inserito all'interno di una traccia per terra all'esterno o all'interno dell'edificio, senza bisogno di ulteriori tracce nel muro. Dal punto di vista operativo l'intervento si concretizzerà nell'esecuzione a quota zero, ossia alla quota più bassa possibile, di tracce orizzontali anulari (previa loro accurata dissalazione) ove alloggiare elettrodi dispersori positivi, e nel cementare questi con malta resa conduttiva. Dalle suddette tracce partiranno delle puntazze (poli negativi) che saranno inserite, previa perforazione, nel terreno, in modo da creare un campo elettrico diretto verso il basso di valore pari a circa 350 mV per metro lineare. Tale vettore contrasterà quello del campo di forze di risalita capillare che ha stessa direzione ma verso opposto ed intensità pari a circa 100/150 mV per metro lineare. L'impianto sarà gestito da una centralina elettronica autoregolante che verrà collegata alla rete elettrica civile ed erogherà agli elettrodi dispersori corrente elettrica continua a bassissima tensione (circa 4-6 Volt). L'intensità di corrente erogata sarà anch'essa minima (per una muratura di circa 100 m di sviluppo all'inizio e di circa 5 Watt/h) e diminuirà con l'asciugatura del muro, cosicché il consumo, sebbene l'impianto sia costantemente alimentato, si ridurrà entro 3 o 4 mesi a quantità irrisorie (1 Watt/h). La centralina sarà, inoltre, in grado di registrare giornalmente l'intensità di corrente erogata e quindi il processo di deumidificazione, segnalando eventuali anomalie. Va da sé che il potenziale dovrà esser mantenuto per sempre altrimenti la risalita capillare riprenderà la sua azione. L'impianto sarà regolabile e reversibile.

6.2. Barriera elettrosmotica attiva non invasiva

In alternativa al sistema tradizionale di barriera elettrosmotica attiva potrà esser impiegata una tecnologia elettrofisica basata sulla risonanza ad impulsi a bassa frequenza assolutamente non invasiva e totalmente reversibile (tale sistema non prevede, infatti, l'utilizzo di nessun elettrodo o barre conduttrici da fissare nelle pareti). Il sistema prevede l'installazione di una o più centraline, di dimensioni piuttosto ridotte (circa 21x18x12 cm), posizionate, preferibilmente, all'interno della fabbrica e, dove possibile, al di sopra del "fronte di risalita capillare" ossia il limite di migrazione dell'acqua (in ogni caso ad una altezza non superiore ai 250-300 cm dal pavimento); la suddetta centralina sarà alimentata da corrente a 220 V, 50-60 Hz e sarà collegata ad una semplice presa Schuko 16A. Il sistema sopra descritto si autoregolerà in relazione all'umidità di risalita: l'emissione di un debole campo elettromagnetico (intensità campo magnetico: 0,3 V/m; induzione magnetica a 1 cm dall'apparecchio 0,8 μ T, a 15 cm 0,5 μ T a 30 cm ininfluyente), che interagisce con il campo elettromagnetico dei dipoli dell'acqua, darà vita ad una forza di tipo elettromagnetico che spingendo i dipoli dell'acqua verso il terreno garantirà l'arresto del movimento ascendente dell'acqua ed il conseguente lento asciugamento della muratura oggetto di intervento (di norma il periodo è variabile da un minimo di 6 mesi a ad un massimo di 36 mesi). La suddetta tecnologia prevede un raggio di azione variabile da un minimo di 9 m ad un massimo di 15 m a livello sferico (ossia a 360°) dal luogo di installazione (l'effetto si estenderà anche nei riguardi delle solette e dei pavimenti).

6.3. Barriera elettrosmotica passiva

Il sistema dovrà essere limitato a costruzioni in mattoni, o pietre arenarie. Previa esecuzione di fori (ca. \square 35-40 mm profondità 160-180 cm) inclinati di 45° nella muratura (a circa 80 cm dal piano di campagna) intervallati di circa 50-60 cm, si provvederà all'inserimento di sonde metalliche (ad es. tondini di ferro rivestiti con gomma vulcanizzata, tondini in acciaio inox ecc.) ed al loro successivo inghisaggio con boiaccia cementizia. Il sistema non sarà alimentato da corrente elettrica e sfrutterà il principio del campo elettrico esistente dando vita ad una inversione di poli per corto circuito (terreno polo negativo; setto murario, polo positivo). Questo intervento sarà efficace ma limitato nel tempo, infatti, le sonde metalliche si consumeranno lentamente fino ad annullare le proprie "facoltà".

Avvertenze

Attraverso questa tecnica si potrà eliminare solamente quella porzione di acqua che risale la muratura per elettro-osmosi ma non quella che ascende per capillarità; sarà, pertanto, consigliabile coadiuvare questo sistema con l'applicazione di intonaci macroporosi traspiranti alle pareti al fine di migliorare l'evaporazione dell'acqua capillare di risalita (per maggiori dettagli sull'applicazione di intonaco macroporoso si rimanda all'articolo specifico). Un problema connesso a questa procedura sarà costituito dalla polarizzazione degli elettrodi che, a seconda del materiale utilizzato, si potranno deteriorare sotto l'effetto di correnti vaganti, con la conseguente diminuzione della resistenza del circuito dovuta alla loro corrosione.

7. Tecnica del sifone atmosferico

La procedura, mossa dalla necessità di aumentare la superficie esterna di evaporazione e ridurre, al tempo stesso, la sezione orizzontale della muratura (così da diminuire la quantità d'acqua trasportata per capillarità) si baserà sul principio che l'aria esterna, più asciutta e, di conseguenza, più leggera di quella che si troverà all'interno del manufatto, salendo all'interno del canale di aerazione sposterà l'aria umida e pesante, accumulata dentro il sifone, verso l'esterno.

L'intervento sarà caratterizzato dalla messa in opera di idonei sifoni prefabbricati (lunghezza variabile dai 10 cm ai 50 cm) di materiale poroso dotati di un canale centrale (realizzato in cotto, plastica ecc.) di forma triangolare, circolare o pentagonale. Questi sifoni saranno alloggiati in fori (eseguiti dall'esterno verso l'interno per una profondità pari a circa la metà dello spessore del muro) di sezione possibilmente rettangolare (dim. medie 70x90 mm) eseguiti a mano o con l'ausilio di apposita carotatrice (minimo \square 120 mm). Se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto si realizzerà una fila orizzontale di perforazioni ad una quota non inferiore ai 20-25 cm dal piano di campagna in ragione di 3 per ogni metro lineare di muratura. In presenza di murature particolarmente umide si potrà ricorrere ad una seconda fila parallela di perforazioni così come, in presenza di elevate sezioni, (> 90 cm) sarà vantaggioso disporre, a passo alternato, i sifoni su entrambe le facce della muratura.

L'inserimento dei sifoni all'interno dei fori (fino a toccare la parete interna del foro) avverrà previa creazione di idonea pendenza verso l'esterno (circa 30°) con apposita malta porosa (ad es. un impasto abbastanza asciutto potrà essere composto da: una parte di calce idraulica naturale esente da sali, una parte di sabbia silicea fine lavata 0,5-2 mm, 2 parti di sabbia silicea grossa 2-4 mm). Passato il tempo necessario a far "tirare" la malta si procederà ad introdurre il sifone, inglobandolo nella stessa malta del letto, fino a raggiungere la parete posteriore del foro che dovrà essere più lungo di 2-3 cm, al fine di sistemare una griglia di protezione, posta con il vertice verso l'alto.

Specifiche

In commercio esistono delle cartucce che si basano sul medesimo principio (scambio termico tra la temperatura all'interno del muro e l'aria esterna dell'ambiente) ma presentano il vantaggio di avere dimensioni molto ridotte rispetto al sifone classico (\square cartuccia < a 18 mm) e di non fare uso di malta. L'installazione, infatti, si risolverà praticando dei fori (con trapano a sola rotazione munito di punta \square 18 mm) della lunghezza di circa 2/3 del muro, con una inclinazione di 25-30° ad una altezza dal piano di calpestio pari a 15-18 cm e distanziati 15-20 cm; previa pulitura della cavità con aria compressa si inserirà la cartuccia dotata di spinotto munito di doppio foro da 4 mm.

8. Rivestimento impermeabilizzante osmotico

La procedura in oggetto potrà essere utilizzata al fine di sanare ambienti delimitati da murature sature d'umidità di risalita od a diretto contatto con acqua di falda. Questi tipi di rivestimenti avranno la capacità di occludere i pori della struttura una volta penetrati a fresco al suo interno per pochi millimetri; questo processo consentirà l'impermeabilizzazione del manufatto grazie ad una barriera fisica che impedirà all'acqua di permeare completamente il supporto e, allo stesso tempo, garantirà la traspirazione del muro. L'utilizzo di questo tipo di rivestimenti potrà essere fatto, sia su strutture in calcestruzzo, sia in muratura e, nello specifico, si potranno attuare impermeabilizzazioni di ambienti ai piani terreni, seminterrati, pareti controterra, vasche, vano ascensore e per locali, come ad esempio cucine e bagni, soggetti ad una forte produzione di vapore. Il prodotto si costituirà in genere con un legante idraulico (preferibilmente calce idraulica naturale esente da sali), sabbia di quarzo a granulometria selezionata (0-0,6 mm) ed aggregati pozzolanici e betoniti (caratteristiche medie: resistenza a compressione 26-32 N/mm²; resistenza allo strappo 1 N/mm²; impermeabilità all'acqua >8 atm; modulo elastico 16000-18000 N/mm²; pH 11; tempo di lavorabilità a 20 °C ca. 60 minuti; temperatura di applicazione limite tra +8 °C e +30 °C).

Prima dell'applicazione del prodotto su strutture in calcestruzzo si dovrà provvedere alla rimozione delle parti incoerenti e distaccate; si dovranno, inoltre, scarnificare i nidi di ghiaia, aprire le fessurazioni e provvedere alla loro risarcitura (per maggiori specifiche si rimanda a quanto indicato nell'articolo sulla ricostruzione di copriferro e/o della sezione resistente); a fine operazione si dovrà pulire accuratamente la superficie eliminando oli, polveri ecc. Per realizzare la perfetta continuità tra superfici orizzontali e verticali (ad es. intersezione pavimento-pareti) si renderà necessario creare un idoneo guscio di raccordo tra le due superfici. L'area da impermeabilizzare dovrà essere bagnata a più riprese fino a saturazione (eliminando gli eventuali ristagni con stracci, spazzole o getto d'aria prima dell'applicazione), dopodiché si procederà con la stesura (mediante pennello o spatola) del preparato, a consistenza di boiaccia, eseguita a copertura totale in strati successivi (di norma 3) di 1-1,5 mm per mano (per uno spessore totale di circa 3 mm); la prima stesura dovrà penetrare

bene nel supporto e dovrà essere asciutta prima di procedere con la mano successiva (tempo di attesa tra le mani dalle 6 alle 24 ore in ragione della temperatura e dello spessore dello strato applicato). Particolare cura dovrà essere fatta nell'applicazione del materiale in prossimità degli angoli e degli spigoli, infine, a presa avvenuta, si liscierà con la pannellessa la superficie in modo da chiudere le eventuali porosità ed ottenere, così, uno strato uniforme.

Per quanto concerne le strutture in muratura (laterizio, tufo ecc.) prima di procedere con l'applicazione del legante osmotico si dovrà provvedere alla pulizia della superficie rimuovendo da questa qualsiasi traccia di rivestimento (intonaco, vernici o pitture) mediante procedura indicata dagli elaborati di progetto (per maggiori specifiche si rimanda a quanto indicato negli articoli inerenti le puliture) e, se necessario, si opererà un consolidamento delle parti friabili o distaccate; inoltre anche in questo caso, sarà consigliabile realizzare un raccordo curvo tra parete e pavimento. Per le superfici in muratura, previa abbondante bagnatura delle stesse, si procederà applicando una prima mano di boiacca osmotica con funzione di *primer* dopodiché, sul fresco, al fine di ottenere un supporto piano ed omogeneo, verrà applicato un intonaco costituito da una malta a base di calce idraulica naturale, sabbia silicea vagliata, eventualmente additivata (al fine di migliorare l'aggrappaggio) con lattice di polimeri acrilici (ad es. 1 parte di calce idraulica, 2 parti di sabbia, 0,4 parti di resina) per uno spessore minimo di 2 cm ed eventualmente armata con rete in polipropilene; dopodiché la procedura seguirà le fasi operative precedentemente indicate per il calcestruzzo.

Specifiche

Sarà necessario proteggere le superfici d'applicazione fresca dall'insolazione diretta, dalla pioggia e dal vento per almeno le 24-48 ore successive all'ultima applicazione. La procedura, inoltre, non dovrà essere realizzata su supporti gelati in via di disgelo o con rischio di gelata nelle 24 ore successive all'applicazione.

10.6 DOCUMENTAZIONE

10.6.1 DOCUMENTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO

Nell'ottica della documentazione dovrà, necessariamente, assumere fondamentale importanza, specialmente se rapportato al "piano di manutenzione" del manufatto, tutto quanto concerne la registrazione delle informazioni delle operazioni di restauro realmente eseguite.

Le indicazioni generiche riportate sovente nelle schede tecniche di intervento (ad es. consolidamento dell'apparecchio murario con iniezioni di malta a base di calce, oppure consolidamento d'intonaco con resina acrilica) non potranno essere di nessun aiuto per un futuro intervento di manutenzione: esistono, infatti, svariati tipi sia di calce idraulica che d'inerti; diventa, pertanto, fondamentale, oltre che indicare il tipo di calce e di inerte utilizzato, indicare anche il loro rapporto, così da poter dedurre la qualità di malta messa in opera e ricavare utili informazioni. Alla stessa stregua sarà possibile trovare, in commercio, non solo diverse categorie di resine acriliche ma anche varianti dello stesso tipo; ad esempio, la resina acrilica solida è presente in varie tipologie contraddistinte da caratteristiche anche molto diverse tra loro. È facilmente intuibile che, se non verranno indicati il tipo di resina, la sua concentrazione nonché il genere e la percentuale del solvente utilizzato, capire il tipo di penetrazione e la quantità di resina introdotta diventa un'operazione tutt'altro che facile.

Nella documentazione di corredo di fine lavori dell'intervento di restauro dovranno, necessariamente, essere compilate delle schede di restauro (ovvero aggiornare quelle redatte dalla D.L. in fase di progetto) dove sarà cura dell'operatore in contraddittorio con la D.L. appuntare le eventuali modifiche apportate durante i lavori. Nel caso in cui la D.L. non avesse preliminarmente redatto schede di questo tipo sarà cura dell'appaltatore redigerle. Le informazioni peculiari che dovranno essere riportate sono le seguenti:

- *tipo di prodotto utilizzato* con relativo nome commerciale affiancato dall'eventuale sigla industriale e nome della ditta produttrice. Occorre tenere presente che alcune fabbriche producono un'ampia gamma del medesimo prodotto. Questa attenzione dovrà essere adottata non solo per i prodotti di tipo chimico ma anche per le calce, gli inerti e i prodotti premiscelati (intonaci, tinteggiature ecc.);

- *solvente utilizzato* (ad esempio: acqua, acetone, diluenti nitro, trielina, acquaragia ecc.); risulta importante conoscere il tipo di solvente utilizzato dal momento che può influenzare vari fattori tra i quali: la penetrazione della resina nel supporto (se una soluzione è resa più viscosa da un solvente questa riuscirà con più difficoltà a penetrare nel materiale da consolidare). L'eventuale resa "estetica" della resina applicata sulla superficie corticale (effetto perlante); la volatilità e, di conseguenza, il tempo di "essiccazione" della resina; un solvente molto volatile può, a causa della veloce evaporazione, trasportare in superficie la resina dando vita a strati superficiali con conseguente limitata distribuzione della resina in profondità;

- *tipo di diluizione usata* il tipo di concentrazione o di diluizione a seconda se si tratta rispettivamente di soluzioni (p/v) o emulsioni (v/v); per determinare il rapporto tra legante ed inerte si ricorrerà al rapporto v/v₁ ad es. calce idraulica 1 parte (volume), grassello di calce 3 parti (volume), sabbia silicea lavata 8 parti (volume), cocchio pesto 2 parti (volume), il rapporto legante-inerte che ne risulta è pari a 1:2,5; le sabbie impiegate nell'impasto dovrebbero essere asciutte, se si ricorre a sabbie umide (come normalmente capita in cantiere) si dovrà tenere conto di incrementare il loro volume mediamente del 15-20% rispetto a quello che si sarebbe impiegato nel caso di sabbie asciutte;

¹ L'utilizzo di dosaggi empirici quali, ad esempio, il "numero di badilate" non dovrà essere ammesso in quanto si ottengono dati non oggettivi che possono comportare spiacevoli inconvenienti. È, comunque, utile ricordare alcune unità di misura ricorrenti in cantiere: un secchio da muratore (paiolo) contiene circa 14 l d'acqua, ma per motivi pratici raramente si riempie fino al bordo, pertanto, è consuetudine calcolare una capacità pari a 10 l, l'equivalente di 0,01 m³; una carriola a riposo contiene circa 60 l (6 secchi), l'equivalente di 0,06 m³.

- *numero e modalità di applicazione* (a spruzzo, a pennello, a tasca, per percolazione, per iniezione ecc.), queste informazioni sono utili per verificare l'efficacia o meno di un trattamento nel tempo e per riprodurlo o, eventualmente, modificarlo.

10.6.2 DEFINIZIONI

Dispersione: miscela eterogenea nella quale il soluto è presente come aggregato di molecole soprattutto solidi costituiti da macromolecole (tipo certe resine sintetiche).

Soluzione: miscela omogenea di molecole in cui la componente solida (resina) è disciolta in un solvente liquido (ad. es. acqua, acetone, trielina, diluenti nitro ecc.), il calcolo della percentuale si realizza, pertanto, con il rapporto peso (solido) su volume (solvente) che si esprimerà p/v. Nelle soluzioni, le particelle solide sono equidistanti e circondate dal solvente, che ha la funzione di lubrificante facendole scivolare facilmente l'una sull'altra. Le soluzioni sono facilmente assorbite dal sistema capillare dei materiali dove sono depositate dall'evaporazione del solvente, il quale, una volta completamente evaporato, consente alla resina di riacquistare le proprie caratteristiche iniziali. Le soluzioni sono sempre trasparenti e la loro viscosità è, generalmente, bassa.

Emulsione: composto dove due elementi non miscelabili (resina ed acqua) sono tenuti uniti da elementi (detti tensioattivi o saponi) capaci di legarsi con entrambi. Il calcolo della percentuale si realizza, pertanto, con il rapporto volume (prodotto da diluire) su volume (solvente) che si esprimerà v/v. Le emulsioni sono sempre lattiginose, hanno notevoli poteri adesivi ma, una volta secche, sono difficili da rimuovere. Un'emulsione è formata da microsfele con un attrito interno piuttosto alto, pertanto, a parità di concentrazione, un'emulsione è più viscosa di una soluzione. Generalmente sono utilizzate su fessure o distacchi medio-piccoli, su cui la resina in soluzione tenderebbe ad essere troppo fluida e a non colmare i vuoti fra le fessure.

Concentrazioni: si parlerà di concentrazione nel caso di dissoluzione di un solido in un liquido e verrà indicata con il rapporto p/v. (ad es. un'etichetta che riporta la sigla p/v 5% indicherà che 5 grammi di prodotto solido sono stati disciolti in 100 ml di solvente); un altro modo semplice per esprimere la concentrazione è la percentuale in peso, che dice quanti grammi di soluto sono presenti in 100 grammi di soluzione, intesa come insieme di solvente e di soluto (% in peso).

Diluizioni: si parlerà di diluizione nel caso di miscela di un liquido in un altro liquido, verrà indicata con il rapporto v/v. Il principio corretto per realizzare nonché indicare la reale diluizione sarà il seguente: un'etichetta che riporta la sigla v/v 20% dovrà indicare che 20 ml di un liquido sono stati mescolati a 80 ml (e non come sovente erroneamente accade a 100 ml) di un altro liquido (solvente); ne risulteranno 100 ml di soluzione il cui il primo liquido (ad es. una resina acrilica in emulsione) sarà presente nella misura di 20 ml.

11 Parte II - PROCEDURE OPERATIVE DI CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

11.1 CONSOLIDAMENTO MURATURE

Premessa metodologica

Le tecniche d'intervento per il consolidamento delle strutture in muratura devono essere prescelte in riferimento a delle riflessioni operate sulla prioritaria necessità di salvaguardare testimonianze della tradizione edile rappresentative non solo per se stesse ma anche di un insieme accomunato dagli stessi aspetti caratterizzanti; quindi, pur tenendo conto delle necessità imposte dalle normative vigenti riguardo agli adeguamenti strutturali e, soprattutto, sismici dovrà essere fatta particolare attenzione al fine di non stravolgere la struttura al punto di perdere la sua originale conformazione. La richiesta e la necessità di ridare "sicurezza" ed efficienza alla costruzione non dovrebbe comportare necessariamente il mutamento, in alcuni casi radicale, degli aspetti costruttivi dell'apparato murario, così come erroneamente accade sovente, dove i setti portanti vengono privati dell'originale funzione strutturale e trasformati in tamponature di "rassicuranti" aggiunte strutturali in cemento armato. L'intervento di consolidamento non deve tradursi nell'introduzione di strutture che, pur garantendo una elevata resistenza meccanica, risultano corpi estranei per la muratura; l'incompatibilità materica genera un ibrido strutturale che difficilmente può mantenere un comportamento solidale in presenza di sollecitazioni. Questo dato, comprovato da interventi passati decisamente intrusivi, ha fatto riflettere su come sia sconsigliabile attuare a priori un consolidamento prescindendo dalla conoscenza dei materiali e della relativa tecnica costruttiva di messa in opera.

L'intervento dovrà, infatti, essere redatto in riferimento a delle indagini preventive indirizzate all'effettiva conoscenza della struttura, gli approfondimenti dovranno essere di tipo storico, indispensabili sia per capire a fondo la tecnica costruttiva, sia per poter delineare la panoramica dei vari avvicendamenti subiti nel corso degli anni come, ad esempio, interventi precedenti relazionati a problemi congeniti o legati ad eventi sismici, e di natura diagnostica che saranno finalizzati alla conoscenza del reale stato conservativo dei materiali. Delle diverse tipologie di indagini diagnostiche sarà preferibile ricorrere a quelle non distruttive, onde evitare asportazioni, anche se ridotte, di materiale che in alcuni casi potrebbero implicare l'aggravarsi del precario equilibrio strutturale. La fase conoscitiva della struttura dovrà essere in grado di rilevare i punti critici, quelli più delicati, la presenza di cavità, discontinuità materiche, vuoti ecc. al fine di poter modificare l'intervento, adattandolo alle necessità dettate dalla struttura. Capire, inoltre, le eventuali sollecitazioni che potranno colpire la struttura in tempi futuri aiuterà a definire interventi puntuali e, soprattutto, cautelativi in modo da rendere meno vulnerabile l'organismo nei confronti di futuri stati tensionali. Notizie utili potranno essere ricavate anche dalla lettura stratigrafica delle murature poiché i dati desunti potranno svelarci il susseguirsi delle attività antropiche avvallando o smentendo quanto appreso dalle notizie storiche.

Tenendo presente che le diverse tecniche costruttive cambiano, in base al periodo di costruzione, da luogo a luogo relazionandosi alla tipologia di materiale locale disponibile, al reperimento dello stesso e, soprattutto, in diretta connessione con l'abilità delle maestranze nell'eseguirle, non è da escludere che si possano rilevare, tra le diverse tecniche, varianti sostanziali, per cui, nonostante le numerose analisi e ricerche preventive operate e considerata la concomitanza di questi fattori, la messa a punto dell'intervento potrà concretamente essere operata solo a cantiere aperto, interagendo materialmente con la struttura. Il consolidamento dovrà tenere conto dei fattori principali che hanno caratterizzato la resistenza e il comportamento statico della muratura, tra i quali la natura dei materiali, la caratteristica delle malte di allettamento, la tipologia di messa in opera e la sezione della muratura.

A parità di tipologia di dissesto, tra le varie risoluzioni disponibili, il Tecnico dovrà scegliere quella più confacente alla specifica tipologia di apparecchio murario da consolidare; le eventuali sostituzioni di porzioni eccessivamente ammalorate o l'introduzione di elementi di irrigidimento dovranno essere operate, non solo nel pieno rispetto della struttura, ma soprattutto tenendo conto dei limiti imposti dalla sua intrinseca conformazione e comunque, laddove l'irrigidimento strutturale, per ovvie ragioni pratiche relazionate al caso specifico, non potrà essere realizzato in piena rispondenza con quanto sino ad ora esposto, potrà risultare consona al caso garantire, almeno in parte, la possibilità di rendere l'intervento reversibile.

11.1.1 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO APPARECCHI MURARI

1. Generalità

Le procedure di consolidamento, per quanto possibile, dovranno essere giudicate compatibili dalla D.L. e dagli organi competenti per la tutela del bene, inoltre dovranno essere riconoscibili e distinguibili dai manufatti originari ed eseguite in modo da garantire una loro, eventuale, reversibilità.

Le procedure che seguiranno daranno le indicazioni, ed i criteri generali, circa le metodologie d'intervento per i consolidamenti statici, mossi dal fine sia di aumentare le caratteristiche di resistenza dei setti murari, sia di ridurre eventuali tensioni indotte nei materiali da forze esterne. Dovrà essere, in ogni caso, interessamento della D.L. fornire, a completamento o a miglior spiegazione di quanto prescritto, delle idonee tavole di progetto munite d'ulteriori e/o diverse indicazioni. Il rilievo del quadro fessurativo costituirà il fondamento essenziale per la corretta impostazione delle adeguate operazioni di salvaguardia e di risanamento statico: il rilievo e il controllo delle lesioni dovranno essere eseguiti con appropriati strumenti al fine di verificare con esattezza se il dissesto sia in progressione accelerata, ritardata o uniforme, oppure se sia in fase di fermo, in una nuova condizione di equilibrio. Nel caso d'avanzamento accelerato del dissesto si

potrà rivelare utile un intervento di emergenza attraverso idonei presidi provvisori, in conformità alle disposizioni della D.L. Nel caso, invece, di arresto e di una nuova conformazione di equilibrio sarà doveroso controllare il grado di sicurezza dello stato di fatto, per operare in conformità della prassi prescritta negli elaborati di progetto; vale a dire protocolli indirizzati a stabilizzare la fabbrica nell'assetto raggiunto, o integrare gli elementi strutturali con consolidamenti locali o generali al fine di preservare, con un conveniente margine, la sicurezza di esercizio. Gli interventi di consolidamento dovranno essere realizzati in quelle porzioni dell'apparecchio murario affette da dissesto (lesione isolata o quadro fessurativo complesso) o caratterizzate da fenomeni d'indebolimento locale quali, ad esempio la presenza di canne fumarie o intercapedini di qualsiasi genere, carenze di ammorsature ai nodi, ecc. oppure sulle testate murarie. In linea generale gli interventi strutturali sulle pareti murarie, ove sarà possibile, dovranno utilizzare materiali con caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe a quelle dei materiali in opera, o quantomeno il più compatibile possibile.

2. Opere di presidio (puntelli, centinature e armature provvisionali)

La procedura di consolidamento provvisoria (puntellamento) dovrà, necessariamente, garantire condizioni provvisorie di sicurezza nei manufatti dissestati (ovvero ridotti allo stato di rudere) sia durante l'esecuzione delle indagini preliminari necessarie per redigere il progetto di consolidamento che durante le eventuali successive procedure di consolidamento definitivo. I suddetti lavori di puntellamento dovranno, altresì, assolvere il duplice requisito di efficacia ed economia.

Le opere di presidio saranno eseguite, se non diversamente specificato dalla D.L., o in legname (di norma legname tondo per armature in ragione della sua facile lavorabilità, della sua notevole resistenza e del suo basso peso specifico) o in pali di ferro (tubi "innocenti" uniti con giunti bullonati da preferire al legno qualora la struttura da presidiare sia molto alta rispetto al piano sul quale è previsto il trasferimento dei carichi; il sistema tubo-giunto, inoltre, presentando uno schema strutturale molto chiaro, faciliterà il calcolo della struttura) più raramente in muratura o in c.a.

Gli elementi verranno messi a contrasto con l'organismo murario da presidiare, cercando di evitare la formazione di punti singolari di forza, mediante una diffusione del carico della muratura o ad un'altra struttura muraria in migliori condizioni statiche, oppure all'esterno della struttura muraria sul terreno limitrofo. Nel primo caso si renderà necessario rafforzare le porzioni circostanti e sottostanti la zona puntellata (ad es. puntellando anche i vani sottostanti fino a quello cantinato ovvero murando i vani sottostanti a quello presidiato) così da evitare che il trasferimento dei carichi su una muratura, che potrebbe essere di per sé già non in perfette condizioni statiche, provochi in questa dissesti con eventuali ripercussioni a catena.

La struttura di contrasto a diretto contatto con l'apparecchio murario da sostenere con il puntellamento dovrà essere costituita, se non diversamente specificato dalla D.L., da un tavolato ligneo (se non diversamente specificato, di spessore 30-40 mm) in ragione della migliore adattabilità che questo materiale presenta ad una qualsiasi superficie; qualora la superficie da presidiare fosse particolarmente delicata ovvero decorata con pittura ad affresco o con altra tecnica pittorica o presentasse superfici a mosaico sarà necessario anteporre al tavolato ligneo uno "spessore" di materiale soffice, quale ad esempio gommapiuma od altro materiale ritenuto idoneo dalla D.L.

I puntelli che svolgeranno un'azione di *sostegno* (per "resistere" a carichi verticali o spostamenti verticali che la struttura subisce a causa del dissesto come ad es. cedimenti di fondazione, rotture di architravi ecc.) di strutture orizzontali (solai, davanzali, travature ecc.) saranno costituiti da ritti verticali (candele capaci di reagire, senza deformarsi, a sforzi normali) posti a contrasto con la struttura e da traversi che contrastino, a loro volta, l'eventuale slittamento dei ritti; in alternativa ai puntelli lignei potranno essere utilizzati anche elementi metallici a "T", ovvero i cosiddetti ritti di cantiere ("cristi") normalmente impiegati per sostenere la messa in opera di orizzontamenti piani. I puntelli di sostegno potranno anche essere costituiti da aste inclinate (ad es. per la messa in opera di fascio radiale per contrastare, in posizione di sostegno, i cedimenti e le deformazioni di volte e di archi) la cui inclinazione sarà variabile in ragione alla disponibilità di spazio, all'altezza, alla massa della parete ovvero dell'elemento da sostenere e allo sforzo cui sarà sottoposto. Prima di predisporre questo particolare presidio provvisoriale si renderà indispensabile accertare la sola verticalità delle azioni deformative in quanto una puntellatura di solo sostegno, in presenza di moti traslatori di natura diversa, potrebbe arrecare essa stessa danni ulteriori alle strutture.

Nel caso in cui le strutture di presidio dovessero assolvere l'azione di *ritegno* di strutture verticali (per fronteggiare movimenti di traslazione orizzontale, in presenza o meno di rotazione quali, ad esempio, ribaltamento di pareti) potranno essere costituite da aste inclinate a testa semplicemente aderente; al fine di evitare lo scorrimento del puntello sull'apparecchio murario sarà necessario che l'angolo d'inclinazione dell'asta non sia maggiore dell'angolo d'attrito tra la muratura e la stessa asta. Allorché la testa del puntello sia posta molto in alto, il puntello dovrà necessariamente diventare una struttura reticolare (in questo caso sarà preferibile utilizzare un sistema tubo-giunto in luogo di puntelli lignei), così da limitare la lunghezza libera di inflessione degli elementi che lo compongono. Al fine di evitare rischi che potrebbero arrecare danni alla stabilità ed alla integrità degli edifici limitrofi dovrà essere, dove possibile, evitata la messa in opera di dispositivi orizzontali ed inclinati a contrasto con manufatti prospicienti.

Nel caso in cui il puntello sia tenuto a impedire lo spanciamiento di una parete sarà necessario che esso venga posto in modo che il suo asse incontri la spinta in mezzzeria del maschio murario, così da eludere effetti flessionali sul maschio stesso. In questa specifica situazione il puntello sarà soggetto ad un carico uguale alla componente orizzontale della spinta.

Qualora le opere di presidio dovessero svolgere la doppia funzione di *sostegno* e *ritegno* (per contrastare stati in cui ai carichi verticali si uniscono spinte di archi e volte che tendono al ribaltamento del muro) sarà necessario predisporre puntelli con disposizione inclinata e con innesti tesi a contrastare sia movimenti di traslazione verticale sia di rotazione.

I puntelli semplici e doppi potranno essere impiegati singolarmente, in coppia ovvero in gruppo connessi con elementi trasversali e di controventatura, così da presidiare porzioni di manufatti anche molto ampie.

In linea generale i puntelli dovranno soddisfare le seguenti condizioni:

- alleviare la struttura di parte del carico; questa quota di carico potrà, in caso di emergenza, essere stimata con semplici considerazioni intuitive che normalmente dovranno tener conto della natura, della gravità e dell'estensione del dissesto, nonché del rapporto tra pieni e vuoti della muratura sovrastante e sottostante il punto di azione del puntello;

– essere rigidamente vincolati alle strutture da presidiare con l'estremità (testa) e con l'altro estremo (piede) ad una base di appoggio (interna od esterna alla struttura) capace di ricevere l'azione assiale del puntello senza deformarsi. Al fine di assolvere la suddetta condizione occorre predisporre per la testa dei cunei lignei (biette) di essenze dure, al fine di mettere in forza i puntelli, mentre per il piede si predisporrà una adeguata piastra di distribuzione (fondazione) così da evitare che un eventuale cedimento del terreno provochi la perdita di contrasto da parte del puntello; la base, che dovrà risultare normale ai puntelli, potrà essere costituita da travi o assiti lignei (2 o più, spessore minimo di ogni tavola 30-40 mm) normali tra loro, il puntello sarà vincolato al tavolato mediante gattello ligneo con chiodatura alla "traditoria" ovvero con picchetto ligneo incastrato nel terreno e legato con fasciatura metallica. Nel caso in cui i puntelli scarichino direttamente su terreni incoerenti o molto irregolari in superficie, sarà preferibile predisporre una fondazione in muratura o in c.a.;

– essere stabili sia alla compressione che alla pressoflessione;

– essere costituiti da materiale avente caratteristiche termiche ed igrometriche analoghe a quelle delle strutture da presidiare così da non vanificare la validità del puntellamento ovvero arrecare degrado alle parti da restaurare.

I sistemi di puntellamento delle strutture voltate o arcuate (centinature provvisoriali) varieranno secondo il tipo di struttura e di dissesto, di norma si seguiranno i seguenti criteri:

a) per le volte a botte le centinature dovranno essere disposte su piani paralleli e perpendicolari alle loro generatrici;

b) per le *volte a padiglione* si disporranno due centine principali lungo gli spigoli e le altre su diversi piani verticali passanti per la chiave della volta e diretti perpendicolarmente ai lati del perimetro di base;

c) per le *volte a crociera* si dovrà predisporre l'armatura su ciascuna delle volte a botte da cui origina; si metteranno in opera quattro centine perimetrali unite da due centine diagonali, disposte secondo gli spigoli risultanti dall'intersezione delle due botti;

d) per le *volte a vela* si disporranno quattro centine perimetrali al fine di sostenere gli archi di imposta, ad esse si uniranno altre centine centrali, di norma disposte radialmente a sostenere l'intradosso della volta;

e) per le *cupole* le centine prenderanno di norma la forma di ampie incastellature, controventate in diverse direzioni e sorrette da numerosi candelieri e puntelli.

In linea generale non si dovrà puntellare mai la chiave se cede una spalla così come mai i reni se si prevede di rimuovere i rinfianchi.

Specifiche sui campi di applicazione

Le opere di presidio potranno essere messe in opera, a seconda delle esigenze, per demolizioni totali o parziali, per rimozioni, per consolidamenti in opera, nonché per eludere crolli improvvisi ovvero messa in sicurezza di masse murarie (solai, davanzali, volte, portali) o di terreno, per ritenimento di murature soggette a movimenti deformanti ed infine per assicurare l'integrità fisica degli addetti.

Avvertenze

Nel caso non ci siano le condizioni per affrontare una progettazione accurata del sistema di puntellamento sarà necessario demandare alla prassi esecutiva corrente la messa in opera del puntellamento provvisorio, in questo caso dovrà essere obbligatorio far svolgere i lavori di presidio sotto il continuo controllo da parte del Tecnico incaricato del consolidamento definitivo.

Non di rado le opere di presidio saranno lasciate in opera per molto tempo, per tale motivo si renderà necessario predisporre adeguate protezioni al fine di evitare che le armature ovvero i puntelli possano deteriorarsi e/o perdere la loro efficacia e di conseguenza diventare essi stessi causa di nuovi dissesti per le strutture. Le opere di presidio dovranno, altresì, essere in grado di non trasmettere improprie sollecitazioni sia al manufatto oggetto di intervento sia a quelli limitrofi. Particolare attenzione dovrà, infine, essere fatta nella fase di rimozione delle armature di sostegno le quali dovranno essere "munite" di idonei dispositivi (ad es. cunei lignei) che, se in precedenza sono stati utili al fine di posizionare e controllare la messa in opera delle stesse, si rileveranno altresì utili per agevolare le operazioni di disarmo.

Specifiche

Per ulteriori dettagli su armature e sbatacchiature si rimanda a quanto enunciato nell'articolo inerente le armature degli scavi.

3. Ricucitura delle murature mediante sostituzione parziale del materiale (scuci e cucì)

L'operazione di scuci e cucì consisterà nella risarcitura delle murature per mezzo della parziale sostituzione del materiale; le murature particolarmente degradate, al punto da essere irrecuperabili ed incapaci di assolvere la funzione statica, ovvero meccanica, saranno ripristinate con "nuovi" materiali compatibili per natura e dimensioni. L'intervento potrà limitarsi al solo paramento murario oppure estendersi per tutto il suo spessore. La scelta del materiale di risarcitura dovrà essere fatta con estrema cura, i nuovi elementi dovranno soddisfare diverse esigenze: storiche (se l'intervento fosse operato su strutture monumentali), estetiche e soprattutto tecniche; dovrà essere compatibile con la preesistenza per dimensioni (così da evitare discontinuità della trama muraria e l'insorgenza di scollamenti tra la parte vecchia e quella nuova) e per natura (una diversità di compattezza potrebbe, ad esempio, implicare un diverso grado di assorbimento con conseguente insorgenza di macchie). Laddove le circostanze lo consentiranno, potrà essere conveniente utilizzare materiale recuperato dallo stesso cantiere, (ricavato, ad esempio, da demolizioni o crolli) selezionandolo accuratamente al fine di evitare di riutilizzare elementi danneggiati e/o degradati. Prima di procedere con l'operazione di scuci e cucì si dovrà realizzare un rilievo accurato della porzione di muratura da sostituire al fine di circoscrivere puntualmente la zona da ripristinare dopodiché, dove si renderà necessario, si procederà alla messa in opera di opportuni puntellamenti così da evitare crolli o deformazioni indesiderate.

La porzione di muratura da sanare verrà divisa in cantieri (dimensionalmente rapportati alla grandezza dell'area interessata

dall'intervento di norma non più alti di 1,5 m e larghi 1 m) dopodiché si procederà (dall'alto verso il basso) alternando le demolizioni e le successive ricostruzioni, in modo da non danneggiare le parti di murature limitrofe che dovranno continuare ad assolvere la funzione statica della struttura. La demolizione potrà essere eseguita ricorrendo a mezzi manuali (martelli, punte e leve) facendo cura di non sollecitare troppo la struttura evitando di provocare ulteriori danni; ad asportazione avvenuta la cavità dovrà essere pulita con l'ausilio di spazzole, raschietti o aspiratori, in modo da rimuovere i detriti polverulenti e grossolani (nel caso sia necessario ricorrere ad un tipo di pulitura che preveda l'uso di acqua l'intervento dovrà attenersi alle indicazioni specificate negli articoli inerenti le puliture a base di acqua). La messa in opera del materiale dovrà essere tale da consentire l'inserimento di zeppe in legno tra la nuova muratura e la vecchia sovrastante, da sostituire, solo a ritiro avvenuto, con mattoni pieni (ovvero con materiale compatibile) e malta fluida. La malta di connessione, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà essere una malta di calce idraulica naturale NHL 5 (o in alternativa una malta NHL-Z 5) con inerte costituito da sabbia silicea, cocciopesto e pozzolana vagliati e lavati (rapporto legante inerte 1:2 o 1:3). Se espressamente indicato dagli elaborati di progetto, l'intervento di scuci e cucì potrà essere denunciato così da tutelare la stratigrafia stessa dell'edificio, realizzando la nuova porzione di muratura in leggero sottosquadro o soprasquadro, tenendo presente però che la non complanarietà delle due superfici costituirà una zona facile da degradarsi.

Specifiche

La tecnica dello scuci e cucì non risulterà particolarmente idonea, nonché di difficile esecuzione, per le murature incoerenti (ad esempio strutture murarie in scaglie di pietra irregolare), murature costituite da elementi di elevate dimensioni e murature a sacco.

4. Consolidamento mediante iniezioni di miscele leganti

La procedura è indicata, in generale, in presenza di lesioni diffuse e per apparecchi murari in pietra, dove spesso è possibile riscontrare dei vuoti e delle soluzioni di continuità interne presenti fin dall'origine, oppure formatesi a causa di dissesti o fenomeni di alterazione di diversa natura. L'intervento dovrà prevedere una preventiva attenta analisi della struttura al fine di individuare l'esatta localizzazione delle sue cavità, la natura e la composizione chimico-fisica dei materiali che la compongono.

Le indagini diagnostiche potranno essere eseguite attraverso tecniche comuni come la percussione della muratura oppure, ricorrendo a carotaggi con prelievo di materiale, a sondaggi endoscopici o, in funzione dell'importanza del manufatto e solo dietro specifica indicazione, ad indagini di tipo non distruttivo (termografie, ultrasuoni, radarstratigrafie ecc.). In presenza di murature particolari, con elevati spessori e di natura incerta, sarà, inoltre, obbligatorio attuare verifiche di consolidamento utilizzando differenti tipi di miscele su eventuali campioni tipo, così da assicurarsi che l'iniezione riesca a penetrare fino al livello interessato.

In presenza di murature in pietrame incerto potrà risultare più conveniente non rimuovere lo strato d'intonaco al fine di evitare l'eventuale, eccessivo, trasudamento della miscela legante.

La procedura operativa conterà nell'iniettare una miscela entro fori convenientemente predisposti e presenterà due varianti:

- realizzazione di perforazioni regolarmente distribuite sull'apparecchio murario ed estrusione, ad una pressione variabile, di boiaccia idraulica che, riempiendo le fratture e gli eventuali vuoti (sostituendosi e/o integrando la malta originaria), consoliderà la struttura muraria così da ripristinare la continuità della struttura anche in caso di muratura a sacco;
- realizzazione di perforazioni localizzate solo in zone limitate dell'apparecchio murario (ad es. le ammorsature tra muri d'angolo e di spina, o le strutture voltate ed arcate), con l'aggiunta dell'introduzione di barre in acciaio, seguendo una disposizione configurata a "reticolo", che funziona, nel complesso, come una sorta di cordolo, così da aumentare la resistenza agli sforzi di trazione.

Sarà sconsigliato effettuare qualsiasi procedura di consolidamento o, più in generale, l'utilizzo di prodotti, anche se prescritti negli elaborati di progetto, senza la preventiva esecuzione di campionature pre-intervento eseguite sotto il controllo della D.L.; ogni campione dovrà, necessariamente, essere catalogato ed etichettato; su ogni etichetta dovranno essere riportati la data di esecuzione, il tipo di prodotto e/o le percentuali dell'impasto utilizzato, (in caso di utilizzo di materiali organici dovranno essere segnati gli eventuali solventi e di conseguenza il tipo di diluizione o di concentrazione utilizzato), le modalità ed i tempi di applicazione.

4.1. Consolidamento mediante iniezioni non armate

L'intervento sarà da attuarsi allorché l'apparecchio murario, sottomesso per lungo tempo a dilavamento o percolazione di acque meteoriche, o per la particolare tipologia costruttiva (ad es. a sacco), si presenti con cavità interne. Nessun beneficio si potrà ottenere da questa procedura se il setto murario oggetto di intervento non presenta cavità e fessure grossolane. L'apparecchio murario dovrà, quindi, essere sufficientemente iniettabile, ovverosia dovrà presentare una struttura con una appropriata continuità tra i vuoti e, allo stesso tempo, la boiaccia legante dovrà essere pensata in modo da assicurare un'idonea penetrabilità ossia una fluidità atta a rispettare i tempi di esecuzione richiesti. La procedura operativa conterà delle seguenti fasi esecutive.

Preparazione del supporto

Stuccatura e/o sigillatura, su entrambe le facce della muratura, di tutte le fessure, sconnessioni, piccole fratture dei conci di pietra e/o laterizio e dei giunti di malta, così da avere un apparecchio murario "perfettamente chiuso", capace di ovviare l'eventuale trasudamento esterno delle malte da iniettare: qualora si operasse su murature intonacate sarà necessario accertare l'idoneità del rivestimento per l'esecuzione delle successive fasi; (per maggiori dettagli sulle procedure sopra descritte si rimanda agli articoli sulle stuccature e sui consolidamenti).

In alternativa alla stuccatura, per evitare la fuoriuscita di malta tra le pietre a facciavista, sarà possibile frapporre della stoppa o altro materiale occultante, in seguito removibile.

Esecuzione dei fori

L'esecuzione di perforazioni seguirà le indicazioni di progetto in base al quadro fessurativo ed al tipo di struttura (in assenza di queste si potranno operare 2-4 fori ogni metro quadrato); detti fori, di diametro opportuno (mediamente sarà sufficiente un diametro di 16-24 mm), saranno eseguiti mediante strumento a sola rotazione, munito di un tagliatore carotiere con corona d'acciaio ad alta durezza o di widia. Negli apparecchi murari in pietrame, i fori dovranno essere, se non diversamente prescritto, perpendicolari alle superfici ma con leggera pendenza (circa il 10%) a scendere verso l'interno, così da facilitare l'introduzione della miscela, eseguiti in corrispondenza dei giunti di malta ad una distanza di circa 60-80 cm in ragione della consistenza del muro, nelle murature in laterizi pieni la distanza tra i fori non dovrà superare i 50 cm. In ogni caso si raggiungeranno risultati migliori con un numero elevato di fori di piccole dimensioni piuttosto che con un numero modesto di grosso diametro.

Sarà necessario eseguire le perforazioni con cura, verificando l'effettiva sovrapposizione, e comunicazione, delle aree iniettate (disposizione a quinconce), tramite l'utilizzo di appositi tubicini "testimone" dai quali potrà fuoriuscire l'esubero di miscela iniettata. I tubicini (con un diametro di circa 20 mm) verranno introdotti per almeno 10-12 cm ed, in seguito, sigillati con la stessa malta di iniezione a consistenza più densa (diminuendo cioè il quantitativo d'acqua nell'impasto). Durante questa operazione sarà necessario evitare che le eventuali sbavature vadano a degradare in modo irreversibile l'integrità degli strati di rivestimento limitrofi; nel caso di fuoriuscite di colature queste dovranno essere celermente pulite mediante spugnette assorbenti (tipo *Blitz-fix*) imbevute di acqua deionizzata. Al fine di garantire una corretta diffusione della miscela, sarà consigliabile praticare dei fori profondi almeno quanto la metà dello spessore dei muri.

In presenza di spessori inferiori ai 60-70 cm le iniezioni verranno effettuate su una sola faccia della struttura; oltre i 70 cm sarà necessario operare su entrambe le facce; nel caso in cui lo spessore risulti ancora maggiore, o ci si trovi nell'impossibilità di iniettare su entrambe le facce, si dovrà perforare la muratura da un solo lato per una profondità del foro tra i 2/3 e i 3/4 dello spessore del muro e mai di valore inferiore ai 10 cm. In presenza di cortine murarie in laterizio pieno sarà utile prevedere perforazioni inclinate di almeno 40-45° verso il basso fino a ottenere una profondità di 30-35 cm (in ogni caso stabilita in rapporto alla sezione del muro); tale operazione sarà conveniente al fine di ripartire meglio la boiaccia e per rendere partecipi i diversi strati di malta.

Precedentemente all'iniezione (almeno 24 ore prima) dovrà essere iniettata acqua nel circuito chiuso d'iniezione, al fine di saturare la massa muraria e di mantenere la densità della miscela. L'operazione di prelavaggio (eseguita con acqua pura, eventualmente deionizzata) sarà, inoltre, conveniente sia per confermare le porzioni delle zone oggetto d'intervento, (corrispondenti alle zone umide), sia per segnalare l'esistenza d'eventuali lesioni non visibili. Durante la suddetta fase di pulitura-lavaggio si dovranno effettuare, se necessarie, le eventuali operazioni supplementari di rinzafo, stiltatura dei giunti e sigillatura delle lesioni.

Iniezione della boiaccia legante

L'iniezione delle miscele (che, di norma dovranno essere omogenee, ben amalgamate ed esenti da grumi ed impurità) all'interno dei fori dovrà essere eseguita, preferibilmente, a bassa pressione (indicativamente tra 0,5 e 1,5 atm in ogni caso non superiore alle 2 atm) così da evitare la formazione di pressioni all'interno della massa muraria con le conseguenti coazioni con le cortine esterne; inoltre andrà effettuata tramite idonea pompa a mano o automatica provvista di un manometro. Nel caso in cui il dissesto risulterà circoscritto ad una zona limitata sarà opportuno dare precedenza alle parti più danneggiate (utilizzando una pressione non troppo elevata e, se sarà necessario eseguire un preconsolidamento, con boiaccia molto fluida colata mediante imbuto, prima delle perforazioni, in tutti gli elementi di discontinuità presenti nella muratura), per poi passare alle rimanenti, utilizzando una pressione maggiore. Le iniezioni procederanno per file parallele, dal basso verso l'alto, dai lati esterni e, simmetricamente, verso il centro al fine di evitare squilibri di peso ed impreviste alterazioni nella statica della struttura. Il volume di miscela iniettata non dovrà superare i 100-120 l per metro cubo.

Previa verifica della consistenza materica della muratura oggetto di intervento, si inietterà la miscela all'interno degli ugelli e bocchagli precedentemente posizionati, la pressione sarà mantenuta costante fino a quando la boiaccia non fuoriuscirà dai tubicini adiacenti, a questo punto si chiuderà il tubicino e si proseguirà con il foro limitrofo seguendo il piano di lavoro. L'iniezione ad un livello superiore sarà eseguita, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, solo quando tutti i tubi di iniezione, posti alla medesima quota, risulteranno intasati. Sarà, inoltre, opportuno aumentare la pressione d'immissione in relazione alla quota del piano di posa delle attrezzature. L'aumento potrà essere di 1-2 atmosfere ogni 3-3,5 ml di dislivello in modo da bilanciare la pressione idrostatica. In edifici a più piani le iniezioni dovranno essere praticate a partire dal livello più basso.

In alternativa, e solo dietro specifica indicazione di progetto, si potrà iniettare la boiaccia per gravità; la procedura seguirà le fasi precedentemente indicate per l'iniezione a pressione salvo alcune precisazioni. Questa tecnica dovrà essere preferita a quella a pressione nel caso in cui la muratura risulti in uno stato avanzato di degrado tale da non poter sopportare sovrappressioni o perforazioni. Previa preiniezione di acqua fino a saturazione si procederà a far penetrare la miscela dall'alto attraverso appositi bocchagli ad imbuto localizzati in lesioni o lacune (eventualmente "aiutate" asportando materiale deteriorato). Gli imbuti verranno rabboccati fino a che non si svuoteranno più, la procedura seguirà cantieri orizzontali (di circa 60-70 cm di altezza) dal basso verso l'alto; passate 24-48 ore si rabboccherà nuovamente con la miscela a base di calce idraulica così da saturare le eventuali fessure formatesi per il ritiro; l'utilizzo di additivi antiritiro nelle miscele eviterà, di norma, questo ulteriore passaggio. Nel caso di murature a secco sarà necessario prevedere un ulteriore accorgimento, prima di procedere alla colatura della miscela legante. Le operazioni preliminari prevedranno, salvo diverse specifiche della D.L., oltre alla sigillatura profonda con malta a base di calce idraulica naturale, il posizionamento

di guaina di protezione lungo l'apparecchio, la successiva messa in opera di cassaforma di contenimento a distanza di circa 15-20 cm e il successivo riempimento dello spazio tra cassaforma ed apparecchio con sabbia od altro materiale indicato dalla D.L.

Ad indurimento della miscela (dopo circa 2-3 giorni), i boccagli potranno essere rimossi ed i fori sigillati con malta appropriata (si rimanda a quanto detto negli articoli riguardanti le stuccature).

Specifiche sulle miscele

La boiaccia per iniezioni potrà essere composta, se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, da una miscela di sola calce idraulica NHL 3,5 o NHL-Z 3,5 (esente da sali solubili, con l'85% dei granuli di dimensione $< 25 \mu$, calore d'idratazione unitario $< 135 \text{ KJ/kg}$) ed acqua in rapporto variabile da 0,8 a 1,2. Dal momento che, in genere, in una miscela di questo tipo si otterrà la fluidità necessaria per un'efficace iniezione con rapporto legante-acqua superiore ad 1, al fine di evitare eventuali fenomeni di segregazione sarà consigliabile aggiungere alla boiaccia additivi fluidificanti (in misura dell'1-2% rispetto al peso del legante) ed agenti espansivi antiritiro (ad es. polvere di alluminio da 0,2% a 0,3% del totale in peso) al fine di controllare anche gli eventuali fenomeni naturali di ritiro di assestamento in fase plastica (ovverosia nelle prime ore che seguiranno la messa in opera) e di ritiro igrometrico (ritiro che si manifesterà nel materiale indurito, dopo circa 28 giorni e si protrarrà per periodi molto lunghi, di norma sarà ritenuto completato dopo circa 2 anni dalla messa in opera).

In alternativa, potrà essere utilizzata una miscela binaria (da utilizzare in presenza di vere e proprie cavità, specie nei muri a sacco) composta da calce idraulica naturale NHL 2, (o da una calce idraulica pozzolanica ottenuta miscelando calce idrata cotta a bassa temperatura e completamente idrata, con metacaolino anch'esso cotto a bassa temperatura; la calce idrata potrà essere sostituita anche da grassello di calce stagionato minimo 24 mesi) sabbia ed acqua (rapporto legante-acqua 1:3 fino ad 1:5 nel caso di iniezioni per gravità) con l'aggiunta di gluconato di sodio (con funzione fluidificante) e polvere di alluminio (come agente espansivo). La sabbia dovrà essere sempre di granulometria molto fine ($< 35\text{-}40\%$ della minima larghezza delle fessure) e, preferibilmente, con granuli arrotondati; in alternativa potrà essere impiegato carbonato di calcio scelto e micronizzato o perlite superventilata (se si ricercherà una boiaccia a basso peso specifico) od ancora, metacaolino ad alta reattività pozzolanica (o polvere di cocciopesto vagliata e lavata) per migliorare le proprietà idrauliche della boiaccia (nel caso di utilizzo di grassello di calce o calce idrata, la carica con caolino, cocciopesto o pozzolana sarà obbligatoria al fine di rendere idraulico il composto); in ogni caso l'inerte sarà il 10% rispetto al peso del legante. La boiaccia, sia se verrà preparata in cantiere, sia se fosse utilizzato un prodotto premiscelato, dovrà presentare le seguenti caratteristiche:

- sufficiente fluidità al fine di penetrare profondamente (svuotamento del cono di Marsh di un litro di miscela in meno di 30 secondi);
- assenza di segregazione e di acqua essudata (*bleeding*); la separazione dell'acqua dalla boiaccia determinerebbe, in seguito alla successiva evaporazione, la presenza di vuoti all'interno della massa del nucleo;
- tempo di presa compatibile con quello della lavorazione;
- alto scorrimento;
- sviluppo calore in fase di presa temperatura massima entro $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- dilatazione termica compatibile con quella della muratura originale;
- resistenza caratteristica a rottura per compressione superiore a 12 N/mm^2 dopo 28 giorni;
- peso specifico modesto, inferiore a $1,8 \text{ kg/l}$;
- resistenza ai sali comunemente presenti nella muratura (solfati, ammine);
- modulo elastico allo stato secco comparabile con quello della muratura ($3000\text{-}6000 \text{ N/mm}^2$);
- non presentare fenomeni di ritiro che ridurrebbero l'efficacia del contatto.

Specifiche materiali premiscelati

Questo prodotto per iniezioni dovrà essere a base di calce idraulica naturale, priva di sali solubili, rafforzata con metacaolino purissimo ad alta reattività pozzolanica (od in alternativa con polvere di cocciopesto) caricata con carbonato di calcio scelto e micronizzato, (o perlite superventilata se si ricerca una malta a basso peso specifico) a cui andranno aggiunti additivi quali ritenitori d'acqua di origine naturale e superfluidificanti al fine di poter iniettare la miscela a bassa pressione. Se non diversamente specificato, l'acqua da utilizzare nell'impasto dovrà essere demineralizzata. Il prodotto non dovrà essere addizionato nella preparazione e posa con nessun altro componente oltre all'acqua di impasto, possibilmente demineralizzata, e non dovrà essere assolutamente aggiunta acqua una volta che avrà iniziato la presa.

Le caratteristiche chimico-fisiche medie dovranno essere: peso specifico $1,4 \text{ kg/dm}^3$, lavorabilità 2 h; bleeding trascurabile; aderenza $1,4 \text{ N/mm}^2$; inizio presa a $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 18 h; fine presa a $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 72 h; resistenza a compressione a 28 giorni 13 N/mm^2 ; resistenza a flessione a 28 giorni $3,5 \text{ N/mm}^2$; modulo elastico 11000 N/mm^2 ; temperatura massima durante l'indurimento $< 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; ritiro 0,7-1,2 mm; ritenzione acqua $> 70\%$; permeabilità al vapore 9μ .

Avvertenze

Non sarà assolutamente consentita, salva diversa prescrizione della D.L., la demolizione d'intonaci e stucchi; sarà anzi necessario provvedere al loro preventivo consolidamento e/o ancoraggio al paramento murario prima di procedere all'esecuzione della suddetta procedura (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). Il collaudo del consolidamento andrà eseguito dopo 90 giorni dall'esecuzione delle iniezioni.

4.2. Consolidamento mediante iniezioni armate

L'intervento potrà essere attuato strettamente localizzato ed in caso di assoluta necessità quando, ad esempio, si dovranno

realizzare efficienti rinforzi localizzati tra le murature d'angolo, ammorsamento di muri ortogonali, ricongiungimenti di parti lesionate ecc. e non si potrà ricorrere all'uso di altre procedure. L'intervento, simile alle iniezioni di miscele leganti, avrà la finalità di assicurare alla muratura, per mezzo dell'utilizzo di cuciture metalliche, un consistente aumento della resistenza agli sforzi di trazione; queste cuciture saranno costituite da armature di lunghezza variabile (circa 2-3 volte lo spessore delle murature), dipendente dal livello di aderenza sia tra malta e barre, sia tra malta e tessitura preesistente, disposte in perfori (\square variabile da 32 a 40 mm) alla distanza di circa 40-50 cm l'uno dall'altro, preferibilmente, inclinati (di circa 45°) in successione verso l'alto e verso il basso. L'esercizio svolto dalle armature nei pannelli di muratura, in prevalenza compressi, sarà quello di contenere la deformazione laterale, collaborando ad un miglioramento della resistenza dell'elemento. Nei setti murari non esclusivamente compressi, la presenza dell'armatura potrà partecipare alla resistenza a taglio del setto stesso.

La procedura operativa seguirà le fasi descritte per le iniezioni di miscele leganti ad eccezione che, nei fori di iniezione dovranno essere, preventivamente, inserite barre di acciaio inossidabile ad aderenza migliorata Fe B 44 K (minimo \square 12 mm massimo 20 mm), o barre filettate di acciaio AISI 316L, (minimo \square 14 mm) munite di distanziatori perimetrali al fine di evitare il contatto diretto con la muratura; lo schema distributivo, l'inclinazione, il calibro e la lunghezza delle barre dovranno essere relazionati alle disposizioni di progetto o indicazioni della D.L., ai dissesti riscontrati dall'esame del quadro fessurativo del manufatto o alle variazioni apportate nel corso dei lavori di restauro agli equilibri dei carichi. L'inserimento di detta armatura avrà lo scopo di fornire resistenza a trazione tra le due cortine esterne della muratura, specialmente nei casi in cui l'altezza di libera inflessione sia tale da poter dar luogo al fenomeno del carico di punta. Al fine di realizzare un promotore d'adesione tra le barre e la malta delle iniezioni si potrà spalmare la superficie dell'armatura con boiaccia anticarbonatante, reoplastica-pennellabile realizzando uno strato continuo di almeno 1 mm.

Avvertenze

Talvolta potrà essere necessario consolidare preventivamente la muratura mediante semplici iniezioni di boiaccia (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo specifico). In ogni caso questa procedura dovrebbe essere messa in opera, preferibilmente, su murature di buona qualità, in un discreto stato di conservazione prive, però, d'adequate ammorsature tra le pareti ortogonali. Nei muri di modeste sezioni (30-50 cm) le chiodature non avranno alcun effetto benefico nei confronti del setto murario, in quanto la ridotta lunghezza della barra non permetterà il trasferimento per aderenza degli sforzi tra malta d'inghisaggio ed il ferro. Affinché questo trasferimento avvenga sarà necessario che la barra presenti una lunghezza minima di 40 \square o, in alternativa, che sia ancorata risvoltandola all'esterno della muratura ed, eventualmente, collegandola con l'armatura di paretine di malta a ritiro compensato realizzate su una o entrambe le facce del pannello murario (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo specifico).

Specifiche sui materiali

Le miscele leganti da utilizzare saranno uguali a quelle esaminate per le iniezioni non armate, con l'ulteriore specifica che, in questo caso, dovranno, necessariamente, presentare maggiore capacità di aderenza, antiritiro e resistenza, così da garantire la collaborazione tra armature e muratura, localizzandosi nelle zone più sollecitate.

In alternativa alle barre in acciaio si potranno utilizzare barre pultruse in fibra di aramide, vetro o carbonio con diametro circolare da 5 a 10 mm. Le suddette barre in FRP potranno presentare, se richiesto dagli elaborati di progetto, un'aderenza migliorata ottenuta mediante sabbatura superficiale di quarzo sferoidale e spiratura esterna. Questo tipo di prodotto dovrà, inoltre, presentare un'elevata durabilità nei confronti di tutti gli aggressivi chimici eventualmente presenti nella muratura o nella malta da iniezione (quali, ad es., idrossidi alcalini, cloruri e solfati). Se non diversamente specificato negli elaborati di progetto, dovranno essere preferite barre in fibra di vetro o di aramide poiché presentano un modulo elastico più vicino a quello delle murature. Si veda specifiche sui materiali dell'articolo CN am. 6. "Consolidamento mediante placcaggio con materiali compositi (FRP)".

5.2. Lesione isolata

Per interventi su lesioni passanti isolate, anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe alla lesione (circa 60-80 cm a cavallo della lesione). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nell'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

La rete elettrosaldata zincata (\square 4-5 mm maglia 100x100 mm) dovrà essere messa in opera in strisce di 60-80 cm, posizionate a cavallo della lesione, su entrambi i lati della muratura, tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata (\square 6-8 mm intervallati da circa 40-50 cm) passanti attraverso la lesione, precedentemente scarnita e pulita da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire la lesione, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nell'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, ovverossia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

5.3. Lesione d'angolo

Per interventi su lesioni d'angolo, sia ad "L" sia a "T", anche di spessori consistenti, la procedura si potrà limitare esclusivamente alle fasce limitrofe la lesione (minimo 60 cm oltre la lesione per una fascia minima di 80-100 cm). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nell'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche

precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata (□ 5-6 mm maglia 150x150 mm), su entrambe le facce del muro, con adeguata sovrapposizione e risolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile ad aderenza migliorata (□ 6-8 mm disposti in maniera più ravvicinata, 35-40 cm, per il primo metro verso il basso e verso l'alto per poi diradarsi, 70-80 cm, verso il centro della rete) inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nell'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco ovvero sia, al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

5.4. Lesioni in corrispondenza di aperture

Per interventi su lesioni nelle vicinanze di aperture (porte o finestre), anche di spessori consistenti, la procedura potrà limitarsi, esclusivamente, alle zone limitrofe le lesioni (generalmente circa 60-80 cm a destra e a sinistra dell'apertura e per un'altezza minima pari a 40 cm al di sopra dell'architrave). Le fasi esecutive saranno le stesse enunciate nell'articolo riguardante il placcaggio dell'intera parete ad eccezione di qualche precisazione.

Previa esecuzione delle perforazioni nella parete, al fine di alloggiare le barre trasversali di collegamento, si posizionerà la rete elettrosaldata zincata (□ 5-6 mm maglia 150x150 mm) su una o entrambe le facce del muro con adeguata sovrapposizione e risolto minimo di 50 cm in corrispondenza di spigoli verticali. La rete verrà fissata tramite chiodatura e collegata con tondini in acciaio inossidabile, ad aderenza migliorata (□ 6-8 mm in ragione di almeno 4 al metro quadrato), inghisati nei perfori e passanti attraverso le lesioni precedentemente scarnite e pulite da parti incoerenti. La malta da utilizzare per risarcire le lesioni, salvo diverse prescrizioni della D.L., dovrà essere a base di calce idraulica e, preferibilmente, di tipo espansivo (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto negli articoli specifici). L'esecuzione dell'intonaco dovrà seguire sia le prescrizioni enunciate nell'articolo sul placcaggio di superficie sia quelle inerenti il rappezzo di intonaco, ovvero sia al fine di non creare discontinuità materiche superficiali si ricorrerà, se non diversamente specificato, ad una rasatura finale utilizzando impasti simili a quelli esistenti (per uno spessore totale non inferiore ai 3 cm).

6. Consolidamento mediante placcaggio con materiali compositi (FRP e/o FRCM)

La procedura si pone l'obiettivo di conservare la funzione resistente degli elementi murari, dando loro un'opportuna resistenza a trazione e fornendoli di uno stadio, più o meno elevato, di duttilità sia nel comportamento a piastra, sia in quello a parete di taglio.

L'operazione prevederà la fasciatura, o meglio il placcaggio esterno ovvero interno della struttura con nastri di materiale composito, da calibrare in funzione delle condizioni statiche, ancorati direttamente alla muratura da rinforzare mediante l'utilizzo di resine adesive (generalmente epossidiche) per gli FRP ed a matrice cementizia (MALTA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 3.5 MINIMO M10) per gli FRCM. Il placcaggio con i materiali FRP / FRCM consentirà un efficace incremento, sia del carico ultimo, sia della duttilità così da costituire una più che valida alternativa rispetto alle tecniche più tradizionali come ad esempio le cerchiature rigide. Questa tecnica potrà essere messa in opera, sia per il rinforzo su pannello resistente con lesioni diffuse, sia per ripristinare situazioni di dissesto localizzato come ad esempio risarciture di lesioni d'angolo, lesioni in corrispondenza di aperture, confinamento di pilastri ecc. I nastri di composito forniranno prestazioni superiori a quelle dell'acciaio armonico, un'adesione perfetta al supporto e spessori ridotti così da potersi mascherare facilmente al di sotto di un semplice strato d'intonaco; inoltre, questa tecnica risulterà completamente reversibile, in quanto i nastri saranno semplicemente incollati alla superficie e potranno essere rimossi mediante trattamento termico.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste nell'articolo sul consolidamento di volte, coperture e strutture in c.a. mediante materiali compositi.

Avvertenze

Questo protocollo operativo dovrà essere eseguito esclusivamente da operatori specializzati.

6 bis Riparazione e consolidamento strutturale specifico

Generalità

Voci specifiche, in aggiunta a quelle già previste nei paragrafi precedenti, per le opere di riparazione e consolidamento strutturale sviluppate per le lavorazioni previste nel progetto. In particolare, per la definizione delle seguenti voci è stato fatto riferimento al prezzario Emilia Romagna integrate con indagini commerciali quali il sistema FRCM utilizzando prescrizioni e prezzi della ditta Kerakoll (da intendersi quale esempio tipologico) contenute nel 'Manuale tecnico – edizione 2019': linee guida per il consolidamento, rinforzo strutturale e sicurezza sismica con nuove tecnologie green. Prescrizioni, capitoli e tavole esecutive'. In particolare le prescrizioni e i prezzi sono stati adattati al presente progetto, da cui sono state elaborate le analisi dei prezzi d'Ufficio. Il riferimento alla ditta Kerakoll è puramente di supporto alla definizione delle specifiche dei materiali e delle lavorazioni, pertanto la Ditta Appaltatrice potrà adottare anche materiali di altre ditte purché dimostri, con opportune indagini, di rispettare le prestazioni richieste nel progetto.

Consolidamento di muratura mediante iniezioni di malta iperfluida certificata

Consolidamento e rinforzo di muratura mediante iniezioni di MALTA IPERFLUIDA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRALUICA NATURALE NHL 3,5. Il consolidamento comprende la realizzazione fori, sigillatura lesione, pre-iniezione di acqua, iniezione di geomalta iperfluida e sigillatura fori, come dettagliatamente descritto nelle schede di riferimento Kerakoll. Sono stati considerati 4 fori per metro quadro, spessore del muro 65 cm, quantità stimata di prodotto 45 kg/mq. Trattamento su singolo lato di muratura.

Quadro normativo

L'adozione di iniezioni di miscele leganti mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature tra i muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il comportamento d'insieme della costruzione. Tale intervento risulta inefficace se impiegato su tipologie murarie che per loro natura siano scarsamente iniettabili (scarsa presenza di vuoti e/o vuoti non collegati tra loro). Particolare attenzione va posta nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali prodotte dalla miscela in pressione. Nel caso si reputi opportuno intervenire con iniezioni su murature incoerenti e caotiche, è necessario prendere provvedimenti atti a ridurre il rischio di sconnessione della compagine muraria e di dispersione della miscela. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della miscela da iniettare, curandone la compatibilità chimico-fisico-meccanica con la tipologia muraria oggetto dell'intervento. (CIRCOLARE 617/2009 § C8A.5.6)

Riferimento alla scheda Kerakoll n°24 la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purché abbia i medesimi requisiti o superiori.

“Consolidamento di paramento murario mediante iniezione di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® Bio 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Le iniezioni saranno eseguite procedendo dal basso verso l'alto, tramite l'utilizzo di un serbatoio a pressione d'aria o manualmente a caduta. Si chiuderanno, quando saturi, i fori e si proseguirà il consolidamento rispettando il previsto piano di lavoro. Si sigilleranno le sedi degli ugelli o degli iniettori con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 o in alternativa 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® Bio 5 – tipo GEOCALCE® G ANTISISMICO o GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolgerà nelle seguenti fasi:

- a) realizzazione fori per una profondità di 2/3 dello spessore murario e fissaggio e sigillatura dei condotti di iniezione di diametro 3/4";
- b) sigillatura delle lesioni nelle murature e degli altri possibili punti di fuoriuscita della miscela;
- c) preiniezione di acqua su tutto il volume murario;
- d) iniezione della geomalta iperfluida procedendo dal basso verso l'alto, tramite l'utilizzo di un serbatoio a pressione d'aria o manualmente a caduta. Si chiuderanno, quando saturi, i fori e si proseguirà il consolidamento rispettando il previsto piano di lavoro;
- e) asportazione degli ugelli e sigillatura dei fori con geomalta.”

Rimontaggio di murature

Formazione di muratura in pietrame di recupero proveniente dallo smontaggio in cantiere o in elementi nuovi dello stesso materiale reperiti in loco, per riprese murarie, aumento dello spessore o per la chiusura in breccia di finestre, porte, canne fumarie e fori vari, compresi gli oneri per la formazione di spallette e sguinci, nel caso di riduzioni dimensionali e/o modifiche delle aperture esistenti; comprese le forniture ed i magisteri per la formazione delle ammorsature laterali e trasversali,

almeno ogni 60 cm in altezza per due corsi di pietre, la chiusura a forza con malta antiritiro certificata contro la superficie superiore del contorno, il tutto eseguito a regola d'arte per dare le superfici esterne pulite ben rifinite e piane ed atte a ricevere l'intonaco o la successiva rabboccatura e stuccatura e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte.

Rinforzo di murature con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox, geomalta certificata e diatoni trasversali

Rinforzo per azioni nel piano e fuori dal piano di murature mediante placcaggio diffuso con rete IN FIBRA NATURALE DI BASALTO E ACCIAIO INOX (400 g/mq) E MALTA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 3.5 MINIMO M10 (Tipo BioCalce Muratura fino/Geocalce F Antisismico) E DIATONI TRASVERSALI

E' stato considerato un intervento su ambo i lati della muratura, con 4 connettori al mq, una larghezza media della muratura di 80 cm

Comprensivo di preparazione delle superfici, livellamento e stesura primo strato geomalta, posa della rete, secondo strato di geomalta, ripetizione per gli strati successivi, livellamento finale, inserimento diatoni (compresa esecuzione del foro, bloccaggio e iniezione malta).

Quadro normativo

I pannelli di edifici murari possono essere rinforzati con FRP allo scopo di incrementarne portanza o duttilità nei confronti di azioni sia nel loro piano che al di fuori di esso. [...] (CNR - DT 200 R1/2013 § 5.4.1)

Un pannello di muratura ben vincolato sia al piede che in sommità, allorché soggetto ad azioni orizzontali, può collassare per effetto delle sollecitazioni flessionali che si instaurano in esso. Il collasso avviene per formazione di tre cerniere: una al piede, una in sommità e la terza in posizione intermedia. [...] (CNR - DT 200 R1/2013 § 5.4.1.1.2)

Riferimento alla scheda Kerakoll n°27A. la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purché abbia i medesimi requisiti o superiori.

“Rinforzo a pressoflessione e taglio di maschi murari mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico $E > 200$ GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico $E \geq 87$ GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura e/o consolidamento con iniezione di malta fluida (da contabilizzare a parte) e depolverizzazione finale mediante idrolavaggio a bassa pressione;
- b) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- c) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- d) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- e) eventuale ripetizione delle fasi (c), e (d) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- f) inserimento di diatoni realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, “sfiochettatura”, e arrotolamento finale del tessuto in fibra di acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 μ m, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza

della barra inghisata $\geq 3,5$ MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

Rinforzo di volte in muratura con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox, geomalta cert. e diatoni

Rinforzo per azioni nel piano e fuori dal piano di murature mediante placcaggio diffuso con rete IN FIBRA NATURALE DI BASALTO E ACCIAIO INOX (400 g/mq) E GEOMALTA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 3.5 MINIMO M10 (Tipo BioCalce Muratura fino/Geocalce F Antisismico) E DIATONI TRASVERSALI

E' stato considerato un intervento su ambo i lati della muratura, con 4 connettori al mq, una larghezza media della muratura di 30 cm

Comprensivo di preparazione delle superfici, livellamento e stesura primo strato geomalta, posa della rete, secondo strato di geomalta, ripetizione per gli strati successivi, livellamento finale, inserimento diatoni (compresa esecuzione del foro, bloccaggio e iniezione malta)."

Rinforzo di volte in muratura con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox, geomalta cert. e diatoni

Rinforzo per azioni nel piano e fuori dal piano di murature mediante placcaggio diffuso con rete IN FIBRA NATURALE DI BASALTO E ACCIAIO INOX (400 g/mq) E GEOMALTA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 3.5 MINIMO M10 (Tipo BioCalce Muratura fino/Geocalce F Antisismico) E DIATONI TRASVERSALI

E' stato considerato un intervento su ambo i lati della muratura, con 4 connettori al mq, una larghezza media della muratura di 30 cm

Comprensivo di preparazione delle superfici, livellamento e stesura primo strato geomalta, posa della rete, secondo strato di geomalta, ripetizione per gli strati successivi, livellamento finale, inserimento diatoni (compresa esecuzione del foro, bloccaggio e iniezione malta).

Riferimento alla scheda Kerakoll n°27A. la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purchè abbia i medesimi requisiti o superiori.

"Rinforzo a pressoflessione e taglio di maschi murari mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico $E > 200$ GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico $E \geq 87$ GPa; dimensione della maglia 17×17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ - 90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura e/o consolidamento con iniezione di malta fluida (da contabilizzare a parte) e depolverizzazione finale mediante idrolavaggio a bassa pressione;
- b) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- c) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- d) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- e) eventuale ripetizione delle fasi (c), e (d) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- f) inserimento di diatoni realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra di acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 μ m, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza

della barra inghisata $\geq 3,5$ MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

Rinforzo di volte in muratura con rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox, geomalta cert. e diatoni

Rinforzo per azioni nel piano e fuori dal piano di murature mediante placcaggio diffuso con rete IN FIBRA NATURALE DI BASALTO E ACCIAIO INOX (400 g/mq) E GEOMALTA CERTIFICATA EN 998 A BASE DI PURA CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 3.5 MINIMO M10 (Tipo BioCalce Muratura fino/Geocalce F Antisismico) E DIATONI TRASVERSALI

E' stato considerato un intervento su ambo i lati della muratura, con 4 connettori al mq, una larghezza media della muratura di 30 cm

Comprensivo di preparazione delle superfici, livellamento e stesura primo strato geomalta, posa della rete, secondo strato di geomalta, ripetizione per gli strati successivi, livellamento finale, inserimento diatoni (compresa esecuzione del foro, bloccaggio e iniezione malta)."

Consolidamento e rinforzo di murature con diatoni in fibra di acciaio e malta certificata

Consolidamento e rinforzo di murature mediante reticolato diffuso di diatoni IN FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO HARDWARE AD ALTISSIMA RESISTENZA UHTSS (670 g/mq) iniettati con geomalta iperfluida certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5

Intervento su singolo lato, lunghezza diatoni 30 cm, raggio dello sfocco 60 cm, n°4 connettori al mq.

Compresa realizzazione del foro e pulizia, realizzazione e installazione diatono, iniezione malta, fissaggio trefoli e contestuale ristilatura dei giunti. È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti.

Quadro normativo

L'inserimento di diatoni artificiali, realizzati in conglomerato armato (in materiale metallico o altri materiali resistenti a trazione) dentro fori di carotaggio, può realizzare un efficace collegamento tra i paramenti murari, evitando il distacco di uno di essi o l'insorgere di fenomeni di instabilità per compressione; inoltre, tale intervento conferisce alla parete un comportamento monolitico per azioni ortogonali al proprio piano. E' particolarmente opportuno in presenza di murature con paramenti non collegati fra loro; nel caso di paramenti degradati è opportuno bonificare questi tramite le tecniche descritte al riguardo (iniezioni di malta, ristilatura dei giunti). (CIRCOLARE 617/2009 § C8A.5.6)

Riferimento alla scheda Kerakoll n°25B la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purchè abbia i medesimi requisiti o superiori.

"Rinforzo di maschi murari, mediante reticolato diffuso di diatoni artificiali realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da n° micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, ricavato da una larghezza di n° cm di tessuto – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura $> 1,5\%$; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = $0,538$ mm²; n° trefoli per cm = 1,57, con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; il carico di rottura del connettore si ottiene moltiplicando il numero di trefoli compresi nella larghezza del connettore per il carico di rottura caratteristico del singolo trefolo ≥ 1500 N.

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale trattamento di ripristino delle superfici ammalorate (da contabilizzare a parte);
- b) realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensione (diametro e profondità) idonea alla natura del successivo connettore, e successiva rimozione delle malte dai giunti;
- c) confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfocchettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio galvanizzato, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica;
- d) inserimento del connettore all'interno del foro (numero, profondità di ancoraggio, interassi a cura di tecnico abilitato) e collegamento dei diatoni artificiali a fiocco tra di loro adiacenti mediante sovrapposizione dei trefoli inseriti nei giunti di malta;
- e) eventuale inserimento dell'iniettore in polipropilene e fibra di vetro nel diatono in fibra d'acciaio in modo da piegare di 90° la parte terminale del fiocco (da contabilizzare a parte);
- f) collaborazione del connettore mediante iniezione a bassa pressione di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm²

(EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata $\geq 3,5$ MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78);

g) fissaggio dei trefoli “sfocchettati”, con celatura dell’intero connettore, e contestuale stilatura dei giunti mediante geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).”

Cuci e scuci

Riparazione a scuci e cucì di lesioni murarie su muri gravemente lesionati, mediante ampliamento, attraverso la demolizione dei lembi di stacco, la pulizia ed il lavaggio delle parti messe a nudo, la ricostituzione della continuità muraria previa la formazione dei necessari ammorsamenti con materiale idoneo ed omogeneo al preesistente, posto in opera a forza negli ammorsamenti e sulla superficie superiore di contatto e legato con malta certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte, compresi la fornitura del materiale laterizio e/o lapideo, il maggior onere per riprese di architravi, lesene, ghiera di archi, volte ecc., la stuccatura e la pulitura delle connessioni. Muratura in pietrame di natura calcarea/granitica squadrato e sbizzato proveniente dalla demolizione in cantiere.

Ristilatura e scarnitura dei giunti in muratura

Ristilatura dei giunti in muratura con malta certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5

Comprensiva scarnitura delle vecchie malte ammalorate, spazzolatura e lavaggio delle fughe, e stuccatura dei giunti di malta. È compreso il carico, trasporto e scarico del materiale di risulta; mano d'opera e attrezzature speciali necessarie.

Quadro normativo

L'intervento di ristilatura dei giunti, se effettuato in profondità su entrambi i lati, può migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, in particolare nel caso di murature di spessore non elevato. Se eseguito su murature di medio o grosso spessore, con paramenti non idoneamente collegati tra loro o incoerenti, tale intervento può non essere sufficiente a garantire un incremento consistente della resistenza, ed è consigliabile effettuarlo in combinazione con altri. Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della malta da utilizzare. L'eventuale inserimento nei giunti ristilati di piccole barre o piattine, metalliche o in altri materiali resistenti a trazione, può ulteriormente migliorare l'efficacia dell'intervento. (CIRCOLARE 619/2009 § C8A.5.6)

Riferimento alla scheda Kerakoll n°22, la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purchè abbia i medesimi requisiti o superiori.

“Ristilatura dei giunti su paramenti murari esistenti mediante geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-2,5 o in alternativa 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® G ANTISISMICO o GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolgerà nelle seguenti fasi:

a) scarnitura delle vecchie malte ammalorate presenti nei giunti delle murature, per una profondità di 2 - 3 cm, con l'onere della salvaguardia dei tratti in buono stato di conservazione, successiva spazzolatura e lavaggio delle fughe;

b) stuccatura dei giunti di malta."

Stesura l strato intonaco strutturale

Preparazione delle superfici murarie con depolverizzazione mediante lavaggio con acqua demineralizzata, spazzole... Preparazione e stesura di uno strato di malta a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e legante minerale di spessore di 10 mm con funzione anche di livellamento.

Riferimento alla scheda Kerakoll n°27A. a precedere, la cui voce di capitolato viene qui riportata a titolo tipologico di riferimento. L'Impresa appaltatrice potrà utilizzare un prodotto analogo purchè abbia i medesimi requisiti o superiori.

Ancoraggio del rinforzo della volta con connettori

Ancoraggio delle estremità della rete in fibra naturale di basalto e acciaio inox con inserimento di connettori da 50cm realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di malta idraulica iperfluida certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5

Quadro normativo

Gli elementi strutturali a singola o doppia curvatura collassano per la formazione di cerniere che nascono a causa della limitata resistenza a trazione della muratura. L'impiego di sistemi di rinforzo in FRP, consentendo di realizzare una "muratura armata", è in grado di migliorare il comportamento strutturale di tali elementi. Le competenti verifiche possono essere condotte nello spirito del metodo agli stati limite. (CNR - DT 200 R1/2013 § 5.5)

Per ostacolare la formazione di cerniere all'intradosso (risp. estradosso), si può ricorrere all'applicazione di sistemi di rinforzo FRP all'estradosso (risp. intradosso). (CNR - DT 200 R1/2013 § 5.5.1.1)

Riferimento alla scheda Kerakoll n°44.

Rinforzo e consolidamento di volta a botte/crociera con placcaggio estradosso con rete in fibra di basalto e acciaio inox (400 g/mq)

Realizzazione di rinforzo estradosso diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304 impregnat in malta idraulica iperfluida certificata EN 998 a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi: svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta (compreso abbassamento, trasporto e oneri scarica), sigillatura e rincoccatura con scaglie allettate con malta di eventuali lesioni presenti sia nella parte estradosso sia in quella intradosso, pulizia della superficie di estradosso, stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm, posa della rete, esecuzione di altri 2 strati con malta di spessore di circa 2 – 5 mm e rete di rinforzo.

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Il prezzo è ad unità di superficie di rinforzo effettivamente posto in opera comprese le sovrapposizioni.

7. Consolidamento mediante tiranti metallici

Il consolidamento mediante la messa in opera di tiranti metallici (elementi costruttivi a sviluppo lineare) consentirà di realizzare un collegamento ed irrigidimento delle murature così da riuscire a contrastare rischi di traslazione, crolli e distacchi; la cerchiatura per mezzo dei tiranti permetterà di rendere solidali le strutture murarie tanto da garantire un comportamento di tipo scatolare, soprattutto, in caso di azione sismica. I tiranti (realizzati prevalentemente in acciaio inossidabile) potranno essere inseriti all'interno delle strutture da consolidare (murature, strutture lignee di solai e di copertura, pilastri murari e fondazioni) o all'esterno; la loro messa in opera potrà essere verticale, orizzontale od inclinata secondo le necessità specifiche richieste dal singolo caso e in base agli sforzi che dovranno assolvere. Il bloccaggio all'estremità delle strutture sarà garantito da chiavarda o capichave (che potranno essere a paletto o a piastra) posti su piastre (realizzate in acciaio inossidabile di forma e dimensioni tali da consentire una ripartizione omogenea degli sforzi) necessarie per assicurare l'adeguata ripartizione dei carichi; le piastre potranno essere realizzate in acciaio, con la presenza dei fori per consentire il passaggio dei cavi e delle guaine oppure in calcestruzzo armato. I paletti dei capichave andranno orientati a 45° con il braccio superiore rivolto contro il muro trasversale su cui insiste il solaio. Indipendentemente dalla messa in opera (esterna o interna, orizzontale o inclinata), prima di procedere con l'operazione dovrà essere appurato il grado di consistenza delle strutture, lo stato di conservazione e, soprattutto, la loro stabilità; a tale riguardo prima di

effettuare l'intervento potrà essere utile, dove si renderà necessario, operare un consolidamento (scuci e cucì, iniezioni di boiaccia, rincocciature, rinforzi delle fondazioni ecc.) delle parti interessate ed influenzate dal successivo stato tensionale indotto dal tirante. L'operazione inizierà con la localizzazione esatta dei punti di perforazione per il passaggio del tirante, della sua collocazione e del relativo sistema d'ancoraggio, che dovrà essere saldo ed efficace dal momento che la risoluzione avrà effetto solo se sarà garantita la trazione del tirante, costante nel tempo, capace di contrastare le sollecitazioni in atto. I tiranti potranno essere messi in opera anche binati: uno da una parte e uno dall'altra dello stesso muro trasversale. Il tiraggio del tirante potrà essere fatto a freddo o a caldo. In particolare per i tiranti aventi lunghezza superiore a quella trasportabile con mezzo che necessitano di essere saldati per raggiungere la lunghezza reale di esercizio, si dovrà procedere alla tesatura dei due ultimi monconi prima della saldatura finale mediante adeguato martinetto da laboratorio, affinché la pretensione data sia quella di progetto e certificata. Per tale motivo la Stazione Appaltante incaricherà il LABORATORIO PROVE MATERIALI "PIETRO PISA" – UNIVERSITA' DI BRESCIA DICATAM – Via Branze 36/38 – 25123 BRESCIA della tesatura stessa in quanto tale laboratorio è in grado di certificare la tesatura. Le spese del laboratorio saranno a carico della Stazione Appaltante. L'impresa appaltatrice dovrà concordare a sua cura e spese tutte le tempistiche e modalità affinché prepari correttamente l'intervento di saldatura finale, quindi permetta al laboratorio di giungere in cantiere, posizionarsi, mettere in tiro il tirante e solo allora l'Impresa potrà ultimare l'unione di testa del tirante mediante saldatura.

Specifiche sui materiali

In alternativa ai tiranti metallici si potranno utilizzare barre pultruse in fibra di carbonio o aramide, con diametro circolare (da 5 a 10 mm) o rettangolare di varie sezioni (da 1,5 x 5 mm a 30 x 40 mm). Le suddette barre potranno essere messe in tensione attraverso apposito sistema di pretensione ed opportuna piastra di ripartizione. Il sistema di ancoraggio sarà caratterizzato da una testa di acciaio inox AISI 304, diametro esterno circa 50 mm, lunghezza circa 200-250 mm, filettatura esterna completa di sede per chiavella antitorsione. Rispetto alle tradizionali catene in acciaio, la fibra di carbonio riduce drasticamente i problemi legati alla corrosione essendo esse stesse non soggette a tale fenomeno.

7.1. Consolidamento con tiranti trivellati inseriti nella muratura

Il dimensionamento dei tiranti, definito dagli elaborati di progetto, dovrà essere relazionato alla resistenza a trazione del materiale utilizzato e quella a taglio del muro su cui verrà posizionato il capochiave (potranno essere messi in opera tiranti in acciaio inossidabile zincati S275 opportunamente dimensionati e, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, potranno essere utilizzati tiranti \varnothing 26 mm o \varnothing 32 mm).

Tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente

Il tirante orizzontale dovrà essere posizionato in corrispondenza del solaio (al di sotto del pavimento) il più possibile in aderenza al muro ortogonale su cui verrà collocato il capochiave; dopo aver localizzato il percorso del tirante e i punti di perforazione sulla muratura, si procederà alla realizzazione dell'alloggiamento mediante l'utilizzo di trapani esclusivamente rotativi in modo da evitare ulteriori sconnessioni della struttura disassata, realizzando uno scasso che, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà essere di circa 25 mm di diametro, profondo 40 mm. L'intervento procederà con il posizionamento degli ancoraggi (angolari o intermedi fissati mediante malta di calce idraulica naturale NHL 5) previa preparazione della parte di muratura interessata mediante l'eventuale asportazione d'intonaco e, se necessario, consolidamento; la piastra di ripartizione dei carichi, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, potrà avere dimensioni di 25x25 cm o 30x30 cm spessa 15 mm. Sulla muratura verranno eseguiti i fori di passaggio del tirante, il cui dimensionamento si relaziona alla sezione del tirante, ricorrendo ad un trapano a rotazione. Realizzato l'alloggiamento, il cavo dovrà essere fissato alle piastre precedentemente forate; all'interno dei fori (\square 50-80 mm) dovrà essere posizionata una guaina protettiva fissata alla parete mediante l'utilizzo di malta o resina. Dopo aver tagliato il tirante a misura d'impiego (pari alla lunghezza della parete più lo spessore del muro e maggiorato di 30 cm, 15 cm per parte, necessari per l'ancoraggio) e provveduto alla filettatura delle estremità indispensabili per il tiraggio a freddo (15 cm per ogni estremità utilizzando filettatrici) si procederà alla relativa messa in opera. Il tirante passerà dalla guaina prolungandosi qualche centimetro all'esterno della piastra di ripartizione così da facilitare il tiraggio e l'ancoraggio; verranno posizionati i capochiave (forati se il tiraggio avverrà a freddo) i sistemi di fissaggio ed ancoraggio (dado e controdado, manicotto di collegamento e tiraggio ecc.). Avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio (3 o 4 giorni), il tirante verrà messo in tensione (se teso a mano si ricorrerà ad una chiave dinamometrica che serrerà i dadi sino ad ottenere una tensione di circa 150-200 kg) con gradualità ed a più riprese, fino alla tensione di calcolo (la tensione applicata non dovrebbe superare il 50% di quella ammissibile dal cavo di acciaio utilizzato), controllando eventuali diminuzioni di tensione (causate o dal tipo di acciaio impiegato o riconducibili ad assestamenti murari improvvisi). La sede di posa dei tiranti ed i fori potrà essere riempita con iniezioni di malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 e si potrà solidarizzare la guaina e il cavo mediante l'ausilio di resina sigillante. L'operazione terminerà con la posizione dei cunei di bloccaggio del cavo. Tutte le parti metalliche rimaste a vista dovranno essere protette mediante l'applicazione di vernici di tipo epossidico.

Tiranti trivellati inseriti nella muratura verticalmente

I tiranti potranno essere posti all'interno della muratura anche verticalmente, in questo caso il cavo dovrà penetrare all'interno della muratura in posizione perfettamente baricentrica e dovrà interessare una fascia muraria, mediamente, di circa 2 m. Il tirante verticale sarà formato da un bulbo realizzato al di sotto delle fondazioni del muro e da una testa ancorata alla sommità del muro con una piastra, dadi di bloccaggio e di pretensionamento. La parte sommitale della muratura, che dovrà ospitare la piastra di ripartizione, dovrà essere opportunamente consolidata tramite la messa in opera di una base realizzata con malta di calce eminentemente idraulica così da evitare, soprattutto in murature non perfettamente connesse, danni legati alla precompressione indotta dal tirante su tutta la parete. Per la messa in opera dei tiranti verticali si dovrà

ricorrere a delle macchine perforatrici a rotazione potenti, tali da consentire l'esecuzione di fori precisi e di enorme lunghezza. La procedura in questo caso prevedrà: la preparazione dei fori di alloggiamento del tirante tramite sonda a rotazione provvista di punta diamantata per un diametro variabile in ragione della tipologia di muratura, della consistenza del materiale e del tipo di tirante (generalmente sarà sufficiente un diametro di 45-80 mm); messa in opera del tondino e del trefolo in acciaio spingendolo sino al disotto delle fondazioni; iniezione di malta eminentemente idraulica in modo da formare il bulbo di ancoraggio del tirante; messa in opera delle piastre di ancoraggio (a farfalla o a rondella fissate con dadi all'estremità filettata del tirante). Una volta avvenuta la presa del bulbo di ancoraggio si potrà procedere alla messa in tensione del cavo (con martinetto idraulico o a mezzo cavo avvitato alla testa filettata del tirante), la tensione si otterrà mediante chiave dinamometrica applicata sui dadi di serraggio. A tensione avvenuta dovrà essere immessa all'interno del foro che contiene il tirante della boiaccia di malta a base di calce idraulica naturale NHL 3,5, così da assicurare una buona aderenza tra il cavo e la muratura.

7.2. Consolidamento con tiranti aderenti alla muratura

Nei casi in cui il tirante orizzontale non potrà essere inserito all'interno del solaio poiché strutturalmente fatiscente, sarà opportuno posizionarlo, sempre al livello del solaio ma sul suo intradosso in adiacenza ai muri trasversali (il tirante potrà essere inserito in scanalature ricavate nella muratura così da non renderlo visibile). L'intervento procederà con la localizzazione dei fori da realizzare sui setti che dovranno accogliere il capochiave al fine di consentire il passaggio del tirante; il foro dovrà presentare un diametro, se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto, di 30-80 mm realizzato con trapano a sola rotazione con corona diamantata, escludendo qualsiasi azione di percussione. Eseguiti i fori si procederà alla messa in opera del tirante (la cui sezione potrà essere circolare, quadrata o piatta) avendo cura di farlo uscire all'estremità per circa 15 cm (anche in questo caso le due parti che fuoriusciranno dovranno presentarsi opportunamente filettate) e delle piastre di ripartizione messe in opera sulle pareti esterne (seguendo le modalità descritte nell'articolo inerente i tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente). L'operazione procederà con la tesatura del tirante tramite i dadi (interposti dalle rosette) che potrà essere realizzata sia a freddo (utilizzando una chiave dinamometrica seguendo la procedura indicata nell'articolo inerente i tiranti trivellati inseriti nella muratura orizzontalmente) che a caldo. Nei casi in cui le piastre esterne, a lavoro ultimato, non potessero essere più ispezionabili (affogate all'interno della muratura, intonacate ecc.) queste dovranno essere rese solidali con il tirante che, in questo caso, si comporrà di due parti unite da un manicotto filettato necessario per effettuare il tiraggio del cavo a freddo. L'utilizzo di manicotti intermedi sarà necessario anche nei casi in cui i tiranti risulteranno particolarmente lunghi.

Specifiche

Il tiraggio dei tiranti potrà essere realizzato anche a caldo ovvero, una volta posto in opera il cavo e forzate leggermente le zeppie di contrasto con i capochiave, si effettuerà un preriscaldamento (mediante l'ausilio di fiamma ossidrica o con una fiaccola a benzina) nel tratto centrale; il cavo si allungherà per effetto termico; una volta raggiunta la lunghezza indicata da progetto, si inserirà il sistema di bloccaggio all'estremità dopodiché, bloccando gli ancoraggi, il tirante svilupperà la sua tensione raffreddandosi.

I tiranti orizzontali messi in opera sulle pareti più lunghe dovranno essere applicati leggermente sopra quelli che corrono sulle pareti più corte; inoltre, in presenza di solai sfalsati, i tiranti orizzontali dovranno essere posizionati a metà tra i due. La piastra di ancoraggio potrà essere sostituita da una piastra armata spessa e larga incassata e ammorsata all'interno della muratura. Per maggiori specifiche riguardanti le miscele da iniezione si rimanda a quanto detto all'articolo specifico sulle iniezioni di miscele leganti.

8. Consolidamento mediante tiranti antiespulsivi

In presenza di pareti caratterizzate da paramenti in parte o totalmente scollegati tra loro (muratura a sacco o a paramenti accostati e non connessi) che presenteranno degli spancamenti o delle deformazioni, si potrà ricorrere all'uso dei tiranti antiespulsivi. La tecnica d'intervento sarà indirizzata al ripristino della continuità trasversale della muratura, ricorrendo all'inserimento di barre metalliche, passanti, ancorate mediante piccole piastre bullonate alle facce esterne della muratura. L'intervento potrà essere reversibile, poiché non prevedrà l'utilizzo di materiali leganti per fermare la barra ma, allo stesso tempo, per la sua immediata connotazione sulla parete, sarà opportuno limitarlo nella quantità evitando così un'eccessiva alterazione della configurazione superficiale della parete. L'effettiva efficacia dell'intervento sarà strettamente connessa alla natura ed alla qualità della muratura su cui si opererà il consolidamento, così come le singole fasi operative varieranno in relazione al singolo caso specifico. Le fasi esecutive consteranno in: realizzazione dei fori (se non diversamente indicato dagli elaborati di progetto potrà essere sufficiente realizzare una perforazione ogni metro quadrato di parete) mediante l'utilizzo di trapano a sola rotazione e non a percussione poiché potrebbe aggravare il dissesto della struttura, utilizzando una punta da 20-25 mm, i fori dovranno essere eseguiti in punti ottimali per l'ancoraggio dei tiranti (la superficie in quelle zone dovrà presentarsi sufficientemente piana così da consentire la buona aderenza della piastra); asportazione dal foro di eventuali detriti ed introduzione del tirante (\square 16-20 mm) in acciaio inossidabile con le estremità filettate che fuoriescano dalla muratura (circa 4-5 cm) tanto da consentire il facile bloccaggio; inserimento delle piastre (con un diametro dimensionalmente rapportato al tipo di murature sulla quale dovranno insistere, ad esempio, su una muratura mista \square 80-100 mm) che bloccheranno i tiranti su entrambe le contrapposte pareti; infine, il serraggio della barra avverrà mediante bullonatura in acciaio (utilizzando, se esplicitamente richiesti dalla D.L., bulloni ciechi) allo scopo di riuscire ad attribuire una modesta pre-sollecitazione alla barra.

Avvertenze

Si ricorda che la realizzazione di eventuali piccoli scassi sulla muratura, al fine di nascondere in parte le piastre, saranno sconsigliati poiché potrebbero ridurre l'efficacia dell'intervento.

9. Consolidamento mediante diatoni artificiali

Al fine di consolidare, e legare trasversalmente murature sconnesse, si potrà procedere introducendo all'interno della struttura elementi artificiali (diatoni), di forma cilindrica messi in opera all'interno di fori realizzati mediante l'uso di una carotatrice. La messa in opera di questo tipo di risoluzione potrà essere fatta anche su murature di qualità molto scadente poiché non genera alcuna presollecitazione; la quantità dei diatoni da introdurre all'interno della muratura sarà connessa alla consistenza della muratura stessa. La procedura prevedrà: realizzazione dei fori (\square 15 cm) mediante l'uso di una sonda a rotazione, fissata alla muratura in modo da realizzare forature perfettamente orizzontali localizzate in modo da non arrecare ulteriori danni alla struttura (da evitare parti particolarmente fragili esteriormente); l'armatura del diatono verrà realizzata tramite un traliccio a spirale in acciaio inossidabile (AISI 304L o 316L) o passivato (5-6 barre \square 8 ed eventuale staffa \square 4-6 a spiarle) tagliato in base allo spessore della muratura da consolidare, inserito all'interno del foro (ricorrendo all'uso di opportuni distanziatori per meglio posizionarlo) e collegato con il controtappo (munito di foro per garantire l'iniezione della malta e dotato di ferri longitudinali della lunghezza di 10 cm) tramite legatura o saldatura; su entrambe le pareti, le zone adiacenti al foro dovranno essere sigillate mediante stuccatura in modo da ovviare l'eventuale fuoriuscita della miscela che verrà iniettata, avendo cura di lasciare una piccola fessura nella parete dove avverrà l'immissione della miscela così da consentire il passaggio dell'aria; infine l'intervento terminerà con l'iniezione, tramite una leggera pressione all'interno dell'armatura, di malta fluida (per maggiori delucidazioni al riguardo si rimanda all'articolo inerente le iniezioni di miscele leganti).

Specifiche

Questa tecnica risulterà adatta per sopportare sollecitazioni di origine sismica grazie al collegamento monolitico che si verrà a creare tra le due facce del muro.

11.2 CONSOLIDAMENTO SOLAI

11.2.1 CONSOLIDAMENTO STRUTTURE VOLTATE

Premessa metodologica

Il consolidamento delle strutture voltate dovrà avvenire in riferimento alle primarie istanze di sicurezza e conservazione; appurata l'efficienza statica dei piedritti di sostegno delle volte l'intervento dovrà essere sostanzialmente localizzato a ristabilire o a consolidare la continuità strutturale dell'elemento e, l'eventuale, contenimento dell'azione spingente sui sostegni verticali. La scelta della metodologia d'intervento su questo tipo di strutture dovrebbe riuscire a coniugare l'esigenza di sicurezza strutturale e, allo stesso tempo, cercare di non stravolgere la configurazione spaziale della struttura voltata. Le opere di consolidamento indirizzate alla ricostruzione della continuità strutturale vengono attuate generalmente quando a causa di dissesti di varia natura e di una certa entità o a causa di mutate condizioni di carico o per eccessivo degrado dei materiali componenti la struttura non risulta più idonea ad adempiere il suo ruolo strutturale manifestandolo, in molti casi, con l'alterazione dello stato di equilibrio originale con l'apparizione di fessurazioni e, in casi limite, anche con il distacco di parti costituenti. Gli interventi, in questo caso, possono essere diversi e la loro applicazione potrà essere fatta attraverso il consolidamento messo in opera nella parte estradossale o intradossale ricorrendo ad opportune ed idonee tecnologie che prevedano la messa in opera di materiali di sostegno e di rinforzo. Le tecniche sviluppate di seguito, non ottempereranno la possibilità di operare un consolidamento attraverso lo smontaggio e la ricomposizione della struttura voltata seguendo la stessa tecnica costruttiva adoperata in origine, sostituendo le parti ammalorate con elementi nuovi simili e compatibili a quelli originali e allo stesso tempo operando il consolidamento dell'intera struttura durante la fase di rimontaggio. Questa risoluzione, per ovvie ragioni, dovrà implicare la perfetta conoscenza delle tecniche antiche ma soprattutto la comprensione profonda delle diverse fasi operative cercando di capire i limiti connaturati con la risoluzione al fine di ovviarli e superarli attraverso accorgimenti consoni al caso.

11.2.1.1 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI VOLTE IN MURATURA (LATERIZIO E/O PIETRA)

1. Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi procedura di consolidamento che di seguito verrà enunciata, sarà opportuno seguire delle procedure e delle verifiche indirizzate alla conoscenza dell'unità voltata oggetto d'intervento; queste operazioni inoltre salvaguarderanno l'integrità di ogni singolo elemento che compone l'unità strutturale e creeranno le condizioni atte a garantire la corretta esecuzione e l'efficacia dell'intervento.

Verifiche preliminari

- Riconoscimento ed identificazione dello schema di funzionamento statico del sistema voltato;
- analisi dei materiali e della funzione strutturale dei singoli elementi;
- accertamento delle caratteristiche fisiche e meccaniche della volta e dei singoli elementi che ne fanno parte;
- analisi del quadro fessurativo e conseguente studio del degrado;
- valutazione complessiva del comportamento dell'unità strutturale.

Stuccature preliminari

Si procederà alla stuccatura con malta idraulica di tutte le eventuali lesioni o soluzioni di continuità localizzate all'intradosso della volta seguendo le prescrizioni della D.L.

Puntellatura

Tutta la volta oggetto d'intervento dovrà essere preventivamente sostenuta da un sistema di centine simile a quello utilizzato per la costruzione; si dovrà, inoltre, provvedere alla messa in opera d'adeguate sbatacchiature al fine di contrastare la spinta di volte contigue. In presenza di porzioni di volte affrescate, ovvero decorate, a contatto con i puntelli, queste dovranno essere protette con i sistemi ritenuti più idonei dalla D.L.; si ricorda, inoltre, che le opere di sostegno dovranno insistere su un piano di appoggio assolutamente sicuro.

Rimozione materiale inerte

Tutto il materiale (pavimento, sottofondo, eventuale piano di posa, materiale di rinfiacco) sovrapposto alla volta dovrà essere rimosso; questa operazione dovrà essere effettuata manualmente e dovrà avanzare (per strati paralleli e successivi fino al vivo dell'estradosso della volta) a partire dalla zona di chiave fino ad arrivare all'esterno della volta facendo attenzione di conservare l'integrità dei materiali. Secondo la tipologia di volta la rimozione seguirà direzioni differenti: nelle volte a botte si procederà per tratti di uguale dimensione a partire da entrambi i lati della generatrice superiore fino a raggiungere i rinfiacci; nelle volte a padiglione ed a crociera, si inizierà dal centro proseguendo lungo i quattro fronti, seguendo le generatrici in quella a padiglione, o seguendo la direzione degli anelli in quella a crociera, fino a giungere il livello di imposta (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo specifico sullo smontaggio delle strutture voltate).

Pulizia dell'estradosso

Si eseguirà la pulitura rimuovendo (mediante spazzole di saggina, raschietti, aria compressa aspiratori od altri sistemi ritenuti idonei dalla D.L.) le malte leganti degradate, i detriti che si presenteranno aridi ed inconsistenti e tutto ciò che potrebbe in qualche modo ostacolare le successive operazioni di consolidamento.

2 Consolidamento mediante materiali compositi (FRCM)

L'intervento sarà rivolto a tutte quelle strutture in elevazione (travi, pilastri, solai ecc.) che non risultino essere più idonee a sopportare gli sforzi di trazione o di taglio per cui sono state progettate. L'intervento avrà, pertanto, come obiettivo quello di incrementare la sezione resistente mediante placcaggio o fasciatura esterna con reti di materiale composito così da ottenere un incremento della capacità ultima.

Questa tecnica presenta i vantaggi dei compositi fibrorinforzati FRP con spessori massimi di mm 30 su più strati compresa la matrice inorganica. Grazie a quest'ultima si hanno affinità aggiori con le fabbriche murarie, la possibilità di messa in opera in ambienti umidi con migliore resistenza al calore e al fuoco.

Avvertenze

Sarà necessario far presente che, nel consolidamento di volte in muratura, il dimensionamento dei nastri potrà ritenersi un fattore abbastanza marginale, in quanto il grado di resistenza a trazione, necessario per aumentare la resistenza di una volta, sarà sempre molto al di sotto delle prestazioni minime dei materiali FRP. Altri sono i fattori ai quali si dovrà prestare attenzione, tra questi ci saranno sicuramente il corretto posizionamento dei nastri, la loro idonea "impregnatura" con la resina e la presenza di un doppio strato di nastro. Quest'ultimo aspetto sarà in funzione non tanto del fornire una maggior resistenza all'unità strutturale (resistenza, generalmente, già sufficientemente fornita da un solo nastro), quanto piuttosto del garantire una miglior risposta ad eventuali sollecitazioni "passive", normali alle fibre che possano intervenire a causa delle irregolarità della superficie di supporto (da qui l'importanza di livellare la superficie di posa). Un doppio strato si rivelerà meno "delicato" nei punti angolosi grazie al frazionamento delle "sollecitazioni" dovuto alla presenza di più resina e al non perfetto parallelismo tra le fibre dei due strati. Dovrà essere fatta particolare attenzione nel rispettare i rapporti di miscelazione ed i tempi di catalizzazione del primer e dell'adesivo epossidico; in caso contrario, infatti, potrebbero verificarsi dannose esfoliazioni degli strati.

2.1 Fasciatura dell'estradosso con FRCM (a titolo esemplificativo, si riportano le caratteristiche della Ditta Kerakoll. L'impresa appaltatrice potrà utilizzare la ditta di sua convenienza purchè i materiali forniti e la corrispondente posa abbiano le medesime caratteristiche o superiori)

Volta a botte

Rinforzo di volta a botte mediante placcaggio estradosale con fasce di fibra in acciaio galvanizzato, con l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; n° trefoli per cm = 1,57 con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; spessore equivalente del nastro = 0,084 mm, impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta®

naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradossale sia in quella intradossale verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da contabilizzare a parte);
- b) pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- d) con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- g) ancoraggio delle estremità del tessuto in fibra d'acciaio all'interno del supporto (da contabilizzare a parte), procedendo alla preventiva foratura dei supporti, arrotolamento delle estremità del tessuto in acciaio al fine di inserire tali code all'interno dei fori precedentemente realizzati con colatura finale di una geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, Gr

Volta a crociera

Rinforzo di volta a crociera con realizzazione di rinforzo estradossale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico $E > 200$ GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico $E \geq 87$ GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente t_f (0°-90°) = 0,032 mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg $> 1,0$ N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradossale sia in quella intradossale verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da contabilizzare a parte);
- b) pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione della rete ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente la rete di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- g) ancoraggio delle estremità della rete (da contabilizzare a parte) con inserimento di connettori realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura $> 1,5\%$; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE®

Volta a padiglione

Rinforzo di volta a padiglione mediante placcaggio estradossale con fasce di fibra in acciaio galvanizzato, con l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; n° trefoli per cm = 1,57 con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; spessore equivalente del nastro = 0,084 mm, impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradossale sia in quella intradossale verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da contabilizzare a parte);
- pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- ancoraggio delle estremità del tessuto in fibra d'acciaio all'interno del supporto (da contabilizzare a parte), procedendo alla preventiva foratura dei supporti, arrotolamento delle estremità del tessuto in acciaio al fine di inserire tali code all'interno dei fori precedentemente realizzati con colatura finale di una geomalta® ad altissima igroscopicità

2.2. Fasciatura dell'estradosso con FRP / FRCM e posa in opera di arco di rinforzo o frenello

Il semplice intervento di "rivestimento" con FRP del perimetro e delle nervature, pur rilevandosi efficace può, talvolta, (specialmente in presenza di volte di laterizio in foglio con sezioni molto modeste) non essere sufficiente ad impedire il formarsi di cerniere in chiave con conseguenti dissesti all'unità strutturale. In questi casi si potrà ricorrere all'ausilio di tecniche cosiddette premoderne, ovvero sia all'aumento dello spessore in chiave attraverso la messa in opera di archi di rinforzo sull'estradosso in laterizio ad una testa, ovvero di frenelli in laterizio (per la messa in opera di questi "presidi" si rimanda a quanto detto nell'articolo sui rinfranchi cellulari); in questo modo si darà vita ad un organismo monolitico la cui modalità di collasso dovrà essere ricercata solo nell'eventuale rotazione dei piedritti: cinematismo evitabile inserendo un adeguato ancoraggio volta-piedritto (si veda articoli precedenti).

2.3. Consolidamento sull'intradosso mediante fasciatura con sistema FRCM (a titolo esemplificativo, si riportano le caratteristiche della Ditta Kerakoll. L'impresa appaltatrice potrà utilizzare la ditta di sua convenienza purché i materiali forniti e la corrispondente posa abbiano le medesime caratteristiche o superiori)

Volta a botte

Rinforzo di volta a botte con placcaggio intradossale di fasce di fibra in acciaio galvanizzato mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; n° trefoli per cm = 1,57 con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; spessore equivalente del nastro = 0,084 mm, impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);
 b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
 c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
 d) con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
 e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
 f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
 g) inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, da installarsi ogni 30 – 40 cm lungo lo sviluppo di installazione della fascia, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura C

Volta a crociera

Rinforzo di volta a crociera con placcaggio intradosale di fasce di fibra in acciaio galvanizzato, sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; n° trefoli per cm = 1,57 con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; spessore equivalente del nastro = 0,084 mm, impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);
 b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
 c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
 d) con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
 e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
 f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
 g) inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, da installarsi ogni 30 – 40 cm lungo lo sviluppo di installazione della fascia, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emic

Volta a padiglione

La procedura seguirà quella descritta agli articoli precedenti ad eccezione di alcune precisazioni sul posizionamento dei rinforzi. I nastri FRP dovranno essere collocati seguendo le indicazioni fornite dalle deformazioni e dai dissesti tipici di questo tipo di volte, pertanto si posizioneranno i nastri sia lungo il perimetro della volta (al fine di confinare la base del padiglione), sia trasversalmente allo scopo di incrementare la resistenza dell'arco alle eventuali sollecitazioni orizzontali; infine, si prevedranno delle fasciature più modeste, a cavallo delle nervature delle unghie di testata, così da evitare l'eventuale allargamento delle stesse. Anche in questo caso sarà opportuno dotare il sistema resistente di un idoneo ancoraggio volta-piedritto.

Volta a padiglione

Rinforzo di volta a padiglione con placcaggio intradossale di fasce di fibra in acciaio galvanizzato, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate del nastro: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; n° trefoli per cm = 1,57 con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832; spessore equivalente del nastro = 0,084 mm, impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);
- b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- d) con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- g) inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, da installarsi ogni 30 – 40 cm lungo lo sviluppo di installazione della fascia, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotondamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione

2.4 Consolidamento sull'estradosso diffuso mediante rete con sistema FRCM (a titolo esemplificativo, si riportano le caratteristiche della Ditta Kerakoll. L'impresa appaltatrice potrà utilizzare la ditta di sua convenienza purché i materiali forniti e la corrispondente posa abbiano le medesime caratteristiche o superiori)

Volta a botte

Rinforzo di volta a botte con realizzazione di rinforzo estradosso diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico E > 200 GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico E ≥ 87 GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradosso sia in quella intradosso verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da

contabilizzare a parte);

b) pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;

c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;

d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione della rete ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;

e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente la rete di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;

f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;

g) ancoraggio delle estremità della rete (da contabilizzare a parte) con inserimento di connettori realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotol

Volta a crociera

Rinforzo di volta a crociera con realizzazione di rinforzo estradosale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico E > 200 GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico E ≥ 87 GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

a) svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradosale sia in quella intradosale verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da contabilizzare a parte);

b) pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;

c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;

d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione della rete ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;

e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente la rete di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;

f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;

g) ancoraggio delle estremità della rete (da contabilizzare a parte) con inserimento di connettori realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito.

Sono esclusi: l'eventuale svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, la bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato; gli ancoraggi delle estremità della rete; le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori.

Volta a padiglione

Rinforzo di volta a padiglione con realizzazione di rinforzo estradossale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico $E > 200$ GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico $E \geq 87$ GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Ecode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, eventuali lesioni presenti sia nella parte estradossale sia in quella intradossale verranno sigillate e rincocciate con scaglie di materiale idoneo allettate con la geomalta (da contabilizzare a parte);
- b) pulizia della superficie di estradosso sino alla messa a nudo degli elementi strutturali e umidificazione delle superfici o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione della rete ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente la rete di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- g) ancoraggio delle estremità della rete (da contabilizzare a parte) con inserimento di connettori realizzati con un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Ecode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati $\geq 30\%$. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata $\geq 3,5$ MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Sono esclusi: l'eventuale svuotamento e alleggerimento degli strati sovrastanti la volta, la bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato; gli ancoraggi delle estremità della rete; le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori.

2.5 Consolidamento diffuso sull'intradosso mediante rete con sistema FRCM (a titolo esemplificativo, si riportano le caratteristiche della Ditta Kerakoll. L'impresa appaltatrice potrà utilizzare la ditta di sua convenienza purché i materiali forniti e la corrispondente posa abbiano le medesime caratteristiche o superiori)

Volta a botte

Rinforzo di volta a botte con realizzazione di rinforzo intradossale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio

Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico E > 200 GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico E ≥ 87 GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente t_f (0°-90°) = 0,032 mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);
- b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;
- c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;
- d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;
- f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;
- g) collaborazione con inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfocchettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Sono esclusi: l'eventuale rimozione dell'intonaco esistente e la bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato; i connettori e l'iniezione degli stessi e tutti gli oneri necessari per la loro realizzazione; le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori.

Volta a crociera

Rinforzo di volta a crociera con realizzazione di rinforzo intradossale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico E > 200 GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico E ≥ 87 GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente t_f (0°-90°) = 0,032 mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

- a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino

di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);

b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;

c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;

d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;

e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;

f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;

g) collaborazione con inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghiata ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Sono esclusi: l'eventuale rimozione dell'intonaco esistente e la bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato; i connettori e l'iniezione degli stessi e tutti gli oneri necessari per la loro realizzazione; le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori.

Volta a padiglione

Rinforzo di volta a padiglione con realizzazione di rinforzo intradosale diffuso con rete in fibra naturale e acciaio Inox, mediante l'utilizzo di sistema composito a matrice inorganica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provvisto di Marcatura CE tramite Valutazione Tecnica Europea (ETA) ai sensi dell'art.26 del Regolamento UE n.305/2011 o di certificazione internazionale di comprovata validità, realizzato con tessuto biassiale bilanciato in fibra di basalto e acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali-resistente con resina all'acqua priva di solventi – tipo GEOSTEEL GRID 200 di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: acciaio Inox AISI 304, con speciale trattamento protettivo alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi; resistenza a trazione del filo > 750 MPa, modulo elastico E > 200 GPa; fibra di basalto: resistenza a trazione ≥ 3000 MPa, modulo elastico E ≥ 87 GPa; dimensione della maglia 17x17 mm, spessore equivalente $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$ mm, massa totale comprensiva di termosaldatura e rivestimento protettivo ≈ 200 g/m², impregnato con geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating® 5 – tipo GEOCALCE® F ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), classe di resistenza R1 PCC (EN 1504-3), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9 GPa (EN 13412), adesione al supporto a 28 gg > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

L'intervento si svolge nelle seguenti fasi:

a) eventuale preparazione delle superfici da rinforzare, mediante demolizione e rimozione dell'intonaco esistente, ripristino di eventuali lesioni mediante cucitura (da contabilizzare a parte);

b) pulizia della superficie e umidificazione della stessa o in alternativa posa di fissativo consolidante corticale;

c) stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 – 5 mm;

d) con malta ancora fresca, procedere alla posa della rete, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;

e) esecuzione del secondo strato di geomalta, di spessore di circa 2 – 5 mm al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;

f) eventuale ripetizione delle fasi (d), e (e) per tutti gli strati successivi di rinforzo previsti da progetto;

g) collaborazione con inserimento di connettori (da contabilizzare a parte) realizzati con tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, formato da microtrefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL di Kerakoll Spa – avente le seguenti caratteristiche tecniche certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 1,5%; area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili) = 0,538 mm²; con avvolgimento dei fili ad elevato angolo di torsione conforme alla norma ISO/DIS 17832, previa: realizzazione del foro d'ingresso, avente dimensioni idonee alla natura del successivo connettore, confezionamento del connettore metallico mediante taglio, "sfiochettatura", e arrotolamento finale del tessuto in fibra d'acciaio, con bloccaggio

dello stesso mediante fascetta plastica, inserimento del connettore preformato all'interno del foro con iniezione a bassa pressione finale di geomalta® ad altissima igroscopicità e traspirabilità, iperfluida, ad elevata ritenzione d'acqua a base di pura calce naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, intervallo granulometrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating® 5, provvista di marcatura CE – tipo GEOCALCE® FL ANTISISMICO di Kerakoll Spa – caratteristiche tecniche certificate: alta efficacia nel ridurre gli inquinanti interni, non permette lo sviluppo batterico (Classe B+) e fungino (Classe F+) misurazione con metodo CSTB, certificato a bassissime emissioni di VOC con conformità EC 1-R Plus GEV-Emicode, emissione di CO₂ ≤ 250 g/kg, contenuto di materiali riciclati ≥ 30%. La geomalta® naturale è provvista di marcatura CE, classe della malta G/M15 (EN 998/2), reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), permeabilità al vapore acqueo da 15 a 35 (EN 1745), resistenza a compressione a 28 gg ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), modulo elastico 9,5 GPa (EN 13412), tensione di aderenza della barra inghisata ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

È compresa la fornitura e posa in opera di tutti i materiali sopra descritti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito. Sono esclusi: l'eventuale rimozione dell'intonaco esistente e la bonifica delle zone degradate e ripristino del substrato; i connettori e l'iniezione degli stessi e tutti gli oneri necessari per la loro realizzazione; le prove di accettazione del materiale; le indagini pre- e post-intervento; tutti i sussidi necessari per l'esecuzione dei lavori.

3. Consolidamento con tirante metallico

L'intervento si pone il fine di presidiare i meccanismi di spinta presenti in un sistema voltato, collaborando ed assorbendo la componente orizzontale della spinta, diretta diagonalmente verso il basso. Generalmente saranno messi in opera alle reni della struttura (ovverosia in posizione staticamente più corretta ed efficace); talvolta, comunque, potranno essere posizionati anche all'imposta, o all'estradosso, parzialmente annegati nella muratura in corrispondenza della chiave.

L'intervento consisterà nel posizionamento di tiranti in acciaio Fe 360, adeguatamente dimensionati secondo le prescrizioni di progetto (comunque non inferiori a □ 16 mm e lunghezza massima 20 m), a livello dell'imposta della volta. Il dimensionamento e la tipologia di ancoraggio (paletto, piastra, tirafondi, fialoide ecc.) del tirante saranno in relazione sia al tipo ed allo stato di conservazione della muratura dei piedritti, sia al fatto che la reazione al punzonamento del muro dovrà essere almeno uguale alla spinta orizzontale esercitata dalla volta. L'interesse tra i tiranti sarà tanto più modesto quanto più sottile sarà la sezione del muro su cui agiranno gli ancoraggi e quanto più avanzato sarà il dissesto della struttura.

La procedura operativa d'intervento seguirà quella prevista nell'articolo sul consolidamento delle murature con tiranti metallici orizzontali.

Avvertenze

Questo tipo d'intervento non sarà sufficiente da solo a riequilibrare e ripristinare il primitivo stato tensionale delle volte, come non potrà riportare una struttura deformata e decoesa allo stato originale (operazioni che dovranno essere previste parallelamente a questa procedura); potrà, però, evitare ulteriori peggioramenti dei dissesti dell'unità strutturale. L'operazione, pertanto, dovrà essere di complemento o di completamento ad interventi di consolidamento strutturale.

Specifiche sui materiali

Si vedano le specifiche inerenti nell'articolo Consolidamento mediante tiranti metallici".

11.3 CONSOLIDAMENTO COPERTURE

Premessa metodologica

Le coperture lignee possono essere distinte tra quelle considerate spingenti, che trasferiscono sulle strutture perimetrali sollecitazioni generatrici di spinte con componente orizzontale (anche in fase statica) non assimilabili dalle murature e quelle non spingenti, dove gli elementi portanti poggiano direttamente su strutture che trasmettono alla muratura solo sforzi verticali di compressione.

La casistica di tetti che si possono definire "spingenti" comprende diverse tipologie strutturali: tetto a capanna con orditura primaria direttamente appoggiata sulle pareti di testata (tetto alla toscana composto da trave di colmo ed arcareccio terziere orizzontali) o su quelle laterali (tetto alla piemontese composto da falsi puntoni) e con l'orditura secondaria (travicelli, palombelli, morali, correnti, mezzanelle, listelli ecc.) gravante, a seconda della tipologia, o sulle pareti trasversali o su quelle laterali; tetto a padiglione od a capanna con testa a padiglione. In entrambe queste tipologie strutturali andrà fatta particolare attenzione in prossimità degli angoli dove i falsi-puntoni o paradossi insistono maggiormente.

Altra situazione a rischio è costituita dalla presenza di tetti con capriate lignee aventi gli appoggi che non insistono su tutta la sezione muraria, ovvero non risultano idoneamente vincolati: l'incavallatura, caricando in maniera disomogenea la muratura d'imposta, genera tensioni differenziali tra i due paramenti murari. Nel paramento esterno si potranno verificare azioni di punzonamento con conseguenti espulsioni locali di materiale, mentre la muratura interna (dove, cioè, appoggia la capriata) verrà sollecitata sia dall'azione verticale causata dalla catena sia da quella orizzontale diffusa da quest'ultima per attrito: la conseguenza di queste azioni sarà il distacco di una zona limitata dell'apparecchio interno.

In presenza di tetti spingenti, (ma è vivamente consigliabile anche in presenza di tetti considerati "non spingenti" ed in particolare in zona sismica) è opportuno che l'intervento manutentivo prescelto sia finalizzato al "miglioramento" (termine utilizzato dalla normativa per le costruzioni in zona sismica) del comportamento strutturale, così da poter avviare a pericolosi fenomeni di martellamento sui setti murari; per questo il progetto dovrà, necessariamente, prevedere una serie di operazioni che possano garantire sia la connessione solidale tra i vari elementi che compongono l'orditura (primaria e secondaria), sia l'unione strutturale tra il tetto e la muratura dando vita ad un sistema scatolare chiuso capace di annullare le spinte e comportarsi in maniera solidale in caso di azione sismica.

L'intervento sulle strutture lignee delle coperture dovrà essere effettuato previa verifica delle cause che hanno provocato i dissesti e degradi presenti sulle parti componenti la struttura, distinguendo gli elementi che hanno subito ammaloramenti locali o diffusi da quelli che presentano un buono stato conservativo; sovente le cause del decadimento fisico, con conseguente perdita della consistenza, sono riconducibili al naturale invecchiamento del materiale, all'assenza di manutenzione, all'azione distruttiva dell'acqua e all'attacco di microrganismi biologici quali muffe, insetti ecc. Tutto questo può portare la struttura al limite della resistenza per cui, il suo assetto statico risulta incapace di sopportare l'incremento delle sollecitazioni dovute al sisma. Una mancata manutenzione della copertura (con relativa inefficienza del sistema di smaltimento delle acque piovane o dissesto del manto di copertura) può innescare una riduzione dell'efficienza della connessione muratura-copertura portando la struttura a non essere più in grado di assolvere la funzione di solidarizzazione tra murature. In fase sismica si potrà avere la perdita totale o parziale dell'efficienza del nodo strutturale con conseguenti cedimenti differenziali, allontanamenti degli appoggi, lesioni degli apparecchi murari, privazione dell'efficienza dei collegamenti (sfilamento delle travi con successiva perdita della funzione di sostegno).

La volontà è di proporre una casistica di metodologie d'intervento "rispettose" dello stato di fatto, perché l'atteggiamento deve sempre essere quello di comprendere la conformazione della struttura, al fine di mantenerne i tratti salienti che la caratterizzano. Questo non vuol dire escludere a priori la possibilità di operare eventuali sostituzioni d'elementi eccessivamente degradati (il cui recupero comporterebbe un impegno economico e tecnico eccessivo per questo tipo di strutture) o l'introduzione d'elementi di rinforzo che potrebbero essere, in altri frangenti, considerati troppo invasivi. Ogni intervento dovrebbe essere sempre preceduto e supportato da opportune verifiche preventive, eseguite su campioni significativi di materiale, finalizzate all'accertamento della reale capacità meccanica delle strutture i cui risultati dovrebbero delineare i tratti salienti del progetto di recupero.

Quello che riteniamo riprovevole è l'atteggiamento, che molte volte si verifica in queste circostanze, eccessivamente cautelativo del Tecnico progettista che debilita la struttura aprioristicamente e per questo opta per risoluzioni drastiche, solo apparentemente più sicure, quali, ad esempio, quelle che prevedono sostituzioni di carpenteria lignea ancora efficiente ed affidabile (talvolta solo esteticamente malandata) con membrane nuove o, peggio ancora, in cemento aggravando, in questo modo, la muratura con nuovi pesi, talvolta eccessivi. Le diverse risoluzioni di consolidamento di seguito elencate, sono state scelte a discapito di altre poiché accomunate dalla volontà di rispettare la conformazione tecnico-costruttiva dell'esistente e, pur non perdendo di vista la natura dei manufatti cui si rivolge l'intervento, risultano operazioni confacenti al caso per praticità e facilità di messa in opera da parte delle maestranze e, allo stesso tempo, poiché rappresentano la giusta mediazione tra le operazioni eccessivamente invasive e quelle estremamente "sofisticate" più confacenti ad organismi di maggior pregio.

11.3.1 OPERAZIONI DI CONSOLIDAMENTO DI COPERTURE IN LEGNO

1. Generalità

Prima di mettere in pratica qualsiasi risoluzione che, di seguito, verrà enunciata si renderà necessario seguire delle procedure preliminari indirizzate sia alla salvaguardia dell'integrità di ogni singolo elemento che compone la struttura del tetto, sia per creare le condizioni atte a garantire una corretta esecuzione dell'intervento. Le operazioni sotto elencate, per fasi successive, costituiranno le accortezze da prendere nell'effettuare il cauto smontaggio del tetto (ci potrebbe essere il caso in cui lo smontaggio non comprenderà gli elementi lignei che costituiscono l'orditura primaria in quanto l'intervento di manutenzione è stato previsto, qualora le condizioni conservative lo consentano, in loco):

- puntellamento e/o sbatacchiamento con appropriati ritti regolabili da cantiere della struttura portante del tetto;
- rimozione dei canali di gronda delle canne fumarie, dei cornignoli, delle antenne, delle scossaline e quant'altro sia presente sulla copertura;
- verifica della stabilità dei cornicioni e, nel caso siano direttamente connessi con la struttura del tetto, provvedere ad idonei puntellamenti;
- rimozione del manto di copertura ed accatastamento all'interno del cantiere od in altro luogo sicuro (in ogni caso non in modo da gravare sulla struttura dell'edificio);
- verifica di ogni singolo elemento che compone il manto di copertura (presenza di eventuali rotture e/o cricature) al fine di accertarne l'eventuale riutilizzabilità e, in tal caso, procedere con la rimozione dalla superficie di ogni genere di deposito (muschi, licheni ecc.) per mezzo di una pulitura manuale tramite bruschinaggio con spazzole di saggina;
- totale o parziale (a seconda del tipo di intervento) rimozione del sottopiano (in pianelle o in tavolato) e della piccola orditura lignea compreso il disancoraggio dalla struttura primaria e loro, eventuale, accatastamento in luogo sicuro ed esterno alla struttura, avendo cura di selezionare gli elementi ancora efficienti e riutilizzabili e di effettuare eventuali interventi di pulitura che dovranno essere di tipo manuale con l'ausilio di spazzole di saggina. Nel caso in cui gli elementi si presentassero alterati (dipinti, trattati con materiali cerosi o vernici a smalto) e il progetto preveda il ripristino dello stato originale, occorrerà procedere alla loro sabbiatura con l'ausilio di appropriati apparecchi aeroabrasivi ricorrendo ad inerti indicati, nello specifico, dalla D.L.

2. Collegamento tra le strutture della copertura e la muratura

L'intervento si pone il fine di garantire un'adeguata connessione tra le strutture lignee di copertura e le murature, così da ridurre l'azione spingente delle coperture ed evitare pericolosi fenomeni di martellamento delle stesse sui setti murari. Particolare attenzione si dovrà porre nel valutare l'effettiva capacità meccanica delle murature d'imposta, sovente soggette ad infiltrazioni d'acqua, ad oscillazioni termiche (con conseguente disgregazione dei giunti di malta e degrado del materiale costituente l'apparecchio) e, appunto, a sollecitazioni degli appoggi delle strutture lignee.

Per quanto detto sopra risulta, sovente, consigliabile "bonificare", ovvero consolidare preventivamente le murature sommitali mediante il ripristino dell'imposta con elementi di laterizio pieno ben apparecchiati con malta idraulica. Varianti

di questa procedura sono trattate nell'articolo specifico sul consolidamento delle murature.

2.1. Collegamento mediante zanche o spillature metalliche

Intervento quasi sempre attuabile ed idoneo a risolvere problemi legati all'azione spingente delle orditure lignee (special modo falsi puntoni).

Previa perforazione dei puntoni nell'asse mediano si procederà a collegarli con la struttura sottostante mediante zanche da annegare nella muratura sommitale ovvero nel cordolo, se questo è presente. Le zanche saranno costituite da piattine in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L (sezione minima 5x50x500 mm) con l'estremità ancorata alla muratura, sdoppiata in due lembi ripiegati in versi opposti. Le zanche dovranno essere fissate ai falsi puntoni tramite doppia bullonatura in acciaio (minimo \varnothing 12 mm) fermata con doppio dado. L'appoggio del puntone alla muratura d'imposta potrà essere aiutato grazie al posizionamento di opportuni cunei di legno (palcari), sagomati e dimensionati secondo le disposizioni di progetto, fissati (con chiodi inox o tirafondi filettati) alla struttura muraria, alle zanche di collegamento e ai puntoni stessi.

In alternativa, previo eventuale consolidamento della muratura d'attico (ovvero creazione di cordolo in muratura armata), si potrà ricorrere a spillature armate, intervallate ogni 40-50 cm, costituite o da barre nervate B450C in acciaio inossidabile o zincato o da barre filettate AISI 316L (minimo \varnothing 16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inghisate in fori di diametro 36 mm, verticali o leggermente inclinati e successivamente sigillati con malta reoplastica a ritiro compensato o con resina epossidica a consistenza colabile esente da solventi, secondo quanto stabilito dagli elaborati di progetto. Queste barre filettate dovranno essere di lunghezza leggermente variabile tra loro, affinché nella muratura d'imposta non si crei un allineamento che potrebbe agevolare l'insorgenza di una lesione orizzontale. In presenza di cordolo in muratura armata potrà essere sufficiente collegare un tirafondo in acciaio inox uncinato (ad es. \varnothing 20 mm) all'armatura del cordolo. Le spillature saranno collegate ai puntoni, sulla linea di gronda, attraverso un piatto metallico in acciaio S275 zincato a caldo adeguatamente dimensionato (sezione minima 15x200 mm) posizionato sopra i puntoni con la duplice funzione di collegamento degli elementi lignei sul piano di gronda e ancoraggio degli stessi alla muratura. A seconda delle scelte di progetto la spillatura potrà essere saldata alla piastra (barra ad aderenza migliorata) o vincolata attraverso bullonatura (barra filettata).

L'intervento sarà completato con un modesto "getto" di malta adesiva (spessore minimo 6 cm) a sigillo dell'armatura longitudinale di collegamento (piatto più ancoraggi).

2.2. Collegamento mediante piatti metallici

L'intervento sarà consigliabile per tutte le coperture con orditure lignee semplici costituite da travi principali parallele alla gronda ed appoggiate su murature trasversali a timpano e orditura secondaria costituita da travicelli, mezzanelle, o palombelli. Il protocollo operativo prevede l'inserimento di più elementi congiunti (ancoraggi verticali, collegamenti longitudinali dei muri con tiranti ad "L", selle di appoggio delle travi ecc.), in corrispondenza del piano di imposta della copertura, capaci di collegare le murature e garantire un comportamento scatolare. La messa in opera di questo tipo di soluzione permetterà di realizzare un'opportuna indeformabilità e rigidità del piano così da poter rinunciare alla messa in opera della caldana in cls. Tutte le connessioni saranno, preferibilmente, eseguite con bullonatura e non con saldatura allo scopo di prevenire la diminuzione di protezione (disposizione all'ossidazione, dovuta alla rimozione della zincatura protettiva) che questa tecnica potrebbe introdurre.

Di pari passo all'eventuale consolidamento della muratura trasversale d'imposta, si procederà alla messa in opera dei dispositivi di appoggio ed ancoraggio delle travi principali costituiti, seguendo i disegni di progetto, da selle in acciaio inossidabile 18/8 AISI 304L o zincato a caldo (spessore minimo 5 mm), precedentemente ancorate al timpano di muratura mediante barre filettate AISI 316L (minimo 2 \varnothing 16 mm) di lunghezza variabile (comunque non inferiore ai 90 cm), inserite in perforazioni (minimo \square 36 mm) verticali (o con lieve inclinazione) ed annegate in malta reoplastica, colabile, a ritiro compensato, fibrorinforzata ad alta duttilità. Le travi saranno vincolate alle selle (al fine di bloccare gli eventuali movimenti di scorrimento) mediante una caviglia metallica trasversale che potrà essere costituita (a seconda delle prescrizioni di progetto) da un tubo liscio (in acciaio inox) all'interno del quale verrà posto il perno che potrà essere formato da un bullone dotato di doppi dadi all'estremità; in alternativa la caviglia potrà essere composta da una barra inox filettata a sezione circolare (minimo \varnothing 14 mm) dotata anch'essa di doppi dadi all'estremità. La superficie di contatto della trave con quella della sella sarà isolata tramite un foglio di neoprene (spessore circa 8-10 mm).

Le interconnessioni tra i vari elementi, in corrispondenza dei nodi (come angoli e collegamenti a martello) e dei colmi dei timpani murari saranno risolte con la preventiva messa in opera di piastre di connessione (spessore minimo 10 mm) che accoglieranno le necessarie bullonature (da 4 a 8) dei tiranti longitudinali, trasversali e diagonali. Queste piastre saranno ancorate alla muratura sottostante mediante opportuni tirafondi in acciaio zincato (minimo 4-6 \varnothing 14 mm inghisati in \varnothing 24 mm).

Per tutto il perimetro della muratura d'attico, sarà posizionato un ferro piatto (sui muri di testa e sui setti trasversali rompitratta) ovvero sagomato ad "L" (sulle pareti di gronda, dove appoggiano solo i travicelli), di acciaio zincato a caldo, adeguatamente dimensionato (ad es. 100x100 mm) di sezione minima 10 mm ancorato, tramite bullonatura (dado e rosetta di acciaio zincato) e/o tirafondi, alle piastre nodali, ai congegni di appoggio ed ancoraggio delle travi, ai travicelli ortogonali alla gronda e alla chiodatura armata della muratura longitudinale costituita da barre in acciaio uguali a quelle utilizzate per l'ancoraggio delle selle (\varnothing 16/900 mm inghisate in \varnothing 36 mm intervallate ogni 60 cm).

Il protocollo prevede, inoltre, il posizionamento di tiranti diagonali costituiti da piatti in acciaio (sezione minima 5x80 mm) disposti sulle falde e bullonati ai piatti perimetrali in modo da rendere indeformabile la maglia quadrangolare costituita in precedenza.

Viti autofilettanti in acciaio inox (\varnothing 6/80-100 mm) assicureranno il collegamento tra l'orditura minuta e quella principale.

2.3. Collegamento mediante tiranti metallici

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista all'articolo sul consolidamento delle murature con tiranti metallici.

In presenza di tetti spingenti a padiglione o a capanna con teste a padiglione, oltre a rimuovere la spinta dei falsi puntoni ortogonali alla linea di gronda, si dovrà rivolgere particolare attenzione ai falsi puntoni d'angolo (paradossi). Si renderà opportuno dotare il paradosso di doppio tirante in acciaio inox S235, adeguatamente dimensionato (per es. \varnothing 26 mm o \varnothing 32 mm), messo in opera in modo tale che il falso puntone risulti come asse bisettore dell'angolo formato dalle due catene, che avranno il compito di assorbire la spinta secondo due componenti ortogonali. La catena (collegata al paradosso da imbracatura metallica, dim. minime 5x50 mm, fermata alla trave mediante bullonatura cieca) correrà al di sotto della struttura lignea e sarà ancorata (tramite capochiave in acciaio) dalla parte opposta ad un setto murario di taglio o di spina in idonea posizione e più prossimo al falso puntone.

Queste soluzioni dovranno essere utilizzate unicamente su materiale ligneo ancora in buono stato di conservazione così da garantire un valido collegamento con i dispositivi metallici.

In alternativa ai tiranti metallici e per strutture a capanna molto semplici e di modeste luci si potrà ricorrere alla messa in opera di doppie catene lignee adeguatamente dimensionate (ad es. 100x150 mm) posizionate allo spicco della muratura ed ancorate ai falsi puntoni spingenti attraverso barre filettate inox (minimo 2 \varnothing 12 mm) munite di doppi dadi ciechi a ciascuna estremità. Il legname utilizzato dovrà essere esente da difetti, perfettamente stagionato (salvo diversa prescrizioni di progetto), di specie durevole (ad es. faggio o larice) ed essere trattato preventivamente con prodotto anti-muffa ed anti-tarlo. Al fine di evitare eventuali svergolamenti delle tavole potranno essere introdotte delle chiavardature costituite da barre bullonate distanziate ogni 100-120 cm.

2.4. Collegamento mediante cerchiatura dell'edificio in sommità

Cordolo in c.a.

Il cordolo in cemento armato verrà realizzato seguendo le procedure previste nell'articolo sul consolidamento dei solai lignei (tenendo conto delle debite riserve espresse per questo tipo d'intervento). L'unica precisazione riguarda la preparazione della superficie di appoggio del cordolo che non dovrà essere, come, invece, usualmente avviene, spianata sommariamente ma, al contrario, dovrà essere lasciata scabra, debitamente bagnata e ripulita dalle polveri che vi si depositeranno tra un'operazione e l'altra, così da migliorare l'ancoraggio meccanico nella superficie a contatto.

Cordolo in muratura armata

In alternativa alla procedura precedente, si potrà mettere in opera un cordolo in muratura armata con barre nervate B450C in acciaio inossidabile o zincato (l'armatura dovrà essere di almeno 8 cm²). Questa soluzione è accettabile dal momento che dà vita a cantieri che utilizzano materiali compatibili con quelli esistenti (laterizio o pietre) e, allo stesso tempo, non creano discontinuità tra le murature, evitando (in caso di eventi sismici) il frequente scorrimento in corrispondenza della superficie di contatto muratura-cordolo; inoltre non crea problemi di ponte termico e presenta una buona deformabilità verticale, che consente di scaricare i pesi sulle murature sottostanti evitando "l'effetto trave" proprio dei cordoli in c.a. Per armare il cordolo dovranno essere, preferibilmente, utilizzate barre ad aderenza migliorata in acciaio inossidabile o zincate (in alternativa si potrà utilizzare acciaio normale preventivamente trattato con boiacca passivante anticarbonatante); di norma per un cordolo a tre teste si utilizzerà una gabbia costituita da 2+2 \varnothing 16 mm e staffe \varnothing 8/200-255 mm mentre, per cordoli più piccoli, potrà essere sufficiente armare con 2 \varnothing 22-24 mm legati con 2 spille \varnothing 8-10/200 mm; in questi casi assieme al mattone UNI sarà richiesto l'uso di quadrucci pieni (ovverosia elementi di larghezza ridotta) così da lasciare lo spazio necessario per il collocamento delle barre di armatura. L'altezza del cordolo sarà dettata dai disegni di progetto, comunque non potrà essere inferiore a quattro filari di mattoni pieni con i rispettivi allettamenti di malta mentre, la larghezza minima, non dovrà essere inferiore alle due teste.

Nel caso la copertura venga munita di soletta di cls, si renderà necessario provvedere l'armatura del cordolo di staffe secondarie (minimo \varnothing 8/400 mm) da collegare alla rete elettrosaldata della soletta soprastante. Medesimo criterio verrà adottato in presenza di aggetti di gronda: in questo caso, la gabbia di armatura, a supporto del cornicione, potrà essere "sagomata" seguendo le esigenze di progetto.

Una soluzione di questo tipo non prevederà l'uso di casseforme lignee per il getto (costituito da calce idraulica e sabbia silicea), in quanto i mattoni stessi faranno le veci di casseri a perdere, e, come tali, risulteranno in grado di racchiudere la malta che avvolgerà l'armatura.

Cordolo in legno

La funzione di "cappello strutturale" potrà essere ottenuta anche tramite l'inserimento, in sommità alle murature portanti, di una cordolatura in travi di legno, adeguatamente dimensionate seguendo le prescrizioni di progetto (comunque non inferiore a 250x250 mm). Il legname utilizzato dovrà essere netto, cioè esente da difetti, perfettamente stagionato (salvo diversa prescrizioni di progetto) e di specie particolarmente dura e durevole (ad es. quercia o castagno). Il cordolo dovrà essere posato su una muratura perfettamente livellata, solida e stabile, sarà ancorato alla muratura d'imposta mediante barre filettate in acciaio inossidabile AISI 316L verticali o leggermente inclinate (minimo 1 \varnothing 16 mm inghisata in \varnothing 26 mm sigillata con malta reoplastica, colabile, a ritiro compensato, intervallate ogni 50-60 cm) di lunghezza variabile (lunghezza minima all'interno della muratura pari a 60 cm), fermate al cordolo mediante dado con rosetta in acciaio inossidabile (il cui lato minimo sarà di 3 \varnothing per uno spessore minimo 0,3 \varnothing); la rosetta dovrà appoggiare sul legno per tutta la sua superficie. La superficie di contatto del cordolo con la muratura sarà isolata tramite un doppio foglio di neoprene (gomma sintetica resistente all'azione nociva degli agenti atmosferici).

Tutte le travi di cordolo dovranno essere preventivamente trattate con specifici prodotti anti-fungo e anti-muffa (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo specifico).

Cordolatura mediante applicazione di materiali compositi (FRP-FRCM)

Qualora non fosse possibile procedere alla cerchiatura della muratura d'imposta del tetto seguendo le tecniche descritte

negli articoli precedenti si potrà ricorrere all'applicazione di nastri di FRP (Fiber Reinforced Polymers): materiale composito costituito dall'unione di fibre (di carbonio, di vetro, aramidiche) continue ad altissime proprietà meccaniche a trazione e di una matrice polimerica (per es. resina epossidica bicomponente), oppure di nastri / grate FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) materiale Composito Fibrorinforzato a Matrice Inorganica.

L'intervento prevede la cordolatura esterna mediante fasciatura (o *wrapping*) dell'apparecchio murario con nastri (larghezza variabile tra i 20 e i 30 cm con peso del tessuto variabile dai 230 g/m² ai 500 g/m²) costituiti da fibre unidirezionali previste dagli elaborati di progetto (fibre di carbonio, fibre aramidiche) combinate con i prescritti adesivi strutturali polimerici. Questo tipo di fasciatura presenta sia il vantaggio di collegare le murature ortogonali chiudendo la "scatola muraria", sia di assorbire le spinte orizzontali della copertura. I nastri saranno impregnati di resina epossidica seguendo il rapporto medio, se non diversamente specificato, di 50% fibra, 50% resina. Dal momento che gli spigoli vivi potranno comportare fenomeni di distacco e di esfoliazione dei nastri sarà opportuno, preventivamente, smussarli con un raggio minimo di 2 cm (maggiore sarà il raggio, migliore sarà la resistenza del sistema). A causa della scarsa resistenza della resina agli agenti atmosferici sarà necessario proteggere la zona di intervento con appropriati teli di plastica od altri tipi di barriere, sia durante le fasi di lavoro sia dopo aver completato la procedura (almeno 24 ore e comunque fino a quando il "materiale composito" non abbia completato la fase di indurimento).

Nel caso di apparecchi murari, fasciati con FRP, ed esposti direttamente alle radiazioni solari si procederà all'applicazione di un'adeguata pellicola a base di elastomeri poliuretanici (lavorabilità a 20 °C 60 min, temperatura minima di applicazione 5 °C, resistenza a trazione diretta ≥ 8 MPa, allungamento a rottura 100-200%, indurimento al tatto a 20 °C 24 h) che presenti sia buone caratteristiche elastiche sia resistenza all'azione degli agenti atmosferici. Questa protezione (disponibile in diversi colori) potrà essere messa in opera solo dopo che risulterà completata la fase di indurimento iniziale della seconda mano di adesivo epossidico. Nel caso in cui il progetto preveda di lasciare a vista la cerchiatura sommitale si provvederà a scegliere, per la protezione, un tono di colore non troppo discordante dalle tonalità circostanti.

Nel caso di interventi su apparecchi da ripristinare con finitura ad intonaco al fine di consentire l'aggrappaggio dell'arriccio, si potrà ricorrere all'applicazione, sulla mano finale di resina non ancora indurita, di uno spolvero di sabbia di quarzo. Per poter manifestare la presenza della fasciatura si potranno utilizzare gli accorgimenti già, precedentemente descritti nell'articolo inerente il ripristino delle lacune di intonaco.

Le prescrizioni sulla procedura operativa seguiranno quelle previste nell'articolo sul consolidamento di volte mediante materiali compositi.

Iniezioni e cuciture armate

L'intervento verrà realizzato seguendo la procedura prevista nell'articolo sul consolidamento delle murature con iniezioni armate. Normalmente sarà indicato per quegli edifici il cui apparecchio murario a faccia vista risulti di particolare pregio o si presenti in un ottimo stato di conservazione, per cui la messa in opera di cordoli in cemento armato o in muratura armata sommitale, risulti sconsigliabile.

3. Connessione tra i diversi elementi costituenti l'orditura

L'intervento si pone il fine di garantire un adeguato collegamento fra i diversi elementi strutturali costituenti l'orditura, in quanto la sola eliminazione delle spinte dei falsi puntoni non è sufficiente a contenere i possibili danni creati da scorrimenti e cadute degli elementi lignei.

3.1. Connessione mediante staffe e/o piastre metalliche

Al fine di migliorare o creare collegamenti tra i vari elementi lignei costituenti l'orditura primaria e secondaria e seguendo le necessità dettate dal progetto, si potranno posizionare delle piastrine in lamierino zincato (sezione minima 2x40 mm) ancorate sull'intradosso delle orditure minori (per es. travicelli o mezzanelle) e in seguito ripiegate sulla superficie di appoggio di terzere o travi di colmo. Queste piastre saranno ancorate alle strutture lignee attraverso viti autofilettanti o chiodi inox (minimo 3 \times 4 mm per ogni elemento). Se il progetto dovesse prevedere il collegamento, in corrispondenza dell'orditura principale, (tramite tavola di legno o piatto metallico), di tutti i travicelli non si renderà necessario collegarli tutti, ma sarà sufficiente vincolarne uno su tre; in caso contrario occorrerà effettuare l'intervento su tutta l'orditura minuta. I correnti potranno anche essere collegati all'orditura principale mediante vaschette metalliche zincate a doppio vano oppure attraverso angolari di lamiera di acciaio (spessore minimo 5 mm) muniti eventualmente di squadretta di irrigidimento; entrambi i dispositivi di ancoraggio saranno opportunamente fissati alle strutture lignee attraverso chiodi inox o viti autofilettanti.

In alternativa per collegare i travicelli inclinati di falda alla trave di colmo o i falsi puntoni agli arcarecci si potranno utilizzare delle staffe metalliche verticali ritorte sagomate a sella secondo i disegni di progetto; in ogni caso si renderà necessario anche il posizionamento di un piatto metallico zincato (sezione minima 2x50 mm) da collocare sull'estradosso dell'orditura e fissato a questa tramite tirafondi filettati zincati (minimo 3 \times 10-12 mm lunghezza 120 mm per parte).

Sarà sempre consigliabile (nei casi in cui si renderà possibile) realizzare il collegamento tra puntoni contrapposti, attraverso l'inserimento di doppio bullone in acciaio zincato a sezione circolare (minimo \times 14 mm su foro di \times 15 mm) e testa esagonale vincolato al legno con dado e rosetta in acciaio poggiata sul legno per tutta la sua superficie.

3.2. Connessione mediante tavola e/o gattello in legno

Nel caso di scempiato costituito da pianelle o mezzane il collegamento tra l'orditura lignea verrà garantito dal posizionamento di una tavola in legno posta in sostituzione del filare di pianelle in corrispondenza delle travi. Le tavole da impiegarsi dovranno essere prive di nodi, (rettificate con piallatura sulle facce maggiori e su quelle di costa), di spessore uguale a quello delle pianelle (comunque non inferiore a 25 mm) e verranno fissate ad ogni morale o travicello, attraverso chiodi ad aderenza migliorata o viti autofilettanti in acciaio inox (\times 4/80-100 mm), ed irrigidite saltuariamente con piastrine metalliche trasversali (sezione minima 5x35 mm) in grado di assorbire eventuali trazioni. Con questa tecnologia si otterrà sia l'eliminazione di ogni sconnessione lungo il piano di falda, sia il contenimento delle pianelle, altrimenti fermate solo

dalla seggiola di gronda.

In alternativa per la connessione tra puntoni e arcarecci si potranno utilizzare gattelli in legno della stessa essenza dei puntoni o di qualità più dura. Il gattello potrà essere realizzato con massello trapezoidale largo circa 120-140 mm ed alto 70-100 mm, fissato con un tirafondo filettato di acciaio zincato (ø 10-12 mm lunghezza 150 mm) sull'arcareccio e con due tirafondi (delle stesse caratteristiche) sul puntone.

4. Irrigidimento e controventatura delle falde di copertura

L'intervento si pone lo scopo di migliorare o fornire una controventatura ed il conseguente irrigidimento delle falde di copertura, al fine di garantire un comportamento cosiddetto a piastra.

4.1. Irrigidimento e controventatura mediante tavolato in XLAM

La procedura risulta realizzabile in tutte le coperture semplici nelle quali il piano di appoggio del manto di copertura si rilevi visibilmente deformato, in uno stato avanzato di degrado e male, o per niente, ancorato all'orditura sottostante. Tale intervento risulta di facile esecuzione (non richiede, infatti, manodopera specializzata), veloce ed a secco.

Dopo aver eseguito le operazioni preliminari di smontaggio della copertura si procederà alla posa in opera del tavolato ligneo perfettamente stagionato, (ad es. abete o larice) di spessore indicato dai disegni di progetto (comunque non inferiore a 25 mm) ed in funzione dell'interasse dei morali o correnti, piallato, fissato a perfetto contatto e posizionato ortogonalmente alla pendenza di falda. Il tavolato, che presenterà una maschiettatura da entrambi i bordi, sarà ancorato alla sottostante struttura attraverso viti autofilettanti di acciaio inossidabile o chiodi inox filettati o scanalati (minimo ø 4 mm inseriti con trapani per chiodature oppure manualmente) cominciando dalla linea di gronda e proseguendo, per corsi rigorosamente paralleli, fino a quella di colmo.

Si ricorda che tutto il legno che andrà posato in opera dovrà essere preventivamente trattato con prodotti fungicidi e/o tarlicidi (per maggiori dettagli si rimanda a quanto detto nell'articolo specifico).

5. Fissaggio elementi sporgenti

I manufatti che fuoriescono dal piano di copertura con vasta superficie di appoggio ed alto peso, proprio come comignoli ed abbaini, andranno fissati alla base attraverso un profilato ad "L" di dimensioni minime 100x8 mm e lunghezza uguale alla dimensione del manufatto da ancorare. Tale profilato verrà ancorato all'impalcato di copertura (costituito, a seconda dei casi, da tavolato in legno, da piastrelle in cotto o da soletta in cls) attraverso 4 tirafondi in acciaio zincato, minimo ø 10 mm di lunghezza tale da essere fissati all'intradosso dell'impalcato con dado ad una contropiastra in acciaio di sezione minima 8x80 mm.

Altri elementi leggeri e snelli, come antenne o aste per bandiere, dovranno essere messi in opera sull'impalcato attraverso una piastra in acciaio zincato (dimensione minima 10x300x300 mm) munita di asola ad incastro di dimensioni tali da poter posizionare la base del manufatto in oggetto. La suddetta piastra sarà ancorata all'impalcato mediante 4 viti tirafondi seguendo la procedura descritta sopra. In caso di elementi alti si renderà necessario posizionare, ad un'opportuna distanza dalla base del manufatto, una o più piastre, (seguendo le prescrizioni della D.L.) di analoghe dimensioni alle quali saldare un dispositivo regolabile (ad es. i tenditori tradizionali con cavetto e morsetti di bloccaggio in acciaio zincato) per controventare l'estremità libera dell'elemento da fissare.

Successivamente all'ancoraggio di queste piastre si dovrà porre particolare attenzione ai raccordi tra i piani verticali con quello "orizzontale" di copertura posizionando appositi faldali, o gusci di raccordo, al fine di evitare infiltrazioni di acque meteoriche.

11.4 IMPERMEABILIZZAZIONE COPERTURE

11.4.1 OPERAZIONI DI BARRIERA AL VAPORE E VENTILAZIONE

1. Copertura ventilata

L'intervento si pone lo scopo di fornire un'adeguata impermeabilizzazione e isolamento ai coperti in legno. Le casistiche sono molteplici in ogni caso si dovrà mettere in opera un sistema d'impermeabilizzazione ed isolamento atto a realizzare un tetto ventilato. Una copertura si può definire ventilata (superficie di aerazione almeno 1/5 della superficie totale del manto) quando il manto di copertura si distacca dallo strato isolante, creando un'intercapedine che permetta una costante circolazione d'aria dalla gronda fino alla linea di colmo (allo stesso tempo si devono evitare correnti trasversali). I vantaggi di una costante ventilazione sono molteplici:

- riduzione della trasmissione di calore all'interno del sottotetto;
- omogeneità della temperatura dell'aria tra la faccia inferiore e quella superiore del coppo, con conseguente riduzione di shock termici, a favore del degrado dei coppi;
- eliminazione di eventuale umidità tra il coppo e l'impermeabilizzazione, con il vantaggio di avere il pacchetto tetto asciutto;
- eliminazione della formazione di condensa che favorisce l'insorgenza di muffe e la conseguente riduzione della vita dei coppi;
- miglioramento dell'isolamento termico in quanto evita che il materassino isolante si inumidisca.

La camera d'aria viene ricavata con la posa di rigoni sezione cm 8 * cm 10 potrà essere ricavata con diverse soluzioni tecniche anche se la casistica può essere semplificata in due gruppi:

- a) intercapedine con pannelli,

b) intercapedine con lastre ondulate o regoli.

1.1. Manto di copertura su assito ligneo

L'intervento potrà essere adottato per tutti i manti di copertura (coppi e canali, embrici e coppi, tegole marsigliesi, lastre di ardesia, tegole canadesi ecc.) grazie alla messa in opera di particolari pannelli modulari, (leggeri, robusti e facili da posare) composti da una lastra termoisolante (costituita a seconda delle esigenze da polistirene estruso, polistirene espanso sintetizzato o sughero termopressato) di densità variabile dai 25 kg/m³ ai 35 kg/m³ per le lastre di polistirene, fino a 200 kg/m³ per quelle in sughero, conducibilità termica (λ) W/mk 0,033-0,036, munita di distanziatori troncoconici o parallelepipedi del medesimo materiale e battentatura sui quattro lati. Gli spessori della lastra e dei relativi distanziatori potranno variare secondo le esigenze di progetto (spessore lastra minimo 40 mm massimo 80 mm; distanziatore minimo 40 mm massimo 60 mm). Il pannello sarà completato con una lastra di OSB (Oriented Strand Board) idroresistente (spessore 10 mm) solidamente assemblata ai distanziatori al fine di formare un supporto piano (una sorta di assito facilmente pedonabile) comodo ed affidabile per la successiva messa in opera di qualsiasi manto di copertura. Il piano in multistrato, trattato con prodotti anti-muffa e anti-parassiti, permetterà la diretta posa in opera del manto di copertura; in ogni caso, se non vietato da prescrizioni di progetto o indicazioni della D.L., sarà opportuno impermeabilizzare il piano attraverso guaine bituminose ardesiate saldate a caldo, oppure con membrane permeabili al vapore posate a secco.

La circolazione d'aria sarà garantita in gronda dalla posa in opera di laterizi forati schermati da pettine parapassero in pvc di altezza adeguata ($h = 95-125$ mm) o, più semplicemente da rete, a maglia stretta, di ottone od altro materiale idoneo; sulla linea di colmo si garantirà la fuoriuscita d'aria posando apposite bocchette in plastica (di sagoma variabile a seconda del tipo di manto montato) ovvero posando un laterizio forato tagliato a dimensione opportuna e fissato con malta. In alternativa potrà essere messo in opera un listone ligneo, distanziato e fissato al pannello (o alla sottostante caldana in cls) con idonee staffe metalliche zincate. Sul listone, protetto da una grembialina impermeabile e traspirante (larghezza media 300-400 mm), verranno fissati i ganci fermacolmo, e, successivamente, le tegole di colmo. Al fine di evitare correnti trasversali i pannelli dovranno essere tamponanti sui lati dove non sarà prevista la ventilazione; la tamponatura potrà essere eseguita con gli stessi elementi forati utilizzati sulla linea di gronda, posti in opera sul lato pieno o con analoghi sistemi di tamponatura riportati dalle disposizioni di progetto o indicazioni della D.L.

I pannelli si potranno posare direttamente sulla caldana in cls o sull'assito in legno o cotto, saranno ancorati con punti di incollaggio, viti autofilettanti o chiodi da carpentiere solo in caso di pendenza superiore al 30%: in presenza di queste pendenze si renderà necessario agganciare gli elementi di copertura con appositi ganci fermacoppo sagomati ad "S" di acciaio inossidabile o zincati a sezione piatta o circolare (è, comunque, buona norma utilizzare sempre i ganci fermacoppo). La posa in opera partirà dalla linea di gronda per poi risalire fino al colmo; i pannelli dovranno essere accostati fra loro avendo cura di garantire la continuità dello strato isolante specie negli eventuali tagli a misura (displuvi, compluvi, colmi), tagli che potranno essere eseguiti facilmente con normali attrezzi da cantiere.

In presenza di tetti a padiglione le falde di testa dovranno essere provviste, nella parte sommitale, di dispositivi aeratori di copertura. La procedura prevedrà la foratura del piano in OSB mediante una fresa a tasca di diametro di circa 100 mm al fine di inserirvi una curva in pvc o, preferibilmente in cotto, del medesimo diametro. Questa bocchetta dovrà essere sigillata ovvero, protetta mediante appositi faldali di raccordo al manto impermeabilizzante e dovrà altresì essere dotata di rete in ottone parapassero e/o insetti.

La posa in opera del manto di copertura avverrà in maniera tradizionale, la prima fila di coppi sulla linea di gronda potrà essere tranquillamente tamponata con malta di calce, in quanto la ventilazione sarà garantita dal sottostante elemento di battuta (laterizio forato).

12 PROVE DI LABORATORIO PER ACCETTAZIONE MATERIALI E CAMPIONATURE

In correlazione a quanto è prescritto nel CAPO III - Qualità e provenienza dei materiali", circa la qualità e le caratteristiche dei materiali per la loro accettazione, l'Impresa sarà obbligata a prestarsi in ogni tempo alla campionatura dei materiali impiegati e da impiegare da prelevarsi in opera, affinché possano essere sottoposti alle prove di laboratorio presso il LABORATORIO PROVE MATERIALI "PIETRO PISA" – UNIVERSITA' DI BRESCIA DICATAM – Via Branze 36/38 – 25123 BRESCIA", che sarà incaricato a parte dalla S.A. a cui spetta il rimborso delle note per le prove eseguite. Tutte le spese di prelevamento, campionatura e di invio dei campioni stessi al laboratorio saranno a carico dell'Impresa appaltatrice. Dei campioni potrà essere ordinata la conservazione nel competente ufficio, munendoli di sigilli a firma del Direttore dei Lavori e dell'Impresa, nei modi più adatti a garantirne l'autenticità.

13 ASSISTENZE MURARIE IN GENERE

L'impresa Appaltatrice dovrà garantire assistenza e prestazioni complementari finalizzate alla completa esecuzione delle opere in progetto, indipendentemente che le lavorazioni costituiscano appalti separati, subappalti o di competenza dell'Impresa Appaltatrice.

L'impresa Appaltatrice dovrà assicurare una adeguata assistenza con personale idoneo durante tutta la fase dei lavori.

I costi che l'Impresa deve disporre per l'assistenza alle lavorazioni non di propria competenza risultano a carico della stessa e sono compensati dal corrispettivo di appalto.

Sono parte integrante dell'appalto tutte le attività di organizzazione e coordinamento delle varie fasi esecutive, delle modalità di fornitura e della disposizione delle attrezzature che dovranno essere eseguite nella piena conformità con tutta la normativa vigente in materia di lavori pubblici, inclusa quella relativa alla prevenzione degli infortuni e di tutela della salute dei lavoratori.

14 PARTE TERZA - PRESCRIZIONI TECNICHE PER OPERE PROVVISORIALI, ESECUZIONE DI NOLI, TRASPORTI, MATERIALI A PIE' D'OPERA, MANO D'OPERA, COMPENSI INCLUSI NEL PREZZO A CORPO E A MISURA E RELATIVE DISPOSIZIONI

14.1 OPERE PROVVISORIALI

Le opere provvisorie, gli apprestamenti e le attrezzature atti a garantire, per tutta la durata dei lavori, la prevenzione degli infortuni e la tutela della salute dei lavoratori sono soggetti alle specifiche di Legge.

Le principali norme riguardanti i ponteggi e le impalcature, i ponteggi metallici fissi, i ponteggi mobili, ecc., sono contenute nei D.P.R. 207/2010, D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 e successive modifiche ed integrazioni. In particolare i ponteggi esterni sono stati inseriti nelle lavorazioni di recupero strutturale soggette a ribasso, stante anche la funzione di esecuzione delle lavorazioni, mentre i ponteggi interni sono stati afferiti alle lavorazioni di restauro architettonico soggette a ribasso per e medesime considerazioni.

14.2 NOLEGGI

Le macchine ed attrezzi dati a noleggio comprendono il compenso per l'operatore e debbono essere in perfetto stato di servibilità e provvisti di tutti gli accessori necessari per il loro regolare funzionamento.

Sono a carico esclusivo dell'Appaltatore la manutenzione degli attrezzi e delle macchine affinché siano sempre in buono stato di servizio.

Il prezzo comprende la mano d'opera, il combustibile, i lubrificanti, i materiali di consumo, l'energia elettrica e tutto quanto occorre per il funzionamento delle macchine.

Per l'applicazione dei prezzi di noleggio di meccanismi in genere, sia per le ore di azione come per quelle di riposo a disposizione dell'Amministrazione, queste ultime dovranno risultare da verbale scritto firmato dalla Direzione Lavori e dall'Impresa, il noleggio si intende corrisposto per tutto il tempo durante il quale i meccanismi rimangono a piè d'opera a disposizione dell'Amministrazione stessa.

Nel prezzo di noleggio sono compresi e compensati gli oneri e tutte le spese di trasporto a piè d'opera, montaggio, smontaggio ed allontanamento dei detti meccanismi.

I prezzi dei noli comprendono le spese generali e l'utile dell'imprenditore.

Per il noleggio dei carri e degli autocarri verrà corrisposto soltanto il prezzo per le ore di effettivo lavoro, rimanendo escluso ogni compenso per qualsiasi altra causa o perditempo.

14.3 TRASPORTI

Il trasporto è compensato a metro cubo o a peso del materiale trasportato, oppure come nolo orario di automezzo funzionante.

Nei prezzi dei trasporti si intende ogni spesa, la fornitura dei materiali di consumo e la mano d'opera del conducente.

I mezzi di trasporto per il lavoro in economia debbono essere forniti in pieno stato di efficienza e corrispondere alle prescritte caratteristiche.

Se la dimensione / peso del materiale da trasportare è inferiore alla portata utile dell'automezzo richiesto a nolo, si prevedono riduzioni di prezzo proporzionate alla dimensione / peso.

Per le norme riguardanti il trasporto dei materiali si veda il d.P.R. 7 gennaio 1956, capo VII e successive modificazioni.

14.4 MATERIALI A PIE' D'OPERA

I prezzi di elenco per i materiali a piè d'opera, diminuiti del ribasso d'asta, si applicano soltanto:

a) alle provviste dei materiali a piè d'opera che l'Impresa appaltante è tenuta a fare a richiesta della Direzione dei lavori come, ad esempio, somministrazioni per lavori in economia, somministrazione di legnami per casseri, paratie, palafitte, travature ecc., alla cui esecuzione provvede direttamente l'Amministrazione appaltante, la somministrazione di ghiaia o pietrisco, quando l'Impresa appaltante non debba effettuarne lo spandimento;

b) alla valutazione dei materiali accettabili nel caso di esecuzione di ufficio e nel caso di rescissione coattiva oppure di scioglimento di contratto;

c) alla valutazione del materiale per l'accreditamento del loro importo nei pagamenti in acconto, ai sensi dell'Articolo 28 del vigente Capitolato generale approvato con D.M.LL.PP. 19/04/2000, n. 145;

d) alla valutazione delle provviste a piè d'opera che si dovessero rilevare dall'Amministrazione appaltante quando per variazioni da essa introdotte non potessero più trovare impiego nei lavori.

Tali prezzi per i materiali a piè d'opera servono pure per la formazione di nuovi prezzi ai quali deve essere applicato il ribasso contrattuale.

In tali prezzi dei materiali è compresa ogni spesa accessoria per fornire i materiali a piè d'opera sul luogo di impiego, le spese generali ed il beneficio dell'Impresa appaltante.

14.5 MANO D'OPERA

Gli operai per i lavori in economia dovranno essere idonei al lavoro per il quale sono richiesti e dovranno essere provvisti dei necessari attrezzi.

L'Appaltatore è obbligato, senza alcun compenso, a sostituire tutti gli operai che non riescano di gradimento alla Direzione dei Lavori.

Gli operai in economia saranno pagati in base alle ore effettive di lavoro ed ai prezzi dell'Elenco che fa seguito, al netto dell'eventuale pattuito ribasso d'asta.

Resta tassativamente stabilito che gli operai in economia devono essere messi a disposizione solo su richiesta della Direzione dei Lavori, e che quindi non saranno riconosciute e non saranno contabilizzate spese per prestazioni di mano d'opera, se non preventivamente autorizzate dalla Direzione dei Lavori.

14.6 COMPENSI INCLUSI NEL PREZZO A CORPO ED A MISURA

Resta contrattualmente convenuto che nel prezzo a corpo ed a misura si intende compresa e compensata, senza eccezioni di sorta, ogni spesa per opere principali ed accessorie, per ponteggi ed opere di sostegno di qualsiasi tipo e per qualsiasi destinazione d'uso, salvo diverse specifiche contenute nella singola voce di elenco, per ogni impianto e fornitura, lavorazione e magistero, indennità diverse previste per la legge (alta quota, distanze, ecc.), trasporto con ogni mezzo, anche speciale, di tutti i materiali, macchinari e maestranze; comprese indennità per occupazione temporanea di terreni privati ed ogni altro onere per dare completamente finita in ogni sua parte ogni categoria di lavoro, anche quando ciò non sia esplicitamente indicato dagli appositi articoli dell'elenco prezzi e qualsiasi siano le condizioni del Contratto.

In particolare:

- la formazione di strade di accesso, l'impianto di cantiere ed il ripristino dei luoghi a lavori ultimati per quanto non specificato nella relativa voce di elenco;
- nel prezzo della mercede degli operai, oltre che ogni genere e spesa derivanti dalle disposizioni vigenti in materia di contributi a carico dei datori di lavoro, si intende tra l'altro compreso l'uso ed il consumo di tutti gli attrezzi relativi alla loro arte dei quali ciascun operaio deve essere fornito a sue spese o a quelle dell'Appaltatore;
- nel compenso per gli scavi a sezione aperta o di sbancamento e assimilati ed a sezione ristretta o di fondazione, di cui alle voci relative dell'elenco prezzi, è compreso ogni onere e spesa per il taglio delle materie di qualsiasi natura, consistenza e durezza, compresa la rimozione o scomposizione di massi trovanti di qualsiasi volume, esclusa la roccia da mina in banco continuo; inoltre, nel compenso di cui sopra, sono compresi tutti gli oneri per il taglio di piante e l'estirpazione di ceppaie, radici e quanto altro occorrente per la preparazione delle sedi, nonché il carico ed il trasporto a rifiuto, su aree che l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese o, eventualmente indicate dall'Amministrazione, delle materie esuberanti per la formazione del rilevato stradale o, comunque, giudicate inadatte per gli impieghi previsti dalla Direzione dei Lavori; sono compresi inoltre: la regolarizzazione sotto sagoma delle scarpate di taglio, il loro inerbimento a regola d'arte come per i rilevati se richiesto, i puntellamenti e le sbadacchiature di qualsiasi entità, gli aggettamenti con il pompaggio e le deviazioni di acque eseguiti con qualsiasi mezzo meccanico;
- si intendono compensati, inoltre, gli oneri derivanti all'Appaltatore per danni e occupazioni di proprietà pubbliche e private derivanti dal passaggio dei mezzi di trasporto, da depositi di materiale, nonché la costruzione di ripari, muri di contenimento o quant'altro occorrente per assicurare la stabilità delle discariche e dei depositi stessi;
- nel compenso per la formazione di rilevati stradali con l'impiego di materiali provenienti dagli scavi d'obbligo (in genere previa scelta, carico, trasporto e scarico delle materie, il taglio di piante e l'estirpazione di ceppaie con radici) sono comprese: la rimozione della cotica erbosa (il cui spessore sarà valutato con opportuno sopralluogo dalla Direzione dei Lavori e, quindi, il volume conseguente sarà detratto contabilmente da scavi suppletivi richiesti dal progetto o dalla Direzione dei lavori), il gradonamento delle superfici inclinate e quant'altro occorrente per la preparazione delle sedi di riporto; il costipamento delle materie a rilevato e la regolarizzazione con profilatura sotto sagoma delle scarpate e delle banchine con uno strato di terra vegetale vagliata dello spessore non inferiore a 15 cm quest'ultima valutata a parte se proveniente da cave di prestito, l'inerbimento delle medesime con semine di loietto in adeguato quantitativo; il deposito temporaneo, le riprese ed il trasporto in opera dei materiali destinati al reimpiego, nonché gli esborsi per danni ed occupazioni di proprietà pubbliche e private derivanti dal passaggio dei mezzi di trasporto.
- nel prezzo degli scavi a sezione ristretta o di fondazione, di cui alla voce dell'elenco prezzi, è compreso particolarmente ogni onere per il maggior volume delle materie da rimuovere per dare alle scarpate degli scavi stessi la necessaria inclinazione e per il rinterro di vani ed il ricalzo dei muri con idonei materiali, per il puntellamento, per le armature e le sbadacchiature di qualsiasi

- entità, come pure è compreso e compensato ogni onere per il pompaggio di acque in continuo, l'esaurimento ed il prosciugamento degli aggettamenti eseguiti con qualsiasi mezzo meccanico;
- nei prezzi delle murature in pietrame, in malta o a secco, è compresa la formazione di archi, volte e feritoie per lo scolo dell'acqua, nonché ogni onere e spesa per le armature ed i ponteggi di servizio ed il maggior magistero per la lavorazione degli angoli, delle lesene e delle copertine dei muri e per la formazione dei giunti di contrazione; nel prezzo della muratura con malta è, inoltre, compreso il rinzafo a filo sasso delle connessure;
 - nei prezzi dei conglomerati cementizi di qualsiasi genere e per qualsiasi struttura sono compresi e compensati tutti gli oneri per le armature di sostegno, i casseri e le casseforme, per l'impiego di autopompa e di idoneo vibratore meccanico, per la regolarizzazione dopo il disarmo delle superfici in vista, nonché per lo smusso degli spigoli, l'esecuzione di sguinci ed incavi, la lavorazione degli angoli, delle lesene, delle copertine di coronamento dei muri, per la formazione dei giunti di contrazione e feritoie; nei prezzi per tutte le murature sopraelencate sono compresi e compensati tutti gli oneri per il pompaggio, l'esaurimento e l'aggettamento di acque che dovessero stabilirsi negli scavi prima e durante i getti di fondazione, ovvero, ogni magistero previsto dall'articolo specifico del presente Capitolato qualora la Direzione dei lavori acconsentisse la calata direttamente in acqua;
 - nel prezzo di formazione della massicciata della soprastruttura stradale è compreso e compensato l'eventuale spandimento di un quantitativo di sabbione granulare nonché ogni onere per un'adeguata cilindratura ed un ottimale innaffiamento della medesima;
 - nel prezzo delle opere in ferro, profilati o tubolari in opera, sono comprese una mano di vernice antiruggine e due di vernice colorata;

14.7 DISPOSIZIONI RELATIVE AL PREZZO A CORPO ED A MISURA

Nell'elenco allegato al presente Capitolato speciale d'appalto sono riportati i prezzi a corpo ed a misura in base ai quali, sotto applicazione del ribasso o dell'aumento dell'asta, saranno pagati i lavori appaltati, sia a misura che a corpo, nonché le somministrazioni, senza altre pendenze.

Tali prezzi si intendono accettati dall'Appaltatore in base ai calcoli di sua convenienza: essi sono perciò fissi, invariabili ed indipendenti da qualsiasi eventualità.

In linea di massima l'Appaltatore non potrà pretendere indennizzi di nessuna specie per aumenti della mano d'opera e dei materiali da qualunque causa prodotti (imposte, tasse, tariffe ferroviarie, perdite scioperi, emigrazioni, epidemie, guerre, ecc.) restando egli obbligato all'esecuzione dei lavori in base ai prezzi esposti e dalla offerta d'asta anche nel caso che ciò gli risultasse gravoso.

Resta stabilito e convenuto contrattualmente tra le parti che nei prezzi a corpo ed a misura seguenti, oltre agli obblighi di cui all'articolo 16 del Capit. Gen. ed ai precedenti artt. (in particolare l'Art.XII) di questo Capitolato Speciale, si intenderanno sempre compresi e compensati le indennità di alta quota, di distanza dalla sede dell'Impresa e per lavori disagiati, tutti gli oneri per opere provvisorie e principali, per l'impianto di cantiere, la messa in sicurezza dello stesso, la segnaletica, la movimentazione veicolare (anche a mezzo semaforo, operai, ecc.), le opere per l'incolumità di terzi, la creazione ed il mantenimento di percorsi di qualsiasi tipo necessari ed utilizzati da terzi, e più in generale tutte le opere necessarie per il rispetto della normativa vigente al momento dell'esecuzione dell'opera in merito a sicurezza, prevenzione infortuni, ecc., per ogni fornitura, per qualsiasi consumo, per l'intera mano d'opera, per i trasporti, anche a fune o a mezzo elicottero, per i noleggi e per qualunque lavorazione, magistero e quant'altro necessario per dare tutti i lavori compiuti a regola d'arte e secondo le prescrizioni della D.L.: detti oneri sono da ritenere compresi nei prezzi a corpo ed a misura anche quando ciò non sia esplicitamente dichiarato nei relativi articoli dell'elenco e quindi l'Appaltatore non avrà in ogni caso diritto ad alcun ulteriore compenso.

15 PARTE QUARTA - DISPOSIZIONI PARTICOLARI RIGUARDANTI LA PROGETTAZIONE COSTRUTTIVA DELLE OPERE E LA DOCUMENTAZIONE FINALE

15.1 REDAZIONE DEGLI ELABORATI "COME COSTRUITO" (AS BUILT) E DELLE CERTIFICAZIONI IN GENERE E SPECIALISTICHE DA PROFESSIONISTA ANTINCENDIO.

L'Appaltatore deve consegnare al Direttore dei Lavori, su supporto magnetico e in duplice copia cartacea, entro un mese dal verbale di ultimazione dei lavori, tutti i disegni relativi alle opere "come costruito" (as built), che comprendono gli elaborati tecnici di tutte le opere civili, strutturali e impiantistiche realizzate.

L'elenco dei disegni (as built) da fornire al termine dei lavori e le relative modalità di presentazione saranno definite ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, il quale prescrive con apposito verbale, anche durante il corso di esecuzione delle opere, i requisiti minimi ed essenziali degli elaborati "come costruito".

La redazione degli elaborati "come costruito" (as built) è parte integrante degli oneri e degli obblighi dell'Appaltatore stabiliti dal contratto. Il mancato adempimento di quanto prescritto dal presente capitolato costituisce specifico inadempimento contrattuale ed è pertanto motivo di risoluzione anticipata e in danno del contratto di appalto.

Gli elaborati "come costruito" (as built) devono essere consegnati come di seguito specificato:

a) Tutti i documenti progettuali devono essere consegnati su supporto informatico in formato .DWG, tutte le relazioni devono essere consegnate su supporto informatico in files formato .DOC;

inoltre tutta la predetta documentazione dovrà essere consegnata anche in formato .PDF;

b) tutti i documenti che compongono il Progetto Costruttivo (as built) devono essere consegnati in n. 2 copie su carta comprese le relazioni rilegate, in formato A4 o formato A3.

L'importo di tutte le prestazioni professionali e specialistiche da svolgersi secondo le specifiche di cui al presente articolo è compreso e pienamente compensato nelle voci di elenco prezzo allegati, anche se non esplicitamente esposto.

L'Appaltatore non avrà pertanto diritto a compensi aggiuntivi né a risarcimenti di sorta e non potrà sollevare eccezione alcuna o richiedere rimborsi per lo svolgimento di tutte le prestazioni professionali e le relative spese da sostenere che sono funzionali all'espletamento delle prestazioni di cui al presente articolo secondo le indicazioni e le disposizioni che verranno in ogni tempo e modo ordinate dalla Stazione Appaltante e secondo le disposizioni di legge vigenti.

L'Appaltatore deve consegnare al Direttore dei Lavori, su supporto magnetico e in duplice copia cartacea, almeno una settimana prima della posa dei materiali per le diverse lavorazioni le relative certificazioni nelle specifiche previste dalla normativa vigente affinché il Direttore Lavori li possa accettare e redigere apposito verbale di accettazione.

Inoltre per quelle lavorazioni che necessitano una certificazione specifica da parte di un professionista abilitato nel settore (un esempio non esaustivo è la certificazione di resistenza REI almeno 60 delle strutture dopo la posa dell'intonaco antincendio nelle forme e modalità previste dal Nuovo Codice Antincendio di cui al D.M. 18/10/2019 da parte di un Professionista Antincendio iscritto nell'apposito elenco del Ministero dell'Interno) l'Appaltatore dovrà a sua cura e spese provvedere a far redigere tale certificazione da parte del Professionista abilitato a redigere la stessa, in quanto il relativo costo è compreso e pienamente compensato nelle voci di elenco prezzo allegati, anche se non esplicitamente esposto.

15.2 CONTENUTI DEL PROGETTO COSTRUTTIVO

Il Progetto Costruttivo richiesto dalla Direzione dei Lavori, sentito il Responsabile del Procedimento, comprende la redazione di calcoli e di disegni d'insieme e dettaglio di tutte le opere strutturali architettoniche, impiantistiche che per la loro tipologia e/o per la loro componentistica possono richiedere, per una corretta messa in opera, uno studio di dettaglio più approfondito di quello già elaborato nella progettazione esecutiva.

In relazione alla realizzazione di tali opere l'Appaltatore dovrà far eseguire a proprie spese le prove sui campioni e produrre le relative certificazioni rilasciate da laboratori autorizzati. Inoltre l'Appaltatore, ai sensi dell'art. 65 del D.P.R. n. 380/2001 dovrà provvedere alla eventuale regolarizzazione degli adempimenti previsti dalla legislazione vigente.

Il progetto comprende anche la redazione dei progetti costruttivi di dettaglio degli impianti idrici, di condizionamento e trattamento aria, elettrici e speciali.

L'Appaltatore deve consegnare alla Direzione dei Lavori tutti gli elaborati del progetto costruttivo riguardanti ogni tipo di opera o impianto prima dell'inizio dei relativi lavori. Tali elaborati devono essere corredati da relazioni tecnico descrittive contenenti tutte le indicazioni necessarie per un completo esame dei dati progettuali e delle caratteristiche sia delle singole parti che dell'insieme, ed essere tali da consentire di individuare per forma e caratteristiche prestazioni e tipo ogni singolo componente dell'opera o dell'impianto e dovrà specificarne le relative modalità esecutive.

L'Appaltatore è tenuto a presentare contestualmente ai disegni costruttivi e alle relazioni di cui sopra, se necessario, una adeguata campionatura delle parti costituenti l'opera o l'impianto da installare ed i relativi certificati comprovanti origine e qualità dei materiali e le relative modalità di posa.

Tutti i documenti costituenti il Progetto Costruttivo devono essere firmati e timbrati sia dal progettista che dall'Appaltatore, ed i documenti costituenti gli elaborati progettuali dovranno essere consegnati in duplice copia cartacea e su supporto informatico (.DWG, .DOC, .PDF).

15.3 AGGIORNAMENTO DEL PIANO DEL MANUTENZIONE DELLE OPERE

Tutti gli elaborati che compongono il Piano di Manutenzione dell'opera devono essere sottoposti, al termine della realizzazione dell'intervento, al controllo ed alla verifica di validità da parte della Direzione dei Lavori, e devono essere integrati, a cura e spese dell'impresa esecutrice, con tutti gli eventuali aggiornamenti resi necessari dai problemi emersi durante la fase di esecuzione dei lavori.

Il controllo e la verifica di cui sopra sono di diretta competenza del Direttore dei Lavori il quale si riserva la insindacabile facoltà di prescrivere le modalità di aggiornamento e di verifica del Piano di Manutenzione.

L'importo di tutte le prestazioni professionali e specialistiche da svolgersi secondo le specifiche di cui al presente articolo è compreso e pienamente compensato con il corrispettivo per la progettazione esecutiva e l'Appaltatore non avrà pertanto diritto a compensi aggiuntivi né a risarcimenti di sorta e non potrà sollevare eccezione alcuna o richiedere rimborsi per lo svolgimento di tutte le prestazioni professionali e le relative spese da sostenere che sono funzionali all'espletamento delle prestazioni di cui al presente articolo secondo le indicazioni e le disposizioni che verranno in ogni tempo e modo ordinate dalla Stazione Appaltante e secondo le disposizioni di legge vigenti.

15.4 DOCUMENTAZIONE TECNICA PER IL RILASCIO DEL CERTIFICATO DI PREVENZIONE INCENDI

L'Appaltatore deve predisporre tutta la documentazione tecnica necessaria per l'inoltro della domanda di sopralluogo e di rilascio del Certificato di prevenzione Incendi al competente Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco ai sensi della legislazione vigente ai sensi del D.P.R. n. 151/2011.

L'Appaltatore deve predisporre, in maniera sistematica e comunque secondo le specifiche direttive impartite dal Direttore dei Lavori, la documentazione tecnica inerente tutte le attività, strutture, finiture, impianti, attrezzature e componenti di impianto soggetti al controllo e al parere dei Vigili del Fuoco e di cui si riporta di seguito un elenco indicativo e non esaustivo:

- a) Certificazioni di resistenza al fuoco di elementi costruttivi portanti e/o separanti (con esclusione delle porte e degli altri elementi di chiusura) ai sensi del punto 1.1 lettera a) dell'allegato II al D.M. 04/05/1998;
- b) Dichiarazioni di corrispondenza in opera di elementi costruttivi portanti e/o separanti con quelli certificati (con esclusione delle porte e degli elementi di chiusura) ai sensi del punto 1.1 lettera b) dell'allegato II al D.M. 04/05/1998;
- c) Dichiarazioni di corretta posa in opera dei rivestimenti protettivi (vernici intumescenti, intonaci, lastre, etc.) per elementi costruttivi portanti e/o separanti (con esclusione delle porte e degli elementi di chiusura) ai sensi del punto 1.1 lettera b) dell'allegato II al D.M. 04/05/1998;
- d) Relazioni valutative della resistenza al fuoco di elementi strutturali portanti e/o separanti (con esclusione delle porte e degli elementi di chiusura) ai sensi del punto 1.2 dell'allegato II al D.M. 04/05/1998;
- e) Dichiarazioni di corretta posa in opera dei materiali classificati ai fini della reazione al fuoco, porte ed altri elementi di chiusura classificati ai fini della resistenza al fuoco ai sensi dei punti 2.1 e 2.2. dell'allegato II al D.M. 04/05/1998;
- f) Dichiarazioni di corretta installazione di impianti non ricadenti nel campo di applicazione del Decreto n. 37 del 22 gennaio 2008;
- g) Certificazioni di impianto di protezione antincendio o di protezione contro le scariche atmosferiche non ricadente nel campo di applicazione del Decreto n. 37 del 22 gennaio 2008, ai sensi del punto 3.2 lettera b) dell'allegato II al D.M. 04/05/1998.

Tutte le strutture, le finiture, gli impianti, le attrezzature e i componenti di impianto che rivestono importanza ai fini della prevenzione e della protezione antincendio del complesso edilizio devono essere compiutamente individuabili in specifici elaborati grafici che saranno allegati alla documentazione tecnica di cui al precedente comma 2.

Si riporta di seguito un elenco indicativo e non esaustivo delle strutture, finiture, impianti, attrezzature e componenti di impianto che rivestono una specifica funzione ai fini della sicurezza antincendio e di cui l'Appaltatore deve predisporre idonea documentazione tecnica:

- elementi strutturali portanti e/o separanti classificati ai fini della resistenza al fuoco;
- materiali classificati ai fini della reazione al fuoco;
- porte e altri elementi di chiusura classificati ai fini della resistenza al fuoco;
- impianti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio ricadenti nel campo di applicazione del Decreto n. 37 del 22 gennaio 2008 e s.m.i.:
- impianti di produzione, di trasporto, di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica;
- impianti di protezione contro le scariche atmosferiche;
- impianti di trasporto e utilizzazione di gas allo stato liquido e aeriforme;
- impianti di riscaldamento e climatizzazione;
- impianti di protezione antincendio per l'estinzione incendi, per l'evacuazione del fumo e del calore, per la rivelazione del fumo del gas e dell'incendio, per la comunicazione e l'allarme;
- impianti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio non ricadenti nel campo di applicazione del Decreto n. 37 del 22 gennaio 2008 e s.m.i.;
- attrezzature e componenti di impianto con specifica funzione ai fini della sicurezza antincendio.

Tutti i documenti e gli elaborati richiamati nel presente articolo devono essere consegnati in originale in triplice copia cartacea e in formato digitale secondo le specifiche seguenti:

- a) tutti gli elaborati grafici devono essere consegnati su supporto informatico in formato .DWG e in formato .PDF;
- b) tutti i documenti e le relazioni devono essere consegnate su supporto informatico in formato .DOC e in formato .PDF.

L'importo di tutte le prestazioni professionali e specialistiche da svolgersi secondo le specifiche di cui al presente articolo è compreso e pienamente compensato con il corrispettivo per la progettazione esecutiva.

L'Appaltatore non avrà pertanto diritto a compensi aggiuntivi né a risarcimenti di sorta e non potrà sollevare eccezione alcuna o richiedere rimborsi per lo svolgimento di tutte le prestazioni professionali e le relative spese da sostenere che sono funzionali all'espletamento delle prestazioni di cui al presente articolo secondo le indicazioni e le disposizioni che verranno in ogni tempo e modo ordinate dalla Stazione Appaltante e secondo le disposizioni di legge vigenti.