



Assessorato
Ecologia e Ambiente

Provincia di Como

STUDIO CLIMATOLOGICO DELLA PROVINCIA DI COMO



a cura di
Francesco Mi
Giovanni Bartesaghi
Simone Belli

in collaborazione con
Maurizio Maugeri

Aprile 2004

STUDIO
CLIMATOLOGICO
DELLA
PROVINCIA
DI COMO

Progetto a cura di:



Provincia di Como
Assessorato Ecologia e Ambiente

Autori: Francesco Mi; Giovanni Bartesaghi e Simone Belli (Punto Energia Como)

Collaborazioni esterne: Aurelio Borsani, Ivan Rizzo

Revisione scientifica: Maurizio Maugeri (Università degli Studi di Milano, Istituto di Fisica Generale Applicata)

Revisione testi: Mauro Brolis (Punto Energia Milano)

Coordinamento per la Provincia di Como: Franco Binaghi

Progettazione e impaginazione: Lavori in corso, Cavallasca (CO)

Foto di copertina a cura di: Aero Club Como

© 2003 **Provincia di Como**

L'utilizzo delle informazioni contenute in questo studio è concesso sia in sede di recensione sia per applicazioni di tipo professionale e di ricerca, purché venga sempre citata la fonte generale (Studio climatologico della provincia di Como, Provincia di Como, 2004) nonché le diverse fonti relative a singole tabelle e grafici.

La Provincia di Como e l'Associazione Reti di Punti Energia sono esonerati da qualsiasi responsabilità verificatasi a seguito o in relazione all'uso improprio delle informazioni contenute nello studio.

INDICE

Presentazioni	7
Gruppo di lavoro	9
Capitolo 1 Introduzione	11
1.1 Provincia di Como: inquadramento territoriale, amministrativo e fisico	12
1.2 Obiettivi dello studio	17
Capitolo 2 Cenni di climatologia regionale e locale	19
2.1 Inquadramento generale	20
2.2 Le scale dei fenomeni climatici	21
2.3 Inquadramento climatico della regione Lombardia	21
2.3.1 I mesoclimi lombardi	22
2.4 I bacini aerologici lombardi	22
Capitolo 3 Parametri meteo-climatici e campi di applicazione	27
3.1 I Parametri	28
3.2 Campi di applicazione: precipitazione, temperatura, umidità relativa, radiazione solare incidente, vento, scariche atmosferiche	28
Capitolo 4 Fonte dei dati	33
4.1 Censimento delle Reti e delle stazioni di monitoraggio: caratteristiche richieste e disponibilità dei dati; reti di monitoraggio, stazioni singole, stazioni inattive	34
4.2 Copertura territoriale del monitoraggio: positività e negatività	35
4.3 Considerazioni sulla qualità e quantità delle informazioni disponibili	38
Capitolo 5 Criteri di elaborazione e restituzione dei dati	41
5.1 Precipitazione	42
5.1.1 Precipitazioni nevose	44
5.2 Temperatura dell'aria	45
5.3 Umidità relativa	46
5.4 Velocità e direzione del vento	47
5.5 Radiazione solare	48
5.6 Scariche atmosferiche	49
5.7 Temperature delle acque lacustri	49

Capitolo 6 Particolarità climatiche del territorio della provincia di Como **51**

6.1	Precipitazione	52
6.1.1	Indici annuali: variabilità temporale e spaziale	53
6.1.2	Indici stagionali	61
6.1.3	Indice mensile: stazione di Como	68
6.1.4	Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale	68
6.2	Temperatura	75
6.2.1	Andamento generale delle temperature giornaliere: massime, minime e medie	76
6.2.2	Indici stagionali	77
6.2.3	Serie storica delle temperature medie annuali a Como	86
6.2.4	Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale	87
6.3	Umidità relativa	90
6.3.1	Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale	91
6.4	Vento	92
6.4.1	Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale	93
6.5	Radiazione solare	100
6.6	Temperature delle acque lacustri	101

Note Bibliografiche **103****Glossario** **107****APPENDICI**

Stazioni Meteorologiche (elenco e schede) **111****Risultati, Tabelle e Grafici** **129**

PRESENTAZIONE

Il clima interferisce e condiziona larga parte delle attività umane ed è quindi una chiave di lettura importante per comprendere non solo la realtà odierna ma anche verso quali cambiamenti il fenomeno evolve. La provincia di Como, per densità di popolazione e intensità di attività produttive che al suo interno si svolgono, dovrebbe essere aperta e sensibile a capire i meccanismi che consentono di gestire, in tutte le sue accezioni, il proprio territorio. Lo studio realizzato dalla Provincia di Como si propone quindi di contribuire ad una più ampia e completa informazione sulle attuali conoscenze del clima del territorio provinciale, riassumendo in un linguaggio semplice ed accessibile anche ai non addetti ai lavori ciò che la comunità scientifica ha prodotto nel corso degli ultimi decenni.

Accanto ad un quadro generale, particolare enfasi viene dedicata all'analisi dei singoli parametri climatici (precipitazione, temperatura, umidità, ecc.) che assumono un ruolo determinante in tutte le politiche di gestione e salvaguardia del territorio locale: scienze delle costruzioni (ingegneria, architettura e geologia), agricoltura e foreste, protezione civile e difesa del territorio, energie rinnovabili, turismo, comunicazione ed educazione ambientale.

Lo studio assume quindi carattere di "manuale tecnico" proprio per favorire un uso corretto dei diversi parametri climatici, rilevati

nelle diverse aree della provincia, a supporto di tutte le fasi di progettazione, pianificazione e realizzazione di interventi sul territorio, rivolgendosi in particolare al settore professionale: della ricerca, della pubblica amministrazione, della comunicazione.

Per quanto i risultati raggiunti siano di grande interesse, le ricerche svolte hanno comunque evidenziato come, per avere un quadro completo delle caratteristiche climatiche locali, e delle sue continue variazioni, molto lavoro debba ancora essere fatto, sia per quanto riguarda le strutture di monitoraggio esistenti (migliore distribuzione spaziale delle stazioni, maggior qualità dei dati, ecc...) sia, soprattutto, in termini di omogeneizzazione e di elaborazione delle informazioni raccolte.



Francesco Cattaneo
*Assessore Ecologia ed Ambiente
Provincia di Como*

PRESENTAZIONE

Nel corso dell'ultimo secolo la temperatura media globale dell'aria è aumentata di oltre mezzo grado in prossimità della superficie terrestre. Questo riscaldamento non è uniforme, né spazialmente né temporalmente, ma presenta forti differenziazioni geografiche ed un comportamento molto complesso, sia in termini di trend di lungo periodo sia di modulazione stagionale. E' naturalmente di fondamentale importanza capire se, ed in quale misura, le modulazioni di temperatura osservate possano rientrare nella naturale variabilità del clima o siano invece da ricondurre a cause di natura antropica.

Il miglioramento della nostra capacità di comprendere l'evoluzione del clima terrestre, anche alla scala locale, richiede lo sviluppo di nuovi modelli nonché l'utilizzo di risorse di calcolo e di metodi numerici sempre più avanzati. Tuttavia risulta forse di importanza ancora maggiore lo sviluppo delle osservazioni in quanto solo la minuziosa osservazione di ciò che accade nel presente e di ciò che è avvenuto nel passato nei diversi comparti del sistema Terra può consentirci di capire quali sono i processi e le interazioni fondamentali da considerare ai fini di una corretta comprensione dell'evoluzione delle condizioni dell'atmosfera.

Una fonte molto importante di dati osservativi è costituita dalle serie storiche di osservazioni meteorologiche. Esse sono state raccolte grazie alla passione ed all'impegno di generazioni di osservatori ed oggi disponiamo di dati per migliaia di stazioni con serie spesso superiori ai cento anni. Purtroppo nel corso

degli ultimi decenni, a fronte di una vertiginosa crescita delle stazioni meteorologiche, nel nostro Paese si è assistito ad un progressivo declino delle reti istituzionali, tanto che, talvolta, negli studi relativi alla ricostruzione del clima degli ultimi 100 anni il periodo per il quale i dati appaiono più incerti è proprio il passato più prossimo!

In questo contesto assistiamo ora con grande soddisfazione a questo studio relativo al territorio della provincia di Como. L'aspetto più interessante, a mio avviso, consiste nel meticoloso inventario delle risorse esistenti anche se si rende necessario avviare un processo di standardizzazione per far sì che i dati raccolti dalle numerose stazioni attive sul territorio possano realmente essere utilizzati nel campo della ricerca climatologica e, più in generale, territoriale e ambientale.

Di notevole importanza risulta anche l'archivio dati prodotto dalla ricerca: esso costituisce sicuramente una risorsa di grande utilità per un ampio numero di potenziali utenti. Spunti molto interessanti emergono infine dall'analisi e dall'elaborazione dei dati, anche se la frammentazione dell'attuale rete di monitoraggio, unitamente alla limitata estensione temporale delle serie disponibili, fanno sì che la caratterizzazione climatica del territorio provinciale che questo studio propone vada considerata preliminare ad uno sviluppo conoscitivo sempre più diffuso e partecipato.

Maurizio Maugeri
*Istituto di Fisica generale Applicata
Università degli Studi di Milano*

GRUPPO DI LAVORO**Progetto a cura di:****Provincia di Como****Assessorato Ecologia e Ambiente****Autori:**

Giovanni Bartesaghi e Simone Belli
Punto Energia Como
 Francesco Mi

Collaborazioni esterne:

Aurelio Borsani, Ivan Rizzo

Revisione scientifica:

Maurizio Maugeri
Università degli Studi di Milano,
Istituto di Fisica Generale Applicata

Revisione testi:

Mauro Brolis
Punto Energia Milano

Coordinamento per la Provincia di Como:

Franco Binaghi

RINGRAZIAMENTI

Aero Club Como, Aeronautica Militare Italiana, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (A.R.P.A.) Regione Lombardia: Dipartimento di Como e Dipartimento di Lecco, Cementeria di Merone S.p.A., Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano - Sistema Italiano Rilevamento Fulmini (C.E.S.I. - S.I.R.F.), Centro Geofisico Prealpino, Centro Meteorologico Lombardo & Associati, Centro Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca Sulle Acque (C.N.R. - I.R.S.A.) di Brugherio (MI), Centro di Cultura Scientifica "A. Volta", Comune di Campione d'Italia, Comune di Como, Comunità Montana Alpi Lepontine, Comunità Montana Lario Intelvese, Consorzio dell'Adda, ENEL - Centro Ricerca Ambiente Materiali (C.R.A.M.), Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (E.R.S.A.F.) Regione Lombardia, Fondazione "Centro Lombardo per l'Incremento della Floro-Orto-Frutticoltura - Scuola di Minoprio", Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Lechler CHR & figlio succ.ri S.p.A., Mac - Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l., Meteocomo, MeteoNetwork & Associati, Osservatorio Meteorologico di Castellanza, Politecnico di Milano Sede di Como, SONDEL S.p.A. (gruppo Falck), Università degli Studi di Milano - Istituto di Fisica Generale Applicata.

1

Introduzione

1.1 PROVINCIA DI COMO: INQUADRAMENTO TERRITORIALE, AMMINISTRATIVO E FISICO

La **provincia di Como** (cfr. *Figura 1.1*) si sviluppa con andamento nord-sud, dalle pendici delle Alpi alla Brianza, nella fascia di territorio compresa fra la Confederazione Elvetica ed il ramo occidentale del Lago di Como. E' limitata a nordest dalla Provincia di Sondrio, ad est da quella di Lecco, da cui si è separata nel 1995, a sud da quella di Milano, a sud-ovest da quella di Varese e a nord-ovest dalla Svizzera (Canton Ticino).

Il territorio provinciale, comprendente 162 Comuni, è prevalentemente montuoso (cfr. *Figura 1.2*): su una superficie totale di circa 1.288 km², i 2/3 sono infatti coperti da rilievi (87 Comuni, per una superficie complessiva pari a 858,55 km²), mentre i rimanenti 76 Comuni, che si estendono su una superficie di 429,52 km², sono situati in collina o in pianura.

Il territorio montano è inoltre suddiviso in quattro **Comunità Montane**:

- “Triangolo Lariano”, con sede nel Comune di Canzo;
- “Lario Intelvese”, con sede nel Comune di San Fedele d’Intelvi;
- “Alpi Lepontine Meridionali”, con sede nel Comune di Porlezza;
- “Alto Lario Occidentale”, con sede nel Comune di Gravedona.

Sotto il profilo geografico-morfologico, il territorio comasco può quindi essere suddiviso in tre zone principali:

- una **zona alpina**, con cime molto elevate, con altezze anche superiori ai 2.000 metri;
- una **zona prealpina**, prevalente per estensione, che comprende le Prealpi occidentali e il Triangolo Lariano;



Figura 1.1 - Inquadramento amministrativo della provincia di Como

(Fonte: CCIAA di Como, 2002)



Figura 1.2 - Inquadramento territoriale della provincia di Como

(Fonte: Sistema Informativo Territoriale, Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica - Struttura Analisi e Informazioni Territoriali, 2004)

- una **zona collinare e di alta pianura**, in cui si concentra la maggior parte degli insediamenti urbanizzati e che occupa la parte meridionale della provincia.

In *Figura 1.3 e 1.4* sono riportate le mappe del territorio regionale e di quello provinciale suddivise nelle tre principali zone altimetriche (montagna; collina; pianura).

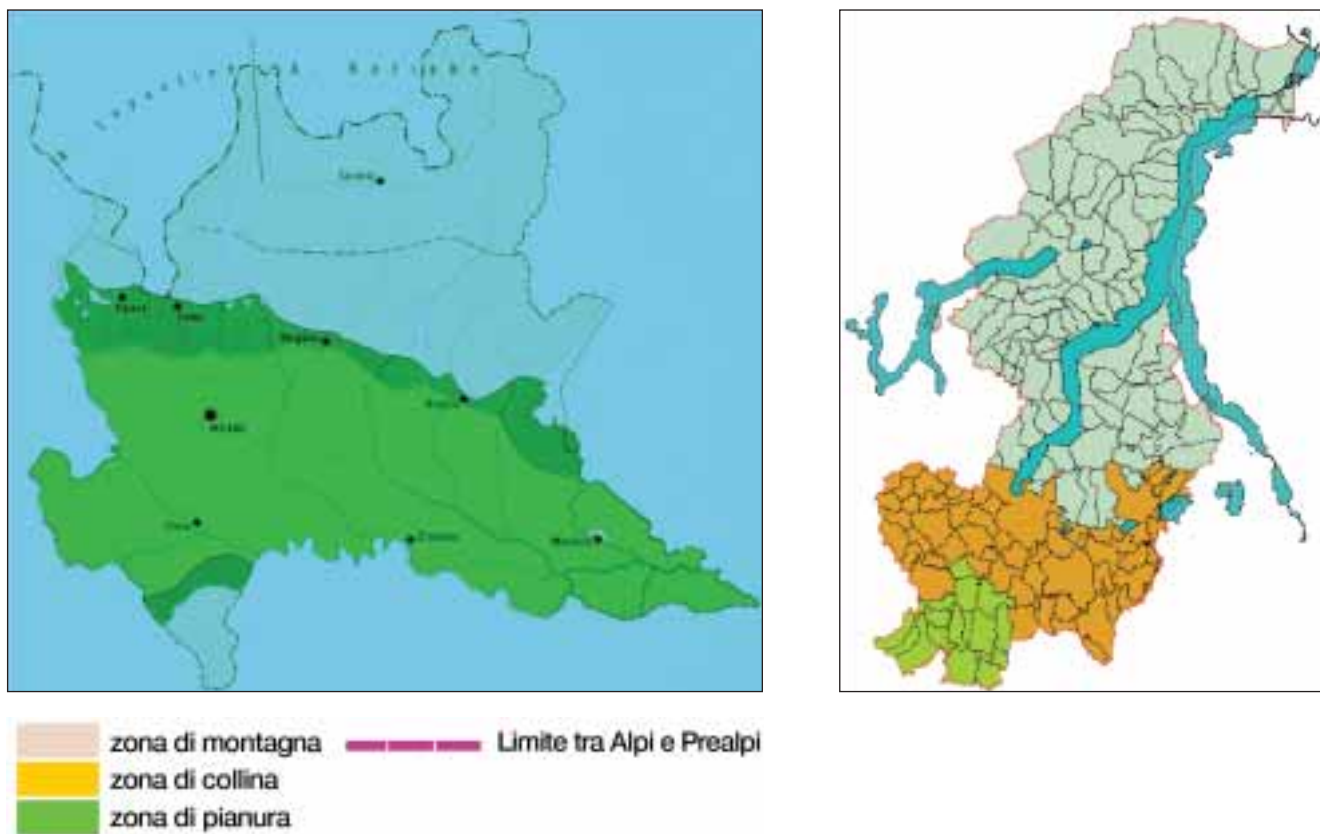


Figura 1.3-1.4 Suddivisione del territorio regionale e provinciale secondo le tre zone altimetriche (Fonte: CCIAA di Como, in Piano Energetico Provinciale, Punto Energia, 2002)

La *Figura 1.5* illustra con maggior dettaglio lo sviluppo e la distribuzione delle diverse fasce altimetriche del territorio provinciale.

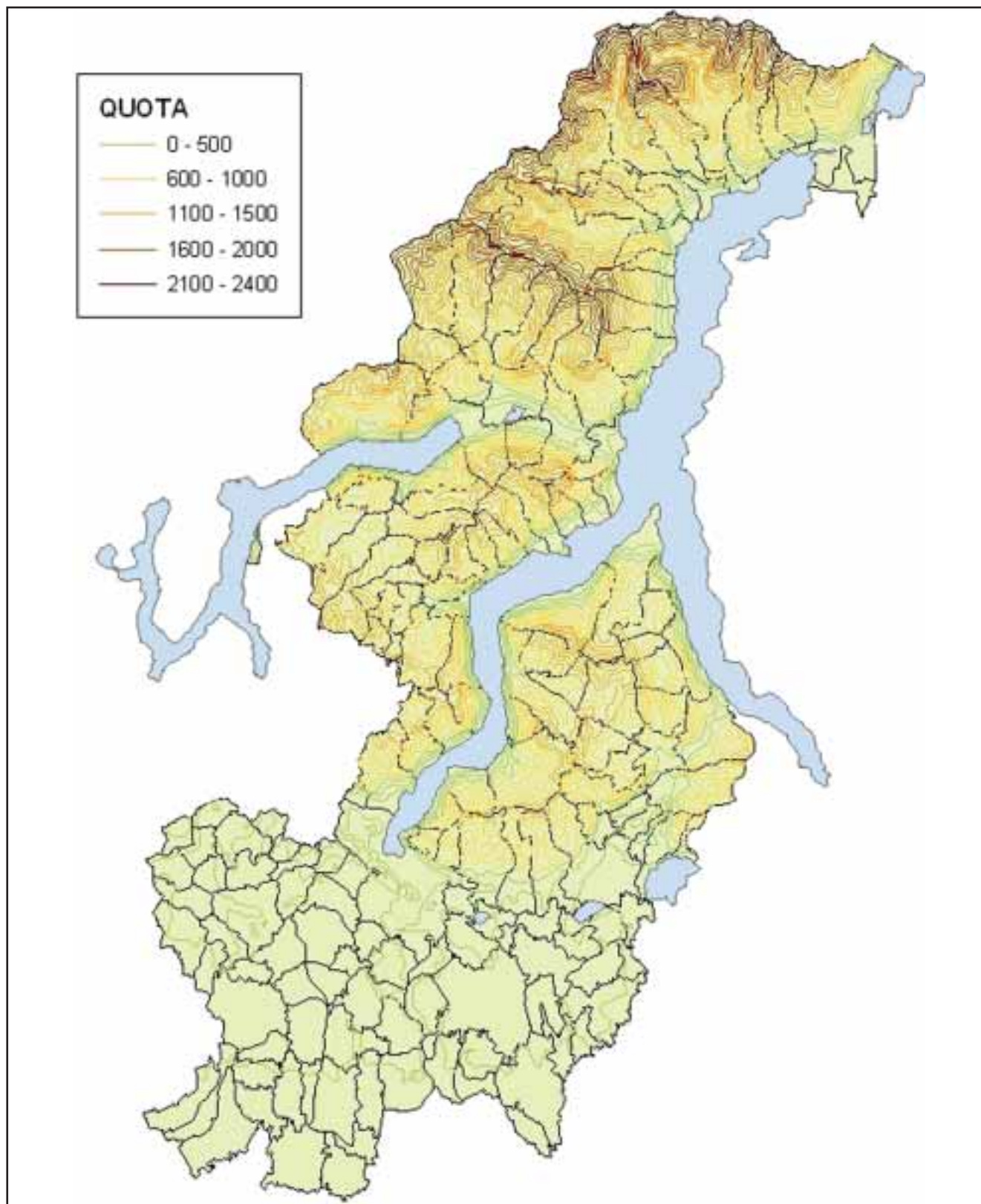


Figura 1.5 - Sviluppo altimetrico del territorio provinciale

(Fonte: Piano di Coordinamento Territoriale Provinciale, Provincia di Como, 2003)

La **zona alpina** (alto lago) è caratterizzata dall'alternanza di cime aspre, per lo più localizzate nella parte settentrionale del bacino del Lario, e di cime più arrotondate, separate da vallette strette ed incassate. La vegetazione forestale è solita distinguersi in due piani: quello montano, più basso, è occupato da foreste di latifoglie (faggete), ormai sporadiche e limitate agli ambienti più freschi, e di aghifoglie. Il piano culminale, in quota, presenta invece una brughiera alpina ad arbusti contorti come transizione dalla foresta alla prateria, ed un orizzonte nivale, assai ridotto e con scarsa copertura di vegetali, in prevalenza costituito da erbe e muschi.

La **zona prealpina**, comprendente invece i rilievi del Lario Intelvese e della Tremezzina (area centro occidentale tra il lago di Como e quello di Lugano) e quelli del Triangolo Lariano (tra i due rami del lago di Como), è caratterizzata da montagne meno aspre, con una morfologia dolce, dovuta all'azione modellante dei fenomeni atmosferici.

Per quanto riguarda la vegetazione, è possibile notare che nella fascia più vicina al lago, grazie all'azione mitigatrice del clima che gli è propria, vi sono accenni al primo orizzonte submediterraneo, caratterizzato dalla presenza di olivi, allori, oleandri, piante tipiche della macchia mediterranea. Nelle zone più interne sono diffusi il castagno, le conifere e i larici.

Infine la **zona collinare e di alta pianura** viene considerata come zona di transizione tra i rilievi prealpini e la zona di pianura vera e propria. Gli sbarramenti morenici hanno originato numerosi laghi, tra cui il lago di Montorfano e il lago di Alserio. I depositi più recenti rivestono i terrazzi della rete idrica principale di coltri limo-argillose ferrettizzate. Il clima della fascia pedemontana è più severo rispetto alla zona prealpina e il substrato è fortemente depauperato dall'azione di dila-

vamento: la colonizzazione vegetale è avvenuta con difficoltà, permettendo l'affermazione di specie spesso pioniere, di tipo arbustivo, con sparsi individui arborei. I soprassuoli boschivi sono caratterizzati dalla presenza di castagni e larici.

Formati dall'azione glaciale e modellati dall'alternanza delle ere geologiche, ciascuno dei tre contesti comprende ambienti naturali che gli sono peculiari e che si trovano in differenti stati di conservazione. L'azione dei ghiacciai ha prodotto anche, in tempi relativamente recenti, lo scavo del bacino del Lago di Como e la formazione dei due maggiori laghi, il Lario e il Ceresio.

La **rete idrografica** provinciale (cfr. *Figura 1.6*) segue il tipico schema strutturale della rete idrografica regionale lombarda, essendo costituita da numerosi corsi d'acqua alpini e prealpini tributari del Po (Lura, Seveso, Lambro), con l'interposizione di due grandi laghi di origine glaciale, il Lario e il Ceresio, e di una serie di laghi minori (Segrino, Alserio, Pusiano e lago di Montorfano), situati ai piedi degli ultimi rilievi prealpini. Fa eccezione il lago di Mezzola, situato all'imbocco della Val Chiavenna. Propriamente alpini sono invece i laghi di Piano, situato a est del Ceresio, e il lago di Darenzo, a nord dell'abitato di Livo.

Il Lario è alimentato da due fiumi di origine alpina, il Mera e l'Adda, che, a sua volta, come emissario del lago, diventa un importante tributario del Po. Sotto questo aspetto la provincia è caratterizzata da una notevole uniformità, in quanto quasi tutti i corsi d'acqua superficiali ricadono nel bacino imbrifero del Lario, ad eccezione di alcuni più modesti affluenti del Ceresio (e quindi del Ticino) e del Lambro.

Tutti i laghi esercitano una intensa azione mitigatrice nei confronti del clima.

I maggiori fiumi presenti (Mera, Adda immisario) attraversano per un breve tratto del loro

corso la zona settentrionale del territorio provinciale, mentre interessano in modo più consistente le province limitrofe, in particolare Sondrio e Lecco. In zona prealpina è da ricordare il Lambro, che dagli ultimi contrafforti del Triangolo Lariano si getta nel Po, e altri

fiumi minori e torrenti, situati nell'alta e media provincia, che sono solitamente caratterizzati da accentuate pendenze e corrente elevata, tranne che nei tratti terminali di affluenza nei bacini lacustri.

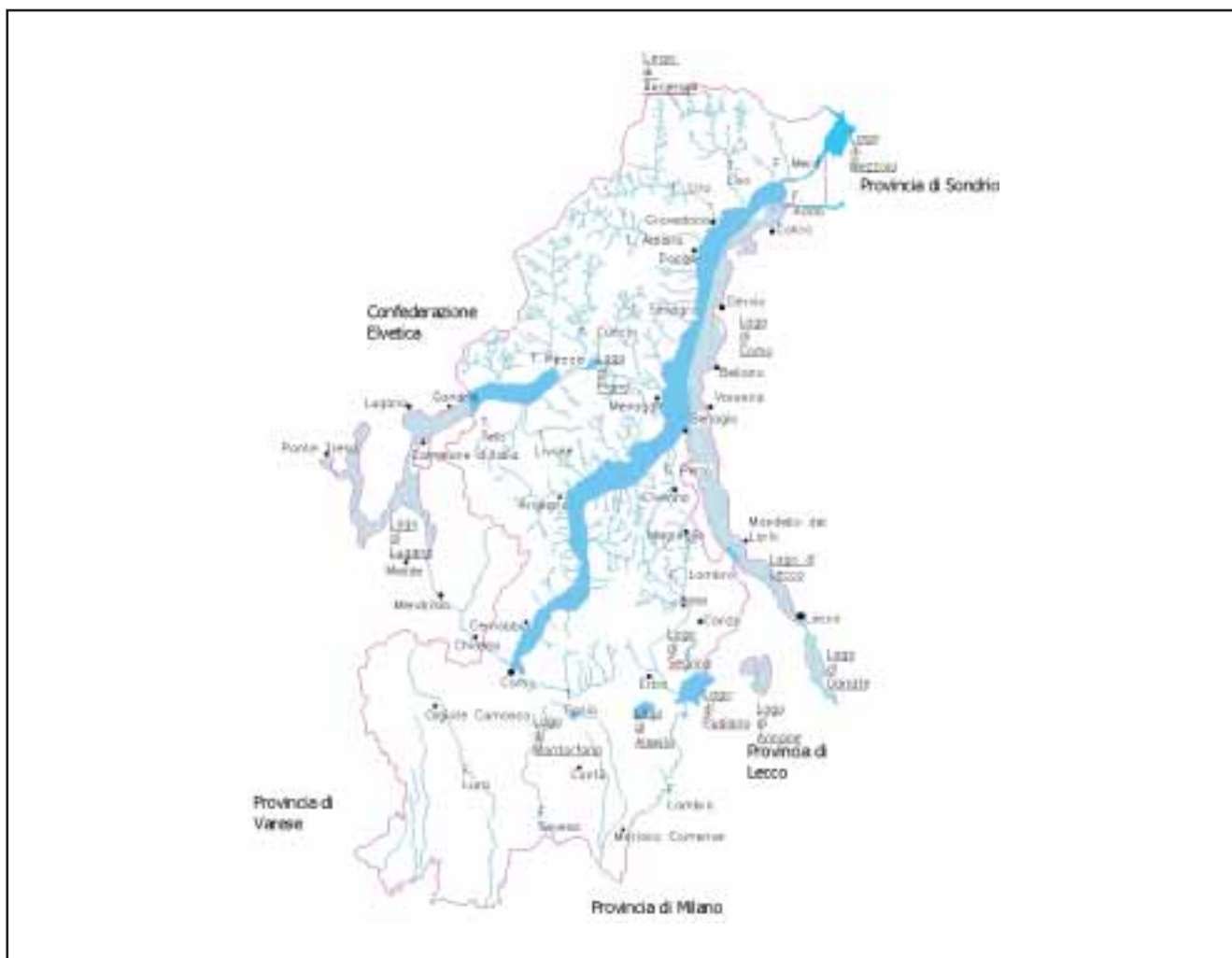


Figura 1.6 - Reticolo idrografico provinciale e bacini del Lario e del Ceresio
(Fonte: Provincia di Como, 2002)

La maggior parte dei corsi d'acqua superficiali della provincia, specie quelli di pianura, presenta un livello di inquinamento tale da escluderne la possibilità di impiego anche per usi poco pregiati. Le acque dei torrenti delle località montane e collinari, benché alterate, rientrano tuttavia, secondo le normative italiane, tra quelle idonee ai fini della pesca, dal momento che l'inquinamento è di origine prevalentemente batteriologica e non interferisce

con le condizioni biotiche necessarie alla vita dei salmonidi.

Per queste sue complessità orografiche ed idrografiche il territorio provinciale comasco presenta quindi interessanti aspetti di variabilità spaziale delle caratteristiche climatiche, non sempre riconducibili ai valori medi rilevati alla scala alpina o regionale (cfr. *Capitoli 2 e 6*).

1.2 OBIETTIVI E AMBITI DI APPLICAZIONE DELLO STUDIO

La necessità di provvedere ad una prima raccolta ed elaborazione sistematica dei dati climatici disponibili sul territorio provinciale, portò nel 2001 ad una attività di ricerca condotta dal Punto Energia di Como, in collaborazione con il Politecnico di Como, nell'ambito di uno stage di diploma universitario in ingegneria dell'ambiente e delle risorse, anno accademico 2001-2002 (Simone Belli, Giuseppe Bernasconi).

La ricerca fu orientata soprattutto ad un primo censimento e verifica delle attività di monitoraggio sviluppate da Enti Pubblici, centri ed istituti di ricerca, università, società o soggetti privati; all'acquisizione di dati informatizzati disponibili, relativi ove possibile, al decennio 1990-2000, e ad una prima loro elaborazione ed analisi. La ricerca ha permesso inoltre di definire un quadro, sufficientemente esaustivo, delle conoscenze pregresse del clima della Provincia di Como raccolte in serie storiche, tutte purtroppo disponibili solo su supporto cartaceo.

Questo nuovo progetto "*Studio climatologico della provincia di Como*" rappresenta quindi una naturale prosecuzione delle attività di ricerca già realizzate, sviluppando un completamento del quadro conoscitivo esistente ed una maggiore analisi ed elaborazione dei dati, resi disponibili grazie alla collaborazione della maggior parte dei Soggetti, pubblici e privati, che operano sul territorio (Enti pubblici e privati, cfr. *Capitolo 4 - Fonte dei dati*).

L'analisi dei dati meteorologici, offerta in questo studio, prende in considerazione parametri e grandezze che stimano in modo accurato e aggiornato il clima della Provincia di Como. I dati ottenuti sono confrontati, dove possibile, per aree omogenee permettendo di trarre delle considerazioni sul microclima locale.

I risultati dello studio vengono offerti in forma di **manuale tecnico** a supporto di tutte le attività professionali in cui tali informazioni sono richieste: progettazione, pianificazione, comunicazione. L'obiettivo è quindi quello di fornire dati ed elaborazioni corrette ed aggiornate alle diverse figure professionali che operano in campo ambientale quali: ingegneri, architetti, geologi, geometri, agricoltori, florovivaisti e forestali, tecnici della Pubblica Amministrazione (Comuni, Provincia, Regione, ARPA, Prefettura, ecc.).

Lo studio assume tuttavia una rilevanza più ampia: un approccio multidisciplinare alla conoscenza del clima locale può infatti consentire la comprensione dei rapporti fra i cambiamenti climatici globali e quelli locali che possono anche innescare fenomeni di risonanza con altre alterazioni umane come lo sfruttamento irrazionale delle risorse e l'inquinamento ambientale, amplificando ed accelerando la dimensione degli eventi sino alle possibili catastrofi, con evidenti riflessi negativi sulle condizioni ambientali del territorio e sulla qualità della vita dei suoi abitanti.

La conoscenza degli aspetti del clima locale è quella che più interessa sia il cittadino comune sia gli amministratori pubblici. Viste le ricadute sulle attività umane che un clima diverso dall'attuale potrà avere, è necessario quindi considerare il fattore "clima" come uno dei più importanti nella catena delle "decisioni".

2

Cenni di climatologia regionale e locale

2.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il clima condiziona l'efficacia di molte attività umane e, in questo senso, è una chiave di lettura importante per comprendere la realtà sociale, economica ed ambientale di un territorio e per interpretarne le linee evolutive. Numerosi progetti internazionali e nazionali di ricerca hanno infatti evidenziato che, nel corso degli ultimi 150 anni, il clima in Italia ha subito mutazioni significative, diventando nel tempo più caldo e asciutto.

Questo fenomeno di riscaldamento non si è manifestato attraverso un processo uniforme, né in termini spaziali né tanto meno temporalmente, ma ha espresso forti differenziazioni geografiche e un comportamento piuttosto complesso, tanto nei trend di lungo periodo quanto nella sua modulazione stagionale.

Nel corso degli Anni '90 e nei primi anni di questo nuovo secolo, il fenomeno si è fatto ancora più evidente, tanto che in questo lasso di tempo si contano alcune tra le annate più calde degli ultimi 100/150 anni (per esempio l'estate 2003).

In questo contesto la comunità scientifica ha prodotto e sta continuando a produrre un ampio sforzo per reperire, informatizzare, omogeneizzare ed analizzare tutte le serie storiche di dati meteorologici che possano consentire una più approfondita valutazione della variabilità e dei cambiamenti del clima in atto.

Questa attività ha già prodotto notevoli risultati come dimostrano i rapporti del Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), i progetti europei IMPROVE (Improve understanding of past climate variability from early daily European instrumental sources) e ALPICLIM (Environmental and Climate information from Ice Cores in high elevated Alpine sites) o a livello italiano, i progetti del CNR, del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, del Ministero

dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (MATT).

Risultati particolarmente interessanti sono stati ottenuti anche per il territorio regionale con numerosi studi realizzati dalla Regione Lombardia, dall'ARPA, da Istituti di Ricerca e dalle Università lombarde.

I notevoli risultati raggiunti nel corso di questi ultimi anni, peraltro, non riguardano la sola temperatura, ma si riferiscono anche a parametri come la pressione, la radiazione solare e, soprattutto le precipitazioni. Relativamente a quest'ultimo parametro, in Italia è stata evidenziata una generale tendenza alla diminuzione, particolarmente rilevante nelle regioni centro-meridionali. Accanto alla diminuzione delle precipitazioni si osserva però un significativo incremento delle loro intensità. Quindi una forte riduzione del numero di giorni di pioggia, ma con un maggior apporto per ogni singolo episodio. Questo aspetto è di particolare rilevanza, soprattutto in una regione come la Lombardia con un'orografia molto sviluppata e pertanto potenzialmente esposta a frane ed eventi alluvionali.

Le informazioni sulla ricostruzione del clima del passato e sulle tendenze attuali, a scala regionale e provinciale, sono purtroppo ancora poco note ai non addetti ai lavori, anche perché i media di più ampia risonanza prediligono spesso un approccio allarmistico, privilegiando l'audience ad un'informazione corretta e rigorosa.

(Nota: queste informazioni sono tratte dall'introduzione allo studio "Il riscaldamento del nostro pianeta: la situazione italiana con particolare riferimento alla Regione Lombardia e alla città di Milano", Maurizio Maugeri ed Elisabetta Mazzucchelli, CUSL, 2003)

2.2 LE SCALE DEI FENOMENI CLIMATICI

Scala temporale

La differenza sostanziale fra condizione meteorologica e condizione climatica di un sito si manifesta nella scala temporale cui esse si riferiscono: il fenomeno meteorologico è riferito allo stato atmosferico in un certo istante, mentre la situazione climatica è l'insieme delle condizioni meteorologiche verificatesi in un arco temporale di almeno 20-30 anni. Tale definizione è data dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (O.M.M.).

Scala spaziale

Lo studio di una particolare situazione atmosferica è influenzato inoltre dalla scala spaziale presa in esame. Il clima stesso è influenzato dalla caratterizzazione della circolazione atmosferica, perciò in funzione dei livelli di dettaglio si produce uno studio a diverse scale del sistema.

La circolazione generale è studiata dalla meteorologia sinottica, cui si fa riferimento per le previsioni del tempo. La meteorologia sinottica prende in considerazione vaste zone (migliaia di chilometri) individuando il clima di aree di rilevante superficie (macroclima).

Esempi di macroclima sono per esempio quello continentale e quello mediterraneo.

L'aumento del dettaglio della scala spaziale fino alle centinaia di chilometri, permette di studiare le interazioni dei fenomeni del macroclima con l'orografia principale del sito, dando così luogo all'introduzione del *mesoclima*.

In Lombardia si presentano due mesoclimi estremamente differenti: quello padano e quello alpino. Un mesoclima intermedio è quello insubrico, tipico della zona prealpina e quindi dell'intera provincia di Como.

Internamente ad un mesoclima si possono inoltre presentare *topoclimi* e *microclimi*: i primi sono determinati dagli effetti sul mesoclima

delle caratteristiche topologiche locali (vallate, pendenza ed esposizione delle pendici, avvallamenti del terreno); i secondi si devono invece agli effetti che le tipologie di copertura del suolo hanno sul clima e precisamente nello strato atmosferico prossimo alla superficie. La copertura del suolo influenza parametri meteorologici importanti; umidità relativa, temperatura e velocità del vento, ad esempio, assumono valori differenti se rilevati su aree edificate o su aree con manto erboso.

2.3 INQUADRAMENTO CLIMATICO GENERALE DELLA REGIONE LOMBARDIA

La complessa situazione orografica della regione, e la sua posizione, portano il clima lombardo ad assumere caratteri particolari, unici alla scala europea, influenzati da una serie di elementi fondamentali, quali:

- vicinanza del Mediterraneo, fonte di masse di aria umida e mite;
- vicinanza dell'area atlantica, fonte di masse d'aria umida relativamente mite;
- vicinanza della massa continentale europea, fonte di masse d'aria fredda nella stagione invernale, il cui ingresso nella pianura padana è favorito dalla conformazione della pianura stessa;
- presenza dell'arco alpino e dell'Appennino settentrionale, barriere in grado di creare notevoli discontinuità nelle masse d'aria;
- presenza di tutti i principali laghi prealpini italiani con peculiari effetti mesoclimatici;
- presenza di una delle principali valli alpine con direzione est-ovest (la Valtellina) e di alcune grandi valli con direzione nord-sud (Ticino, Val Chiavenna, Val Camonica) in grado di influenzare la circolazione nella bassa e media troposfera.

Inoltre, i fattori che determinano il clima sono la latitudine, l'altitudine, l'esposizione e la giacitura, la vicinanza a masse d'acqua e la presenza di correnti marine e venti dominanti.

2.3.1 I mesoclimi lombardi

I mesoclimi che interessano il territorio lombardo sono il mesoclima alpino, il mesoclima padano e quello insubrico.

Il **mesoclima alpino** è tipico dell'area sita al confine nord della Lombardia. Tale mesoclima è caratterizzato da importanti escursioni termiche diurne e precipitazioni abbondanti (ben superiori ai 1000 mm/anno). Le temperature estive non sono troppo elevate, mentre in inverno si raggiungono valori estremamente bassi.

Il **mesoclima padano** è caratteristico della parte pianeggiante del territorio lombardo. Caratterizzato da inverni rigidi ed estati calde, si può definire come un clima continentale. Nella Pianura padana si riscontra un'elevata umidità, che porta alla presenza di nebbie in inverno e di afa in estate. Le precipitazioni sono sostanzialmente uniformi durante l'anno e non raggiungono mai valori importanti (mediamente sui 650-1100 mm/anno). Data la protezione offerta dalle Alpi, non si presenta una ventosità rilevante, contribuendo alla creazione di stratificazioni atmosferiche e, di conseguenza, alla formazione di nebbie, cappe d'afa e persistenza degli inquinanti atmosferici.

Il **mesoclima insubrico** caratterizza tutta la fascia prealpina. Questa zona, al confine tra pianura e Alpi, presenta un clima intermedio tra quello padano e quello alpino. Le precipitazioni sono più abbondanti rispetto alle zone di pianura ma inferiori a quelle alpine. In estate, le temperature rimangono leggermente più basse di quelle rilevate in pianura prin-

cipalmente per due motivi. Il primo è l'altitudine, leggermente superiore, il secondo è la leggera presenza di brezze causate dalla vicinanza delle Alpi che creano correnti ascensionali muovendo le masse d'aria limitrofe. Queste leggere brezze permettono di contenere i valori di temperature e umidità leggermente più bassi che in pianura. La regione insubrica, inoltre, presenta svariati microclimi generati da particolari orografie o dalla presenza di bacini lacustri. In generale nelle aree limitrofe ai laghi si trova un mesoclima insubrico differente sia sotto l'aspetto pluviometrico che termico. L'inerzia termica offerta dai laghi e il riparo causato dalle prealpi generano un incremento della temperatura media invernale. Durante l'estate, invece, si generano correnti d'aria dovute ai versanti montuosi che si affacciano sul lago le quali limitano l'innalzarsi della temperatura. Come diretta conseguenza, l'escursione termica giornaliera delle zone limitrofe ai laghi è inferiore di qualche grado rispetto a quelle tipiche degli altri due mesoclimi.

(N.d.A: queste considerazioni sono suggerite e tratte da "Il programma regionale di previsione e prevenzione" Servizio di Protezione Civile della Regione Lombardia, 2001; autori Luigi Mariani, Graziano Lazzaroni, Massimiliano Russo e Lorena Verdelli, ERSAL, Servizio Meteorologico Regionale)

2.4 I BACINI AEROLOGICI LOMBARDI

La Regione Lombardia ha finanziato un progetto pluriennale per caratterizzare il territorio sotto il profilo climatologico e individuare le zone in cui l'atmosfera ha le stesse capacità dispersive degli inquinanti e delle emissioni provenienti da attività produttive, autoveicolari e domestiche. Lo Studio "Piano Regionale per la Qualità dell'Aria (P.R.Q.A.)" (Regione

Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001), da cui sono tratte le informazioni riportate in questo paragrafo, tiene in considerazione i vari aspetti che possono influenzare la diffusione atmosferica delle sostanze inquinanti e prende come parametri discriminanti:

- le caratteristiche morfologiche (orografia, altitudine, esposizione e giacitura);
- le caratteristiche climatiche di tipo statico (temperatura, precipitazione,...);
- le caratteristiche climatiche di tipo dinamico (movimento delle masse d'aria - regime anemologico);
- le tipologie e il grado di antropizzazione (densità abitativa, distribuzione delle sorgenti inquinanti,...).

Si introduce il concetto di **bacino aerologico**, inteso come la "massa d'aria a comportamento omogeneo, che gravita su di un'area avente caratteristiche omogenee per distribuzione delle sorgenti di emissione e per caratteristiche meteo-climatiche e meteo-diffusive". Sulla base di queste caratteristiche si individuano dei grandi bacini aerologici, i quali, in prossimità di aree metropolitane o aree ad elevato rischio di inquinamento, si suddividono in sottobacini.

La dispersione atmosferica di sostanze inquinanti è frutto dei moti orizzontali e verticali delle masse d'aria. I primi sono impediti da limiti orografici o aiutati da forzature sinottiche (campi di moto a scala continentale), mentre i secondi sono ostacolati dalla stabilità atmosferica oppure dovuti a elementi forzanti, quali i sollevamenti orografici ed i sollevamenti frontali.

In conseguenza di queste affermazioni, si definiscono i bacini aerologici come aree su cui i campi di moto orizzontali e verticali sono minimi.

Da osservazioni sperimentali si deduce che la

circolazione atmosferica è minimizzata in presenza di strutture anticicloniche, pertanto si adottano le condizioni anticicloniche come elemento di riferimento per la zonizzazione della Regione Lombardia in bacini aerologici. Inoltre, le masse d'aria della pianura e dei rilievi si comportano diversamente, quando si trovano in condizioni anticicloniche. Perciò, un ulteriore criterio a base dell'individuazione dei bacini aerologici è la fascia altimetrica. Le aree pianeggianti e le aree montane presentano diverse condizioni meteo-climatiche in presenza di anticicloni:

- in situazioni anticicloniche, la massa d'aria soprastante la pianura è interessata nelle ore notturne da inversioni al suolo (con spessore medio di 300 m), impedendo il rimescolamento verticale dell'atmosfera negli strati più vicini alla superficie terrestre.
- in condizioni di tempo anticiclonico lo strato atmosferico superficiale delle aree prealpine, alpine ed appenniniche è caratterizzato da scambi fra fondovalle e pendici, superfici lacustri ed aree confinanti. Ciò permette di distinguere tale zona dalla pianura.
- la persistenza di un regime anticiclonico su territori montani produce effetti sulla dispersività atmosferica, altamente influenzati dalla struttura termica atmosferica e dall'orografia. La particolare condizione dell'area montana porta al manifestarsi dei seguenti fenomeni: interferenza dei pennacchi con i versanti; accumuli di aria fredda sui fondovalle, che limita la diffusione verticale; drenaggi notturni. Si nota la netta distinzione fra aree di fondovalle, non influenzate dalle correnti esterne, e alture, sottoposte a correnti di interscambio fra valli diverse ed a correnti di circolazione generale.

A conclusione delle affermazioni fatte in questo paragrafo, si giunge alla presentazione di una zonizzazione proposta nel PRQA riferita a condizioni anticicloniche. I bacini aerologici omo-

genei (cfr. *Figura 2.1*) sono intesi come aree all'interno delle quali lo scambio di masse d'aria è più frequente rispetto alle aree circostanti. Una prima suddivisione si basa sulla morfologia del territorio (il bacino aerologico unico per la pianura, i bacini dei laghi prealpini e il bacino dell'Oltrepò Pavese), mentre un'ulteriore ripartizione del grande bacino della pianura individua la pianura medio-alta e la pianura bassa (con riferimento all'isoipsa dei 100 m s.l.m.).

La sotto-zonizzazione del territorio montano prende invece come riferimento gli spartiacque, portando all'identificazione di differenti bacini (bacino del Ticino, bacino dell'Adda, bacino del Brembo, bacino del Serio, bacino dell'Oglio, bacino del Garda). Come già detto, le aree montane assumono diverse caratteri-

stiche diffuse in funzione dell'orografia locale, perciò è necessario dividerle in ulteriori sottobacini, considerando le differenze fra il fondovalle, le pendici e le zone sommitali (introducendo un confine di riferimento alla quota di 100 m dal fondo della valle).

Nel tracciare i confini dei bacini aerologici sono stati tenuti in considerazione anche il livello di antropizzazione e la presenza di sorgenti di emissioni inquinanti.

Per quanto riguarda il territorio della Provincia di Como (cfr. *Figura 2.1*), esso rientra quasi completamente nel bacino B8 Adda, sottobacino sb1 = Lario, ad eccezione dell'area che sottende al bacino imbrifero del Lago di Lugano che appartiene quindi al Bacino B3 Ticino e dell'estrema parte meridionale che rientra nel bacino B2 = Pianura.

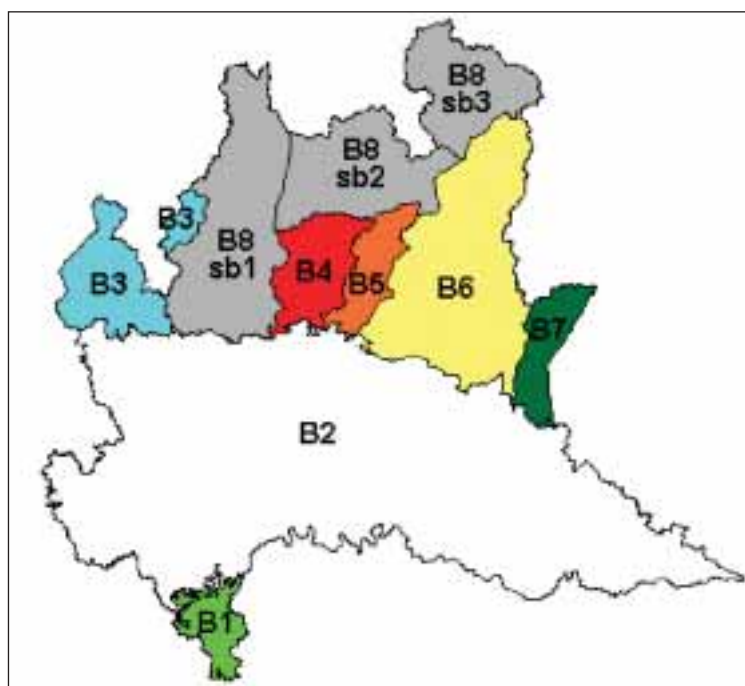


Figura 2.1 - Bacini aerologici della Lombardia

(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

Legenda: B1 = Oltrepò Pavese, B2 = Pianura, B3 = Ticino, B4 = Brembo, B5 = Serio, B6 = Oglio, B7 = Garda, B8 = Adda (suddiviso nei sottobacini sb1 = Lario e Valchiavenna, sb2 = Bassa e Media Valtellina e sb3 = Alta Valtellina).

3

Parametri meteo-climatici e campi di applicazione

3.1 I PARAMETRI

I principali parametri di tipo climatologico e meteorologico, utilizzati in questo studio, e le relative grandezze ed unità di misura, sono i seguenti:

Precipitazione	[mm]
Temperatura (aria, acqua)	[°C]
Umidità relativa	[%]
Radiazione solare incidente	[MJ/m ²]
Velocità del vento	[m/s]
Pressione barometrica	[hPa]
Scariche atmosferiche	[polarità, frequenza]

3.2 CAMPI DI APPLICAZIONE DEI DATI METEO-CLIMATICI

Oltre alla classiche applicazioni di tipo climatologico e meteorologico, questi parametri sono sempre stati di larghissimo uso in tutti i settori direttamente collegati alle tematiche ambientali e territoriali, associandosi a parametri tecnici tipici del dimensionamento di strutture, determinazione di parametri fisici e chimici, pianificazione e gestione. Negli ultimi anni, inoltre, lo sviluppo di nuovi settori tecnologici e di ricerca, quali la bioarchitettura, l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili, gli impatti sulla salute dell'uomo, l'applicazione di modelli computerizzati alla salvaguardia e alla gestione del territorio, hanno dato forte impulso al monitoraggio sistematico di tutti i valori relativi alle caratteristiche climatiche di un territorio, con il conseguente sviluppo parallelo delle stazioni di rilevamento e degli strumenti di elaborazione dei dati meteo-climatici.

Dal punto di vista generale i campi di applicazione dei parametri meteo-climatici possono essere considerati i seguenti:

- 1) **Generali classificativi**
- 2) **Applicati biometeorologici**

- 3) **Applicati geomorfologici**
- 4) **Applicati agrari e botanici**
- 5) **Applicati stabilità atmosferica (inquinamento)**
- 6) **Applicati turismo**
- 7) **Applicati energia e progettazione**
- 8) **Applicati climatologia urbana**

Di seguito vengono proposti alcuni esempi relativi alle principali applicazioni.

Precipitazione

La precipitazione è probabilmente uno dei parametri più utilizzati in campo ambientale: attività della Protezione Civile nella previsione degli eventi di particolare intensità finalizzati alla prevenzione del dissesto idrogeologico; determinazione degli afflussi superficiali a supporto della regolazione dei laghi; utilizzo del tempo di ritorno degli eventi estremi di precipitazione nel dimensionamento di gran parte delle strutture fluviali quali: argini, ponti, dighe, bacini di invaso.

I valori di precipitazione sono inoltre largamente utilizzati per il dimensionamento di pozzetti e stramazzi, componenti delle reti di smaltimento delle acque meteoriche, di collettamento e di depurazione.

In campo ambientale la misura della precipitazione è infine indispensabile per lo studio della diffusione degli inquinanti in atmosfera (specie in aree urbane), per le analisi agroforestali o in studi sulla piezometria e dispersione degli inquinanti nelle falde acquifere.

Temperatura (aria, acqua)

Le temperature, sia dell'aria che delle acque, influenzano una gran varietà di aspetti, ambientali e tecnici.

Lo studio delle variazioni locali delle **temperature dell'aria** negli ultimi decenni è di fondamentale importanza per la comprensione dei rapporti fra i cambiamenti climatici globali (riscaldamento globale ed effetto serra) e

quelli locali. Una parte delle valutazioni effettuate in questo studio sono finalizzate a questo scopo.

Il parametro temperatura dell'aria, e le sue variazioni stagionali estreme, rientrano sempre nella progettazione degli impianti di riscaldamento e condizionamento (in particolare per il funzionamento delle sonde esterne che regolano gli impianti, favorendo un corretto funzionamento ed un sensibile risparmio energetico); nella valutazione delle coibentazioni delle strutture edilizie; nella progettazione delle moderne strutture bioclimatiche; nel calcolo dei "gradi giorno" per la determinazione dei periodi di funzionamento stagionale degli impianti di riscaldamento (differenti, in provincia di Como, per zone altimetriche).

La conoscenza dell'andamento stagionale della temperatura dell'aria è un parametro fondamentale in campo agricolo, florovivaistico e forestale.

In campo ambientale, ovviamente, le temperature dell'aria caratterizzano gli studi e i modelli di formazione, distruzione e diffusione degli inquinanti, e, unitamente a quelle delle acque, gli studi sul livello trofico e sulla circolazione delle acque dei laghi.

Non va infine tralasciata l'importanza del parametro temperatura come fattore di impatto sulla salute umana: dall'incremento di alcune patologie delle vie respiratorie sino a rappresentare vera e propria causa di morte, specie nelle fasce più anziane della popolazione, come accaduto nell'estate caldissima del 2003.

Le **temperature delle acque** (dei laghi, dei fiumi e delle falde), oltre ad essere un fattore determinante nelle dinamiche fisiche, chimiche ed idrologiche, sono un parametro fondamentale nel dimensionamento di impianti a pompa di calore per il riscaldamento ed il raffrescamento di edifici. Il territorio comasco ha la fortuna di avere numerosi laghi (cfr. *Tabella 3.1*),

ma anche consistenti riserve idriche sotterranee specie nell'ampia fascia di pianura, con caratteristiche termiche tali (cfr. *Appendice*) da costituire un imponente serbatoio termico particolarmente adatto a queste tecnologie che possono consentire un risparmio energetico superiore al 30% rispetto ai sistemi tradizionali.

Umidità relativa

La misura di questo parametro riveste particolare importanza nel campo della ricerca per la valutazione delle correlazioni (dirette o indirette) con altri parametri climatici (precipitazioni, temperature, venti).

Importante è lo studio delle variazioni locali dell'umidità in relazione alle patologie delle vie respiratorie e ad eventuali interazioni con gli inquinanti atmosferici.

L'umidità relativa non ha grandi applicazioni in campo tecnologico e strutturale se non per la progettazione di impianti di condizionamento, per la valutazione del comfort psicometrico interno agli edifici o nel campo florovivaistico (serre ed impianti).

Radiazione solare incidente

La radiazione solare ricevuta dalla terra equivale a circa 100.000 volte il fabbisogno attuale di energia del nostro pianeta. Il 30% di questa viene nuovamente riflessa mentre circa il 25% viene assorbita dall'atmosfera, la rimanente parte viene assorbita dalla terra e dalle piante. La *Figura 2.2* dà un'idea generale della distribuzione dell'energia solare che investe le varie zone dell'Europa.

La valutazione della radiazione solare è elemento comune nel settore della pianificazione territoriale (urbanistico, agro-forestale, ...).

Una misura corretta della radiazione solare è condizione fondamentale per il dimensionamento degli impianti solari termici (riscaldamento di acqua ad usi sanitari) e solari fotovoltaici (per la produzione di energia elettrica). Per un dimensionamento accurato del-

l'impianto bisogna tenere conto della radiazione effettivamente misurata nella zona interessata, dell'orientamento e dell'inclinazione. Una sezione specifica del paragrafo 5.5 di questo studio è dedicata a queste valutazioni per aree differenti del territorio provinciale.

Il grado di esposizione e la misura della radiazione solare sono infine determinanti nella progettazione di moderne strutture edilizie (architettura bioclimatica) che sfruttano i principi del riscaldamento e del raffrescamento naturale.

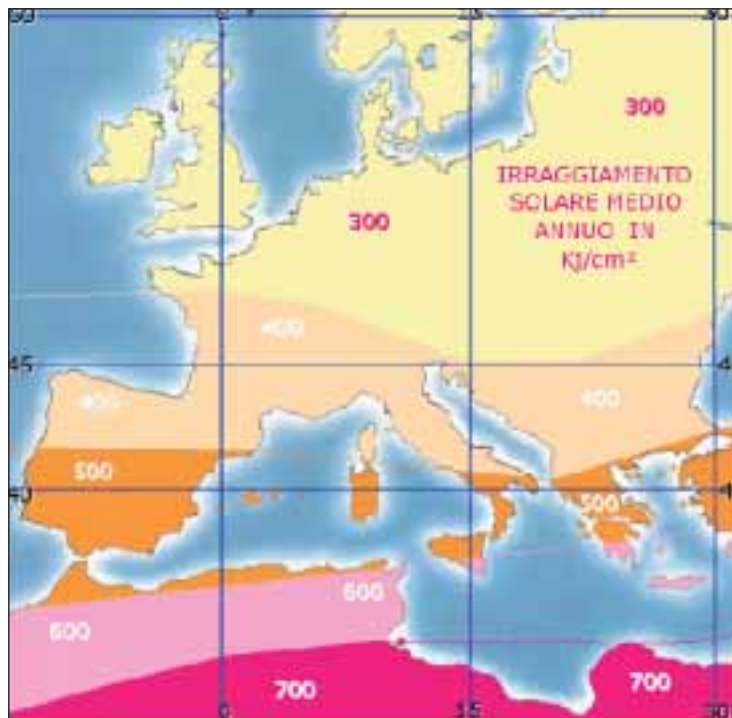


Figura 2.2 - Irraggiamento solare medio annuo

(Fonte C.S.V., 2001)

Legenda: valori in kJ/cm²; 1 kJ/cm² corrisponde ad una media d'insolazione pari a 0,33 W/m².

Vento

Lo studio del vento (velocità e direzione) è un parametro importante nella progettazione di opere e strutture particolarmente vulnerabili all'azione di forti raffiche (edifici, pontili per la navigazione pubblica e privata, strutture di radiocomunicazione, aree boscate, ecc.). Purtroppo tutte le stazioni considerate in questo studio mediano il valore della velocità del vento su base oraria, perdendo di fatto le informazioni relative ai fenomeni estremi istantanei (raffiche).

Intensità e direzioni prevalenti sono inoltre parametri importanti negli studi sulla diffusione degli inquinanti atmosferici a scala locale e sulla diffusione di agenti allergeni (pollini e altro).

Scariche atmosferiche

Il rilevamento sistematico delle scariche atmosferiche permette di individuare statisticamente le aree maggiormente interessate da

tale fenomeno. Il monitoraggio in continuo, in atto su tutto il nord Italia, fornisce già utili segnalazioni nel campo della protezione civile e dei trasporti (specie quelli ferroviari e di grande comunicazione viaria).

La conoscenza di zone più soggette a fulminazione può indurre a differenti tipologie di installazione di elettrodotti, tralicci dell'alta tensione, impianti di messa a terra per le scariche atmosferiche. Inoltre, l'informazione sulla localizzazione e l'intensità della caduta di un fulmine può risultare utile nel campo urbanistico ed anche in quello assicurativo.

Pressione barometrica

La pressione barometrica, al di là della sua fondamentale importanza "previsionale", ha una sua utilità se viene relazionata con altri parametri meteo-climatici (precipitazione e umidità relativa). Non ha invece grande impiego come parametro per la progettazione e la gestione territoriale.

4

Fonte dei dati

4.1 CENSIMENTO DELLE RETI E DELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO: CARATTERISTICHE RICHIESTE E DISPONIBILITÀ DEI DATI

Le prime fasi dello studio sono state rivolte al censimento dei Soggetti pubblici e privati che operano sul territorio provinciale, titolari o gestori di reti o di singole stazioni di monitoraggio. La ricerca è stata finalizzata alla determinazione delle seguenti informazioni utili allo studio:

- Ente/Soggetto, titolare/gestore;
- posizione geografica delle stazioni (località, coordinate, altimetria), con precedenza a quelle poste nel territorio provinciale e, secondariamente, a quelle ubicate in aree limitrofe, comunque interessanti per posizione, altimetria, appartenenza a reti di monitoraggio di interesse regionale;
- tipologia della strumentazione di monitoraggio (manuale o automatica);
- parametri climatici misurati;
- periodo di funzionamento (ed eventuali interruzioni di servizio);
- disponibilità dei dati e loro formati.

Le analisi e le elaborazioni si riferiscono esclusivamente al periodo 1990-2002; questo lasso di tempo è stato definito come “periodo minimo utile” per ottenere prime efficaci valutazioni sulle caratteristiche climatiche locali, operando il necessario confronto tra stazioni diverse e una analisi critica dei risultati ottenuti.

Ovviamente non tutte le stazioni per le quali sono stati resi disponibili i dati soddisfano a tale condizione temporale; in questo caso l'analisi ed il confronto con altre situazioni climatiche locali si riferisce, ovviamente, a intervalli temporali minori. Alcune stazioni invece, pur nella disponibilità dei dati, non sono state considerate nelle elaborazioni dello studio per evitare inutili ridondanze ed eccessive

concentrazioni di dati in determinate zone (es. territorio comunale di Como con ben 11 stazioni attive).

Una seconda condizione richiesta per l'acquisizione delle informazioni è stata la **disponibilità di dati informatizzati** (per ragioni di tempo, non sono stati infatti considerati i dati disponibili solo su supporto cartaceo). Per la maggior parte delle stazioni esistenti è stato possibile acquisire le informazioni richieste, sia in formato grezzo (dati orari o giornalieri) sia già elaborati. Solo in alcuni casi il Soggetto titolare o gestore della stazione non ha acconsentito alla trasmissione e all'utilizzo dei dati; sono tuttavia disponibili le schede identificative della maggior parte delle stazioni attualmente in funzione (dato comunque di estrema utilità per la definizione del quadro complessivo delle strutture operanti sul territorio della provincia di Como, o in posizione limitrofa).

In merito alla non disponibilità dei dati, se da un lato resta il rammarico di non aver esteso questo studio al massimo dettaglio territoriale consentito, va comunque evidenziato il carattere di collaborazione volontaria di questa ricerca, impresso dalla Provincia di Como e dagli Autori, e quindi il massimo rispetto per le professionalità e le decisioni assunte dai singoli Soggetti operanti sul territorio.

L'elenco dettagliato di tutte le stazioni ubicate nel territorio provinciale, per un totale di **57 stazioni**, è riportato in **APPENDICE STAZIONI METEOROLOGICHE**, partendo da quelle inserite in reti di monitoraggio (pubbliche o private) e proseguendo con le stazioni singole.

Per ogni stazione è stata redatta una “scheda riassuntiva” secondo il seguente schema:

Stazione di Ente proprietario o gestore: Località: Coordinate geografiche: Latitudine Longitudine Quota m s.l.m. Funzionamento: Parametri misurati: In funzione da: Periodo di elaborazione dati: Periodi di NON funzionamento:	1 ●
---	------------

Il simbolo ●, dopo il numero stazione, evidenzia quelle stazioni utilizzate, con modalità e periodi differenti, per le elaborazioni di questo studio.

L'elenco termina con l'indicazione di stazioni al momento non più attive ma che hanno operato in periodi recenti e per le quali è stato possibile recuperare dati e/o elaborazioni di particolare interesse.

Per la non disponibilità di dati informatizzati e per la non corrispondenza con il periodo temporale considerato, in questo studio non è stata invece presa in esame l'enorme mole di dati relativi alle attività dell'Istituto Idrografico del Po, particolarmente attivo nel periodo dal 1950 in poi con numerose stazioni termo-pluviografiche diffuse su tutto il territorio. Questi dati, in particolare quelli relativi alla precipitazione, costituiscono una memoria scientifica di immenso valore per la determinazione dei cambiamenti climatici analizzati su un periodo ottimale di cinquant'anni.

Gli Autori di questo studio si scusano per eventuali errori, incompletezza dei dati o omissioni, avendo riportato solo le informazioni rese direttamente disponibili o reperite in bibliografia.

4.2 COPERTURA TERRITORIALE DEL MONITORAGGIO: POSITIVITÀ E NEGATIVITÀ

Per gli obiettivi dello studio si è potuto disporre di una buona copertura del monitoraggio, distribuito su quasi tutto il territorio provinciale (cfr. *Tabella 4.1* e *Figura 4.1*) e in grado quindi di favorire le analisi, anche accurate, delle caratteristiche e delle dinamiche meteo-climatiche nonché un primo confronto tra zone diverse del territorio.

• **STAZIONI UTILIZZATE NELLE ELABORAZIONI**
 • **ALTRE STAZIONI PRESENTI SUL TERRITORIO**

- 1 Como – Villa Gallia
- 2 Erba
- 3 Mariano Comense
- 4 Colico
- 5 Varenna
- 6 Samolaco
- 7 Albavilla
- 8 Vertemate con Minoprio
- 9 Bellano
- 10 Fuentes
- 11 Como – Tavernola
- 12 Monte Bisbino
- 13 Como - Rebbio
- 14 Cantù - Selvaregina
- 15 Carimate
- 16 Erba
- 17 Mariano Comense- Perticato
- 18 Olgiate Comasco
- 19 Valmorea
- 20 Canzo
- 21 Campione d'Italia – Imbarcadero
- 22 Campione d'Italia - Pugerna
- 23 Monte S. Primo
- 24 Cernobbio–V.Erba
- 25 Como - Monteolimpino
- 26 Como - Università
- 27 Como – Aero Club
- 28 Como - Caviglio
- 29 Como - Lora
- 30 Como - Bassone
- 31 Casnate con Bernate
- 32 Drezzo
- 33 Cantù - Fecchio
- 34 Veniano
- 35 Mozzate
- 36 Longone al Segrino
- 37 Erba
- 38 Crema
- 39 San Nazzaro Val Cavargna
- 40 Vertemate con Minoprio
- 41 Regea (Garzeno)
- 42 Gorghiglio (Dosso del Liro)
- 43 Castellanza
- 44 S. Fedele Intelvi
- 45 Como - Municipio
- 46 Como – Rebbio
- 47 Longone al Segrino
- 48 Monguzzo
- 49 Mozzate
- 50 Appiano Gentile
- 51 Tremezzo
- 52 Como – Villa Olmo
- 53 Sormano
- 54 Brunate
- 55 Bellagio - loc. Cernobbio
- 56 Bellagio – Lungo Lago
- 57 Asso

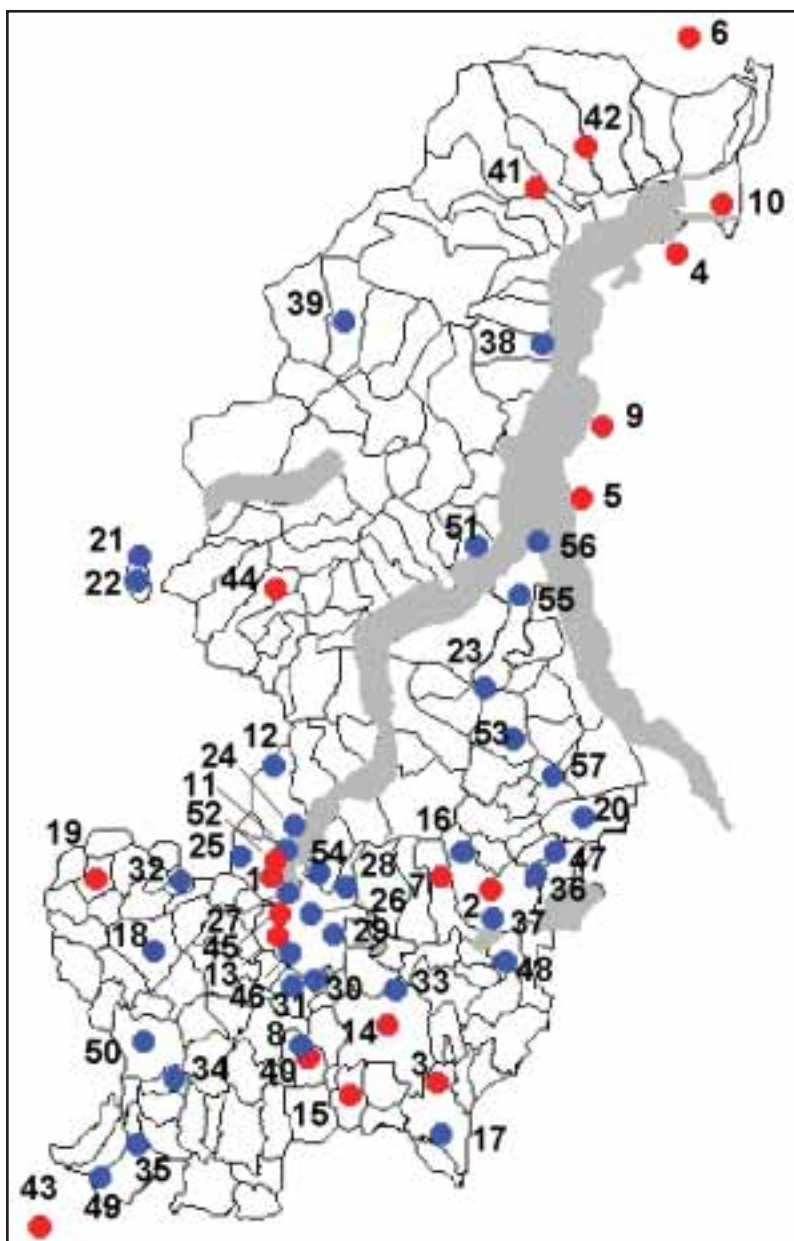


Figura 4.1 - Copertura del monitoraggio meteo-climatico sul territorio provinciale

Tabella 4.1 - Numerazione e denominazione stazioni monitoraggio

Ad una visione generale è da rilevare: l'alto numero di stazioni attive; una elevata frammentazione di Enti e Soggetti (pubblici e privati) titolari e/o gestori, raramente collegati tra loro; una distribuzione territoriale non sempre ottimale delle diverse stazioni, con situazioni locali di evidente sovrapposizione in aree strettamente limitrofe (es: Como). Quest'ultimo fatto è sintomo di un mancato coordinamento tra i diversi Soggetti e risulta in forte contrasto anche con i risultati e le proposte del recente "Piano Regionale di Qualità dell'Aria- PRQA (Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001) che invita ad una migliore ottimizzazione della disposizione spaziale delle strutture di monitoraggio, riducendone sensibilmente il numero attuale.

Nel dettaglio invece, situazioni di particolare "abbondanza" vanno rilevate soprattutto nella nell'area del capoluogo, priva tuttavia di stazioni in quota, importanti per lo studio della diffusione degli inquinanti in atmosfera. Aree con sufficiente copertura risultano la zona dell'Alto Lago (grazie anche alla disponibilità delle strutture che operano nelle provincie di Lecco e Sondrio: Varenna, Bellano, Colico, Samolaco e Fuentes) e le zone di pianura centro-meridionale (olgiatese, canturino ed erbese). Le situazioni più critiche vanno invece riferite, sistematicamente, alle altitudini elevate di tutto il territorio; ad esclusione di alcune stazioni di ENEL e Falck (alto lago), Comunità Montana Alpi Lepontine (San Nazzaro Val Cavargna), Comunità Montana Lario Intelvese (San Fedele Intelvi) e Centro Geofisico Prealpino (Monte San Primo), si rileva infatti una carenza cronica di dati relativi alle porzioni di territorio "montano" che, ricordiamo, rappresentano la maggior parte della Provincia di Como e rivestono un ruolo determinante nell'alimentazione e regolazione del sistema idrologico di tutta la Provincia. Una copertura insufficiente, o assente, è da

rilevare infine anche in alcune aree del centro lago: Menaggio, Tremezzo, Lezzeno, Faggeto Lario, Bellagio, ma con possibilità di riattivare alcune stazioni (es.: Bellagio), ridando vigore ad importanti serie storiche attualmente interrotte.

L'estremo margine meridionale della provincia di Como potrebbe infine essere ulteriormente caratterizzato sfruttando le strutture di monitoraggio poste nei Comuni limitrofi delle Province di Milano, Varese e Lecco.

L'analisi delle caratteristiche climatologiche di tutto il territorio potrebbe quindi essere sensibilmente migliorata sia nell'ipotesi di una completa disponibilità e condivisione di tutti i dati rilevati dalle stazioni attuali sia con l'installazione di alcune (poche) nuove stazioni, specie in aree strategiche e/o a quote elevate.

Riassumendo, gli aspetti positivi e negativi riferiti alla copertura attuale del monitoraggio possono essere così sintetizzati:

Positività:

- Numero di stazioni di monitoraggio più che sufficiente come rapporto stazioni/superficie del territorio provinciale;
- Caratteristiche strumentali delle singole stazioni, per la maggior parte di tipo elettronico/automatico e di recente installazione;
- Presenza di alcune reti locali (pubbliche e private) con buone capacità di comunicazione agli utenti (siti internet con aggiornamenti anche in tempo reale).

Negatività:

- Sovrabbondanza di strutture di monitoraggio in alcune aree locali;
- Mancanza di stazioni di monitoraggio in alcune aree (specie a quote elevate e nelle vallate);
- Abbandono di stazioni di monitoraggio in aree strategiche, dopo decenni di attività, con interruzione di serie storiche di

- elevato interesse scientifico;
- Mancanza di ispezioni, controllo e intercalibrazioni sulle singole stazioni;
- Non conformità alle norme internazionali dell' OMM;
- Mancanza di rilevamento di alcuni parametri meteo-climatici in aree strategiche (umidità relativa, neve, radiazione solare, tempo presente, fenomeni meteorologici);
- Incertezza sull'attendibilità e la qualità dei dati prodotti dalle singole stazioni di monitoraggio;
- Mancanza di serie storiche decennali informatizzate (per Como possibile dal 1921);
- Mancanza assoluta di coordinamento, pianificazione e collaborazione tra Enti/Soggetti diversi (pubblici e privati) sia a livello locale sia a livello regionale e interregionale;
- Scarsa partecipazione ad attività di ricerca a carattere territoriale regionale e nazionale;
- Scarsa comunicazione delle informazioni verso i settori pubblici e privati destinatari e utilizzatori dei dati di tipo meteo-climatico;
- Scarsa comunicazione e formazione sull'uso professionale corretto dei dati meteo-climatici.

4.3 CONSIDERAZIONI SULLA QUALITÀ E QUANTITÀ DELLE INFORMAZIONI DISPONIBILI

Omogeneità delle serie storiche di dati meteorologici

“La disponibilità di un'ampia base di dati meteorologici non costituisce di per sé condizione sufficiente per poter procedere ad una dettagliata ricostruzione dell'evoluzione del clima di una data località. E' infatti molto difficile che osservazioni raccolte da stazioni con strumenti e metodi spesso diversi tra loro

siano direttamente confrontabili. Ciò fa sì che, accanto ad una buona disponibilità di dati, una efficace ricostruzione del clima richieda anche strumenti conoscitivi che permettano di gestire i numerosissimi problemi connessi con l'analisi di medie e lunghe serie di osservazioni meteorologiche. Questi strumenti consistono in tecniche che permettano di valutare il grado di omogeneità delle serie di dati e in metodi che permettano di ridurre ad omogeneità le serie non omogenee.

Infatti una serie cronologica di un parametro climatico si definisce *omogenea* se le sue variazioni sono dovute unicamente alle modificazioni del tempo meteorologico e/o del clima (condizione ideale), di fatto invece è molto raro, se non impossibile, trovare serie di dati che siano totalmente esenti da disomogeneità. Le disomogeneità possono essere di vario tipo e sono accomunate dal fatto di introdurre fattori non climatici nelle serie. Esse si manifestano in due maniere fondamentali: con una discontinuità netta o con un *trend* graduale nel valore medio e/o nella varianza. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, le disomogeneità si manifestano con salti improvvisi nel valore medio che lasciano inalterati gli altri momenti statistici.

Da un punto di vista causale, le discontinuità sono dovute solitamente a modificazioni della stazione di rilevamento ben localizzate nel tempo. Con ciò si intendono: cambiamenti degli strumenti di misura, cambiamenti dei metodi di osservazione, spostamenti degli strumenti, la conoscenza più precisa di alcune costanti fisiche e l'utilizzo di formule diverse per normalizzare i dati o, ad esempio, per calcolare la media giornaliera. La deviazione prodotta da questi cambiamenti può essere sempre positiva o sempre negativa, oppure può essere casuale, come avviene nel caso di spostamenti dello strumento. Le variazioni graduali, invece, possono avvenire a causa di modificazioni delle condizioni ambientali: ad

esempio, l'ampliamento di una città intorno alla stazione di misura o l'eliminazione della vegetazione intorno alla stazione.

Nel caso dell'urbanizzazione, ci si potrebbe chiedere se il suo effetto sia estraneo o meno alle variazioni climatiche e, quindi, se debba intendersi o meno come fattore di disomogeneità. Di fatto, una città modifica in maniera "non naturale" il sito in cui è posta e, quindi, le sue proprietà climatiche; d'altra parte, è discutibile cercare di conoscere i parametri climatici di quel sito come se la città non ci fosse. E' chiaro che questo è un problema molto ampio, legato alla definizione generale che si dà di clima; problema, per il quale non c'è una risposta univoca.

A prescindere dalla loro origine, tutte le disomogeneità hanno un importante aspetto in comune: esse "possono nascondere" i veri segnali climatici e andrebbero pertanto eliminate prima di procedere all'analisi dei dati. L'operazione per la quale si eliminano le disomogeneità prende il nome di omogeneizzazione.

Tuttavia è importante sottolineare che l'omogeneizzazione di una serie meteorologica è una operazione molto delicata e complessa; la procedura di omogeneizzazione restituisce alla serie una "omogeneità relativa" (cioè, la serie corretta mostra un andamento in linea con quello di serie provenienti da stazioni vicine), cosa che è ben diversa dall'omogeneità "vera". Infine, a livello operativo, l'omogeneizzazione è sempre condotta rispetto ad un periodo della serie. In sostanza, si rendono omogenei tutti i valori con quelli di un certo intervallo temporale, generalmente il più affidabile, spesso il più recente (in maniera da facilitare il successivo aggiornamento della serie). I dati vengono corretti in maniera tale che appaiano come se fossero sempre stati osservati sotto le condizioni operative esistenti nel periodo di riferimento. Ciò equivale ad una perdita di informazioni dirette sui periodi precedenti. L'omogeneizzazione, dunque, presenta dei

"costi", ma l'alternativa è possedere dei dati non confrontabili e, quindi, non in grado di fornire indicazioni climatiche realistiche, soprattutto per le analisi a lungo termine".

(Nota: queste considerazioni sono suggerite e tratte dallo studio "Il riscaldamento del nostro pianeta: la situazione italiana con particolare riferimento alla Regione Lombardia e alla città di Milano", Maurizio Maugeri ed Elisabetta Mazzucchelli, CUSL, 2003)

Nell'ambito di questo studio provinciale, su tutte le basi dati informatizzate rese disponibili dai diversi Soggetti, non sono state effettuate operazioni di **omogeneizzazione** ma esclusivamente di pulitura e, a volte, di parziale integrazione di alcuni dati errati e/o mancanti (generalmente orari, semiorari, a volte giornalieri, raramente mensili). Non è stato possibile inoltre visionare la collocazione di tutte le singole stazioni per verificare la loro corretta corrispondenza, o meno, con i parametri suggeriti dalle Organizzazioni Internazionali (WMO).

I dati utilizzati per le diverse elaborazioni sono quindi "in forma originale" e potrebbero essere viziati da possibili errori dovuti sia alle caratteristiche dei sensori (mancata manutenzione o vetustà) sia alla non corretta posizione della stazione (influenze negative di tipo urbanistico e/o vegetazionale).

Per garantire a tutti gli operatori del settore una sorta di "certificazione di qualità" del dato da loro prodotto (metadato), sarebbe fondamentale riattivare, come già avveniva in passato, sistematiche "**ispezioni in sito**", finalizzate alla verifica dell'**attendibilità** dei dati prodotti dalle singole stazioni, alla valutazione della valenza delle singole stazioni vista alla scala territoriale provinciale e/o regionale e all'impostazione di una opportuna fase di **intercalibrazione** comune per un periodo temporale prestabilito (es. un anno).

5

Criteria di elaborazione e restituzione dei dati

Il procedimento di trattamento ed elaborazione dei dati è stato uguale per tutte le stazioni considerate anche se i dati, forniti da Enti diversi, sono pervenuti, spesso, in formati differenti. Le stazioni gestite in passato direttamente dalla Provincia di Como (ora ARPA Lombardia), per esempio, rilevano i dati con una frequenza oraria, mentre quelli forniti dall'ERSAF sono mediati sulle 24 ore.

I risultati finali sono stati quindi uniformati per tutte le stazioni analizzate, ad eccezione delle precipitazioni, per le quali è stato possibile calcolare il tempo di ritorno degli eventi estremi solo per quelle stazioni che restituiscono i dati con frequenza oraria.

5.1 PRECIPITAZIONE

Le stazioni di monitoraggio delle precipitazioni, utilizzate in questo studio (cfr. *Figura 5.1*), sono venti (20), da nord a sud: Samolaco (SO)(n.6), Gorghiglio (n.42), Regea (n.41), Fuentes (LC) (n.10), Colico (LC) (n.4), Bellano (LC) (n.9), Varenna (LC) (n.5), San Fedele Intelvi (n.44), Valmorea (n.19), Como-Villa Gallia (n.1), Como-Villa Olmo (solo per serie storica)(n.52), Como-Municipio (solo per serie storica)(n.45), Como-Rebbio (n.13), Albavilla (n.7), Erba (n.2), Cantù-Selvaregina (n.14), Vertemate con Minoprio (n.40), Mariano Comense (n.3), Carimate (n.15), Castellanza (VA)(n.43).

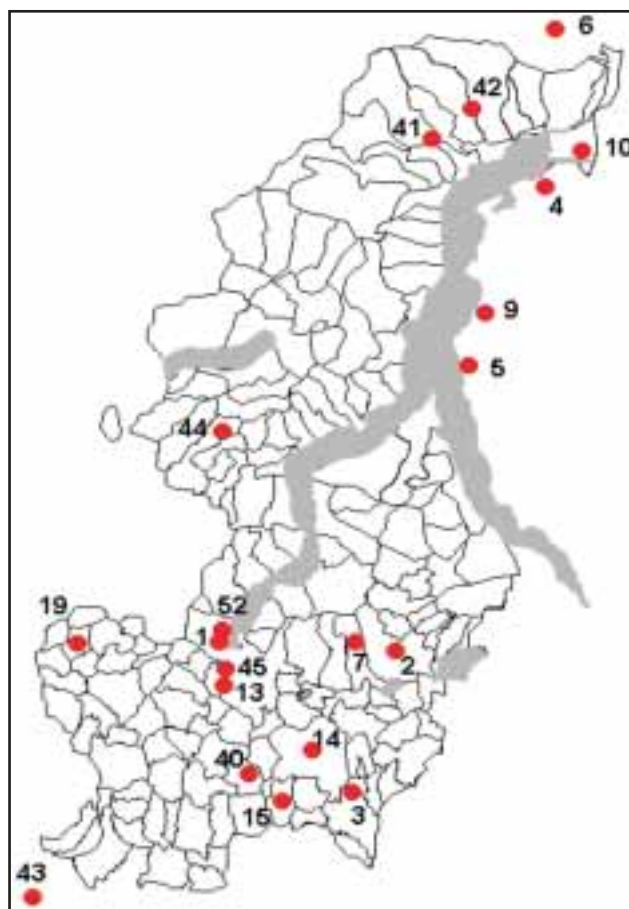


Figura 5.1 - Stazioni meteorologiche: parametro precipitazione

Per le stazioni gestite dall'ARPA, nel momento in cui lo strumento di misura non riconosce l'informazione o un agente esterno ne influenza la validità, il sistema di acquisizione del dato sostituisce l'osservazione con un valore di default. In questo caso nei dati viene riportato automaticamente il valore 9999. Per evitare che tale valore vada ad influenzare i vari algoritmi di elaborazione, si è sostituito il numero 9999 con la stringa di testo:

“N.D.” = Non Disponibile

Questo accorgimento permette di non considerare il valore 9999 in sé, ma nemmeno di influenzare i risultati ottenuti nel processo di media dei valori.

Limitatamente ad alcune stazioni dove il singolo dato mensile di precipitazione è risultato a volte incompleto o addirittura mancante, si è provveduto ad una operazione di integrazione/correzione, ponendo il valore mensile

uguale a quello rilevato nella stazione più vicina (per posizione geografica, altitudine e confronto con i valori misurati in altri periodi). Quando questa operazione non è stata possibile, per mancanza di idonee stazioni di riferimento, il dato non è stato corretto ed il valore non compare quindi nelle elaborazioni. Con questa operazione è stato così possibile completare il quadro analitico di alcune stazioni di particolare interesse e ubicazione, senza peraltro commettere errori significativi proprio perché le stazioni utilizzate per l'integrazione presentano valori statisticamente assai simili.

In particolare le integrazioni hanno riguardato le seguenti stazioni:

Gorghiglio con Regea (e viceversa)

Samolaco e Fuentes con Colico

Bellano con Varenna

Erba con Albavilla (e viceversa)

Minoprio con la media delle stazioni di Cantù, Mariano Comense e Castellanza.

Le tabelle 5.A.1.1. e 5.A.1.2 riportate in Appendice riassumono quindi i dati totali annuali e stagionali, evidenziando in giallo i valori delle singole stazioni parzialmente ricostruiti per integrazione con i valori di stazioni limitrofe ed in arancione i valori non disponibili e/o non confrontabili con aree vicine e pertanto non considerati nelle elaborazioni di questo studio.

In seguito a questa prima fase di "filtraggio" si è proceduto all'elaborazione vera e propria.

Per le precipitazioni sono state calcolate l'**altezza di pioggia massima caduta in un giorno**, l'**altezza di pioggia media e massima caduta mensilmente e annualmente**.

Inoltre, dove i dati lo consentivano, si è valutata l'**intensità di pioggia oraria massima**, l'**andamento della sua frequenza cumulata** e le **percentuali di accadimento di un evento orario**. Un'ulteriore elaborazione è stata la determinazione dei **giorni totali di assenza di**

piogge ed i periodi consecutivi più lunghi in cui non ha piovuto.

I dati elaborati sono riassunti anche come **altezze totali medie e massime mensili**, **altezze medie annuali e altezza di pioggia massima nelle 24 ore**.

Ove possibile, infine, ricavate le altezze critiche per le diverse durate di evento di precipitazione, si è proceduto alla stima dei parametri della distribuzione di Gumbel, che permette di calcolare i **tempi di ritorno di eventi estremi**.

Tramite questi parametri e assumendo che la frequenza campionaria segua il modello di Gumbel, cioè:

$$F(h, a^*, b^*) = e^{-e^{-(h-a)/b^*}}$$

si può ottenere l'altezza di pioggia critica per determinate durate e tempi di ritorno, invertendo la funzione di distribuzione:

$$H^*(T) = b^* - a^* \log\{\log[T/(1-T)]\}$$

I parametri a^* e b^* vengono calcolati per ogni durata di precipitazione considerata,

$$a^* = [\sqrt{6/\pi}] \cdot \sqrt{\text{var}[H^*]}$$

$$b^* = \mu - 0,5772 \cdot a^*$$

dove:

- $\text{var}[H^*]$ varianza delle altezze massime per ogni durata

- μ media delle altezze massime per ogni durata

Per mezzo di questa formula si sono ricostruite le tabelle dei tempi di ritorno che considerano le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore e tempi di 20, 50, 100, 150 e 200 anni.

Nota: Per le applicazioni pratiche di questo importante parametro, si sottolinea che, a causa della limitatezza del periodo temporale considerato (1990-2002) i valori ottenuti assumono significatività solo per tempi di ritorno non superiori a 20 anni, necessitando di serie di dati almeno cinquantennali per tempi di ritorno superiori (50, 100, ecc.).

Tutti i risultati delle elaborazioni relative alle precipitazioni sono illustrati in **APPENDICE DATI** secondo il seguente schema:

Tabella 5.A.1.1	Altezze annuali di precipitazioni
Tabella 5.A.1.2	Altezze stagionali di precipitazioni
Tabelle 5.A.2.1 - 5.A.2.18	Precipitazione mensile media e massima, precipitazione annua media e massima, precipitazione massima in 24 ore e in 1 ora
Grafici 5.A.2.1 - 5.A.2.18	Andamento precipitazione media mensile
Tabelle 5.A.3.1 - 5.A.3.3	Altezze massime di precipitazione verificabili con tempi di ritorno di 20, 50, 100, 150 e 200 anni
Tabelle 5.A.4.1 - 5.A.4.14	Giorni con assenza di precipitazione
Tabella 5.A.5.1	Serie storica delle precipitazioni a Como (1921-2002)
Grafico 5.A.5.1	Serie storica delle precipitazioni a Como (1921-2002)

5.1.1 Precipitazioni nevose

Nell'ambito di questo studio non è stato possibile rilevare dati sistematici e/o informazioni sufficientemente dettagliate relative alle caratteristiche del manto nevoso (presenza, consistenza, durata). Si riportano pertanto alcune informazioni di carattere regionale generale, tratte dalla relazione "Caratteristiche climatiche generali", G. Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001. "Il manto nevoso ha in genere carattere persistente. Le date d'inizio e di fine della copertura nevosa sono per lo più in funzione dell'altitudine. Sui versanti soleggiati lo scioglimento delle nevi è naturalmente più rapido. In generale si può dire che a 1500 m la copertura di neve incomincia a novembre e si prolunga fino alla seconda metà di aprile. Alla quota di 2000 m il manto nevoso compare ad ottobre e termina a giugno. Si rileva anche, specie al di sotto dei 1500 m, una diversità tra le Alpi occidentali e quelle centro-orientali; sulle prime il manto nevoso ha una durata alquanto inferiore che nelle seconde.

La configurazione orografica è un fattore che influisce considerevolmente sulla durata della copertura nevosa; le profonde vallate

longitudinali come la Valtellina sono soggette soltanto a coperture nevose di breve durata mentre i versanti che si trovano più frequentemente sopravvento sono soggetti a coperture di neve persistenti molto a lungo.

Un altro elemento decisivo, che influisce particolarmente sulla persistenza del manto nevoso nelle vallate è la maggiore o minore insolazione in primavera. Vi sono versanti quasi costantemente in ombra; può accadere in primavera, che su questi ultimi il manto nevoso si conservi ancora intatto quando sui versanti soleggiati la neve si è già sciolta fino a 1500-2000 metri.

Lo spessore del manto nevoso dipende per lo più dalla quantità delle precipitazioni invernali; le Dolomiti e le Alpi Giulie che sono più piovose presentano coperture di neve più spesse. Infine si ricorda che lo strato di neve al suolo è più alto tra i 500 m ed i 2000 m, tra quote cioè in cui le precipitazioni sono più abbondanti.

Per quel che riguarda l'andamento nel tempo si tenga presente che l'accrescimento dello strato di neve al suolo è graduale nella stagione fredda, raggiungendo il massimo in corrispondenza al forte aumento delle precipitazioni primaverili, appena qualche settimana prima che si inizi la fusione delle nevi.

Quest'ultimo fenomeno, contrariamente all'accrescimento del manto nevoso, avviene molto rapidamente.

La fusione delle nevi avviene in genere in maniera poco regolare. Periodi prolungati di correnti di foehn possono determinare straripamenti di corsi d'acqua ed impraticabilità del suolo. Nelle stagioni intermedie poi l'alternativa solidificazione e fusione delle acque del sottosuolo determina frequenti frane e valanghe".

5.2 TEMPERATURE DELL'ARIA

Le stazioni di monitoraggio delle temperature utilizzate in questo studio (cfr. *Figura 5.2*) sono quindici (15), da nord a sud: Samolaco (SO)(n.6), Gorghiglio (n.42), Regea (n.41), Colico (LC) (n.4), Bellano (LC) (n.9), San Fedele Intelvi (n.44), Valmorea (n.19), Como-Villa Gallia (n.1), Como-Villa Olmo (solo per serie storica)(n.52), Como-Municipio (solo per serie storica)(n.45), Como-Rebbio (n.13), Erba (n.2), Vertemate con Minoprio (n.40), Mariano Comense (n.3), Carimate (n.15), Castellanza (VA)(n.43).

I dati disponibili sono giornalieri, perciò è stato possibile determinare solo le **temperature medie, minime e massime giornaliere**, per ogni **me**se, e le **medie per decenni** (dove possibile). Per quanto riguarda le **temperature minime e massime**, sono comunque riportati anche i valori estremi: minimi e massimi. È stata inoltre calcolata anche l'**escursione termica giornaliera**.

Tutte le informazioni sono state mediate su base mensile e riportate in tabelle riassuntive per ogni stazione (cfr. *Tabelle in Appendice*).

Anche per il parametro temperatura, limitatamente ad alcune stazioni dove il singolo dato mensile di temperatura media è risultato a volte incompleto o mancante, si è provveduto

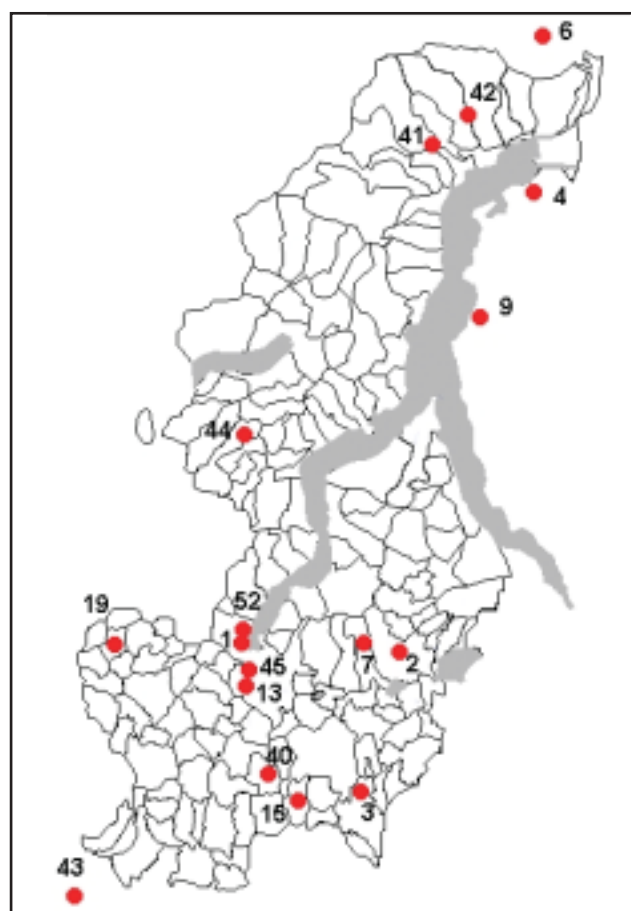


Figura 5.2 - Stazioni meteorologiche: parametro temperatura

ad una operazione di correzione/integrazione, ponendo il valore medio mensile uguale a quello rilevato nella stazione più vicina (per posizione geografica, altitudine o per analogia di valori osservati in altri periodi). Quando questa operazione non è stata possibile per mancanza di idonee stazioni di riferimento, il dato non è stato corretto ed il valore non compare quindi nelle elaborazioni. Con questa operazione è stato così possibile completare il quadro analitico di alcune stazioni di particolare interesse e ubicazione, senza peraltro commettere errori significativi proprio perché le stazioni utilizzate per l'integrazione presentano valori statisticamente assai simili.

In particolare le integrazioni hanno riguardato le seguenti stazioni:

Gorghiglio con Regea (e viceversa)

Samolaco con Colico o Bellano (e viceversa)

San Fedele con Regea

Como-Rebbio con Como-Villa Gallia o Erba
 Erba con Albavilla
 Minoprio con Castellanza
 Mariano Comense con Carimate

Solo per l'anno 2002 i valori di Como Villa Gallia (non disponibili da gennaio a luglio) sono stati ricavati in base alle differenze osservate statisticamente con la stazione di Como Rebbio.

Le tabelle 5.B.1.1 e 5.B.1.2 (in Appendice) evidenziano quindi in giallo i valori delle singole stazioni modificati per integrazione con i valori di stazioni limitrofe ed in arancione i valori non disponibili e/o non confrontabili con aree vicine e pertanto non considerati nelle elaborazioni di questo studio.

Tutti i risultati delle elaborazioni relative alla temperatura sono illustrati in APPENDICE secondo il seguente schema:

Tabella 5.B.1.1	Temperature medie mensili
Tabella 5.B.1.2	Temperature medie stagionali
Tabelle 5.B.2.1 - 5.B.2.15	Andamento temperatura mensile media, minima (media ed estrema), massima (media ed estrema) ed escursioni termiche giornaliere (medie ed estreme)
Grafici 5.B.2.1 - 5.B.2.15	Andamento temperatura mensile media, minima (media ed estrema), massima (media ed estrema)
Grafico 5.B.3	Serie storica delle temperature medie annuali a Como (1924 - 2001)

5.3 UMIDITÀ RELATIVA

L'umidità relativa è rilevata dalle stazioni di Samolaco (SO)(n.6), Como-Villa Gallia (n.1), Albavilla (n.7), Erba (n.2) e Castellanza (VA)(n.43) (cfr. *Figura 5.3*).

Si è proceduto alla determinazione dell'**andamento medio mensile** e dove possibile sono stati calcolati i **valori minimi medi e massimi medi**. Il valore dell'umidità relativa media è determinato giornalmente, così come i valori minimi e massimi giornalieri. Creati questi campioni, sono state calcolate le **medie mensili e i valori minimi e massimi medi**. Alcuni enti, tuttavia, forniscono dati già mediati, non consentendo la determinazione delle medie dei minimi e dei massimi.

Per l'umidità relativa, espressa in percentuale, viene quindi prodotta una sola tabella che riassume i **valori medi mensili** di tutte le stazioni analizzate.



Figura 5.3 - Stazioni meteorologiche: parametro umidità relativa

Tutti i risultati delle elaborazioni relative all'umidità relativa sono illustrati in APPENDICE secondo il seguente schema:

Tabella 5.C.1	Umidità relativa mensile ed annua media
Grafici 5.C.1 - 5.C.5	Umidità relativa mensile media

5.4 VELOCITÀ E DIREZIONE DEL VENTO

Le stazioni utilizzate (cfr. *Figura 5.4*) sono quelle di Colico (LC) (n.4), Como-Villa Gallia (n.1), Erba (n.2) e Mariano Comense (n.3) che dispongono di entrambi i dati (velocità e direzione). La stazione di Samolaco (SO) (n.6) rileva invece solamente il parametro velocità.

La velocità del vento è espressa in m/s, mentre la direzione del vento è indicata in gradi sessagesimali, ponendo lo zero al Nord e ruotando in senso orario.

Le due grandezze sono mediate sull'ora, perciò i dati di cui si dispone non descrivono correttamente i valori massimi della velocità, dovuti alle raffiche di vento, e le direzioni che hanno assunto in tali casi. Anche per questo non si è proceduto al calcolo delle velocità massime. I dati disponibili permettono comunque di valutare la percentuale, sul totale delle ore misurate, delle ore con vento di calma e delle ore con direzione variabile.

Associando alla determinata ora di un determinato giorno il valore della velocità media oraria e la direzione media oraria, si sono potute ricostruire le diverse rose dei venti (cfr. Appendice).

Sono state definite quattro classi di velocità, ripartendo i valori orari con velocità del vento inferiore a 1 m/s, compresa fra 1 e 2 m/s, compresa fra 2 e 4 m/s, superiore a 4 m/s, individuando i regimi anemologici esistenti in una determinata zona e gli eventuali regimi delle brezze.

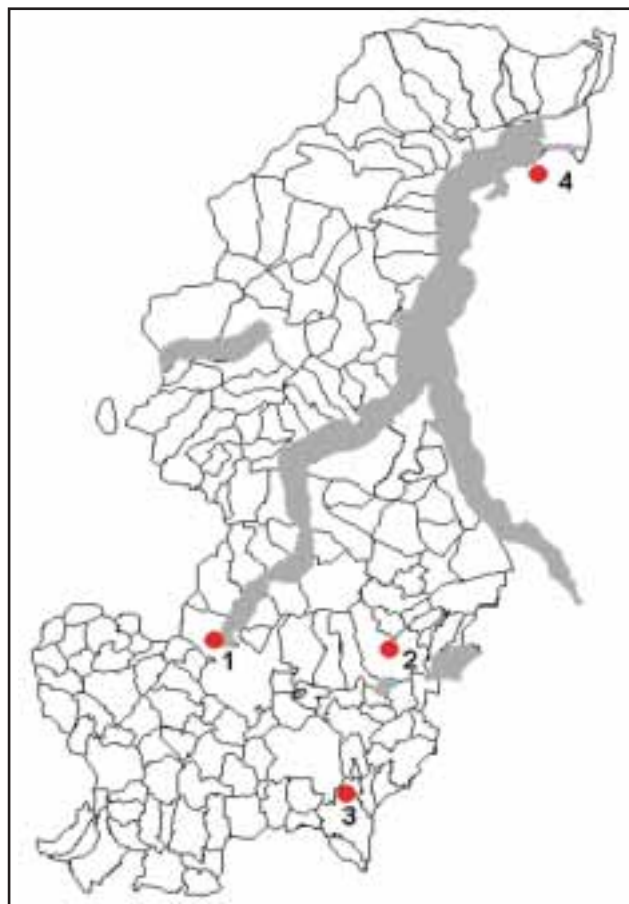


Figura 5.4 - Stazioni meteorologiche: parametro direzione e velocità del vento

Creati i quattro gruppi di velocità, sono stati attribuiti a ciascun gruppo la direzione dei venti più frequentemente assunta. Suddivisa la rosa dei venti in sedici settori (N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW); sono state infine determinate per ogni mese le diverse frequenze di direzione. Le elaborazioni sono state eseguite per ogni mese al fine di risaltare i cicli, all'interno di un anno, del regime anemologico.

Tutti i risultati delle elaborazioni relative alla velocità e direzione del vento sono illustrati in APPENDICE secondo il seguente schema:

Tabelle 5.D.1.1 - 5.D.4.12 Frequenza di accadimento media mensile per classe di velocità e per direzione

Grafici 5.D.1.1 - 5.D.4.12 Rosa dei venti mensile

5.5 RADIAZIONE SOLARE

Le stazioni meteorologiche che rilevano la radiazione solare incidente sono quelle di Samolaco (SO) (n.6), Como-Villa Gallia (n.1) ed Erba (n.2) (cfr. *Figura 5.5*).

Il numero limitato di stazioni non consente quindi la predisposizione di un quadro sufficientemente rappresentativo dell'intera situazione provinciale.

I dati forniti dalle centraline di Como ed Erba vengono misurati su base oraria, mentre quelli di Samolaco sono restituiti come media giornaliera. Perciò solo per le prime due stazioni è stato possibile studiare l'andamento orario medio della radiazione solare per il giorno medio di ogni mese, notando la distribuzione della variazione di ore di luce ed altri fenomeni correlati.

Viene inoltre proposto il calcolo della radiazione media nelle diverse ore del giorno, per ogni mese, permettendo di ricostruire la **variazione della radiazione oraria incidente nel corso dell'anno**. I dati ottenuti vengono confrontati con i valori elaborati da ENEA per l'area di Como (dati di riferimento delle normative italiane).

L'unità di misura usata nell'elaborazione è sempre il MJ/m².

Nelle tre stazioni meteorologiche utilizzate, utilizzando il programma "Solar 1", si è calcolato inoltre il valore teorico della radiazione solare incidente su superfici orientate e inclinate di determinati angoli. Il programma acquisisce i dati riguardanti la latitudine del

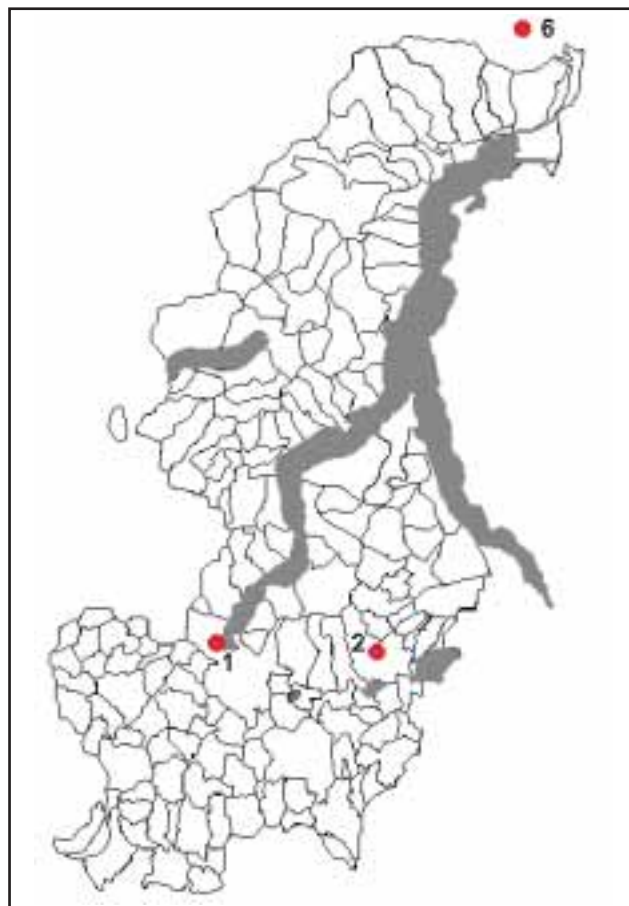


Figura 5.5 - Stazioni meteorologiche: parametro radiazione solare

punto e la radiazione media giornaliera incidente sul piano orizzontale, per poi restituire i valori della **radiazione su superfici orientate fra Est e Ovest e inclinate fra 0° e 90°**. L'Est e l'Ovest assumono rispettivamente valore di -90° e di +90°, avendo posto il Sud a 0°. L'inclinazione varia dal piano orizzontale (0°) al piano verticale (90°).

Inseriti i valori della radiazione incidente sulla superficie orientata a Sud e inclinata di 0°, si è calcolato, per ogni orientamento, la **radiazione solare teorica sul piano alle incli-**

nazioni di 30°, 45°, 60° e 90°, ottenendo una tabella di valori estremamente utile per la collocazione ottimale (orientamento e inclinazione) dei pannelli fotovoltaici, potendo confrontare i diversi valori che la radiazione solare

assume alle differenti disposizioni del piano.

Tutti i risultati delle elaborazioni relative alla radiazione solare sono illustrati in APPENDICE secondo il seguente schema:

Tabelle 5.E.1.1 – 5.E.1.3	Andamento mensile radiazione solare incidente
Grafici 5.E.1.1 – 5.E.1.3	Andamento mensile radiazione solare incidente
Tabelle 5.E.2.1 – 5.E.2.2	Andamento orario radiazione solare incidente
Grafici 5.E.2.1 – 5.E.2.2	Andamento orario radiazione solare incidente

5.6 SCARICHE ATMOSFERICHE

Per quanto riguarda le scariche atmosferiche si sono acquisiti i dati direttamente dal CESI: Comitato Elettrotecnico Sperimentale Italiano, con sede a Milano. Tramite il SIRF (Sistema Italiano di Rilevamento Fulmini) le strutture del CESI registrano in tempo reale la posizione e la polarità dei fulmini. Il sistema rileva i fulmini di tipo nube-suolo e, tramite una rete di telecomunicazione, invia i dati direttamente al centro operativo o eventualmente verso i clienti finali. Il Centro operativo CESI elabora e fornisce i seguenti dati di fulmine: ora di accadimento; luogo; ampiezza della corrente; polarità della corrente; colpi successivi; densità.

La conoscenza della probabilità di fulminazione é utilizzata dalla norma CEI 81-1 per il dimensionamento e l'utilizzo dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

Alcune rappresentazioni di eventi di fulminazione con relativi intervalli temporali e polarità a differenti scale spaziali (territorio regionale, provinciale e all'area intercomunale di Como) sono illustrati in APPENDICE: Figure 5.E.1.1 - 5.E.1.3.

5.6 TEMPERATURE DELLE ACQUE LACUSTRI

Le temperature delle acque dei laghi, pur non essendo annoverate tra i parametri climatici in senso stretto, sono ad essi direttamente associate e rappresentano un fattore di conoscenza importante nel campo delle scienze applicate al territorio (cfr. 3.2).

Nell'ambito di questo studio vengono quindi fornite una serie di indicazioni utili tratte da studi di limnologia, reperiti in bibliografia.

I dati si riferiscono a temperature delle acque, rilevate a diverse profondità ed in periodi stagionali differenti. Per il Lago di Como sono disponibili dati relativi alle stazioni di misura di: Argegno, Colico, Como, Lecco, Lierna e Menaggio; mentre per il Lago di Lugano le informazioni si riferiscono alla centrale di monitoraggio di Gandria (CH), che è la più vicina al territorio provinciale comasco.

Per i laghi minori vengono riportate solo le informazioni disponibili, spesso riferite solo a valori medi, minimi o massimi.

Tutti i risultati delle elaborazioni relative alle temperature delle acque dei laghi sono illustrati in APPENDICE secondo il seguente schema:

Tabella 5.G.1	Principali caratteristiche termometriche dei laghi della Provincia di Como
Tabelle 5.G.2.1 - 5.G.2.6	Profili termici delle acque del lago di Como, stazioni di: Como, Argegno, Menaggio, Colico, Lierna, Lecco

6

Particolarità climatiche del territorio della provincia di Como

L'analisi e la comparazione dei risultati ottenuti dalle elaborazioni dei dati rilevati nelle diverse stazioni di monitoraggio consentono di evidenziare alcune similitudini e/o differenze tra aree omogenee del territorio provinciale. Il criterio d'individuazione delle zone omogenee è il confronto dei valori (medi annui, stagionali o mensili) caratterizzanti ogni stazione meteorologica, tenendo in considerazione anche la posizione geografica e, soprattutto, quella altimetrica. I limiti provinciali costituiscono le aree più difficili da classificare, non avendo un numero sufficiente di stazioni che permettano di valutare correttamente "le condizioni al contorno".

Ovviamente, ciascuna grandezza elaborata ha dei valori e delle tipologie differenti di classificazione: le precipitazioni sono classificate secondo le piogge medie annue e stagionali; per le temperature sono valutati gli andamenti medi stagionali; la zonizzazione proposta per l'umidità relativa considera solo i valori medi annui; lo studio dei venti non permette una suddivisione territoriale, ma localizza in ogni punto di misura una particolare direzione dominante durante un mese estivo ed uno invernale; per la radiazione solare, infine, si riconduce tutto al valore medio mensile e annuo.

6.1 PRECIPITAZIONE

Lo studio della distribuzione territoriale delle precipitazioni prende in considerazione l'altezza annua di pioggia e le quattro altezze stagionali rilevate nel periodo utile (1991-2002), anche se solo per gli anni più recenti è possibile un confronto omogeneo tra più stazioni presenti sul territorio.

Le stazioni di misura considerate (cfr. *Figura 6.1*) sono, da nord a sud: Samolaco (SO)(n.6), Gorghiglio (n.42), Regea (n.41), Fuentes (LC) (n.10), Colico (LC) (n.4), Bellano (LC) (n.9), Varenna (LC) (n.5), San Fedele Intelvi (n.44), Valmorea (n.19), Como - Villa Olmo (solo per

serie storica)(n.52), Como-Municipio (solo per serie storica)(n.45), Como-Rebbio (n.13), Albavilla (n.7), Erba (n.2), Cantù-Selvaregina (n.14), Vertemate con Minoprio (n.40), Mariano Comense (n.3), Carimate (n.15), Castellanza (VA)(n.43). La stazione di riferimento è quella di Como - Villa Gallia (n.1).

Si ricorda che per alcune stazioni il dato mensile, originariamente parziale o mancante, è stato integrato con quello delle stazioni più vicine per posizione geografica e/o altimetria (cfr. *Tabella 5.A.1.1, 5.A.1.2, 6.1, 6.2*).

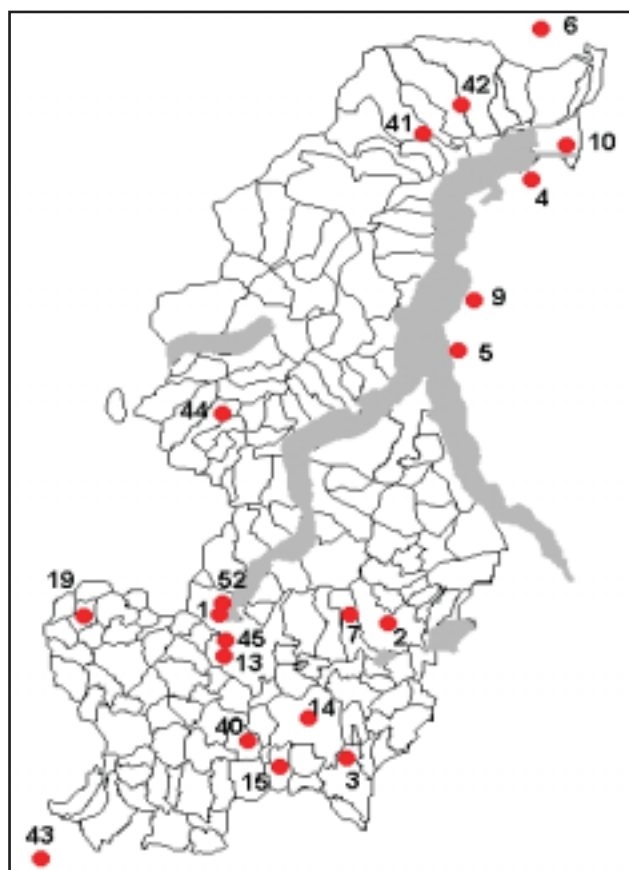


Figura 6.1 - Ubicazione stazioni per confronto delle precipitazioni medie annue e stagionali (1991-2002)

I risultati delle elaborazioni vengono espressi in due forme distinte:

- **indici annuali:** rapporto fra il valore annuale di precipitazione della stazione considerata e il valore dello stesso anno rilevato a Como Villa Gallia (stazione di riferimento con indice posto uguale ad 1).

• **indici stagionali:** rapporto fra il valore stagionale di precipitazione di ogni singolo anno (nel periodo utile dal 1991 al 2002) della stazione considerata e il valore della stessa stagione rilevato a Como Villa Gallia (stazione di riferimento con indice posto uguale ad 1).

Le stagioni vengono considerate come segue:

- inverno: mesi di dicembre, gennaio, febbraio;
- primavera: mesi di marzo, aprile, maggio;
- estate: mesi di giugno, luglio, agosto;
- autunno: mesi di settembre, ottobre, novembre.

6.1.1 Indici annuali

Variabilità (coerenza) temporale

Il grafico di Figura 6.2 evidenzia una sostanziale omogeneità nelle variazioni annuali di precipitazione rilevate nelle diverse aree del territorio provinciale. L'alternanza tra anni particolarmente piovosi (es. 1996, 2000, 2002) o meno piovosi (1991, 1995, 1997, 2001) è infatti rispettata da tutte le stazioni osservate. Particolarmente significativo è l'esempio degli ultimi tre anni (2000-2001-2002).

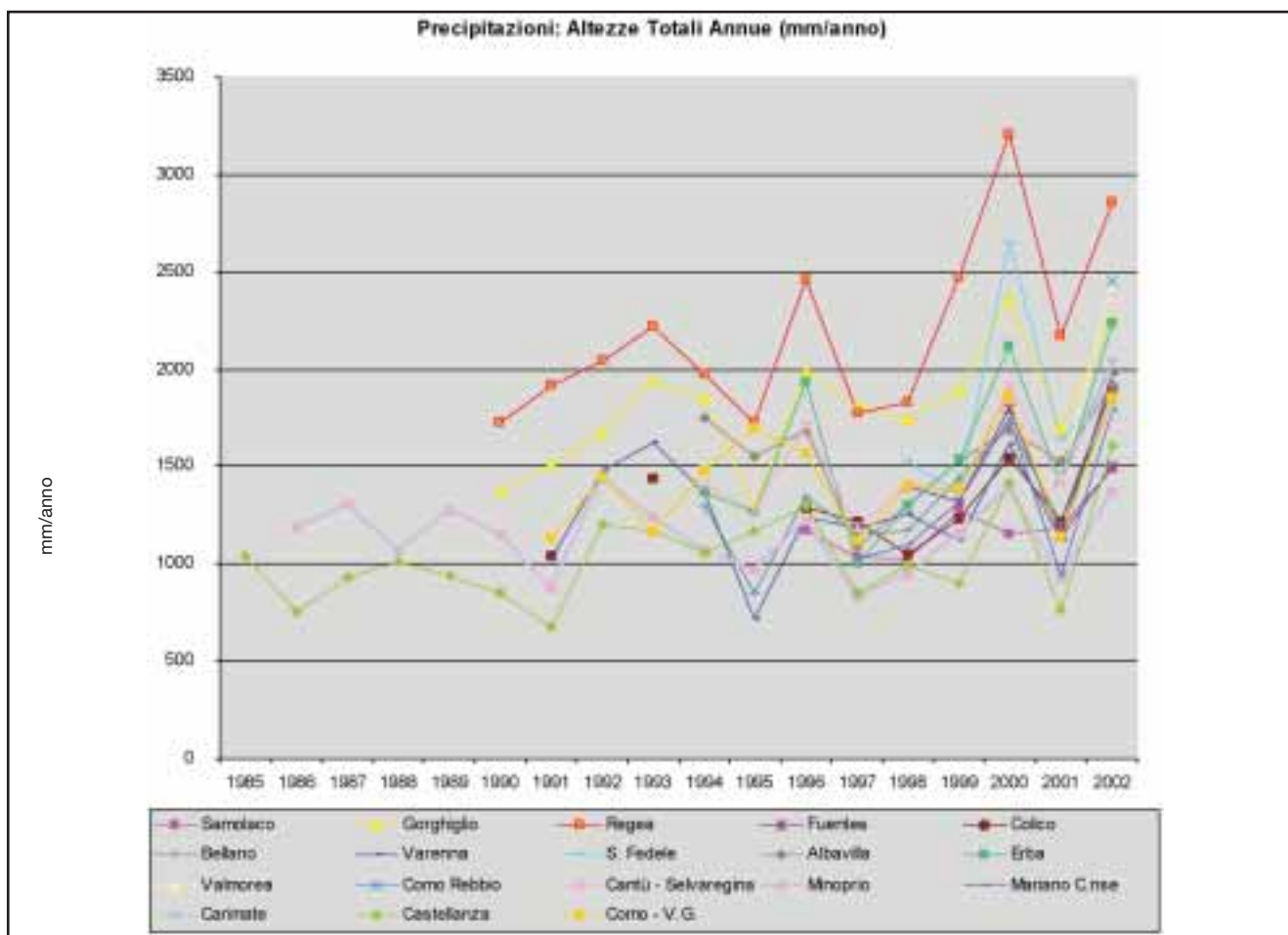


Figura 6.2 - Andamento precipitazioni totali annue (1985-2002)

Variabilità (coerenza) spaziale

I valori di precipitazione annuale, espressi come indice normalizzato rispetto al valore di Como-Villa Gallia (stazione di riferimento) evidenziano invece sensibili variazioni in relazione alla latitudine, alla orografia del territorio e,

soprattutto, alla quota delle diverse stazioni.

Le Tabelle 6.1 e 6.2 riportano i valori annuali di precipitazione e gli indici normalizzati annuali e le Figura 6.3 - 6.16 illustrano i diversi andamenti ed i rapporti tra le diverse stazioni per ogni anno considerato nel periodo 1991-2002.

Altezze di pioggia annuali [mm/anno]																		
Anno	Samolaco	Gorghiglio	Regea	Fuentes	Colico	Bellano	Varenna	San Fedele	Valmorea	Como Rebbio	Albavilla	Erba	Cantù - Selvaregina	Minoprio	Mariano Comense	Carimate	Castellanza	Como - Villa Gallia
1991		1513,0	1919,0		1044,7		1028,6							874,2			680,0	1132,7
1992		1675,5	2046,0				1479,7							1437,6			1200,0	1449,1
1993		1939,3	2217,0		1440,4		1619,0							1244,0			1173,0	1158,6
1994		1854,0	1972,0			1294,6	1362,7				1747,1	1370,4	1404,0	1069,6			1055,0	1478,4
1995		1284,0	1723,0			852,4	719,8				1554,2	1261,6	1273,0	974,1			1171,0	1692,6
1996	1168,8	1988,0	2457,0		1289,6	1341,8	1239,4				1687,2	1934,0	1707,0	1227,9			1300,0	1568,4
1997	1034,4	1811,0	1774,0		1215,4	1149,6	1185,0				1088,2	1001,8	1192,0	823,5	1026,6		854,0	1113,4
1998	1027,8	1746,0	1827,0	1398,8	1053,8	1172,2	1256,6	1524,8			1305,6	1295,0	1405,0	950,4	1094,0		997,0	1401,2
1999	1276,6	1893,5	2472,0	1322,8	1230,4	1442,0	1125,2				1534,7	1536,8	1368,0	1156,2	1319,2		899,0	1386,2
2000	1154,8	2359,5	3205,0	1799,0	1546,8	1717,7	1616,2	2650,8			1685,0	2116,2	1920,2	1390,2	1744,8		1417,0	1858,4
2001	1181,4	1697,8	2175,4	1137,2	1216,2	1209,4	1126,4	1642,4	1407,8	1370,2	1527,9	1402,2	1409,4	924,1	942,4	1467,3	764,0	1140,4
2002	1487,4	2259,6	2857,0	1505,6	1906,0	1845,4	1972,2	1913,6	2441,6	2452,3	1919,8	2235,6	2031,3	1369,0	1785,8	2041,4	1607,0	1852,8

Tabella 6.1 - Altezze di pioggia annuali

Legenda

dato parzialmente integrato

dato non utilizzabile / disponibile

Altezze di pioggia annuali - INDICI NORMALIZZATI rispetto a Como - Villa Gallia																		
Anno	Samolaco	Gorghiglio	Regea	Fuentes	Colico	Bellano	Varenna	San Fedele	Valmorea	Como Rebbio	Albavilla	Erba	Cantù - Selvaregina	Minoprio	Mariano Comense	Carimate	Castellanza	Como - Villa Gallia
1991		1,34	1,69		0,92		0,91							0,77			0,60	1,00
1992		1,16	1,41				1,02							0,99			0,83	1,00
1993		1,67	1,91		1,24		1,40							1,07			1,01	1,00
1994		1,25	1,33			0,88	0,92				1,18	0,93	0,95	0,72			0,71	1,00
1995		0,76	1,02			0,50	0,43				0,92	0,75	0,75	0,58			0,69	1,00
1996	0,75	1,27	1,57		0,82	0,86	0,79				1,08	1,23	1,09	0,78			0,83	1,00
1997	0,93	1,63	1,59		1,09	1,03	1,06				0,98	0,90	1,07	0,74	0,92		0,77	1,00
1998	0,73	1,25	1,30	1,00	0,75	0,84	0,90	1,09			0,93	0,92	1,00	0,68	0,78		0,71	1,00
1999	0,92	1,37	1,78	0,95	0,89	1,04	0,81				1,11	1,11	0,99	0,83	0,95		0,65	1,00
2000	0,62	1,27	1,72	0,97	0,83	0,92	0,87	1,43			0,91	1,14	1,03	0,75	0,94		0,76	1,00
2001	1,04	1,49	1,91	1,00	1,07	1,06	0,99	1,44	1,23	1,20	1,34	1,23	1,24	0,81	0,83	1,29	0,67	1,00
2002	0,80	1,22	1,54	0,81	1,03	1,00	1,06	1,03	1,32	1,32	1,04	1,21	1,10	0,74	0,96	1,10	0,87	1,00

Tabella 6.2 - Indici annuali normalizzati rispetto a Como

Legenda

dato parzialmente integrato

dato non utilizzabile / disponibile

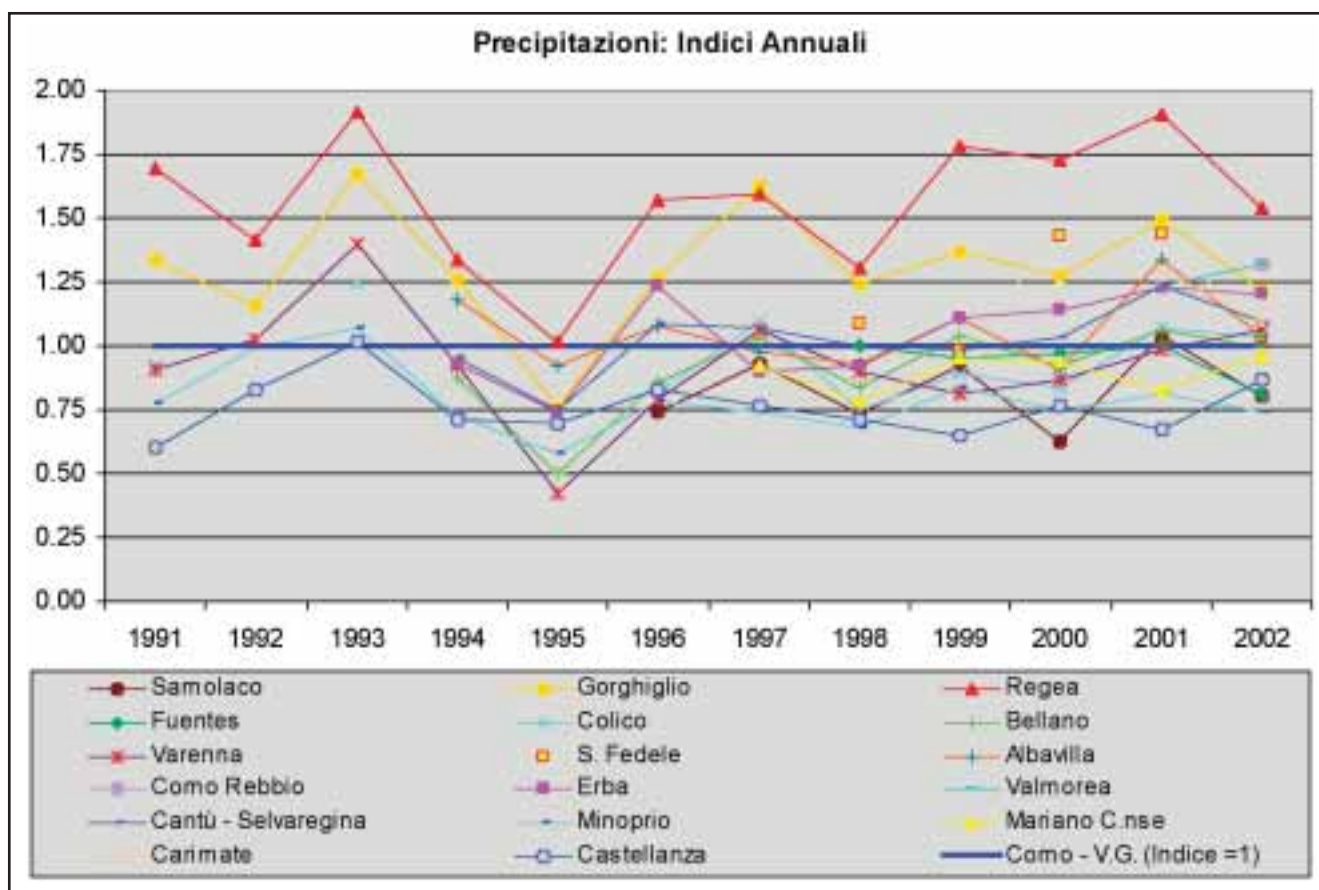


Figura 6.3 - Andamento Indici Annuali (1991-2002)

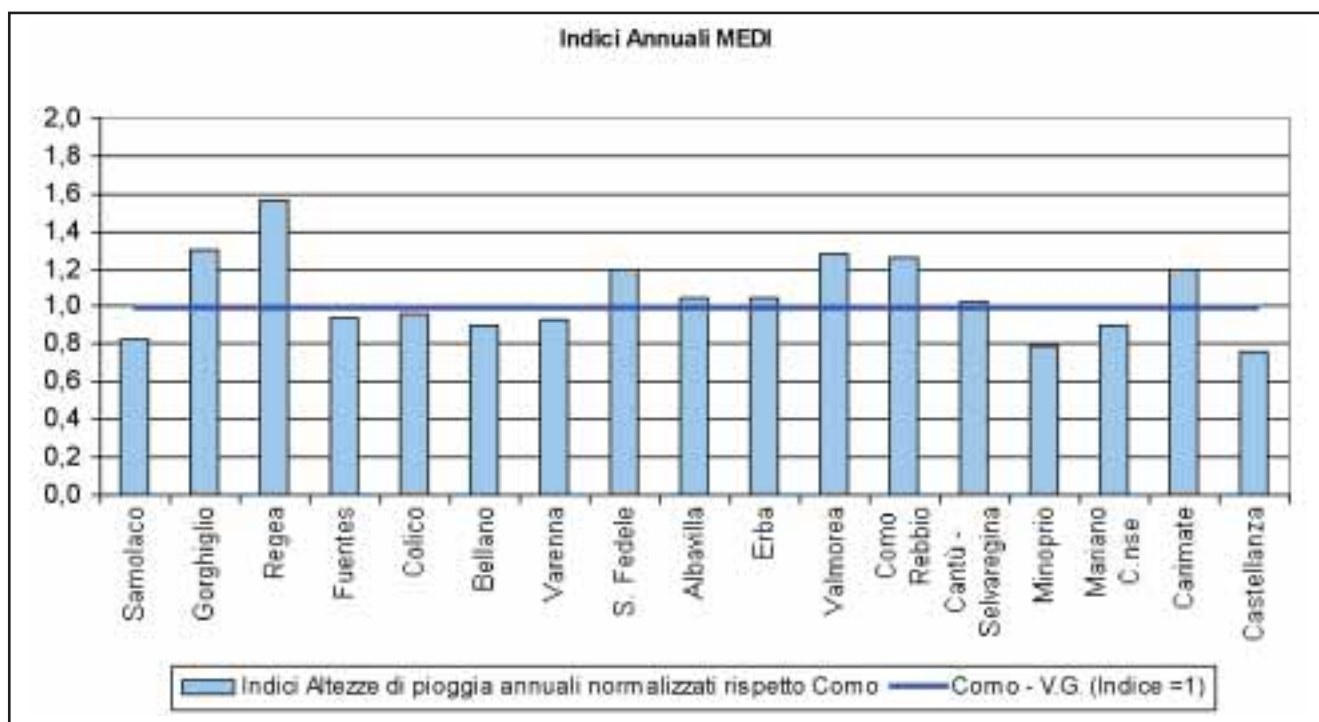


Figura 6.4 - Indici annuali medi

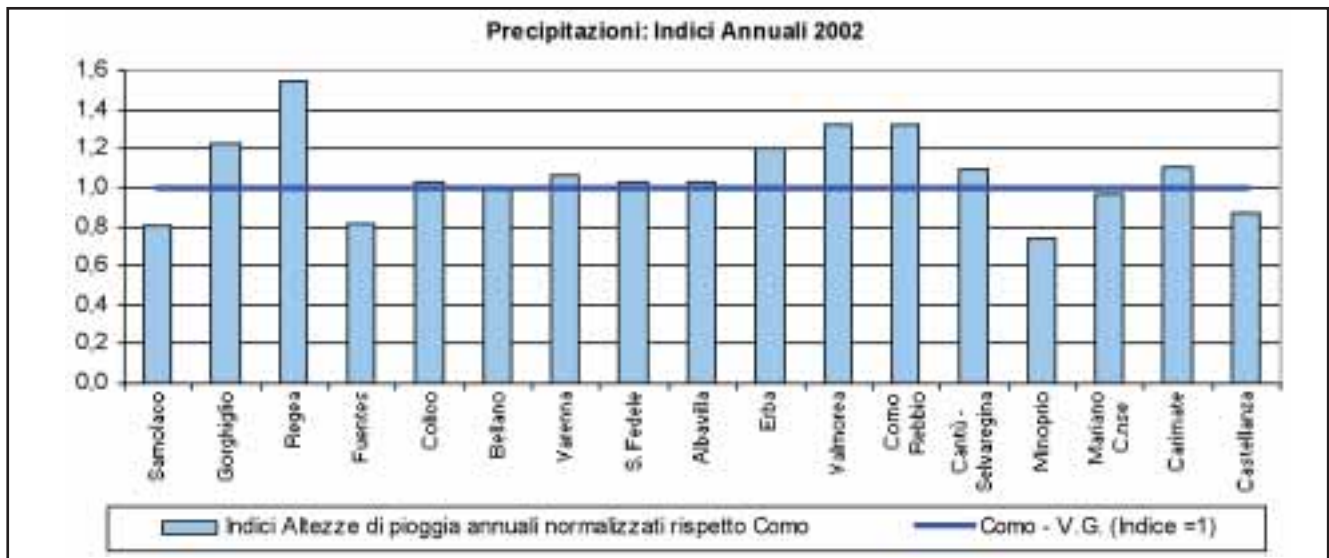


Figura 6.5 - Indice annuale 2002

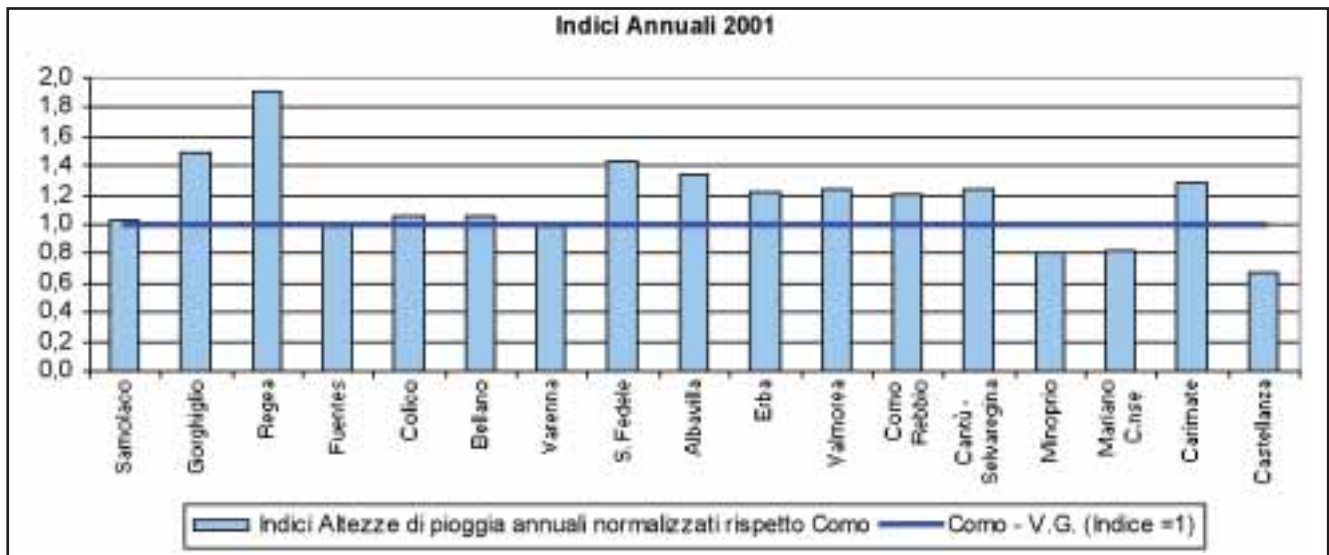


Figura 6.6 - Indice annuale 2001

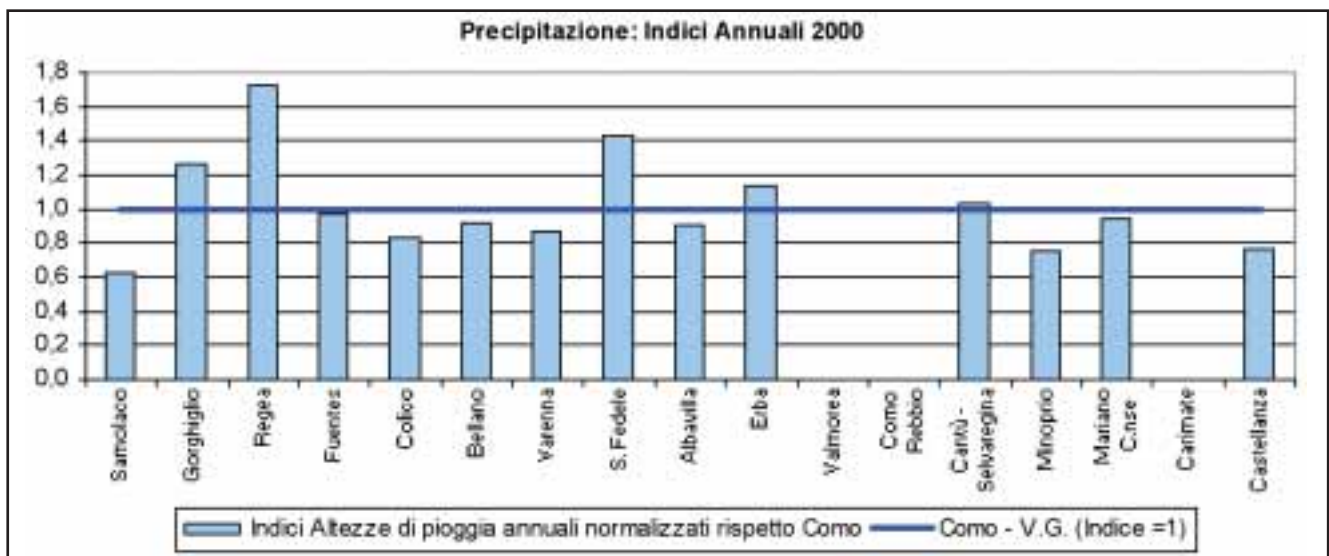


Figura 6.7 - Indice annuale 2000

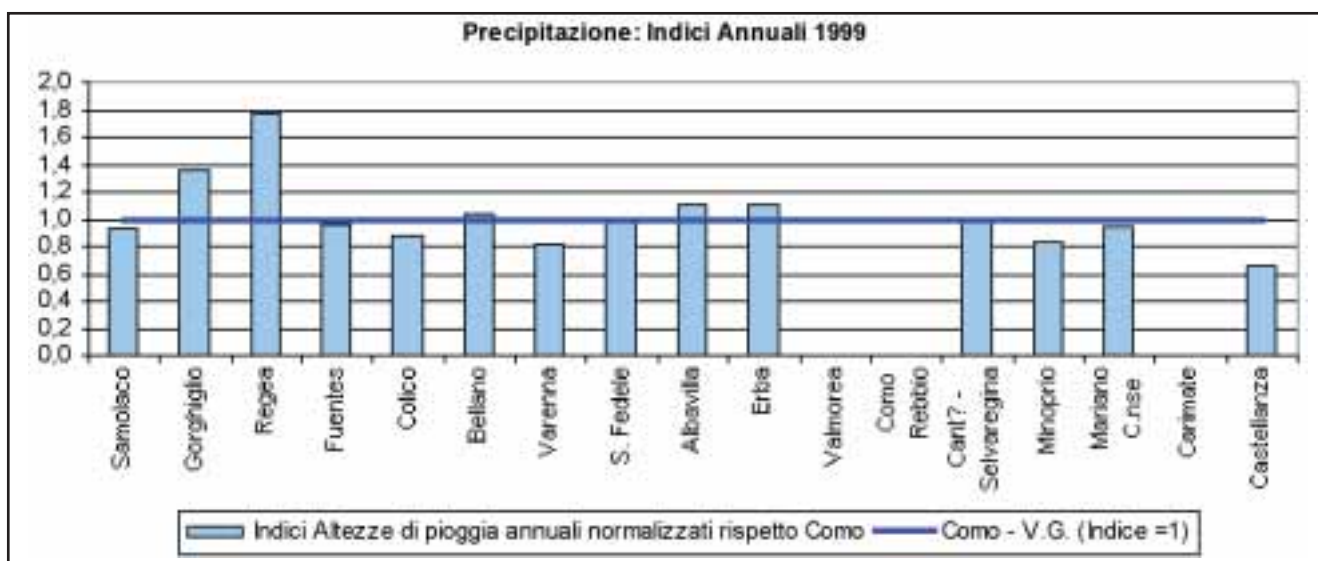


Figura 6.8 - Indice annuale 1999

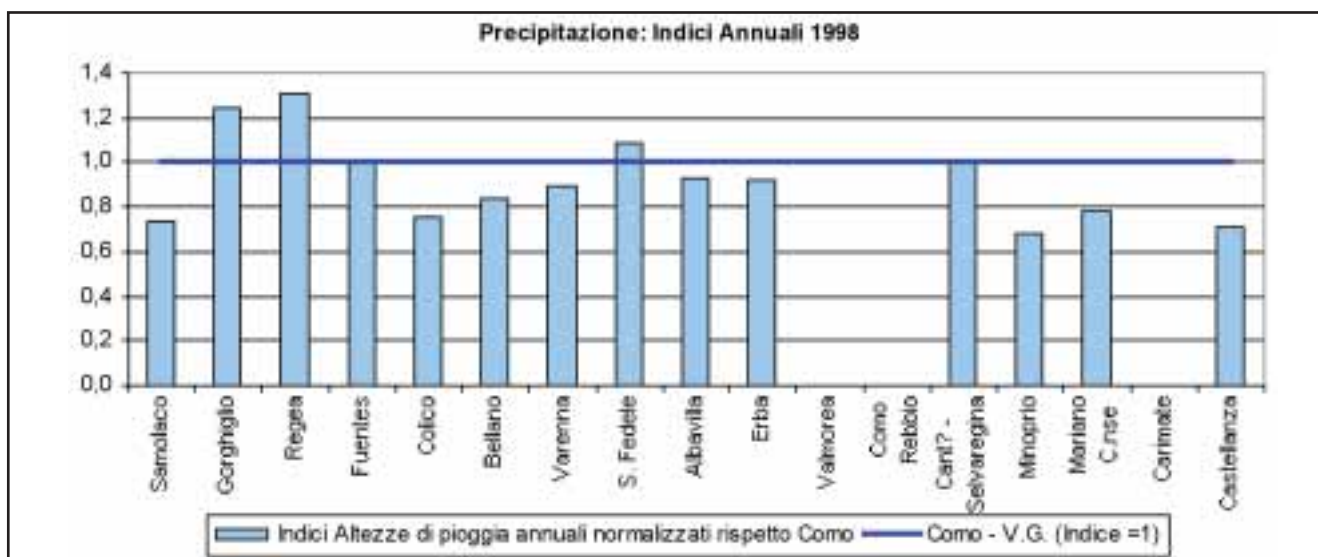


Figura 6.9 - Indice annuale 1998

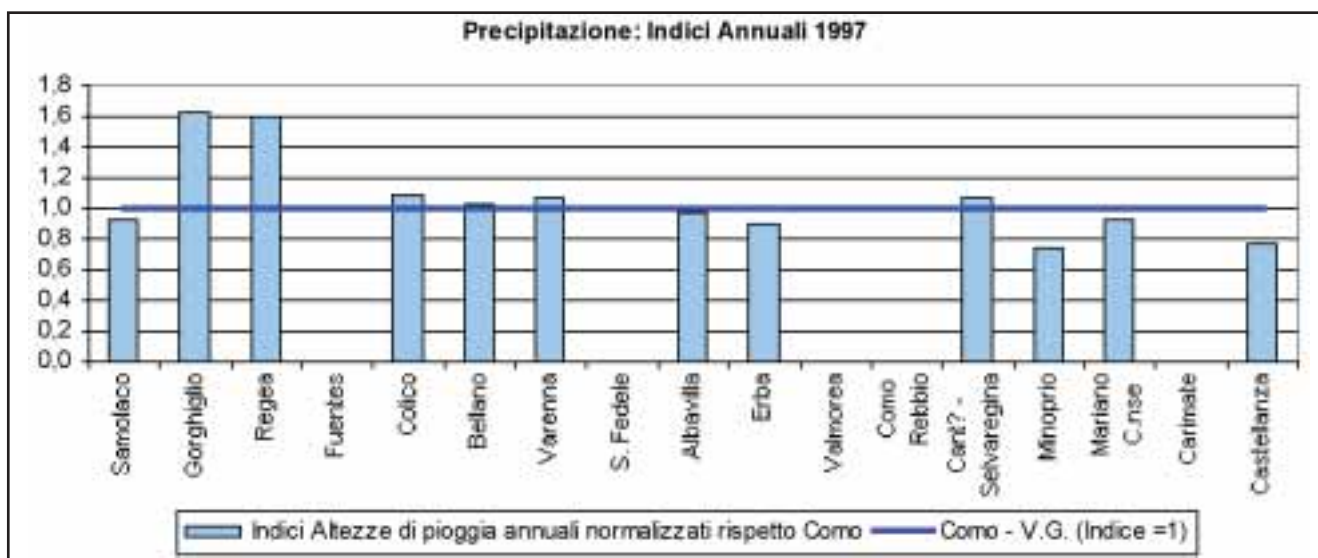


Figura 6.10 - Indice annuale 1997

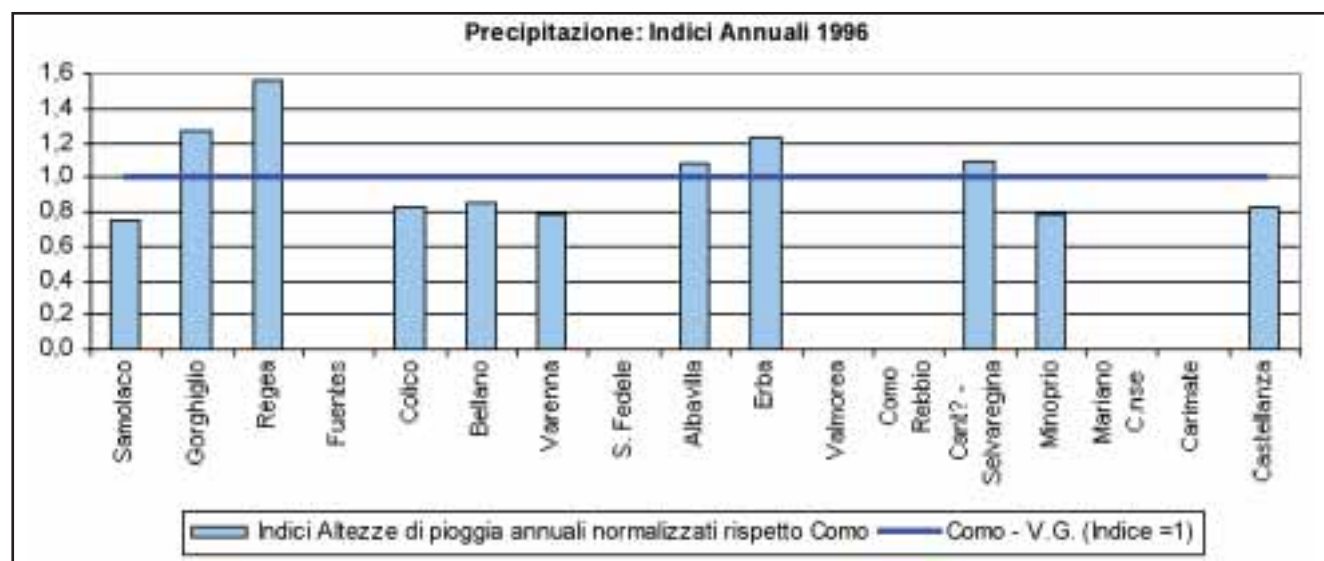


Figura 6.11- Indice annuale 1996

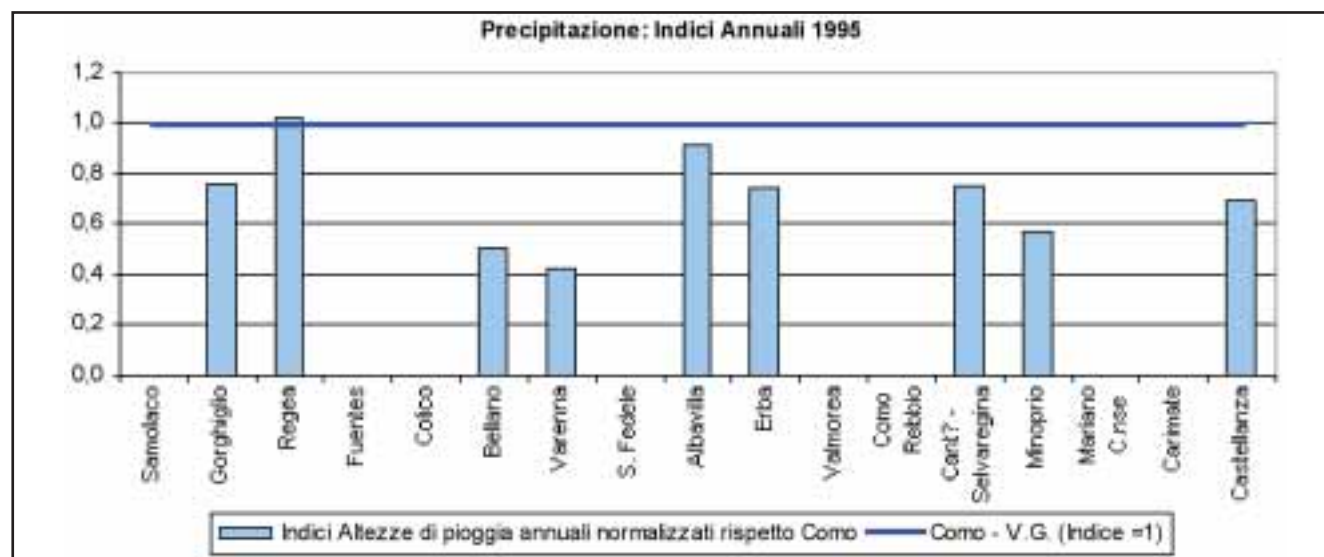


Figura 6.12 - Indice annuale 1995

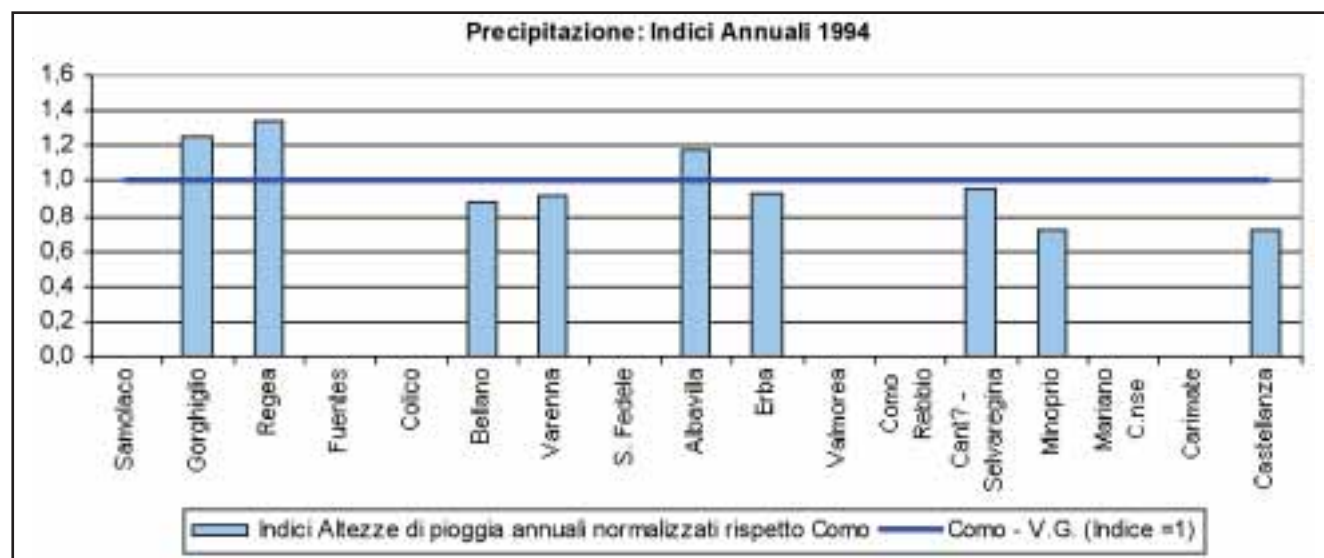


Figura 6.13 - Indice annuale 1994

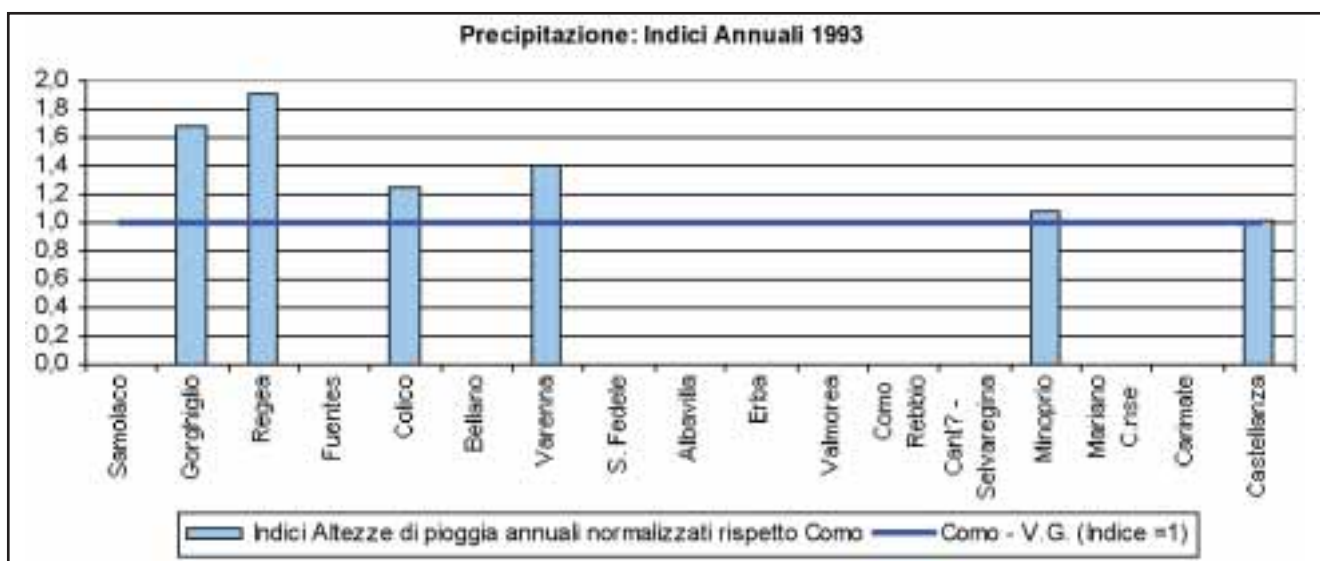


Figura 6.14- Indice annuale 1993



Figura 6.15 - Indice annuale 1992

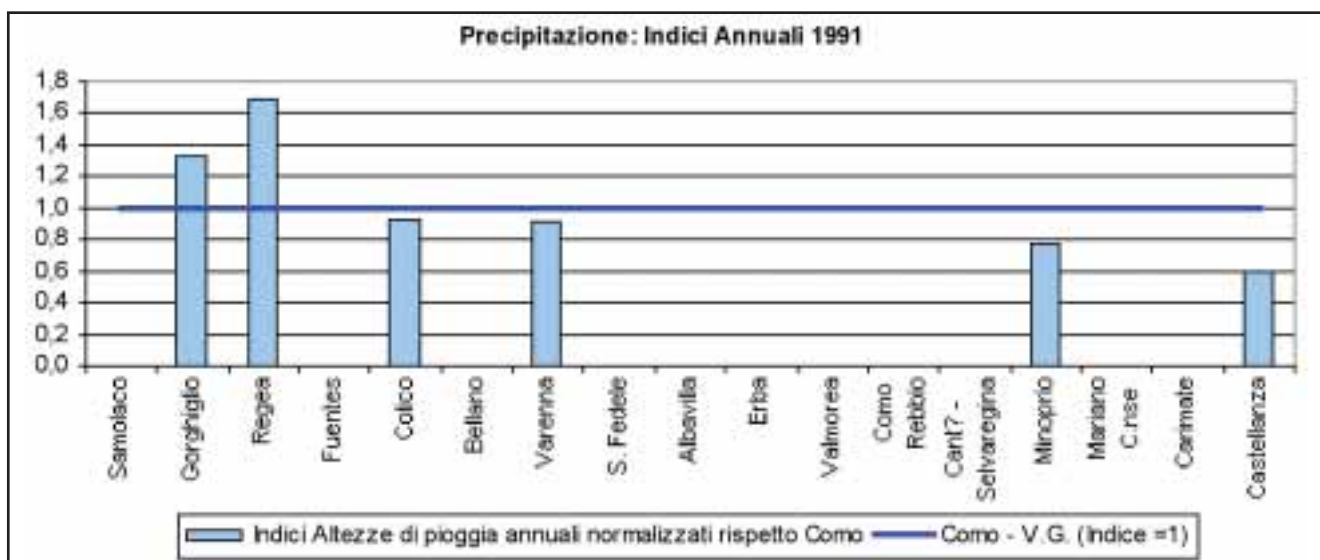


Figura 6.16 - Indice annuale 1991

Con questi risultati è possibile suggerire una possibile **zonizzazione omogenea per le seguenti aree:**

- zone di montagna, alpine e prealpine,
- aree costiere del centro e alto lago,
- aree costiere del basso lago,
- fascia collinare pedemontana,
- fascia di pianura centrale,
- fascia di pianura meridionale,
- aree di pianura sud-occidentale.

• **zone di montagna, alpine e prealpine**

(Regea, Gorghiglio, San Fedele Intelvi): i risultati evidenziano come l'arco alpino essendo soggetto alle precipitazioni derivanti dalle perturbazioni che possono provenire da tutte le direzioni, è caratterizzato da elevate quantità di precipitazione. La distribuzione delle precipitazioni in queste aree è governata dall'orografia: essa è infatti responsabile dell'ascesa delle masse d'aria lungo i pendii, favorendo fenomeni di condensazione e quindi l'incremento delle precipitazioni. Le due stazioni di Regea e Gorghiglio, poste a quote comprese tra i 600 e gli 800 m s.l.m., presentano generalmente i valori più elevati di tutto il territorio provinciale, con indici praticamente sempre > 1 (solo un valore annuale pari a 0,76), con valori massimi spesso $> 1,5$ (max 1,91 per Regea). Tale situazione è riferibile anche all'Intelvese (San Fedele Intelvi) con indici sempre > 1 (min. 1,03; max 1,44).

Nota: Per completare il quadro delle stazioni poste in quota, sarebbe estremamente utile in futuro un confronto anche con le stazioni di San Nazzaro Val Cavargna, M.te San Primo e M.te Bisbino. Sulla base di dati storici, riferiti a periodi antecedenti a quello considerato in questo studio e come evidenziato anche al paragrafo 6.1.4 "confronto con la situazione regionale", questa situazione pluviometrica annuale può infatti essere ragionevolmente estesa sia alle aree in quota di tutto il versante occidentale del lago sia al triangolo lariano

(cfr. paragrafo 6.1.4 e Figure 6.30, 6.31, 6.32).

• **aree costiere del centro alto lago**

(Samolaco, Fuentes, Colico, Bellano, Varenna): poste tutte a quota lago, queste stazioni, pur con qualche variabilità tra i diversi anni considerati, presentano generalmente indici con scostamenti dal valore unitario molto contenuti a testimonianza di una buona correlazione di valori tra tutte le stazioni ubicate attorno alle sponde del lago.

• **aree costiere del basso lago**

In mancanza di osservazioni dirette risulta piuttosto difficile caratterizzare le aree costiere del ramo occidentale del lago di Como (dal centro lago sino a Como). Sulla base di dati storici, riferiti a periodi antecedenti a quello considerato in questo studio e come evidenziato anche al successivo paragrafo "confronto con la situazione regionale" (cfr. paragrafo 6.1.4 e Figure 6.30, 6.31, 6.32), questa porzione di territorio lacustre risulta comunque inserita tra le due aree prealpine del Triangolo Lariano e dell'Intelvese, entrambe caratterizzate da elevate precipitazioni, e potrebbe quindi presentare anch'essa indici annuali > 1 , differenziandosi dalle aree costiere del centro alto lago e da quelle pedemontane e collinari meridionali.

• **fascia collinare pedemontana**

(ovest) Poste a ridosso delle colline prealpine (Erba) o in leggera quota (Albavilla) queste due stazioni non presentano valori molto dissimili da quelli della stazione di riferimento di Como, evidenziando comunque una estrema variabilità, con valori spesso > 1 , dovuta essenzialmente al contributo di isolati fenomeni di carattere temporalesco. La situazione generale può essere ben inquadrata come intermedia tra i valori delle stazioni di quota del Triangolo Lariano (massime precipitazioni) ed i valori delle stazioni di pianura centro meridionale.

(est) La stazione di Valmorea (zona collinare orientale della provincia), nonostante il breve

periodo di osservazione, presenta valori di precipitazione e indici sempre più elevati rispetto all'area di Como. Il carattere pluviometrico di quest'area, rappresentativa di tutta la parte più orientale dell'olgiatese, è comune da collegare ai regimi osservati nel basso Canton Ticino e nella Provincia di Varese.

- **fascia di pianura centro-meridionale**

(Cantù, Carimate, Mariano Comense, Vertemate con Minoprio): le zone pedemontane, riparate a nord dalla catena alpina (orientata da W a E), risentono maggiormente delle precipitazioni provenienti dai quadranti meridionali (stau) e presentano quindi i valori di precipitazione più bassi rispetto alle aree in quota ma anche alle aree costiere del centro e alto lago. Gli indici annuali per la zona di Cantù e Carimate non presentano valori molto dissimili da quelli della stazione di riferimento di Como, mentre nelle zone più a sud (Vertemate con Minoprio e Mariano Comense) gli indici sono quasi generalmente <1.

Si possono quindi ragionevolmente inquadrare due aree: una fascia centrale a sud di Como, distribuita da est ad ovest, caratterizzata da una morfologia non uniforme con presenza di forme collinari moreniche alternate a solchi vallivi torrentizi ed una fascia di pianura meridionale che si spinge sino ai confini con la Provincia di Milano.

- **area di pianura sud occidentale**

(Castellanza): la stazione presenta sistematicamente indici <1 (min. 0,60; max 1,01). Tutta la parte sud occidentale del territorio provinciale può essere inquadrata in questo regime di precipitazioni minime.

6.1.2 Indici stagionali

La Tabella 6.3 e le Figure 6.17-6.28 riportano gli indici normalizzati stagionali e illustrano il confronto tra le diverse stazioni e quella di riferimento di Como Villa Gallia.

A livello generale una prima sostanziale differenza riguarda il regime pluviometrico "stagionale" tipico rilevato tra le stazioni poste a nord e quelle meridionali collinari e di pianura. Le prime infatti presentano un ciclo "unimodale" (a campana), caratteristico del mesoclima alpino, con un marcato minimo invernale ed un massimo estivo, mentre le precipitazioni stagionali per tutte le altre stazioni considerate presentano un classico ciclo "bimodale", cui corrispondono valori generalmente più elevati nei periodi coincidenti con la tarda primavera e con la seconda metà dell'autunno.

Alteze di pioggia annuali - INDICI NORMALIZZATI rispetto a Como - Villa Gallia																			
Anno	Stagione	Samolaco	Gorghiglioglio	Regea	Fuentès	Colico	Bellano	Varenna	San Fedele	Valmorea	Como Rebbio	Albavilla	Erba	Cantù - Selvaregina	Minoprio	Mariano Comense	Carimate	Castellanza	Como - Villa Gallia
1991	Inverno		0,49	0,84		0,60		0,59							0,88			0,39	1,00
	Primavera		0,93	1,23		0,57		0,55							0,69			0,75	1,00
	Estate		2,28	2,43		1,90		1,84							0,75			0,52	1,00
1992	Autunno		1,32	1,81		0,83		0,83							0,83			0,56	1,00
	Inverno		1,05	1,17		0,93		0,96							0,97			0,76	1,00
	Primavera		1,22	1,48		0,97		1,06							1,03			0,90	1,00
1993	Estate		1,15	1,64				1,29							0,88			0,66	1,00
	Autunno		1,27	1,22				1,01							1,05			1,06	1,00
	Inverno		0,66	1,31		0,99		0,34							1,17			1,01	1,00
1994	Primavera		0,85	1,09		0,73		1,07							1,00			0,99	1,00
	Estate		1,51	1,35		1,16		1,39						1,37	0,86			0,73	1,00
	Autunno		2,29	2,78		1,59		1,57						1,47	1,27			1,39	1,00
1995	Inverno		1,07	1,41		0,90	0,85	0,84							0,62			0,54	1,00
	Primavera		1,56	1,46		0,53	1,04	1,04				1,28	1,13	1,03	0,62			0,93	1,00
	Estate		1,95	1,89			1,25	1,04				1,57	1,02	1,38	0,71			0,83	1,00
1996	Autunno		1,06	1,13			0,70	0,91				0,91	0,74	0,67	0,64			0,78	1,00
	Inverno		1,20	1,18		0,78	0,89	0,71				2,13	1,35	1,24	1,11			1,05	1,00
	Primavera		0,52	0,78			0,34	0,35				0,60	0,52	0,48	0,33			0,46	1,00
1997	Estate		0,85	1,43		0,76	0,71	0,36				1,38	1,04	1,28	0,86			0,95	1,00
	Autunno		0,41	1,12		0,64	0,53	0,47				0,88	0,72	0,80	0,55			0,89	1,00
	Inverno		0,42	0,84		0,51	0,54	0,62				1,28	1,15	0,96	0,96			0,93	1,00
1998	Primavera		1,09	3,55		1,44	1,63	1,89				1,76	1,83	1,14	0,56			1,05	1,00
	Estate		0,91	1,27	1,49	0,80	0,92	0,63				1,04	1,34	1,06	0,69			0,67	1,00
	Autunno		0,80	1,83		0,97	0,85	0,81				0,83	1,12	1,07	0,89			1,27	1,00
1999	Inverno		0,50	0,71	0,65	0,62	0,61	0,73				0,89	0,94	1,11	0,84			0,93	1,00
	Primavera		0,98	1,83	1,83	1,24	1,10	1,15				0,85	0,96	0,83	0,21	0,59		0,37	1,00
	Estate		1,35	2,01	1,89	1,34	1,32	1,23				1,09	1,00	1,19	0,67	0,93		0,77	1,00
2000	Autunno		0,71	2,03	2,03	1,23	1,02	1,16				1,08	0,99	1,04	0,87	0,98		1,07	1,00
	Inverno		0,46	0,75	0,75	0,54	0,60	0,70				0,93	0,33	0,99	0,91	1,01		0,92	1,00
	Primavera		0,61	1,45	1,45	0,78	0,76	0,87		1,42		0,91	0,91	0,92	0,83	0,88		0,72	1,00
2001	Estate		1,08	1,24	1,24	0,82	1,28	0,71		0,93		0,89	0,83	1,29	0,84	0,92		0,72	1,00
	Autunno		0,61	1,32	1,36	0,64	0,73	1,11		1,11		0,99	1,19	0,87	0,41	0,54		0,72	1,00
	Inverno		0,68	0,84	0,86	0,65	0,68	0,58	0,73		0,77	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99		1,08	1,00
2002	Primavera		1,11	2,02	0,96	1,11	1,15	1,30		1,28		1,07	1,05	0,89	0,83	0,82		0,79	1,00
	Estate		0,84	1,82	0,97	0,84	1,21	0,63		0,72		1,27	1,30	1,27	1,00	1,15		0,59	1,00
	Autunno		0,94	1,93	1,93	0,99	0,94	0,63				1,08	1,04	0,86	0,79	0,90		0,79	1,00
2003	Inverno		1,07	1,80	0,90	0,91	0,84	0,89		0,91		0,84	1,16	0,91	0,12	0,69		0,51	1,00
	Primavera		0,88	1,44	0,79	0,95	1,10	1,02		1,43		0,62	1,09	0,99	0,59	0,96		0,87	1,00
	Estate		0,60	1,79	1,27	0,72	1,23	0,73		1,46		1,03	1,18	1,14	0,77	1,04		0,81	1,00
2004	Autunno		0,42	1,30	0,90	0,76	0,67	0,81		1,37	1,07	0,90	1,05	0,95	0,75	0,82		0,73	1,00
	Inverno		1,07	1,69	0,91	1,12	0,96	1,01		1,28	1,24	0,99	1,39	1,14	0,98	1,06		0,74	1,00
	Primavera		1,13	1,82	0,93	1,15	1,14	1,09		1,42	1,26	1,20	1,32	1,19	1,07	1,22		1,34	1,00
2005	Estate		1,27	2,09	1,44	1,18	1,34	0,95		2,12	1,52	1,62	1,20	1,30	0,92	0,61		0,44	1,00
	Autunno		0,70	1,12	1,30	0,73	0,85	1,01		0,90	1,08	1,19	1,28	1,50	0,39	0,60		1,08	1,00
	Inverno		0,44	0,77	0,50	0,62	0,66	0,70		1,19	1,07	1,45	1,80	1,18	1,05	1,13		1,28	1,00
2006	Primavera		0,81	1,83	0,85	1,23	1,00	1,10		1,20	1,55	1,03	1,19	1,06	0,80	0,96		0,96	1,00
	Estate		1,00	1,17	0,82	1,02	1,21	1,19		1,01	1,16	1,09	1,33	1,10	0,98	1,05		0,74	1,00
	Autunno		0,80	1,33	1,59	0,89	1,06	0,99		1,23	1,34	1,05	1,10	1,08	0,55	0,86		1,02	1,00

Tabella 6.3 - Indici annuali normalizzati rispetto a Como

Legenda

dato parzialmente integrato

dato non utilizzabile/disponibile

x-xx dato incerto

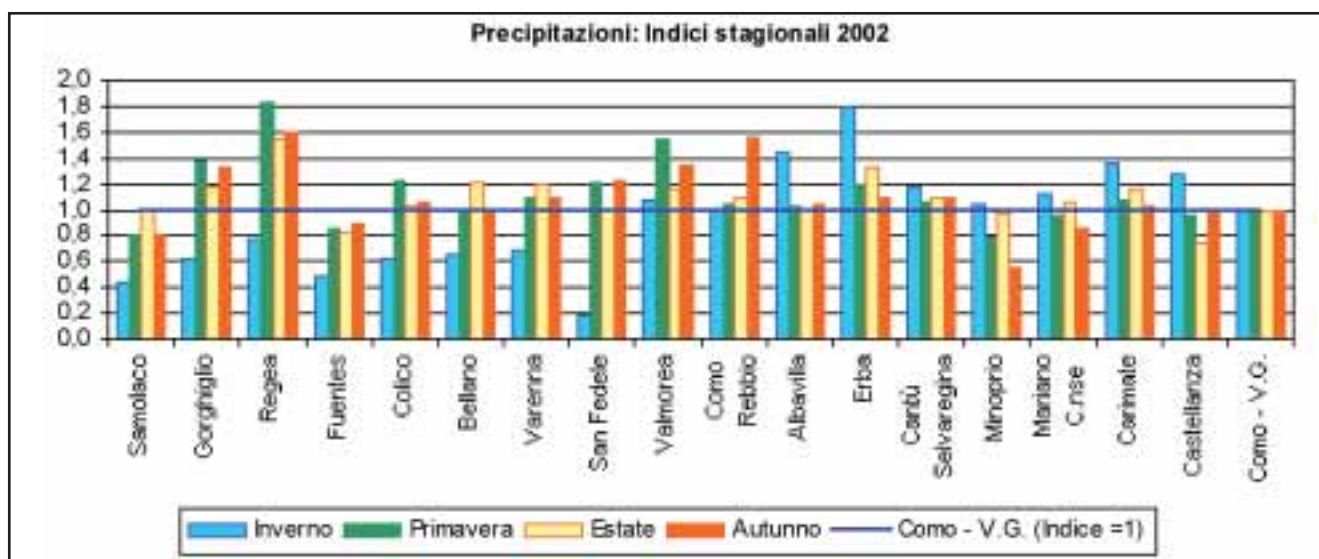


Figura 6.17 - Indici stagionali 2002

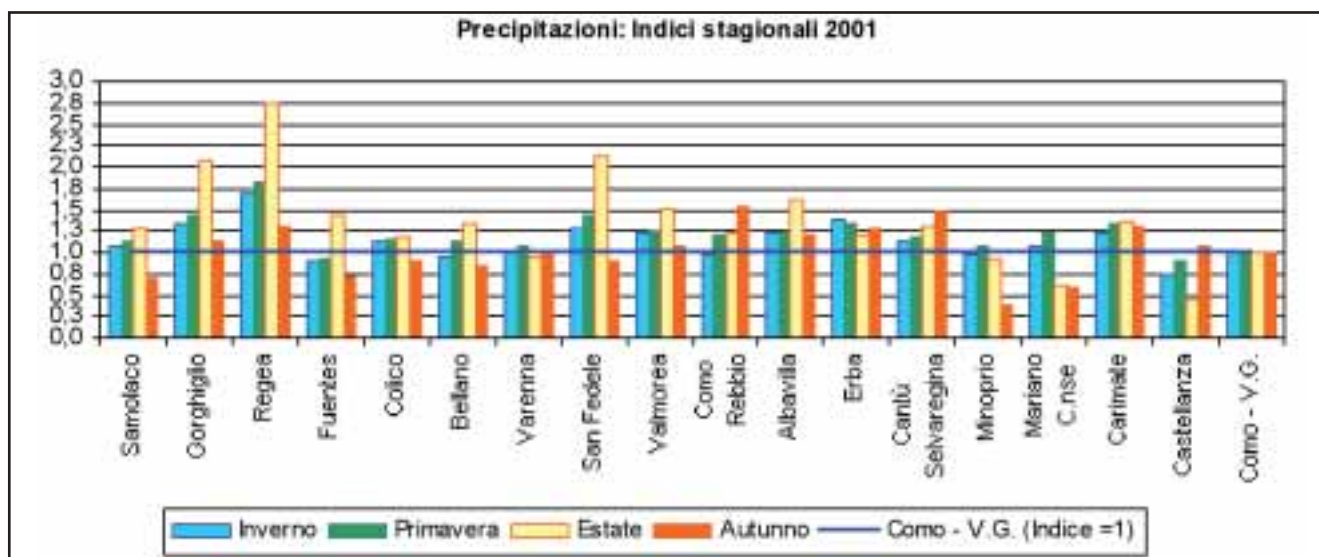


Figura 6.18 - Indici stagionali 2001



Figura 6.19 - Indici stagionali 2000

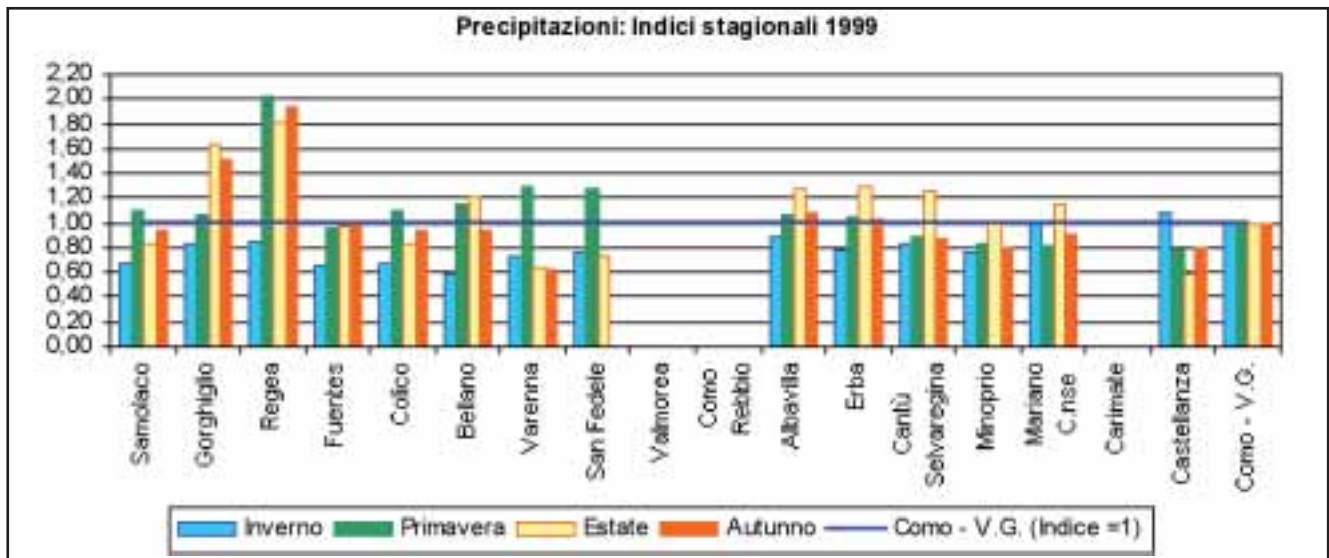


Figura 6.20 - Indici stagionali 1999

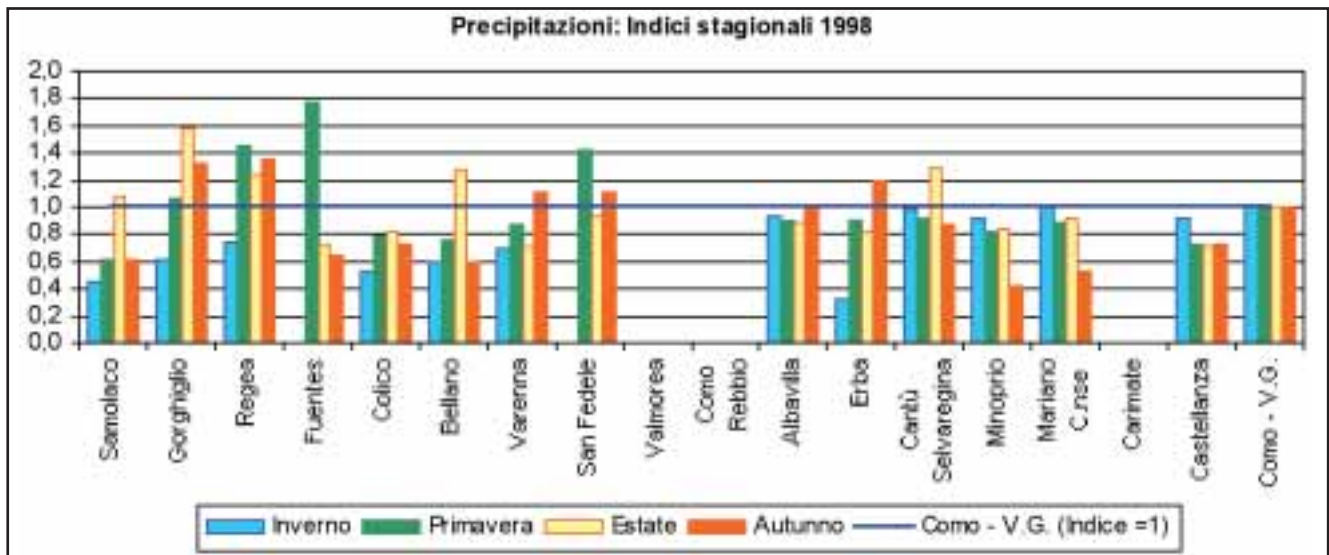


Figura 6.21 - Indici stagionali 1998

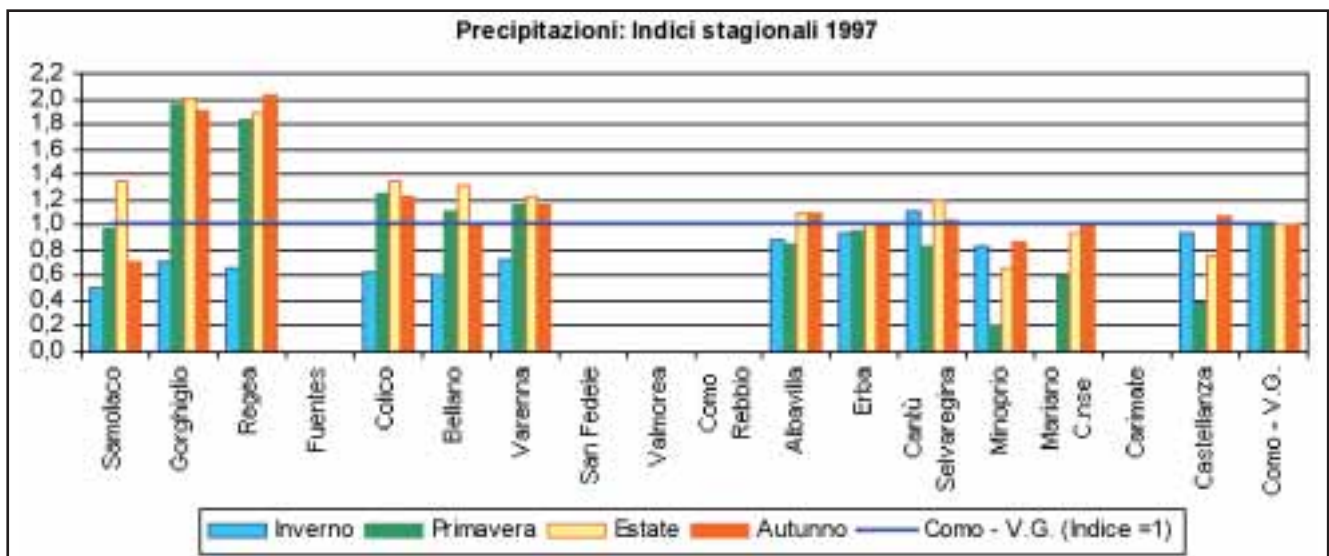


Figura 6.22 - Indici stagionali 1997

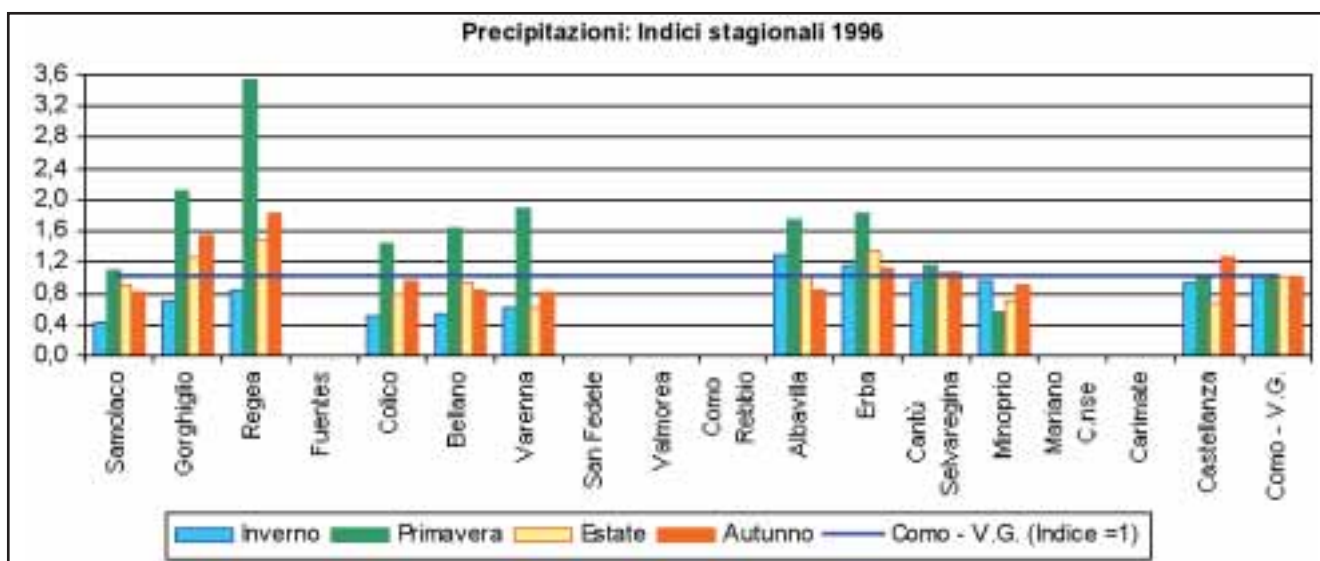


Figura 6.23 - Indici stagionali 1996

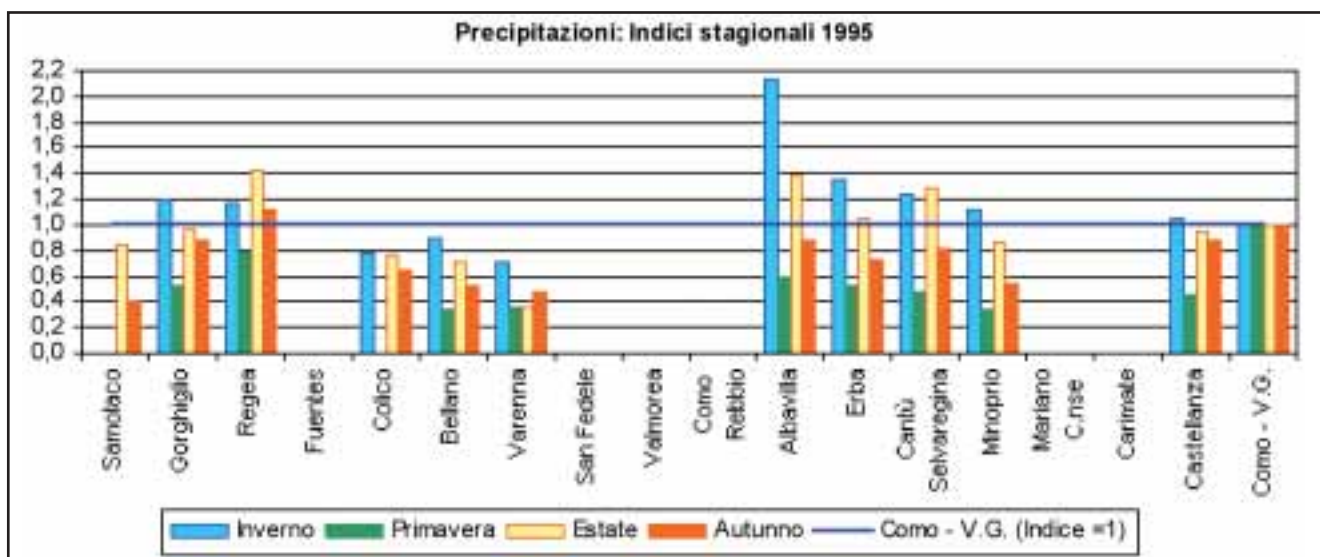


Figura 6.24 - Indici stagionali 1995

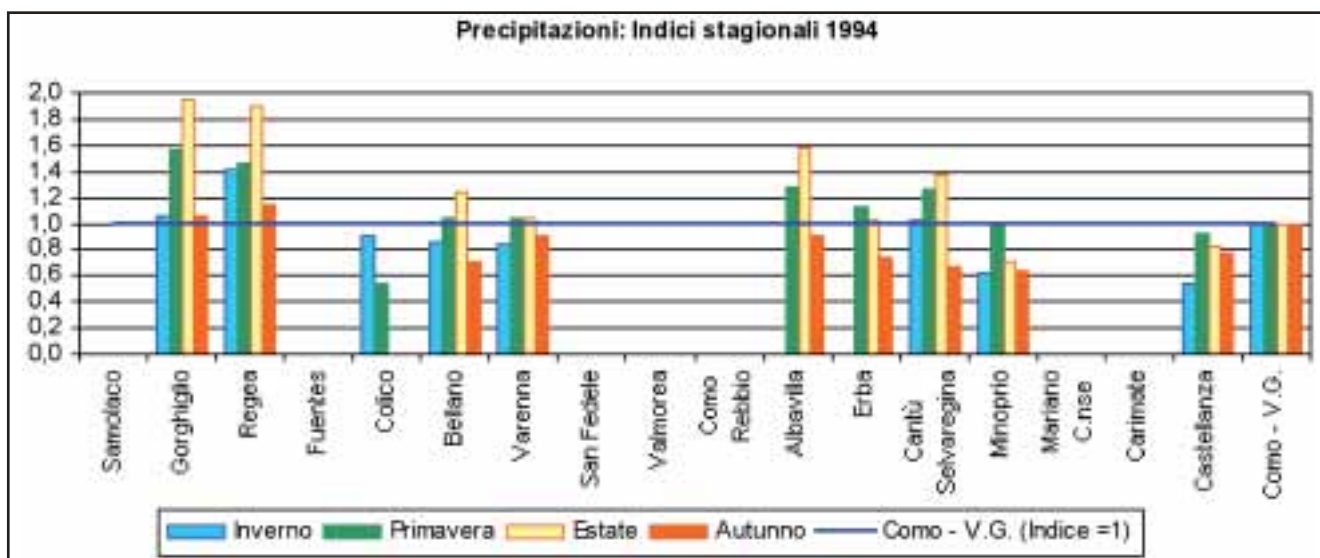


Figura 6.25 - Indici stagionali 1994

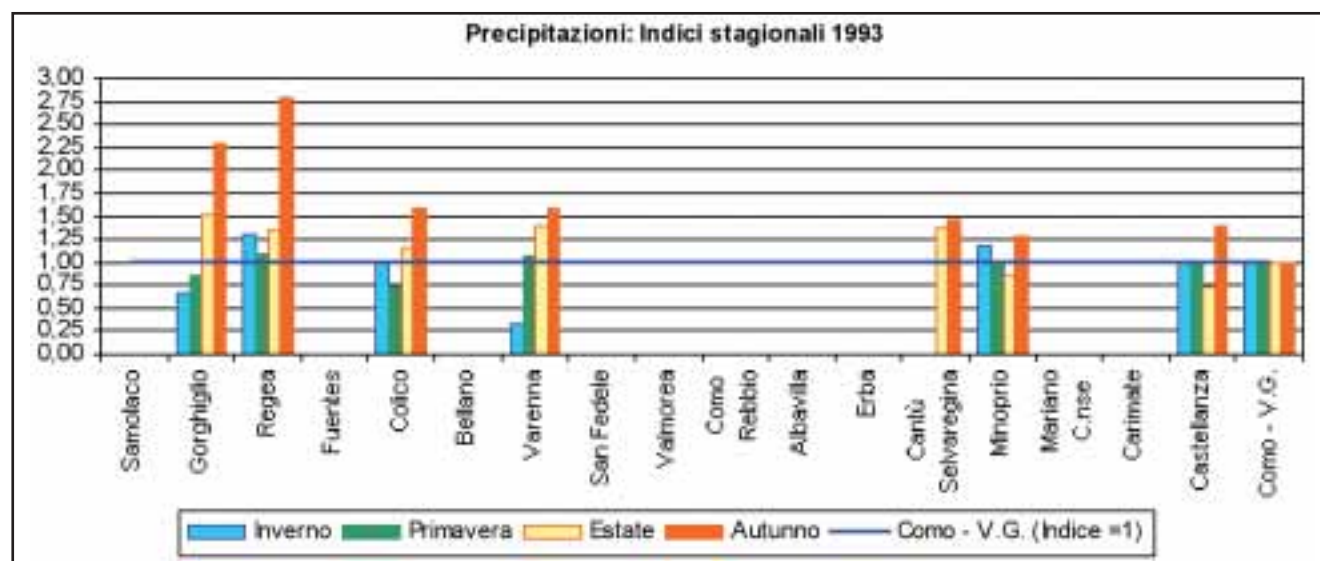


Figura 6.26 - Indici stagionali 1993

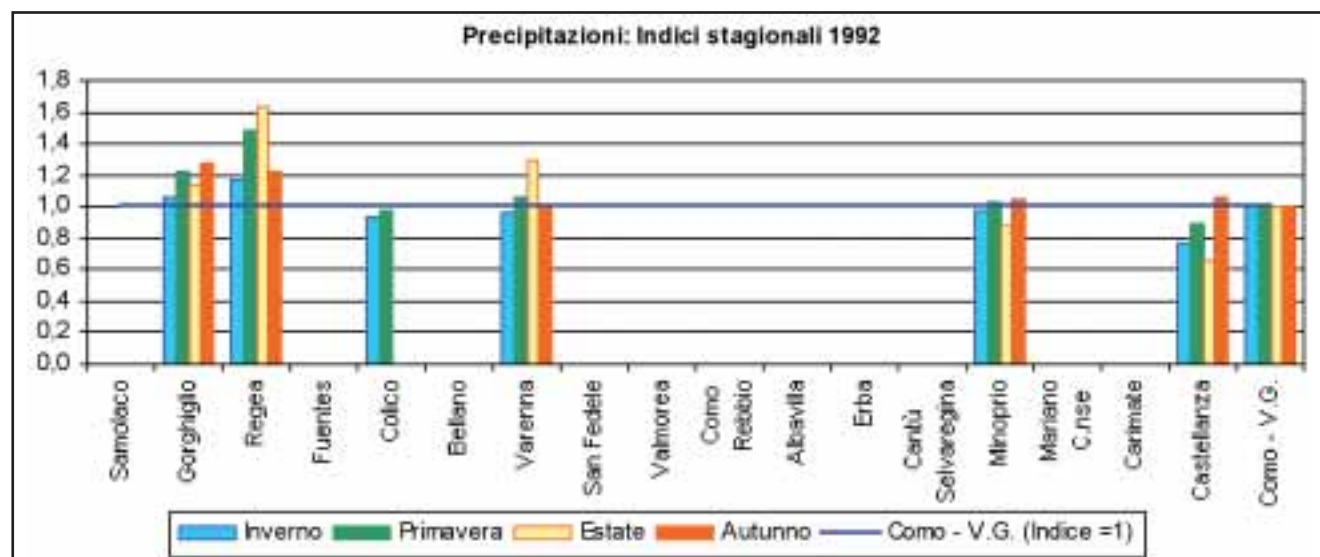


Figura 6.27 - Indici stagionali 1992

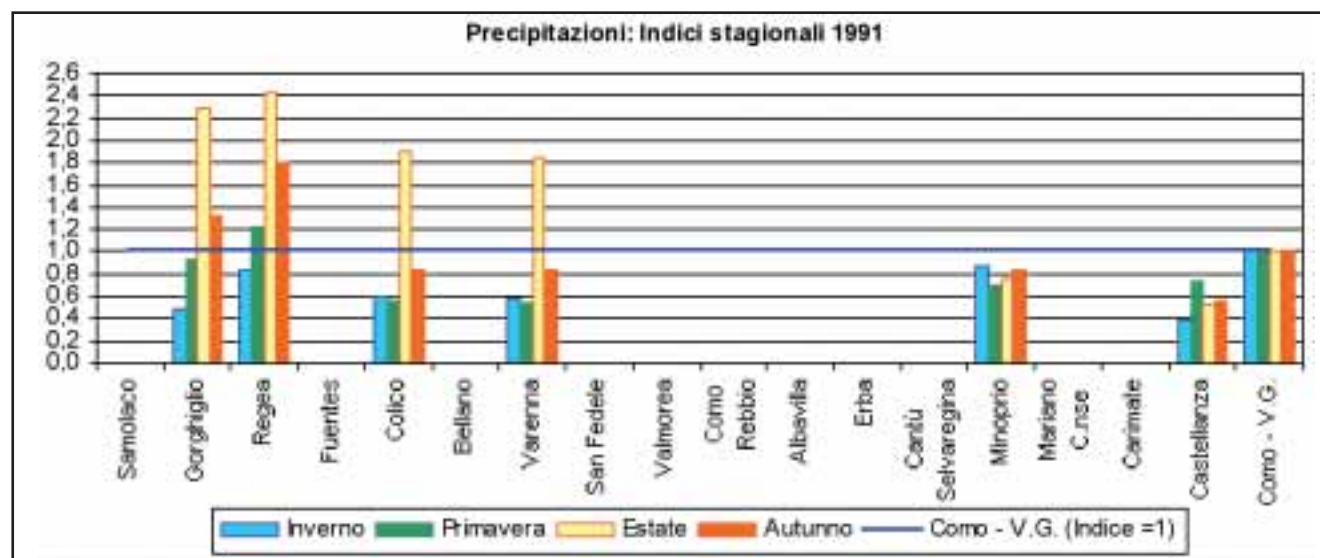


Figura 6.28 - Indici stagionali 1991

In linea di massima i risultati ottenuti confermano le suddivisioni in aree omogenee già descritte per gli indici annuali. E' comunque utile evidenziare alcune particolarità "stagionali" relative a singole aree o gruppi di aree:

- **zone di montagna, alpine** (Regea, Gorghiglio): queste stazioni presentano il caratteristico ciclo "unimodale" con indici stagionali elevati nelle stagioni primavera, estate e autunno (con valori anche >2 , sino ad un massimo di $+3,6$ per Regea nella primavera 1996), mentre il valore invernale è quasi sempre <1 con precipitazioni spesso a carattere nevoso.

Anche in questo caso per completare il quadro delle stazioni poste in quota, sarebbe estremamente utile in futuro un confronto anche con le stazioni di San Nazzaro Val Cavargna e con quelle prealpine del M.te San Primo e del M.te Bisbino.

- **aree costiere dell'alto lago:** (Samolaco, Fuentes, Colico, Bellano, Varenna): poste tutte a quote prossime al lago, queste stazioni presentano generalmente indici >1 nelle stagioni primavera-estate, con forti variabilità tra i diversi anni direttamente collegate alla distribuzione dei fenomeni temporaleschi i quali si verificano generalmente nelle ore più calde della giornata in relazione agli afflussi di aria fredda provenienti dalle vallate alpine (Valtellina e Val Chiavenna).

Il valore invernale, ed anche autunnale, è invece quasi sempre <1 evidenziando una diretta influenza del regime stagionale "unimodale" alpino. Gli scostamenti dal valore di riferimento di Como Villa Gallia sono comunque in genere modesti a testimonianza di una buona correlazione di valori tra tutte le stazioni ubicate attorno alle sponde del lago.

- **fascia collinare pedemontana e basso lago** (Albavilla, Erba, Valmorea): queste stazioni non presentano valori molto dissimili da quel-

li della stazione di riferimento di Como, evidenziando comunque una estrema variabilità invernale (indice $> e/o < 1$) e valori in genere > 1 nelle stagioni primavera, estate e autunno (indice massimo $+ 2,1$ per Albavilla nell'inverno 1995). Anche in questo caso è evidente l'influsso dei singoli fenomeni temporaleschi.

- **fascia di pianura centro meridionale** (Cantù, Carimate, Mariano Comense, Vertemate con Minoprio): gli indici stagionali non presentano valori molto dissimili da quelli della stazione di riferimento di Como, evidenziando comunque per la zona di Cantù una estrema variabilità invernale, primaverile e autunnale (indice $> e/o < 1$) e valori in genere > 1 nella sola stagione estiva, mentre per le aree più meridionali (Vertemate con Minoprio e Mariano Comense) gli indici sono generalmente <1 in tutte le stagioni. La situazione invernale è tipica delle aree di pianura con precipitazioni diffuse dovute alle condizioni di stabilità atmosferica.

- **aree di pianura sud-occidentale** (Castellanza): l'area presenta sistematicamente indici sempre <1 in tutte le stagioni e può essere considerata rappresentativa di tutta la parte sud occidentale del territorio provinciale .

Dall'analisi generale delle precipitazioni sull'intero territorio provinciale emerge inoltre che le stesse non si distribuiscono in modo uniforme nei diversi periodi indicati e che negli ultimi anni prevale la tendenza ad una maggiore intensità dei singoli fenomeni, spesso concentrati in pochi giorni o in alcuni casi in poche ore, con repentino, conseguente, aumento delle portate dei corsi d'acqua, principale causa di eventi alluvionali, del numero di esondazioni del lago, nonché di diffusi dissesti idrogeologici. Per contro, dall'elaborazione dei dati si nota con maggiore frequenza, il verificarsi di lunghi periodi siccitosi, specie

per le aree di pianura, che possono causare seri danni all'agricoltura, rischi elevati di incendio, prolungate carenze idriche e, soprattutto, fenomeni acuti di inquinamento atmosferico, con danni potenziali alla salute umana e alla vegetazione.

6.1.3 Indice mensile: stazione di Como

Per la sola stazione di Como, confrontando i valori medi mensili degli ultimi dodici anni (1991-2002) con i risultati ricavati dalla serie

storica 1921-2002 (Figura 6.29) è possibile evidenziare un aumento delle precipitazioni totali annue, passando da valori medi di 1361,1 mm/anno, calcolati su 81 anni, ad altezze di pioggia annue medie di 1409,9 mm/anno, calcolate sui soli ultimi 10 anni. Anche la stagionalità tende a variare, evidenziando un netto calo delle precipitazioni medie mensili nel periodo invernale e primaverile ed un aumento, anche sensibile, dei valori rilevati nelle stagioni autunnale.

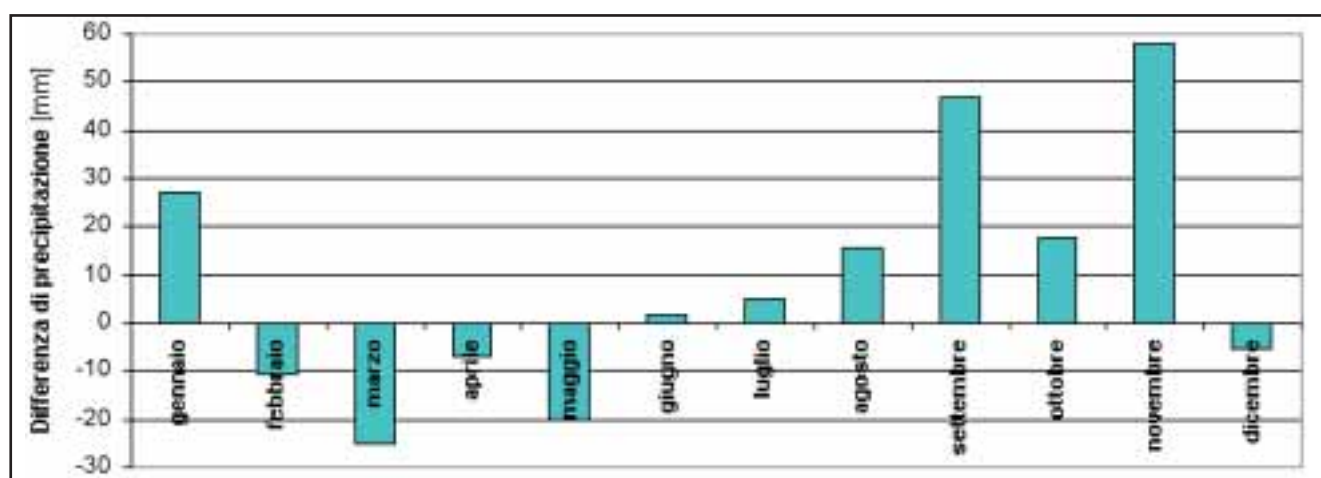


Figura 6.29 - Stazione di Como: differenza tra precipitazione media mensile dell'ultimo decennio (1991-2002) e precipitazione media mensile della serie storica (1921-2002)

Queste situazioni mensili e stagionali rispecchiano in massima parte quanto già osservato a livello regionale e dell'intero nord Italia con diminuzione delle precipitazioni invernali e primaverili ed un aumento di quelle autunnali (M.Maugeri, E.Mazzucchelli. 2003. *Il riscaldamento del nostro pianeta: la situazione italiana con particolare riferimento alla Regione Lombardia e alla città di Milano*. CUSL; *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia*. C.Cacciamani, M.Lazzeri, A.Selvini, R.Tomozeiu, A. Zucherelli. ARPA Emilia Romagna, 2001, in Quaderno Tecnico ARPA-SMR, n.04/20019). Il valore medio annuale di Como risulta invece in controtendenza rispetto alla situazione generale del nord Italia dove è stata rilevata una leggera flessione.

6.1.4 Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale

La Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici della Regione Lombardia ha pubblicato, nel 2000, le carte delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino lombardo (Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino lombardo, 1891-1990, a cura di M. Ceriani e M. Carelli). La pubblicazione comprende tre carte tematiche a scala 1:250.000 (cfr. Figure 6.30, 6.31 e 6.32), un fascicolo con il commento alle stesse e la tabella dei dati di sintesi relativi alle stazioni pluviometriche. I dati utilizzati per l'elaborazione delle carte sono stati ricavati dagli "Annali Idrologici - parte prima" del Servizio Idrografico, Ufficio Idrografico del

Po, dal 1913 al 1983, e dalla Pubblicazione n.24 *“Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-1950 Bacino del Po”*.

Per alcune aree particolarmente significative i dati sono stati integrati, fino al 1990, con il reperimento diretto degli stessi presso le aziende idroelettriche (AEM, ENEL Sondel) e il Servizio Idrografico medesimo.

Particolare cura è stata riservata nella raccolta dei dati antecedenti il 1913 con una ricerca condotta nel Volume II - Bacino Imbrifero del Po - *“Osservazioni Pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915”* - Roma 1922, sempre del Servizio Idrografico.

Sono stati raccolti i dati di 543 stazioni ricadenti anche nelle aree limitrofe alla Lombardia alpina (Piemonte, Svizzera, Trentino), utilizzando solo quelle stazioni (372) per le quali erano disponibili almeno 10 anni di dati utili. Questi ultimi sono stati elaborati utilizzando un modello kriging di tipo lineare con griglia di 250 m.

In una visione d'insieme si può notare come partendo dalla pianura padana, o meglio dal corso del fiume Po, le precipitazioni medie annue (PMA) (cfr. Figura 6.30) tendono progressivamente ad aumentare spostandosi verso nord, cioè verso i rilievi prealpini.

All'altezza delle stazioni pluviometriche di Milano, Brescia, Desenzano (e altre), il valore della PMA si aggira infatti intorno ai 1000 mm/anno e l'andamento sinuoso risente dell'effetto delle valli principali (Adda, Brembo, Serio, Oglio) che favoriscono l'afflusso delle masse d'aria e di conseguenza delle perturbazioni. Ai primi rilievi prealpini (stazioni di Varese, Olgiate Comasco, Lecco e altre) le precipitazioni raggiungono invece valori elevati compresi fra i 1400 e i 1600 mm/anno con un andamento sempre sinuoso ma molto più articolato rispetto alla pianura per l'influenza dell'orografia. E' sui rilievi di questa prima fascia prealpina ed alpina che si raggiungono

i valori più elevati di PMA di tutta la regione con valori sempre superiori ai 2000 mm/anno (aree in blu scuro).

Tutta l'area della Valcamonica (bacino del fiume Oglio) rimane invece con valori medio bassi di PMA anche alle quote più alte, anzi si assiste ad una diminuzione dei valori spostandosi dal Lago di Iseo fino alla testata della valle (Passo del Tonale). La distribuzione delle PMA si presenta molto articolata anche nei bacini del Grembo e del Serio ma con valori sempre alti o molto alti compresi fra 1350 mm ed oltre 2000 mm/anno. Un'area di massimi relativi si ha anche nelle testate dei bacini dei fiumi Mella e Nozza mentre tutta l'area del lago di Garda, ivi compreso l'alto bacino del Mincio, ha valori medio bassi compresi fra 850 e 1200 mm/anno.

Un discorso a parte merita tutta la provincia di Sondrio con le sue due valli principali, Valchiavenna e Valtellina, che proprio per la situazione orografica complessa presenta una estrema variabilità dei valori di precipitazione: dai 700 mm/anno sul fondovalle agli oltre 1700 mm/anno sulle Alpi Orobie. In questa provincia le aree di maggior precipitazione (valori medi compresi tra i 1300 e 1900 mm/anno) si concentrano a ridosso dello spartiacque fra la Val Brembana ed il versante orobico della Valtellina e sul lato occidentale della Valchiavenna. Le zone a minor precipitazione, in questo caso di tutta la Lombardia alpina, con valori medi compresi fra 700 e 900 mm/anno, corrispondono infine all'alta Valtellina (Bormio) ed all'area di Livigno.

La Figura 6.30, oltre alla visione d'insieme alla scala regionale, propone anche uno zoom riferito alla scala territoriale della provincia di Como, evidenziando come alcune aree del territorio, in particolare l'area nord-occidentale in quota, il triangolo lariano e l'alta Valle d'Intelvi, rientrano tra quelle a maggiore piovosità media annuale di tutta la regione, con valori superiori a 2000 mm/anno.

Il confronto esteso a tutta la Lombardia alpina fra la carta delle precipitazioni medie annue con quelle delle precipitazioni massime annue (cfr. *Figura 6.31*) e delle precipitazioni minime annue (cfr. *Figura 6.32*) conferma nelle linee generali le considerazioni sopra riportate e cioè che i massimi assoluti coincidono con le aree delle medie annue più elevate e che i minimi assoluti coincidono con le aree di medie annue più basse.

La carta relativa alle precipitazioni massime (cfr. *Figura 6.31*), sempre vista alla scala regionale e, nel riquadro di maggior dettaglio, anche alla scala provinciale, mette ancor più in risalto le peculiarità del territorio della provincia di Como, con valori molto elevati (> 3000 mm/anno) nelle tre aree già evidenziate per i valori medi annuali (area nord-occidentale in quota, triangolo lariano e valle

d'Intelvi) e con valori comunque superiori ai 2000 mm/anno su tutto il territorio provinciale, a testimonianza della naturale predisposizione dell'intera provincia di Como a fenomeni di precipitazione intensi, con le conseguenti possibili ripercussioni sulla stabilità idrogeologica dei versanti e sulle caratteristiche idrologiche dei numerosi corsi d'acqua, tutti potenzialmente soggetti a fenomeni di piena. La *Figura 6.32* relativa alla precipitazioni minime annuali, sempre nella doppia scala regionale/provinciale, conferma infine le peculiarità del territorio provinciale con valori comunque superiori a 1000 mm/anno nelle aree in quota e valori minimi rilevati solo nelle estreme porzioni meridionali della provincia. Per tutte e tre le cartografie illustrate, la zonizzazione proposta per la provincia di Como rispecchia fedelmente quanto già evidenziato nel dettaglio al paragrafo 6.1.1 (indici annuali).

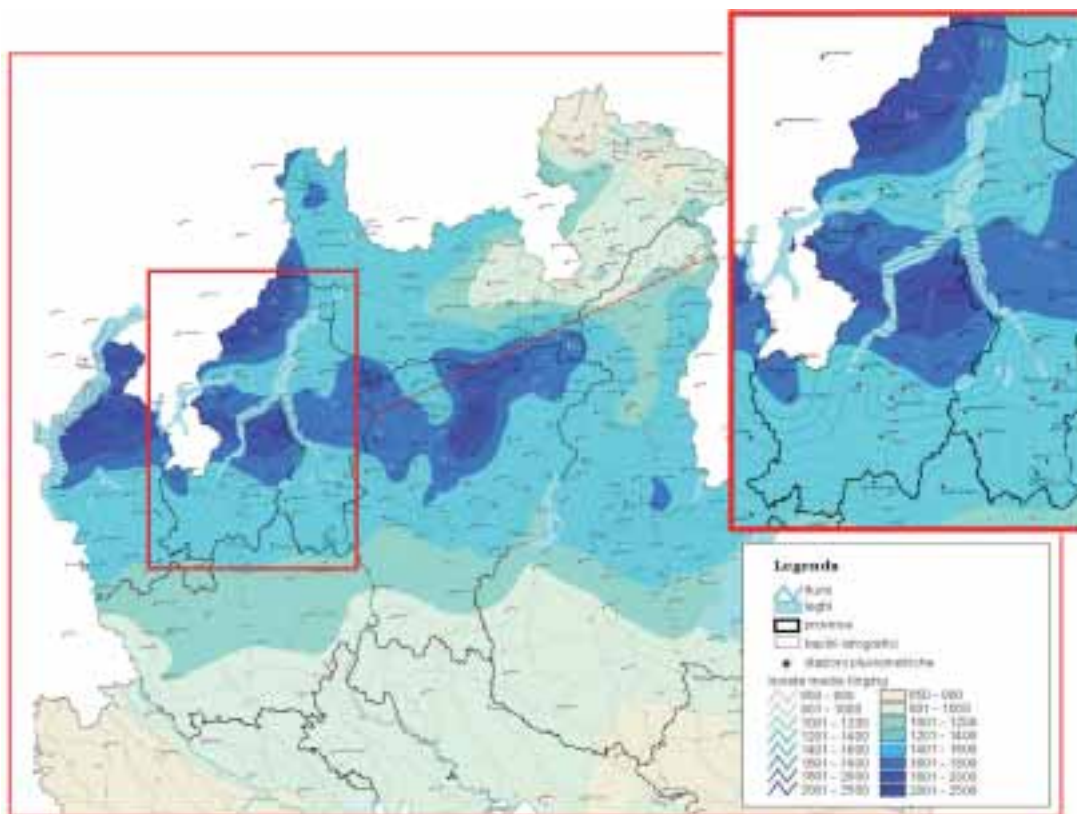


Figura 6.30 - Precipitazioni medie annue del territorio alpino lombardo (1891-1990)

(Fonte: Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, U.O. Difesa del Suolo, M.Ceriani. M.Carelli, 2000)

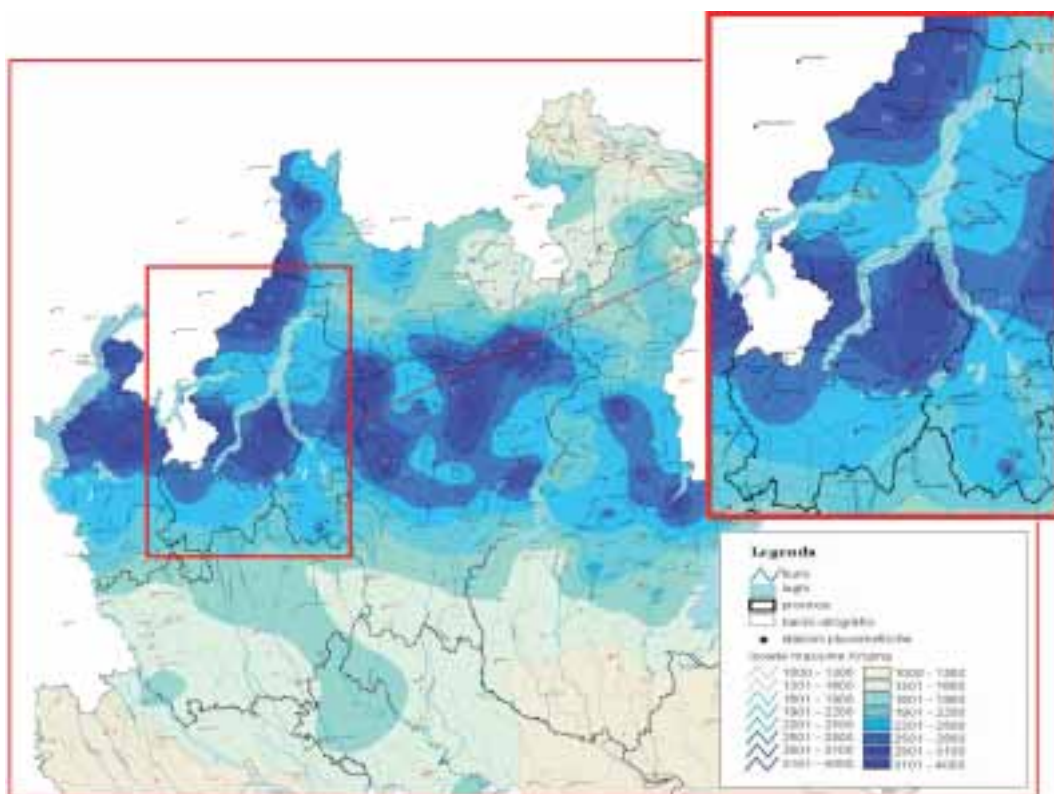


Figura 6.31 - Precipitazioni massime annue del territorio alpino lombardo (1891-1990)
 (Fonte: Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, U.O. Difesa del Suolo, M.Ceriani, M.Carelli, 2000)

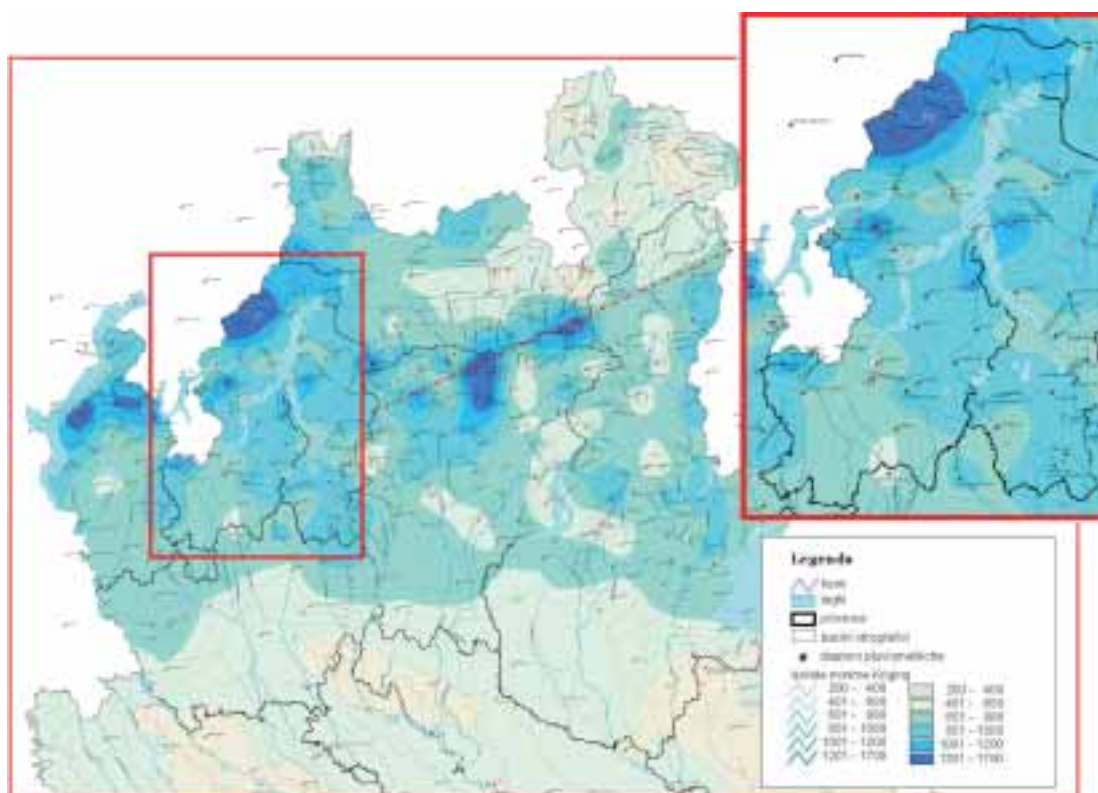


Figura 6.32 - Precipitazioni minime annue del territorio alpino lombardo (1891-1990)
 (Fonte: Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, U.O. Difesa del Suolo, M.Cerini, M.Carelli, 2000)

Per quanto riguarda invece i **caratteri stagionali** di precipitazione si fa riferimento in questo studio alle numerose informazioni contenute nel Piano Regionale di Qualità dell'Aria (PRQA) (Fonte: "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001) e ai lavori realizzati da ERSAL (Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo della Lombardia, ora ERSAF) utilizzando le stazioni di monitoraggio del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici, del Servizio Meteorologico dall'Aeronautica e dell'Istituto Sperimentale per la cerealicoltura, con analisi riferite al 50° percentile su un periodo di tempo di circa un quarantennio (1950-1996).

A livello territoriale regionale ciascuna delle quattro stagioni è caratterizzata da un proprio aspetto pluviometrico.

Le quattro cartografie di seguito illustrate propongono sia una visione d'insieme alla scala regionale sia uno zoom alla scala territoriale della provincia di Como, anche se, in questo secondo caso, le zonizzazioni omogenee proposte per la parte provinciale non sono rappresentative di quel maggior dettaglio di informazioni descritto nelle tabelle, negli indici e nei grafici al paragrafo 6.1.2 (indici stagionali) e riferito a ben 18 stazioni pluviometriche considerate in questo studio.

L'inverno (cfr. Figura 6.33) è la stagione con le precipitazioni meno abbondanti: nelle vallate più interne (Valtellina) le precipitazioni sono in generale inferiori ai 110 mm in media (50° percentile) mentre lungo le falde dei rilievi orientali si hanno quantità medie di 200 mm.

Le precipitazioni si verificano spesso sotto forma di neve. I casi di temporali con precipitazioni sono assai scarsi in tutta la regione; le zone in cui vi è una maggiore probabilità che si verifichi nei mesi freddi qualche sporadico

temporale sono solo le Alpi marittime e le Alpi orientali.

In primavera (cfr. Figura 6.34) la frequenza dei giorni con precipitazioni, e con temporali, aumenta gradualmente. La distribuzione nello spazio rimane con un massimo ben distinto lungo tutte le Prealpi lombarde (provincia di Como inclusa).

L'estate (cfr. Figura 6.35) invece è la stagione più temporalesca perché il riscaldamento diurno dei versanti dei monti diviene il fattore più importante nella genesi dei temporali. La frequenza estiva si aggira quasi ovunque sui 12 - 16 giorni con temporale.

La frequenza è minore in corrispondenza delle vallate del Ticino e dell'Adige in quanto queste rendono più difficile la formazione dei temporali orografici a bassa quota.

Sulle Alpi centrali le precipitazioni aventi un carattere temporalesco sono in generale notevoli. Le piogge avvengono in media per circa 30 giorni nella regione spartiacque intorno a 3000 m, per 8-10 giorni nelle valli più riparate; la quantità varia molto con l'altitudine.

Durante l'autunno infine (cfr. Figura 6.36) le precipitazioni diminuiscono in frequenza e quantità nelle zone più interne delle Alpi, mentre sul versante Piemontese, nella parte meridionale delle Alpi centrali (provincia di Como inclusa) e nelle Alpi orientali le precipitazioni, specie sui versanti esposti a sud, raggiungono i valori più alti dell'anno. I massimi variano da 400 mm nelle Alpi centro occidentali a 460 mm nelle Alpi Carniche.

Per quanto riguarda il confronto tra la situazione media regionale ed il territorio della provincia di Como, in riferimento alle Figure 6.33 - 6.36 sono da rilevare in particolare: la posizione del Triangolo Lariano come una delle aree regionali con i valori stagionali più elevati; l'area dell'alto lago con valori invernali e primaverili inferiori alla media del territorio provinciale; gli alti valori estivi di tutta l'area alpina della provincia di Como.

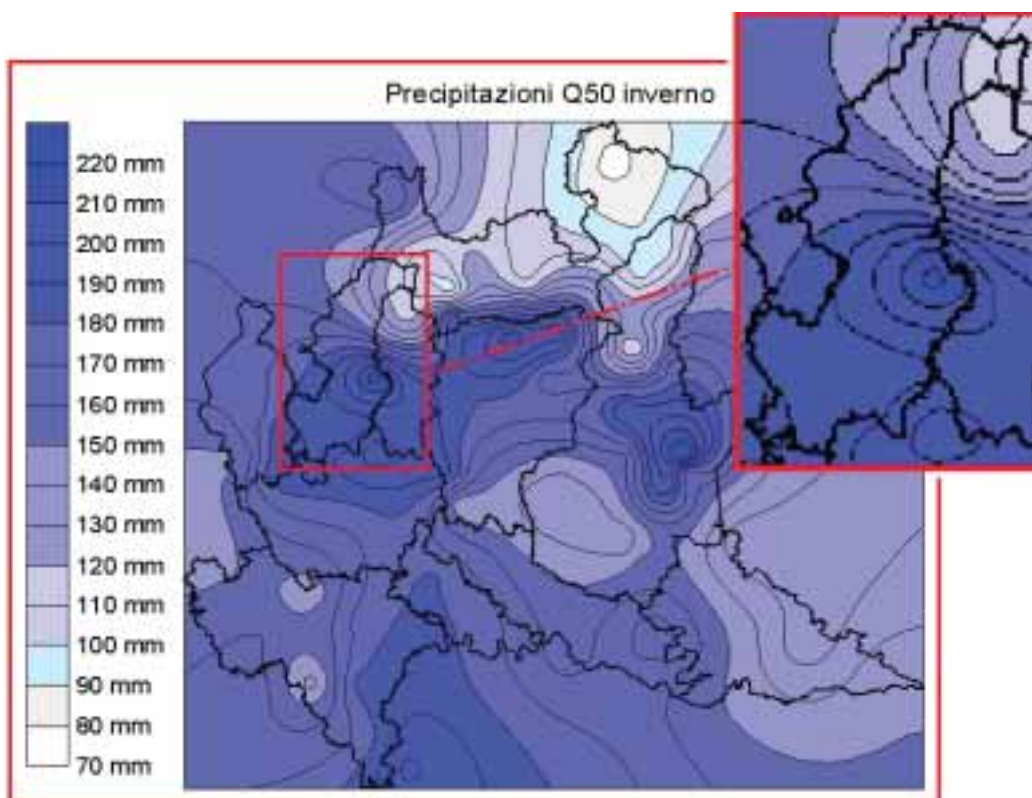


Figura 6.33 Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie invernali
(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell’Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l’Ambiente, 2001)

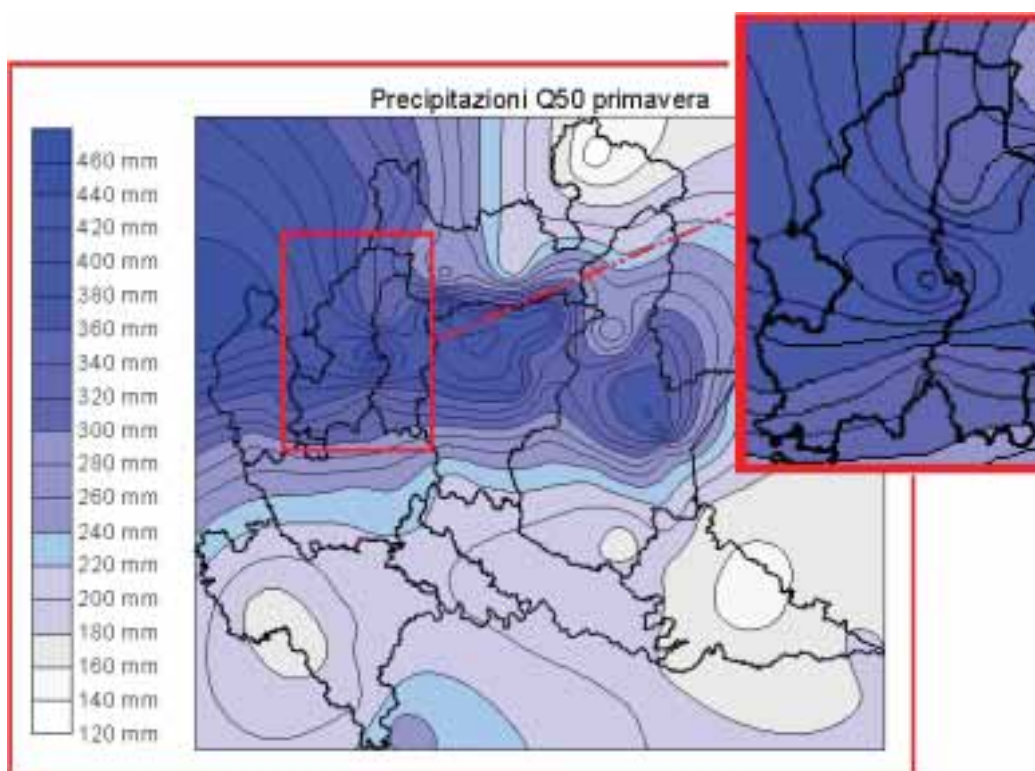


Figura 6.34 Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie primaverili
(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell’Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l’Ambiente, 2001)

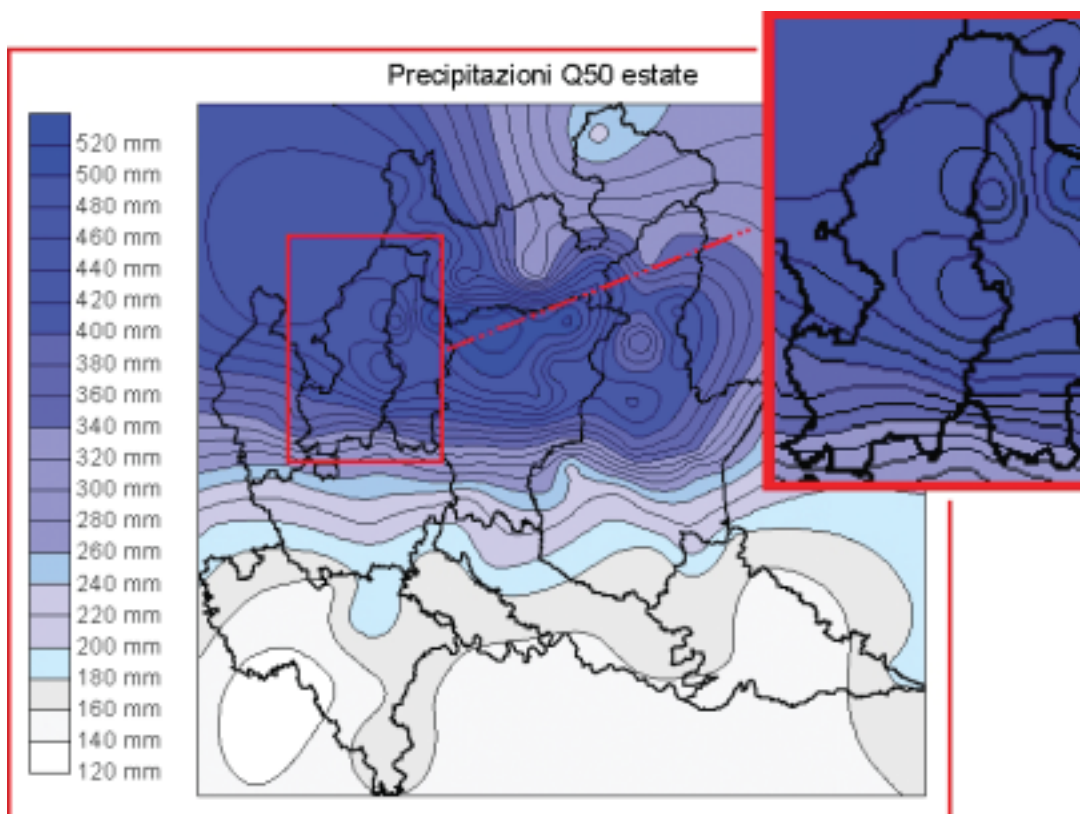


Figura 6.35 Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie estive

(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

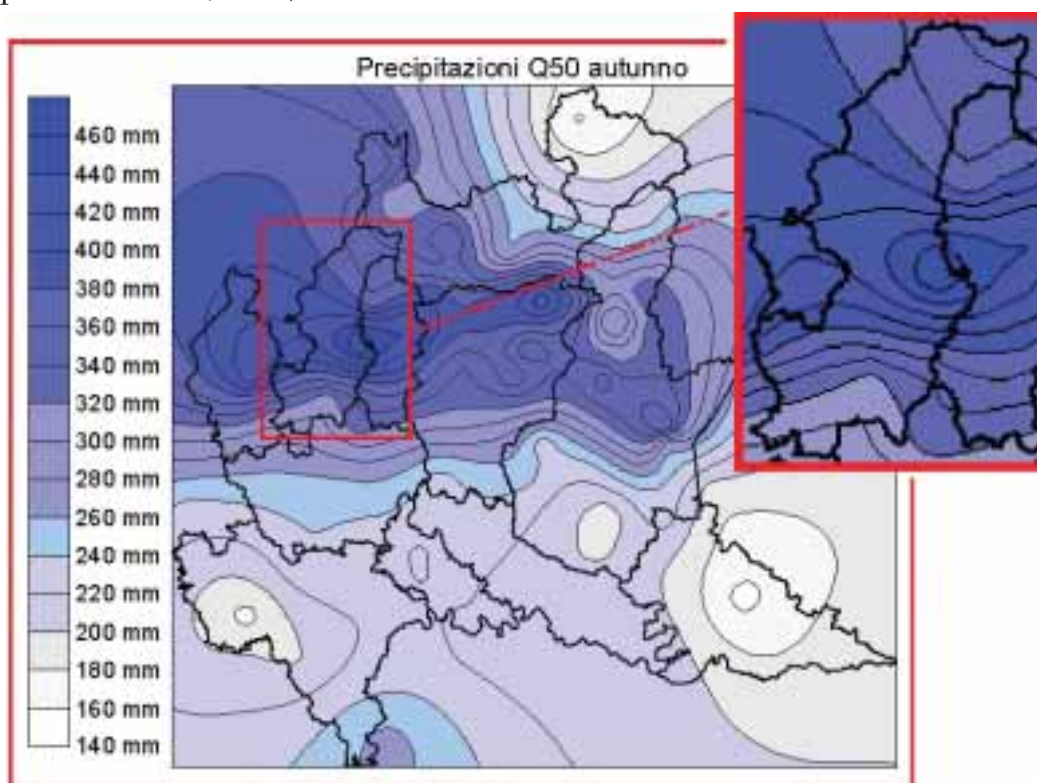


Figura 6.36 Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie autunnali

(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

6.2 TEMPERATURA

La temperatura dell'aria è uno degli elementi meteorologici e climatologici tra i più percepibili dalle persone e costituisce motivo di discussione, a volte controverso, sui reali valori della stessa. La sensazione di caldo o freddo dipende molto anche dalla sensibilità personale.

È utile ricordare che il parametro temperatura non dovrebbe essere scisso da quello dell'indice di calore, ovvero alla combinazione temperatura - umidità relativa. In realtà, a differenza di quanto pensa la gente comune, la temperatura misurata da tutti gli strumenti professionali è quella dell'aria e non del suolo. Vero è che tutte le forme di energia hanno la loro comune origine dalla radiazione solare assorbita dalla superficie terrestre, ma tale energia viene riemessa sia dal suolo che dall'atmosfera sotto forma di radiazione nell'infrarosso.

L'irraggiamento quindi è il fattore che determina maggiormente l'escursione termica giornaliera, la quale dipende soprattutto, oltre che dalla vicinanza del terreno (oltre i 1000-1500 m/s.l.m. diventa trascurabile) dall'orografia del terreno (il territorio lariano specie quello alpino e prealpino presenta una orografia complessa).

Prescindendo da tali considerazioni la temperatura dell'aria decresce con la quota mediamente di 0,6 ° C ogni 100 m; gradienti superiori a tale valore determinano spesso instabilità atmosferica; valori uguali isoterma; valori inferiori inversioni termiche che favoriscono oltre al ristagno di sostanze inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera anche la nebbia specie durante il periodo autunno-inverno.

Le stazioni di misura delle temperature considerate in questo studio (cfr. *Figura 6.37*) sono quindici (15), da nord a sud: Samolaco (SO) (n.6), Gorghiglio (n.42), Regea (n.41), Colico

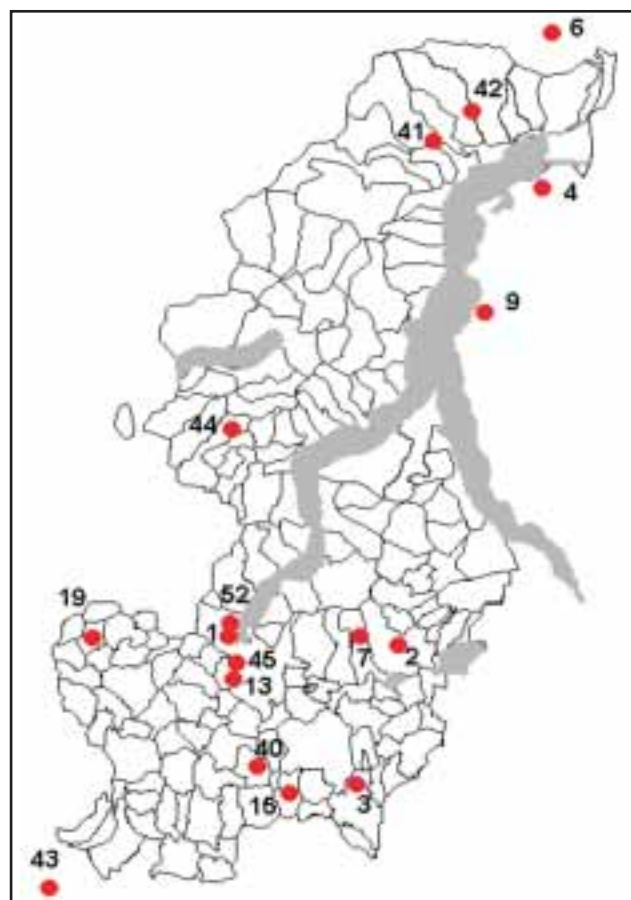


Figura 6.37 - Ubicazione stazioni per confronto delle temperature medie stagionali (1991-2002)

(LC) (n.4), Bellano (LC) (n.9), San Fedele Intelvi (n.44), Valmorea (n.19), Como - Villa Olmo (solo per serie storica) (n.52), Como - Municipio (solo per serie storica) (n.45), Como - Rebbio (n.13), Erba (n.2), Vertemate con Minoprio (n.40), Mariano Comense (n.3), Carimate (n.15), Castellanza (VA) (n.43). La stazione di riferimento è quella di Como Villa Gallia (n.1).

Si ricorda che per alcune stazioni il dato mensile, originariamente parziale o mancante, è stato integrato con quello delle stazioni più vicine per posizione geografica e/o altimetria (cfr. *Tabella 5.B.1.1, 5.B.1.2, 6.3, 6.4*).

In questa sezione vengono dapprima illustrate alcune considerazioni generali sulle caratteristiche, l'andamento e la distribuzione delle temperature giornaliere massime, minime e medie.

L'ipotesi di una ripartizione del territorio comasco in aree omogenee sotto l'aspetto termico, prende invece come riferimento i valori medi stagionali rilevati nel periodo utile (1991-2002), anche se solo per gli anni più recenti è possibile un confronto omogeneo tra più stazioni presenti sul territorio. Le stagioni vengono considerate come segue:

- inverno: mesi di dicembre, gennaio, febbraio;
- primavera: mesi di marzo, aprile, maggio;
- estate: mesi di giugno, luglio, agosto;
- autunno: mesi di settembre, ottobre, novembre.

Solo per la stazione di Como viene infine proposta anche una analisi della serie storica delle temperature medie annuali, finalizzata alla valutazione dei possibili trend direttamente collegabili al fenomeno del riscaldamento globale, seppur visto ad una scala locale.

6.2.1 Andamento generale delle temperature giornaliere: massime, minime, medie

Esistono numerosi fattori spaziali e temporali, strettamente legati alla posizione delle singole stazioni, che possono apportare significative variazioni di temperatura anche alla piccolissima scala. Tra questi si sottolineano:

- esposizione della stazione di monitoraggio all'irraggiamento solare diretto, specialmente nella stagione invernale;
- esposizione della stazione di monitoraggio a vallate particolarmente esposte a correnti di aria fredda (es. Valtellina, Val Chiavenna, Valsassina, vallate minori attorno al lago);
- influenza diretta dei bacini lacustri che operano una intensa azione mitigatrice, specialmente nelle stagioni fredde, con temperature delle acque di qualche grado superiore alle corrispondenti temperature dell'aria sulla terra ferma e per una generale assenza di nebbie;

- presenza o assenza di nebbie persistenti che riducono drasticamente la radiazione solare;
- aree caratterizzate da frequenti fenomeni di inversioni termiche.

Un fattore di particolare importanza è inoltre il **profilo termico verticale** in quanto la diffusione del calore e la diluizione di eventuali inquinanti o aerosols, accumulati negli strati prossimi al suolo, sono profondamente legati, oltre che al trasporto orizzontale operato dal vento, anche alla presenza di moti verticali i quali diffondono il calore e/o gli inquinanti su uno strato verticale.

Per questi motivi si intuisce anche l'importanza rivestita dalle **inversioni termiche** le quali, a causa della elevata stabilità atmosferica, agevolano il ristagno di eventuali inquinanti e aerosols negli strati interessati dall'inversione termica, che, per quanto riguarda la provincia comasca, risultano essere quelli delle valli o dei canaloni e in misura leggermente inferiore quelli della pianura. Il periodo maggiormente interessato dal fenomeno delle inversioni termiche risulta quello invernale per la presenza del dominio anticiclonico.

In riferimento alle Tabelle ed ai Grafici riportati in Appendice (cfr. *Tabelle 5.B.2.1 - 5.B.2.15, Grafici 5.B.2.1 - 5.B.2.15*) si può notare che nel **periodo invernale** le **temperature massime** (Tmax) assumono i valori più bassi, oltre ovviamente alle aree in quota, nelle aree meridionali ed in particolare in alcune zone depresse caratterizzate da quote inferiori rispetto al livello medio di pianura. (Carimate, Mariano ed altre località limitrofe). E' evidente in questo comportamento l'influenza della nebbia e dell'accumulo di aria fredda nei bassi strati dell'atmosfera, la quale riducendo l'apporto di radiazione solare, impedisce che possano essere raggiunti valori analoghi a quelle delle aree adiacenti non interessate dal fenomeno.

Le più alte Tmax si osservano invece in pros-

simità dei rilievi collinari prealpini e, a livello generale, nelle aree adiacenti i laghi.

L'andamento delle **temperature minime** (Tmin) giornaliere nel medesimo periodo evidenzia valori lievemente più elevati in prossimità dei laghi, come conseguenza diretta dell'azione mitigatrice del lago. Le più basse Tmin si osservano in prossimità dei rilievi e nelle aree depresse della pianura meridionale. Questi bassi valori sono determinati dalla discesa di aria più fredda nelle ore notturne dalle aree alpine, prealpine e collinari e, a volte, anche dalla contro radiazione notturna. Nel **periodo primaverile** il comportamento delle temperature massime giornaliere è invece caratterizzato, in contrapposizione al periodo freddo, da valori più elevati proprio lungo l'asse longitudinale dell'area di pianura, circostanza da ascrivere alla quasi totale assenza di nebbia nel periodo primaverile ed anche ai frequenti casi di Foehn. Le Tmax più contenute si osservano in prossimità dei rilievi dove la maggiore altitudine delle aree in esame, unitamente all'assenza di inversioni termiche nelle ore diurne, determinano il naturale decremento della temperatura con la quota.

In **estate** il campo delle temperature massime è caratterizzato da un massimo lungo la fascia meridionale della provincia. Tale comportamento è determinato da un maggior ristagno ed accumulo di calore nello strato atmosferico superficiale, poiché la modesta ventilazione di tali aree riduce la diffusione turbolenta del calore verso gli strati più alti. Gran parte dell'area insubrica è invece influenzata dalla circolazione di brezza diurna per cui il campo termico risulta più mitigato. I valori più bassi delle Tmax si riscontrano infine nella zona prealpina e alpina, a causa del naturale decremento della temperatura con la quota. L'andamento delle temperature minime risulta invece caratteristico di tutte le zone prealpine e alpine.

Per quanto riguarda infine le **temperature medie giornaliere** si evidenziano i due casi estremi riferiti ai mesi di gennaio (il più freddo) e luglio (il più caldo). Nel primo caso si osserva una distribuzione caratteristica con i valori più bassi ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) nelle stazioni di quota e nelle aree a settentrione della provincia; valori intermedi ($2\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}$) nelle aree costiere del lago e della bassa pianura; valori leggermente superiori ($> 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) in corrispondenza dei principali centri abitati (Como, Cantù, Erba, Castellanza), situazione dovuta al probabile effetto di "isola di calore" caratteristico delle urbanizzazioni di grandi-medie dimensioni. Per il mese di luglio invece la situazione presenta valori minori ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) nelle stazioni di quota, valori intermedi ($20\text{-}23\text{ }^{\circ}\text{C}$) nelle aree costiere del lago e della fascia di pianura e valori leggermente superiori ($> 23\text{ }^{\circ}\text{C}$) in corrispondenza dei principali centri abitati (Como, Cantù, Erba, Castellanza).

6.2.2 Indici stagionali

I risultati delle elaborazioni vengono espressi come **indici stagionali** ovvero come scostamento del valore di temperatura media stagionale della stazione considerata, rispetto al valore della stessa stagione rilevato a Como Villa Gallia (stazione di riferimento con indice posto uguale a zero).

Le Tabelle 6.4 e 6.5 riportano le temperature medie stagionali ed i relativi valori degli indici riferiti alla stazione di riferimento di Como. Le Figura 6.38 - 6.51 illustrano invece gli andamenti degli indici ed i rapporti tra le diverse stazioni per ogni stagione e ogni anno considerato nel periodo 1991-2002.

Temperature medie stagionali [°C]																
Anno	Stagione	Samolaco	Gorghiglio	Regea	Colico	Bellano	San Fedele	Valmorea	Como - Villa Gallia	Como Rebbio	Albavilla	Erba	Minoprio	Mariano Comense	Carimate	Castellanza
1991	Inverno												2,99			11,83
	Primavera		9,27	8,87	12,50				13,14				23,58			22,93
	Estate		19,67	19,43	22,89				24,56				13,60			13,30
1992	Autunno		10,87	9,91	12,96								4,08			3,83
	Inverno		3,87	1,44	3,27				5,52				13,07			13,33
	Primavera		10,42	10,10	13,26				13,99				21,46			22,07
1993	Estate		19,12	18,82	22,58				22,87				12,20			13,47
	Autunno		10,88	9,86	12,36				13,88				4,27			4,73
	Inverno		3,88	1,99	3,38				5,20				12,74			12,97
1994	Primavera		10,31	10,08	13,06				13,52				21,99			22,30
	Estate		19,28	18,46	21,88				23,31				11,78			12,87
	Autunno		10,11	8,56	11,32				12,87				3,65			5,67
1995	Inverno			1,19	3,52	3,10			5,54			5,19	13,15			13,77
	Primavera		11,13	10,76	13,56	12,48			14,52		12,53	14,19	22,98			23,43
	Estate		20,31	20,08	23,09	22,52			24,85		22,72	25,21	12,76			13,57
1996	Autunno	12,06	12,31	10,71	13,19	12,39			14,21		12,60	14,85	12,48			13,57
	Inverno	3,74	4,24	1,34	4,07	3,80			5,85		4,25	5,26	4,78			5,50
	Primavera	11,57	9,63	9,39	12,78	11,97			13,42		11,46	13,16	12,37			12,40
1997	Estate	21,26	19,29	18,51	22,03	21,06			23,04		21,13	22,83	21,77			21,70
	Autunno	12,22	11,32	10,08	12,56	11,95			13,83	13,31	12,50	14,48	13,23			13,17
	Inverno	3,16	2,68	0,44	3,50	3,40			4,95	2,68	3,25	4,15	3,96			3,90
1998	Primavera	11,86	9,59	9,14	12,77	11,90			13,21	11,06	13,36	13,36	12,46			12,23
	Estate	20,53	18,83	18,19	20,92	21,86			22,84	22,51	20,71	23,24	21,82			21,33
	Autunno	11,53	10,38	9,40	12,24	11,94			13,50	12,32	11,94	12,84	12,56			13,03
1999	Inverno	3,57	4,27	1,92	4,17	4,53			6,03	4,05	4,60	5,30	4,03			5,80
	Primavera	12,26	11,21	11,06	14,08	13,67			14,79	12,83	13,02	14,38	13,42			14,30
	Estate	20,15	18,60	17,85	21,24	21,53			22,79	21,91	20,72	22,70	21,69			21,83
2000	Autunno	13,12	12,29	10,75	13,69	13,53			16,08	14,21	14,11	14,58	13,16			14,67
	Inverno	4,64	4,76	2,18	4,47	4,90			6,15	5,23	4,30	7,09	6,13			6,03
	Primavera	12,20	10,24	9,71	13,14	12,62			13,68	12,28	11,18	12,75	12,92			13,03
2001	Estate	21,67	20,02	18,90	22,71	22,73			24,17	23,16	21,46	23,00	22,67			23,17
	Autunno	11,46	10,16	8,86	11,76	11,52			13,32	12,44	11,08	12,33	12,03			12,97
	Inverno	3,34	2,58	0,55	3,26	3,51			5,05	4,04	3,46	3,87	4,66			4,43
2002	Primavera	12,96	10,68	10,89	13,43	13,19			14,35	14,10	11,37	13,49	13,34			13,60
	Estate	21,20	18,66	19,00	21,83	21,71			23,18	22,05	20,86	22,05	22,18			22,30
	Autunno	12,74	11,49	10,40	14,05	12,86			14,50	13,88	12,73	13,40	13,73			13,63
2003	Inverno	2,67	3,66	0,87	3,30	3,91			5,45	4,39	3,93	4,27	5,29			5,00
	Primavera	12,96	11,50	10,91	13,84	13,52			14,29	13,34	12,44	13,55	14,21			14,30
	Estate	21,70	19,95	18,80	22,05	21,93			23,50	21,90	21,23	22,33	22,54			22,97
2004	Autunno	12,43	11,37	10,33	13,09	13,13			14,56	13,04	12,58	13,53	14,06			13,93
	Inverno	3,43	4,79	1,80	4,64	5,05			6,04	4,65	4,01	4,95	6,03			5,53
	Primavera	12,07	11,03	10,08	13,46	12,90			14,24	13,07	12,58	13,29	13,66			13,60
2005	Estate	20,43	20,09	18,87	21,25	22,37			23,63	22,55	20,54	22,63	22,81			23,03
	Autunno	10,61	12,22	10,14	11,22	12,57			13,43	13,02	11,50	12,89	13,15			13,27
	Inverno	-0,11	4,11	-0,03	1,58	2,90			6,04	4,18	2,44	3,57	4,28			2,19
2006	Primavera	12,00	11,02	10,44	12,38	12,87			15,09	13,78	11,44	13,15	13,84			12,38
	Estate	20,88	19,51	19,33	20,73	22,43			24,02	22,83	20,46	22,01	22,66			21,57
	Autunno	12,16	11,99	10,93	12,20	13,37			14,40	14,09	13,02	13,62	13,98			12,81

Tabella 6.4 - Temperature medie stagionali

Legenda

dato parzialmente integrato

dato non utilizzabile/disponibile

Indici delle Temperature medie stagionali [°C]																	
Anno	Stagione	Samolaco	Gorghiglio	Regea	Colico	Bellano	San Fedele	Valmorea	Como Rebbio	Albavilla	Erba	Minoprio	Mariano Comense	Carimate	Castellanza	Como - Villa Gallia	
1991	Inverno		-3,87	-4,27	-0,64							2,					0,00
	Primavera		-4,89	-5,13	-1,67							-0,52					0,00
	Estate											-0,98					0,00
1992	Autunno																0,00
	Inverno		-1,65	-4,08	-2,25							-1,44					0,00
	Primavera		-3,57	-3,89	-0,74							-0,92					0,00
1993	Estate		-3,75	-4,05	-0,29							-1,41					0,00
	Autunno		-3,00	-4,02	-1,82							-1,68					0,00
	Inverno		-1,32	-3,21	-1,82							-0,94					0,00
1994	Primavera		-3,20	-3,44	-0,45							-0,77					0,00
	Estate		-4,03	-4,85	-1,44							-1,33					0,00
	Autunno		-2,76	-4,31	-1,54							-1,09					0,00
1995	Inverno		-4,35	-4,51	-2,02	-2,44					-0,35						0,13
	Primavera		-3,39	-3,77	-0,96	-2,05				-1,99	-0,34	-1,37					0,00
	Estate		-4,55	-4,78	-1,76	-2,34				-2,13	0,36	-1,87					0,00
1996	Autunno	-2,15	-1,90	-3,50	-1,02	-1,82				-1,61	0,64	-1,45					0,00
	Inverno	-2,10	-1,60	-4,51	-1,78	-2,05				-1,59	-0,59	-1,07					0,00
	Primavera	-1,85	-3,79	-4,03	-0,64	-1,45				-1,96	-0,27	-1,05					0,00
1997	Estate	-1,78	-3,75	-4,53	-1,01	-1,98				-1,91	-0,21	-1,27					0,00
	Autunno	-1,61	-2,51	-3,75	-1,27	-1,88				-1,33	0,64	-0,60					0,00
	Inverno	-1,80	-2,27	-4,52	-1,45	-1,56				-1,70	-0,80	-1,00					0,00
1998	Primavera	-1,36	-3,63	-4,07	-0,44	-1,31				-1,64	0,15	-0,75					0,00
	Estate	-2,31	-4,01	-4,65	-0,92	-0,98				-2,13	0,41	-1,02					0,00
	Autunno	-1,97	-3,11	-4,10	-1,26	-1,56				-1,56	-0,66	-0,94					0,00
1999	Inverno	-2,46	-1,75	-4,11	-1,86	-1,50				-1,43	-0,73	-2,00					0,00
	Primavera	-2,53	-3,58	-3,72	-0,71	-1,11				-1,77	-0,41	-1,37					0,00
	Estate	-2,64	-4,19	-4,94	-1,55	-1,26				-2,07	-0,09	-1,10					0,00
2000	Autunno	-2,96	-3,79	-5,33	-2,39	-2,55				-1,87	-1,50	-1,41					0,00
	Inverno	-1,51	-1,39	-3,97	-1,68	-1,25				-1,85	0,94	-0,02					0,00
	Primavera	-1,48	-3,44	-3,97	-0,54	-1,06				-2,50	-0,93	-0,77					0,00
2001	Estate	-2,50	-4,15	-5,28	-1,46	-1,45				-2,71	-1,18	-1,50					0,00
	Autunno	-1,86	-3,16	-4,46	-1,56	-1,80				-2,24	-1,50	-1,29					0,00
	Inverno	-1,71	-2,47	-4,51	-1,80	-1,55				-1,01	-1,18	-0,39					0,00
2002	Primavera	-1,40	-3,67	-3,47	-0,93	-1,16				-2,98	-0,87	-1,02					0,00
	Estate	-1,98	-4,53	-4,18	-1,35	-1,47				-2,32	-1,13	-1,00					0,00
	Autunno	-1,76	-3,01	-4,10	-0,45	-1,64				-1,77	-1,10	-0,77					0,00
2003	Inverno	-2,79	-1,79	-4,58	-2,15	-1,54				-1,52	-1,19	-0,17					0,00
	Primavera	-1,34	-2,79	-3,39	-0,45	-0,78				-1,85	-0,75	-0,09					0,00
	Estate	-1,81	-3,55	-4,70	-1,45	-1,57				-2,27	-1,17	-0,95					0,00
2004	Autunno	-2,13	-3,19	-4,24	-1,48	-1,43				-1,98	-1,03	-0,50					0,00
	Inverno	-2,61	-1,25	-4,23	-1,40	-0,99				-2,03	-1,08	-0,01					0,00
	Primavera	-2,17	-3,20	-4,15	-0,77	-1,34				-1,66	-0,94	-0,57					0,00
2005	Estate	-3,21	-3,54	-4,76	-2,38	-1,27				-3,10	-1,01	-0,82					0,00
	Autunno	-2,82	-3,29	-3,29	-2,20	-0,86				-1,93	-0,53	-0,28					0,00
	Inverno	-6,16	-1,94	-6,08	-4,47	-3,14				-3,61	-2,47	-1,77					0,00
2006	Primavera	-3,09	-4,07	-4,66	-2,72	-2,23				-3,65	-1,95	-1,26					0,00
	Estate	-3,14	-4,51	-4,69	-3,29	-1,58				-3,55	-2,01	-1,35					0,00
	Autunno	-2,24	-2,41	-3,46	-2,20	-1,03				-1,38	-0,78	-0,42					0,00

Tabella 6.5 - Indici delle Temperature medie stagionali

Legenda dato integrato/ricostruito dato non utilizzabile/disponibile indice non valutabile

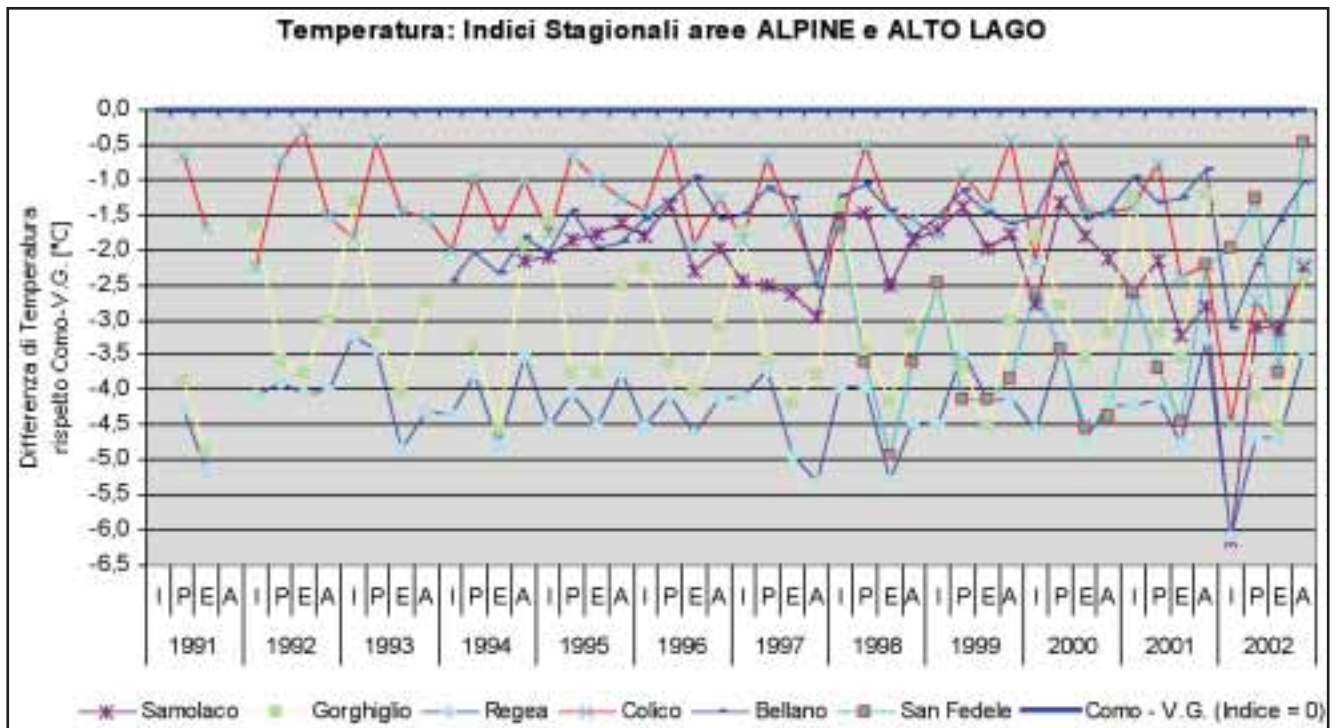


Figura 6.38 - Indici stagionali per le aree alpine e alto lago

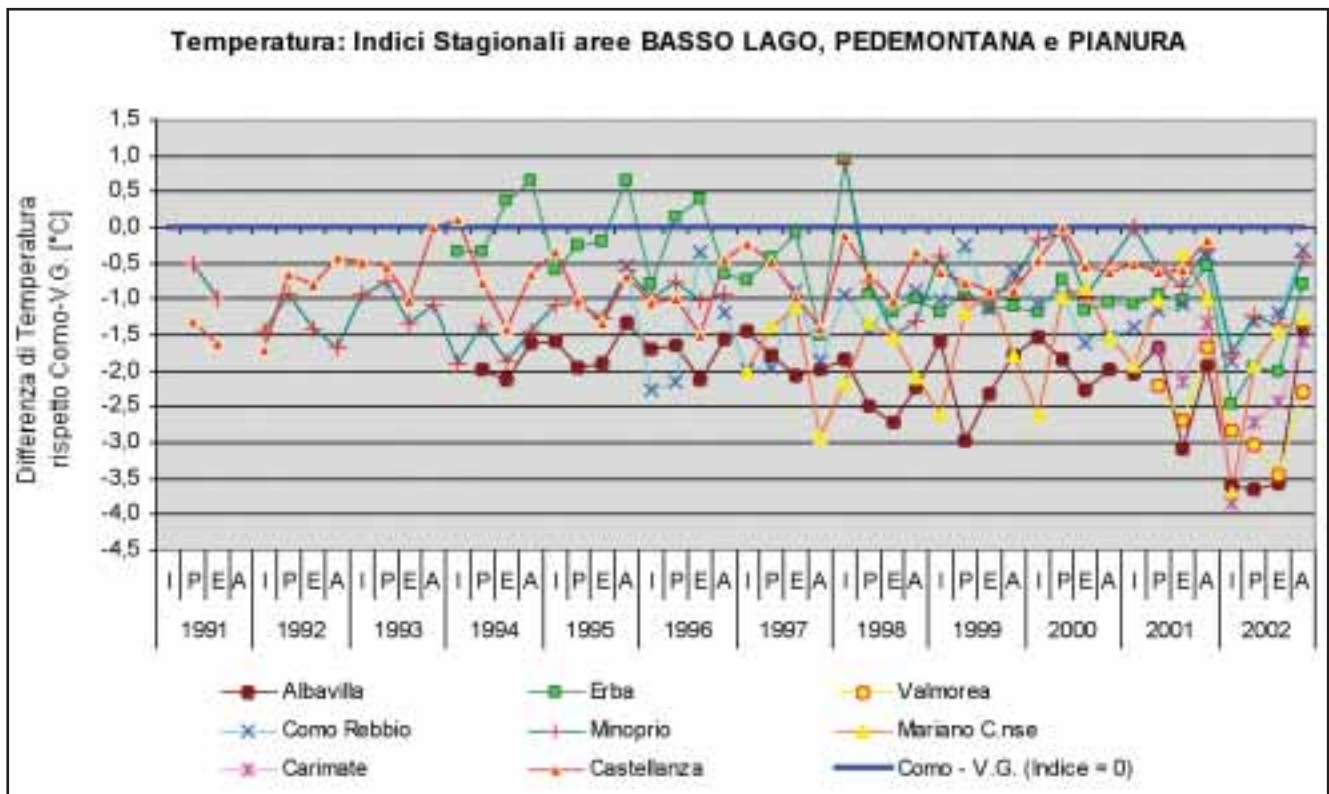


Figura 6.39 - Indici stagionali per le aree basso lago, pedemontana, pianura

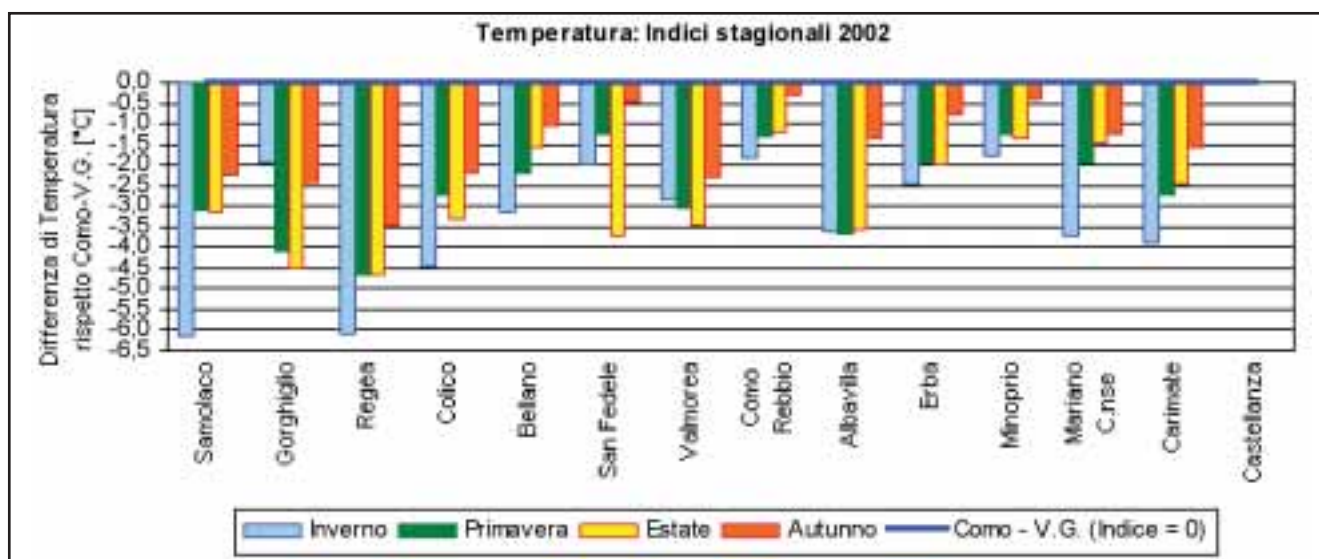


Figura 6.40 - Indici stagionali anno 2002

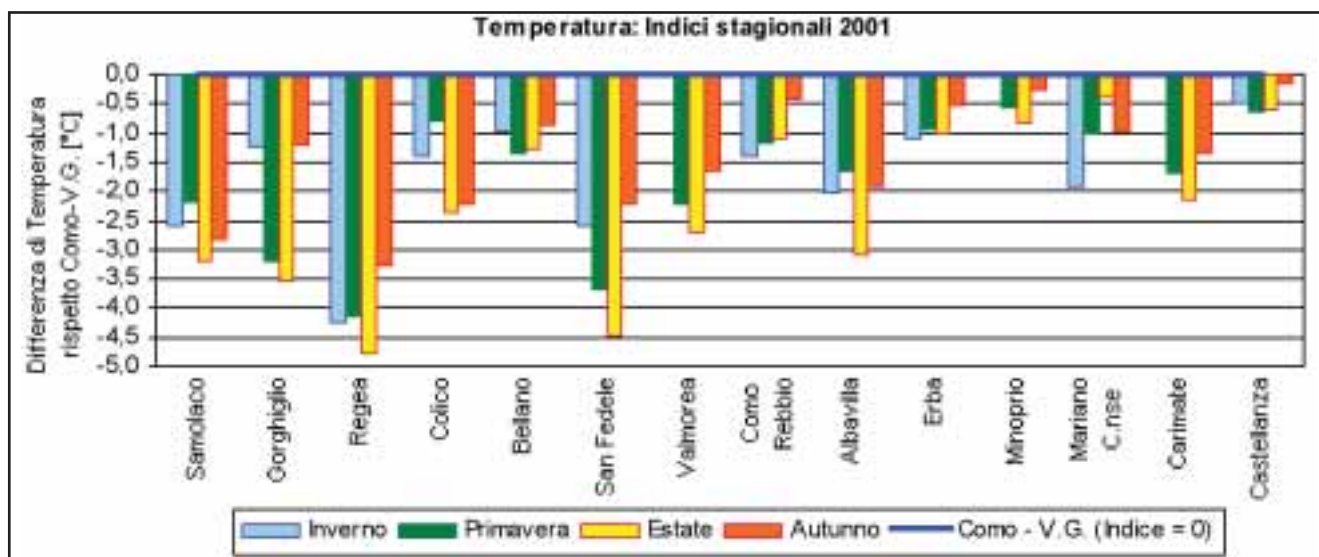


Figura 6.41 - Indici stagionali anno 2001

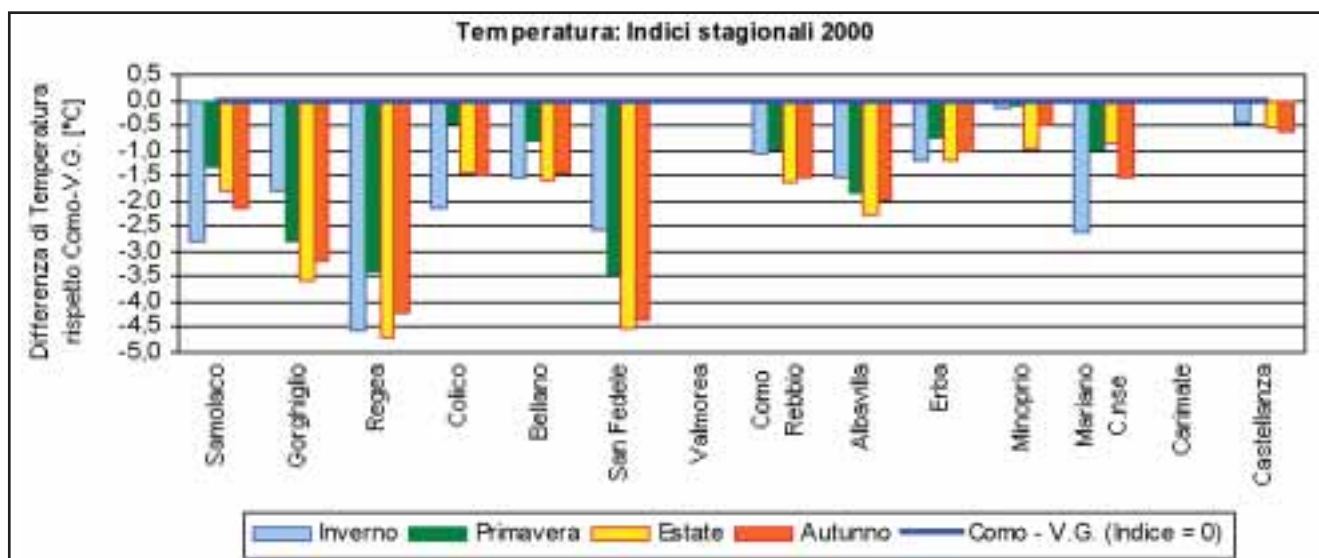


Figura 6.42 - Indici stagionali anno 2000

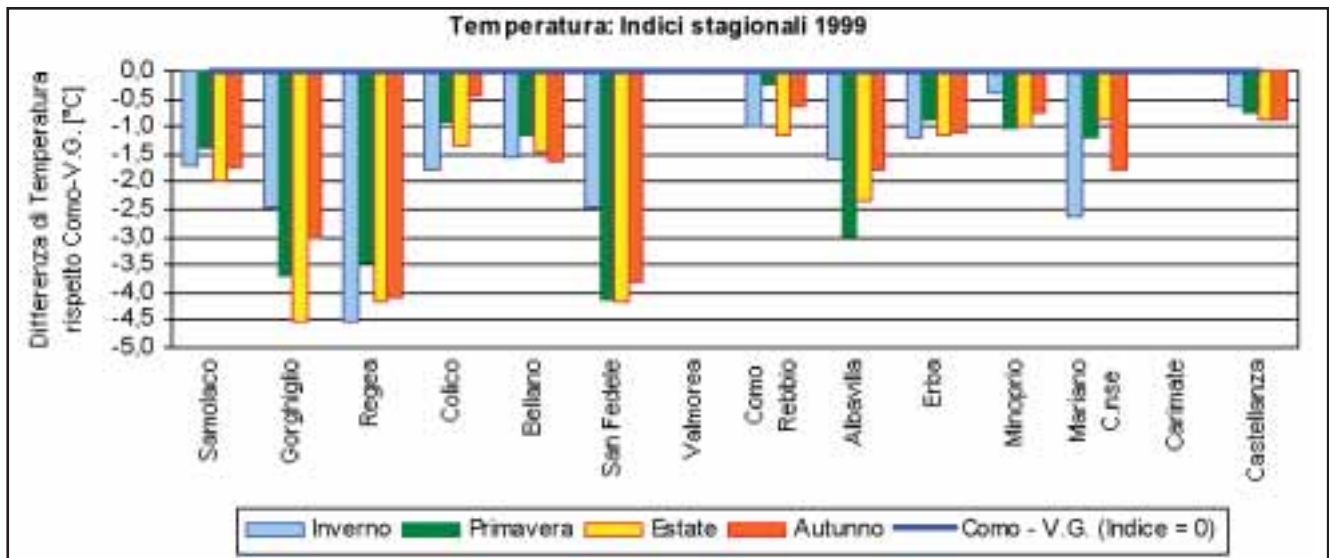


Figura 6.43 - Indici stagionali anno 1999

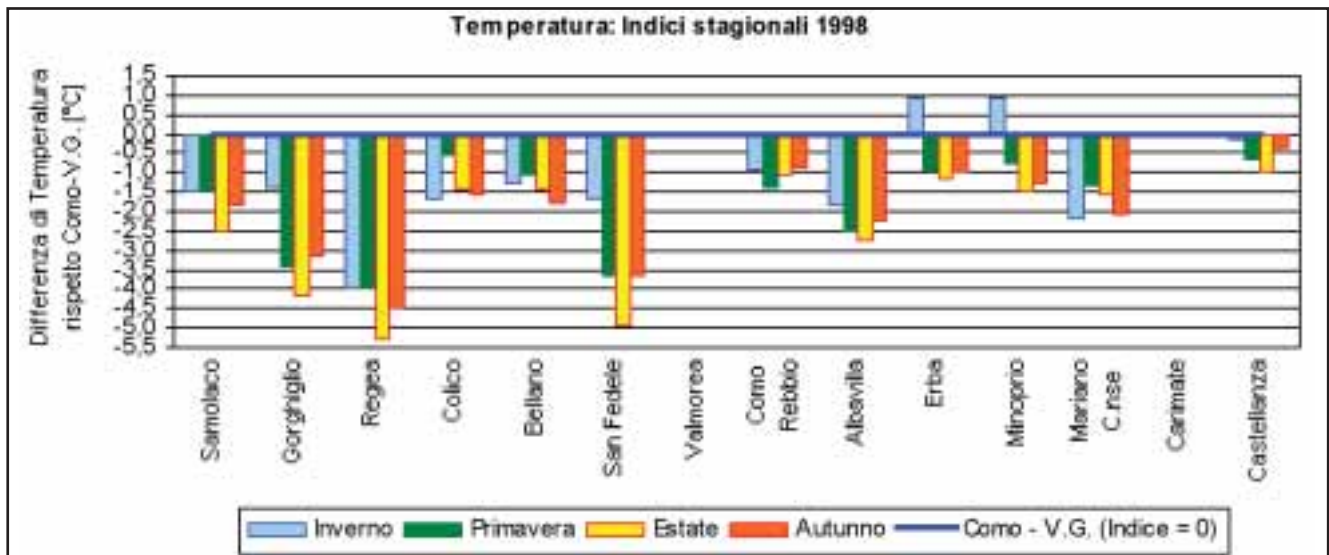


Figura 6.44 - Indici stagionali anno 1998

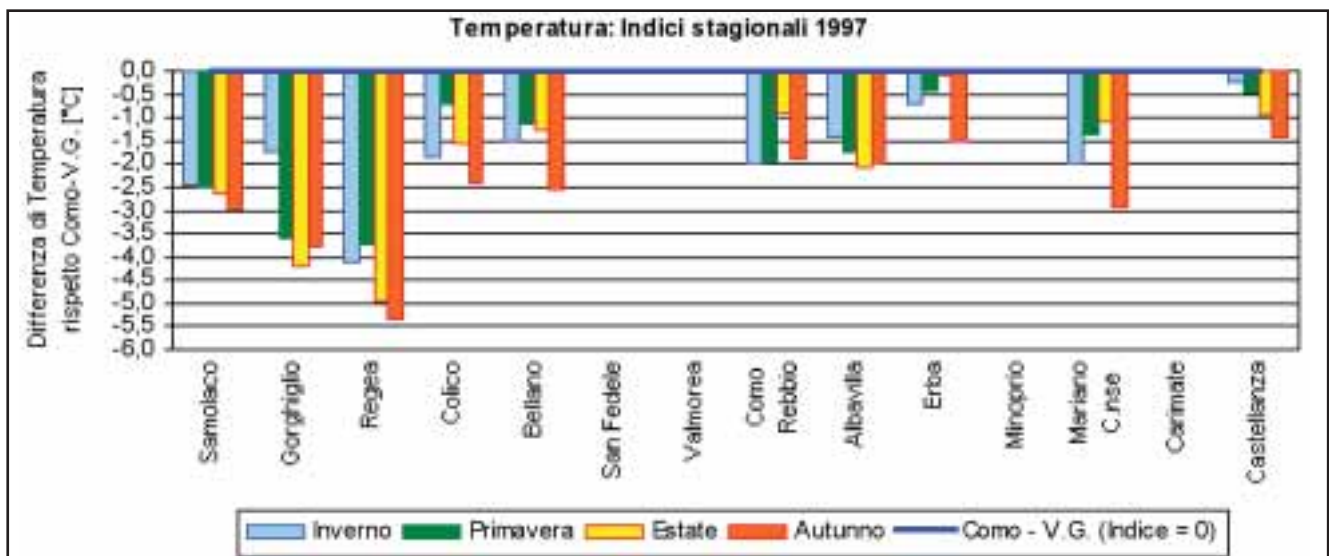


Figura 6.45 - Indici stagionali anno 1997

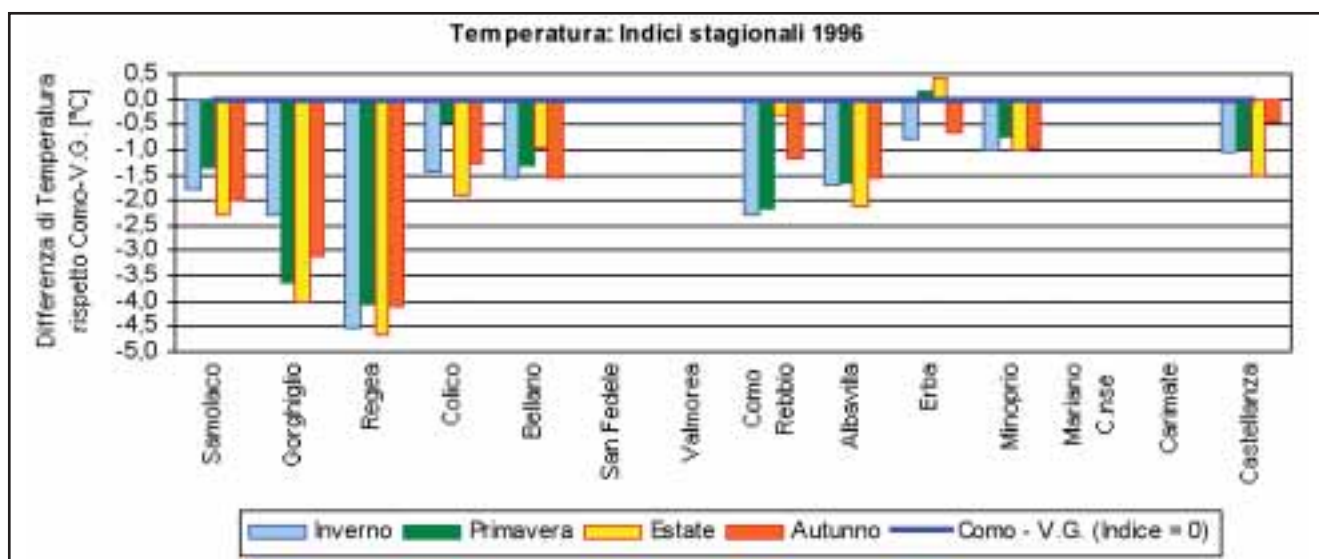


Figura 6.46 - Indici stagionali anno 1996

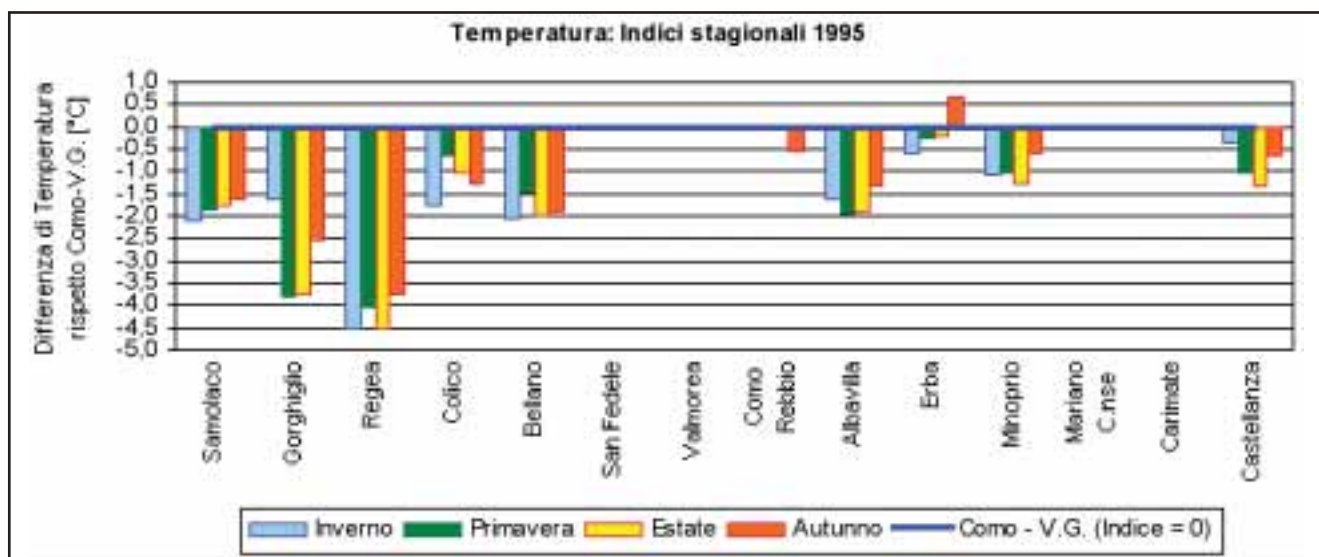


Figura 6.47 - Indici stagionali anno 1995

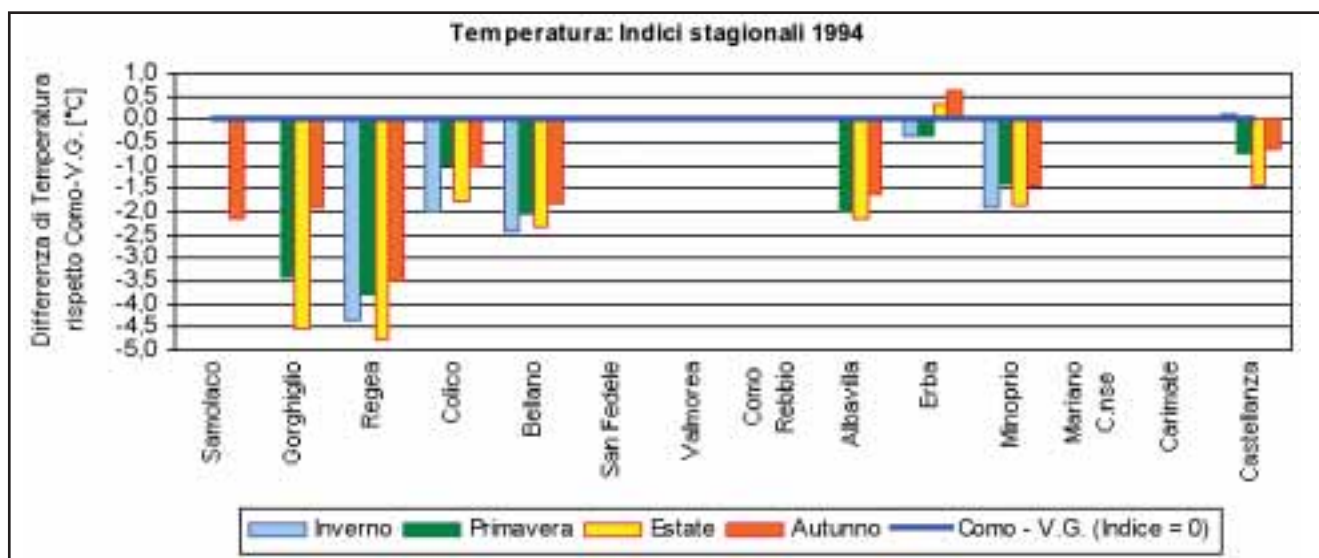


Figura 6.48 - Indici stagionali anno 1994

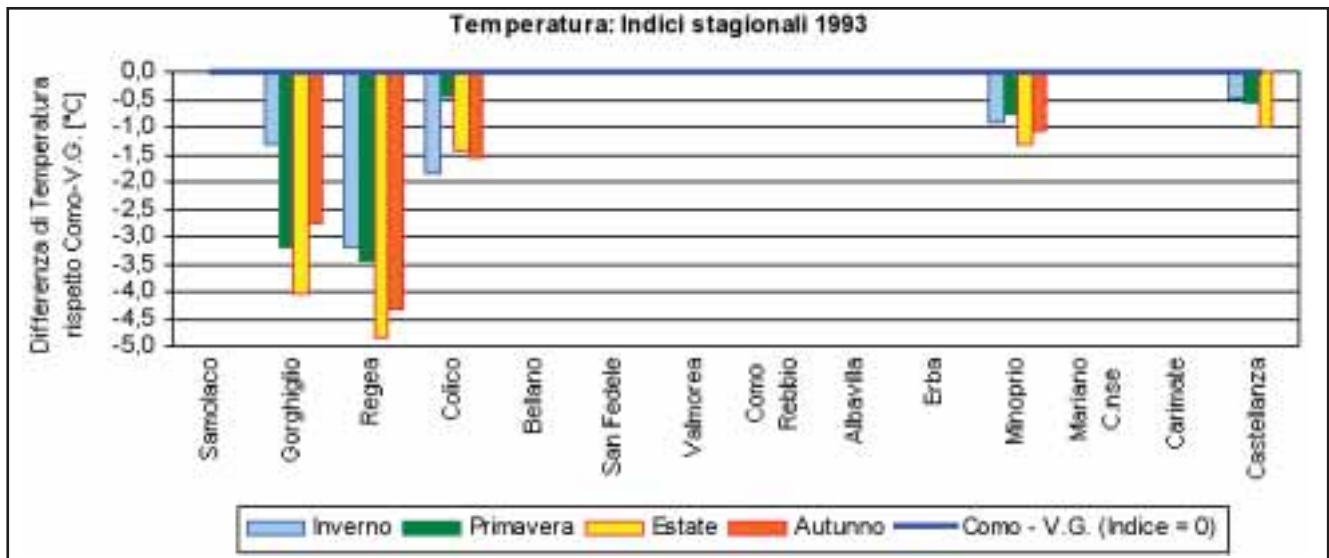


Figura 6.49 - Indici stagionali anno 1993

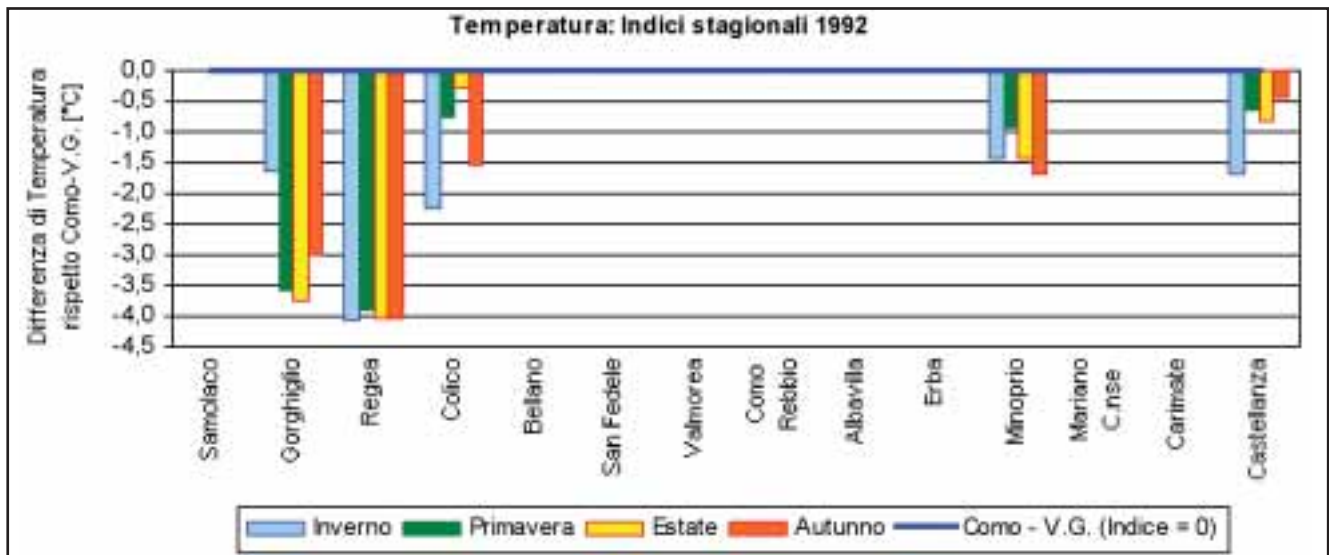


Figura 6.50 - Indici stagionali anno 1992

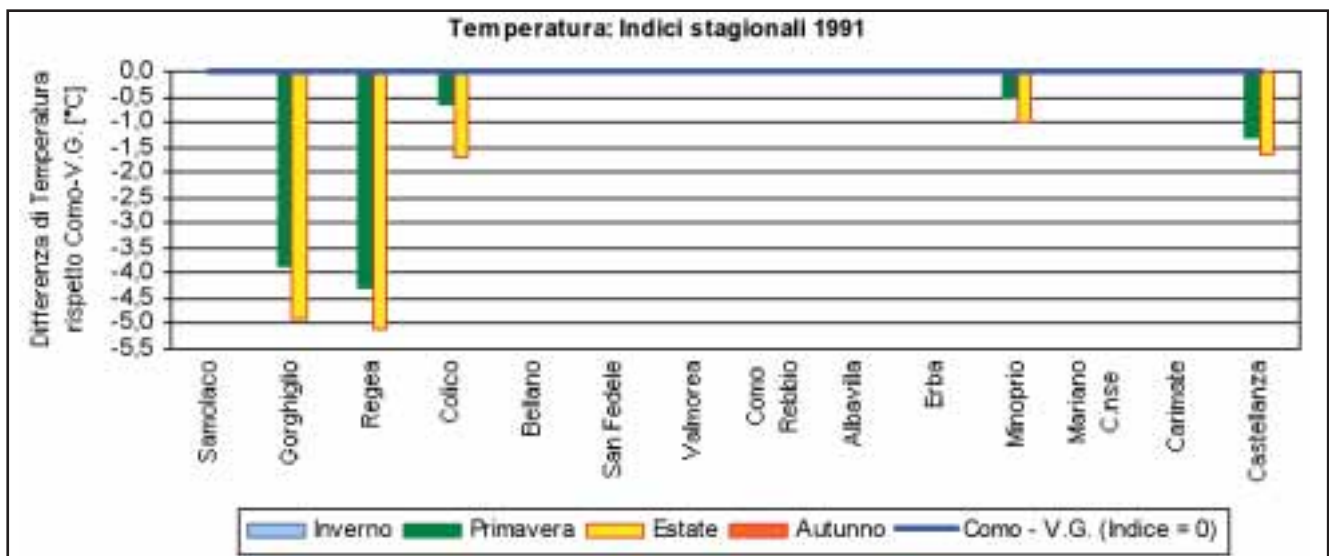


Figura 6.51 - Indici stagionali anno 1991

Fermo restando l'estrema variabilità spaziale e temporale delle condizioni termometriche medie (giornaliere, stagionali e annuali), rilevate nelle diverse stazioni, è comunque possibile suggerire una possibile zonizzazione per le seguenti aree omogenee:

- zone di montagna, alpine e prealpine,
- aree costiere del lago,
- fascia collinare e pedemontana,
- fascia di pianura.

• **zone di montagna, alpine e prealpine** (Regea, Gorghiglio, San Fedele Intelvi): tutte le stazioni presentano le massime differenze nelle temperature medie stagionali rispetto alla stazione di riferimento di Como, con valori medi anche $> 6^{\circ}\text{C}$. Le differenze maggiori si rilevano sistematicamente nelle stagioni estate/autunno a causa delle forti escursioni termiche giornaliere tipiche delle aree in quota. Differenze minori, comunque sempre sensibili, si osservano invece nelle stagioni fredde sia per le minori escursioni termiche sia, spesso, per il contributo diretto dei fenomeni di inversione termica.

Come per le precipitazioni, per completare il quadro delle stazioni poste in quota, sarebbe estremamente utile un confronto con le stazioni di San Nazzaro Val Cavargna e con quelle prealpine del M.te San Primo e del M.te Bisbino.

• **aree costiere del lago** (Samolaco, Fuentes, Colico, Bellano, Varenna, Como): poste tutte a quote prossime al lago, queste stazioni presentano sempre differenze negative rispetto alla stazione di riferimento di Como ma con scarti generalmente contenuti. Le differenze minime si osservano in estate, a testimonianza di una generale omogeneità del clima lacustre anche se, l'alto lago è soggetto con maggiore frequenza all'azione dei regimi anemologici locali. Le differenze più sensibili tra Como e le stazioni dell'alto e centro lago si

osservano invece in inverno, e sono dovute alla latitudine (prossimità dell'arco alpino) e all'influsso diretto di correnti fredde provenienti dalle grandi vallate alpine (Valtellina per Colico, Val Chiavenna per Samolaco, Valsassina per Bellano) e da alcune vallate minori del lago di Como.

L'azione mitigatrice del lago è testimoniata in molte aree costiere (specie nelle zone della Tremezzina e di Bellagio) dalla presenza diffusa di una vegetazione (per esempio l'ulivo) caratteristica di un microclima mite, non riscontrata in altre porzioni del territorio provinciale.

Da notare infine come il valore di riferimento della stazione di Como Villa Gallia non venga mai superato da nessuna delle altre stazioni costiere. Questo fatto è da imputarsi al sicuro effetto "isola di calore" che influenza direttamente la stazione del capoluogo.

• **fascia collinare e pedemontana** (Albavilla, Valmorea): la stazione di Albavilla, posta ad una quota intermedia tra la pianura ed i rilievi prealpini del triangolo lariano, presenta indici intermedi tra queste due classi e si differenzia inoltre sensibilmente da quelle stazioni costiere per le quali è evidente l'influsso del lago. Le differenze maggiori rispetto alla stazione di riferimento si osservano nelle stagioni più calde per effetto diretto dell'altimetria e dell'escursione termica giornaliera. Le differenze minori si osservano invece, come per le stazioni in quota, nelle stagioni più fredde. Questa situazione termometrica può essere rappresentativa di tutta la fascia di territorio collinare non direttamente connessa alle aree costiere del lago e non così influenzata dall'effetto orografico dei maggiori rilievi. Anche la stazione di Valmorea, nonostante il limitato numero di osservazioni stagionali, presenta caratteri intermedi tra quelli propri della pianura e quelli tipici delle aree in quota. La sua posizione all'estremo margine

centro-occidentale del territorio provinciale potrebbe essere rappresentativa di tutta l'area dell'olgiatese ma necessita di un periodo di analisi ed elaborazione più approfondito.

- **fascia di pianura** (Erba, Carimate, Mariano Comense, Vertemate con Minoprio, Castellanza): gli indici stagionali, pur nella loro variabilità, non presentano generalmente sensibili differenze alla stazione di riferimento di Como e presentano una certa diffusa omogeneità tra tutte le stazioni di pianura osservate. Le maggiori differenze si possono notare localmente nelle stagioni fredde specie per alcune aree caratterizzate da quote inferiori rispetto al livello medio di pianura, o direttamente influenzate dalla nebbia che riduce l'apporto di radiazione solare, o dall'accumulo di aria fredda nei bassi strati dell'atmosfera (es: Carimate, Mariano Comense ed altre località limitrofe). Le differenze minime si osservano invece nella stagione calda in contrasto con quanto rilevato nella aree collinari e pedemontane.

6.2.3 Serie storica delle temperature medie annuali a Como

Per approfondire lo studio sugli eventuali cambiamenti delle temperature negli ultimi anni direttamente collegabile al fenomeno del riscaldamento globale, seppur visto ad una scala locale, è stata valutata la serie temporale delle temperature medie annuali rilevate nella città di Como.

Confrontando i valori medi annuali degli ultimi undici anni (1991-2001) con i risultati ricavati dalla serie storica (in particolare il periodo 1924-1944 e 1953-1970) (cfr. *Figura 6.52*) è possibile ipotizzare un progressivo aumento tendenziale delle temperature medie annue rispetto ai primi decenni del secolo scorso.

Questa situazione tendenziale rispecchia quanto già osservato a livello regionale e dell'intero nord Italia, seppur con aumenti differenziati a seconda delle città rilevate (M.Maugeri, E.Mazzucchelli. 2003. *Il riscaldamento del nostro pianeta: la situazione italiana con particolare riferimento alla Regione Lombardia e alla città di Milano*. CUSL; *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia*. C. Cacciamani, M.Lazzeri, A.Selvini, R.Tomozeiu, A. Zuccherelli. ARPA Emilia Romagna, 2001, in *Quaderno Tecnico ARPA-SMR, n.04/20019*).

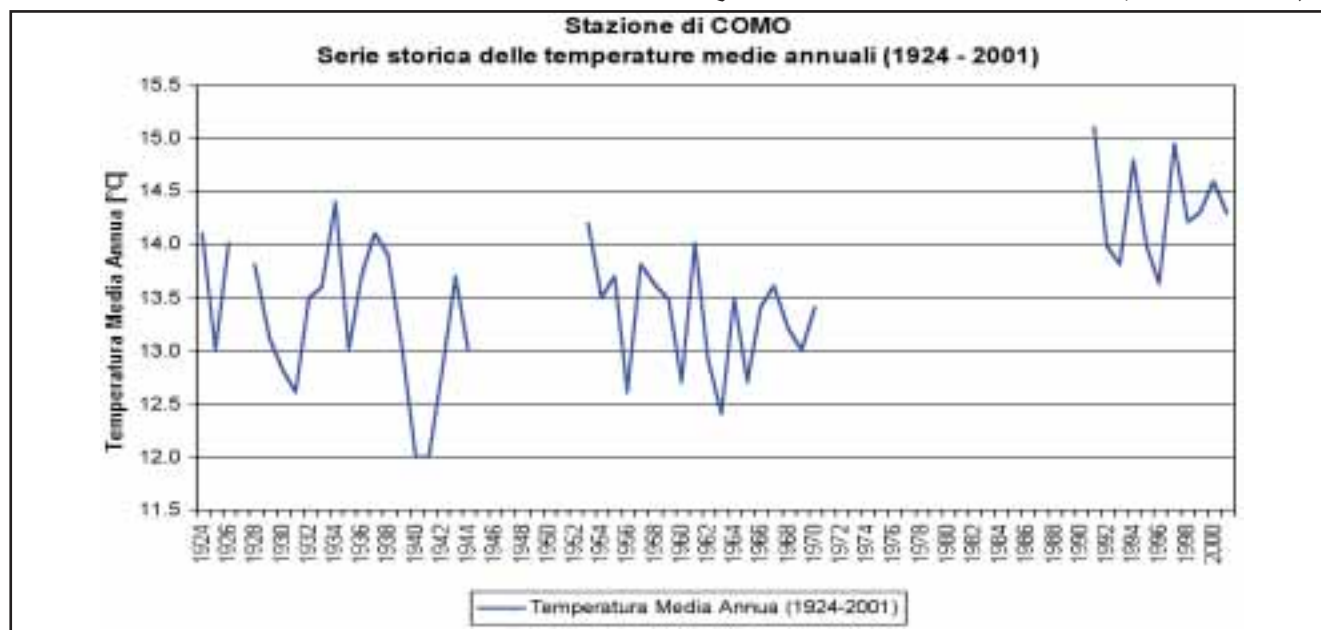


Figura 6.52: Stazione di Como. Serie storica delle temperature medie annuali (1924 - 2001)

6.2.4 Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale

Analogamente a quanto già esposto per le precipitazioni, anche per il confronto dei caratteri stagionali di temperatura si fa riferimento ai lavori realizzati da ERSAL (e contenuti nel Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000), utilizzando le stazioni di monitoraggio del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici, del Servizio Meteorologico dall'Aeronautica e dell'Istituto Sperimentale per la cerealicoltura, con analisi riferite ad un periodo di tempo di circa un quarantennio (1950-1996).

A livello territoriale regionale ciascuna delle quattro stagioni è caratterizzata da un proprio aspetto termometrico. Si riportano di seguito

(cfr. Figure 6.53-6.56) le carte tematiche stagionali termiche medie riferite alla temperatura misurata al suolo per l'intero territorio regionale.

Le singole cartografie sono accompagnate da uno zoom alla scala provinciale di Como che tuttavia non può essere ritenuto rappresentativo di quel maggior dettaglio di informazioni descritto nelle tabelle, negli indici e nei grafici (cfr. *paragrafo 6.2.2 - indici stagionali*) e riferito a ben 17 stazioni termometriche considerate in questo studio.

Le caratteristiche del territorio della provincia di Como evidenziano comunque le già citate variazioni locali dovute essenzialmente all'orografia, alla quota e all'azione mitigatrice del lago e sono facilmente confrontabili, per analogie e/o differenze, con tutto il territorio regionale.

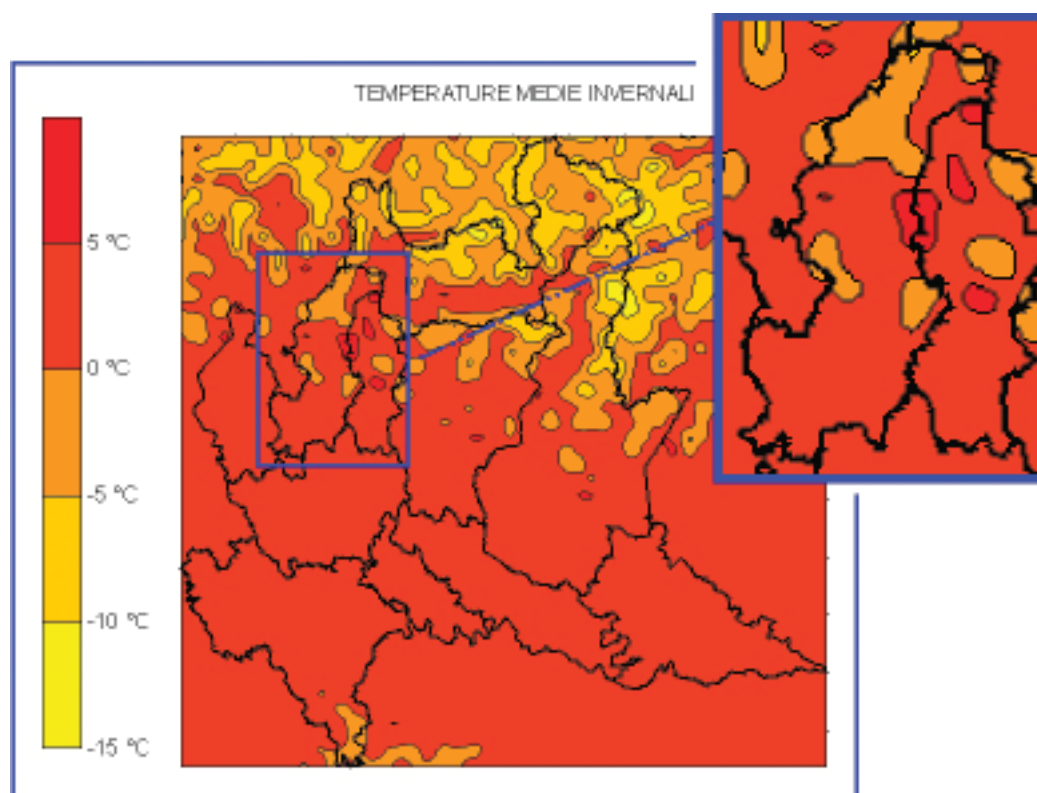


Figura 6.53 Distribuzione spaziale delle temperature medie invernali

(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

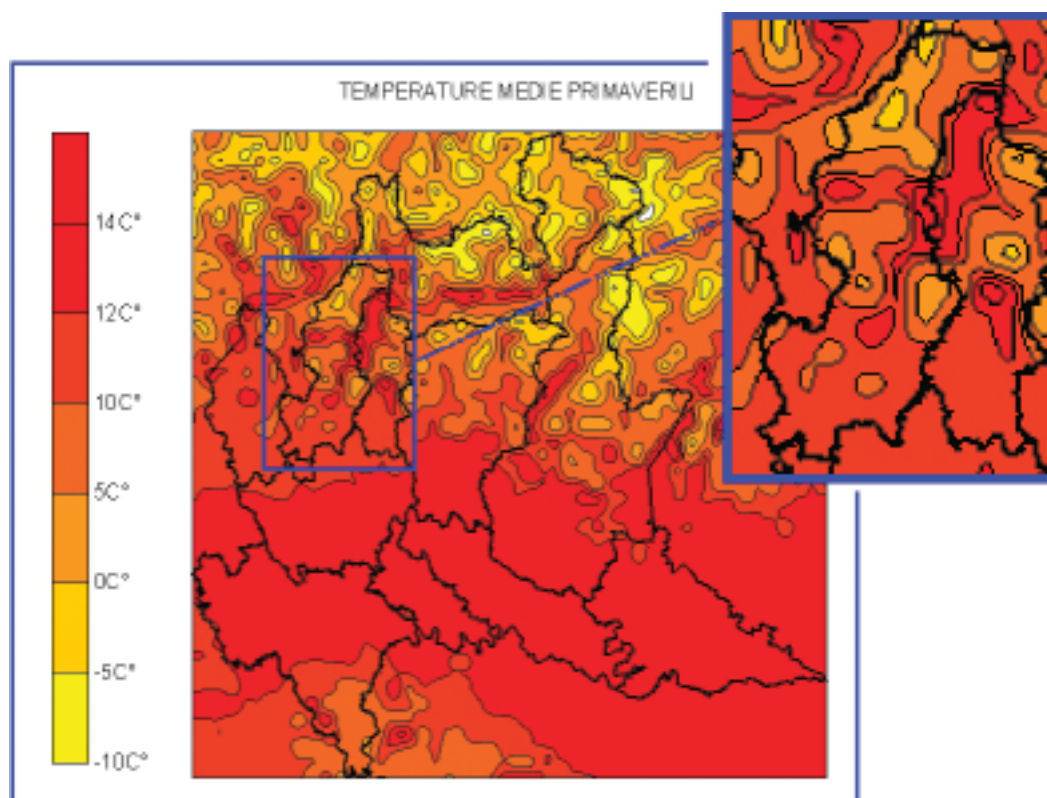


Figura 6.54 Distribuzione spaziale delle temperature medie primaverili
(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

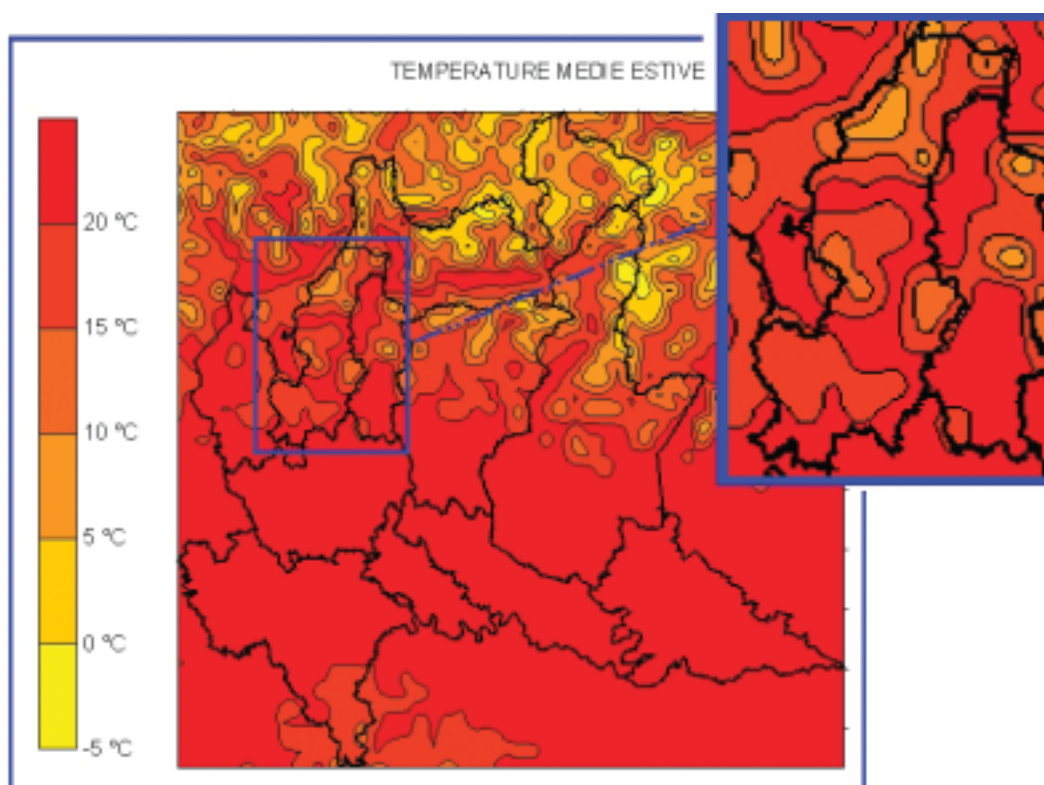


Figura 6.55 Distribuzione spaziale delle temperature medie estive
(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2001)

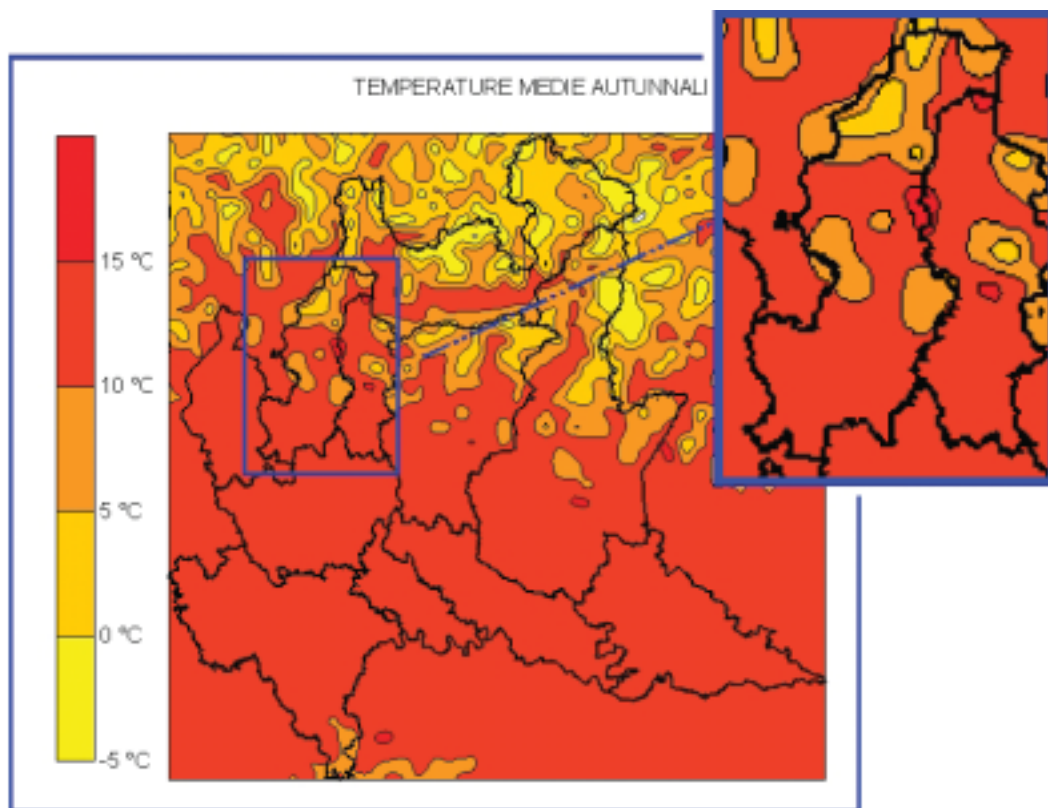


Figura 6.56 Distribuzione spaziale delle temperature medie autunnali

(Fonte: ERSAL, in Piano Regionale della Qualità dell’Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l’Ambiente, 2001)

6.3 UMIDITÀ RELATIVA

Le stazioni di misura dell'Umidità Relativa considerate in questo studio (cfr. *Figura 6.57*) sono Samolaco (n.6), Como Villa Gallia (n.1), Albavilla (n.7), Erba (n.2) e Castellanza (n.43).



Figura 6.57 - Ubicazione stazioni per confronto dell'umidità relativa media mensile e annuale (1991-2002)

L'umidità relativa percentuale ($Ur\%$) può essere considerata come un processo dell'evaporazione dell'acqua ed è presente in atmosfera in percentuali particolarmente variabili. Per ottenere l'evaporazione è necessaria una notevole quantità di energia (600 kcal per 1 kg d'acqua) che dipende prevalentemente dal calore assorbito dal suolo e prosegue fino a quando l'aria che si trova al di sopra della superficie liquida non diviene satura. L'umidità relativa inoltre è funzione della temperatura dell'aria e della quantità di vapo-

re in essa contenuta. Un altro importante fattore che influenza l'evaporazione è l'intensità del vento che favorisce il ricambio dell'aria satura a contatto con la superficie liquida evaporante e la sua sostituzione con aria meno umida. I movimenti turbolenti dell'aria e i moti convettivi (di origine dinamica, orografica o termica) si incaricano di diffondere il vapore acqueo liberatosi dal suolo verso gli strati atmosferici superiori dove può condensare formando le nubi o trasferirsi altrove spostato dalle correnti aeree. Nella provincia di Como la ricchezza di superfici lacustri e di vegetazione costituiscono un notevole potenziale di evaporazione.

Nei periodi freddi, tuttavia, il vapore acqueo tende a ristagnare nei bassi strati atmosferici a contatto del suolo impedendo l'ulteriore evaporazione della superficie sottostante a causa della presenza di possibili inversioni termiche, con conseguenti formazioni nebbiose. Queste condizioni si verificano con maggiore frequenza nelle zone di pianura e in quelle di valle mediamente poste al di sotto dei 200 m di altitudine.

Si osserva inoltre che anche nel periodo caldo il vapore acqueo tende a ristagnare in prossimità del suolo poiché la scarsa ventilazione, specie nelle aree di pianura, rende alquanto trascurabile l'efficacia della turbolenza meccanica nella diffusione verticale del vapore acqueo.

Nel periodo autunnale, infine, l'incidenza più elevata si verifica, oltre che nella pianura, nelle zone di valle: sono queste infatti le aree in cui la ventilazione è più debole e pertanto il vapore acqueo tende a ristagnare e ad accumularsi nei bassi strati.

Sulle zone prealpine, in prossimità dei laghi, il motivo dell'umidità relativa relativamente bassa è da ascrivere, oltre che alla leggera ventilazione, anche all'azione mitigatrice della superficie lacustre alla quale sono associate temperature più elevate che a parità di

contenuto di vapore acqueo determinano un valore più ridotto.

Non sono da sottovalutare inoltre, specie nel periodo inverno-primavera, i numerosi casi di Foehn, vento caldo e secco, che discende dalle vallate dell'arco alpino quando quest'ultimo viene investito da intense correnti settentrionali. Le aree maggiormente interessate sono quelle alpine, prealpine e, in misura inferiore, quelle dell'area padana.

In base alle osservazioni dell'ultimo decennio, si è riscontrato un abbassamento generalizzato della Ur % più marcato rispetto agli altri parametri meteorologici in virtù di una concomitanza di un innalzamento termico in tutte le stagioni e di un progressivo aumento dei periodi siccitosi.

L'insufficiente numero di stazioni che rilevano l'umidità relativa sul territorio provinciale non permette comunque di valutare compiutamente le differenze fra zone diverse. Ciononostante, correlando le zonizzazioni proposte per le piogge e per le temperature con le aree dove è disponibile il parametro, si ipotizza una caratterizzazione del territorio puramente indicativa.

Il criterio, secondo il quale suddividere la provincia, è il valore medio annuo misurato in un sito. Basandosi sui pochi dati disponibili, si riscontrano valori medi bassi (55-65%) nelle aree a quote elevate e soggette a venti con velocità moderata sommariamente individuabili nei settori occidentale e settentrionale e distanti da superfici idrografiche.

Le zone dove l'umidità relativa assume invece valori medio-alti (65-70%) si estendono nella parte centro-meridionale della provincia, in corrispondenza delle colline e della pianura.

In prossimità di corsi d'acqua e del lago, e a quote non elevate, si suppone invece l'esistenza di valori medi annui di umidità relativa abbastanza elevati (> 70%).

Si ricorda che la zonizzazione proposta è sommaria, poiché in ogni sito si possono presen-

tare particolari condizioni (ventosità, precipitazione, radiazione solare elevata, ecc.) che vanno ad influenzare direttamente i valori dell'umidità.

6.3.1 Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale

L'umidità relativa media annua del territorio regionale (79-80 %) è caratterizzata da variazioni stagionali meno ampie che nella restante Valle Padana. Fino alla quota di 1500 m le escursioni diurne sono abbastanza marcate specialmente nel periodo da maggio a settembre (15-30 %). Al di sopra dei 1500 m l'escursione diurna diviene debole poiché l'effetto di riscaldamento diurno risulta ridottissimo data la più intensa circolazione. Con correnti di foehn da nord si possono verificare talvolta umidità relative eccezionalmente basse (inferiori al 10 %).

E' utile rilevare che ciò può avere conseguenze fisiologiche non trascurabili.

L'abbassamento eccessivo dell'umidità relativa determina infatti un eccesso di traspirazione che agisce inizialmente come stimolante ma se le condizioni si prolungano può dar luogo a emicranie, disturbi nervosi e indolenza mentale.

(Fonte: "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000)

6.4 VENTO

Le stazioni di misura del vento considerate in questo studio (cfr. *Figura 6.58*) sono Colico (n.4), Como Villa Gallia (n.1), Erba (n.2) e Mariano Comense (n.3).

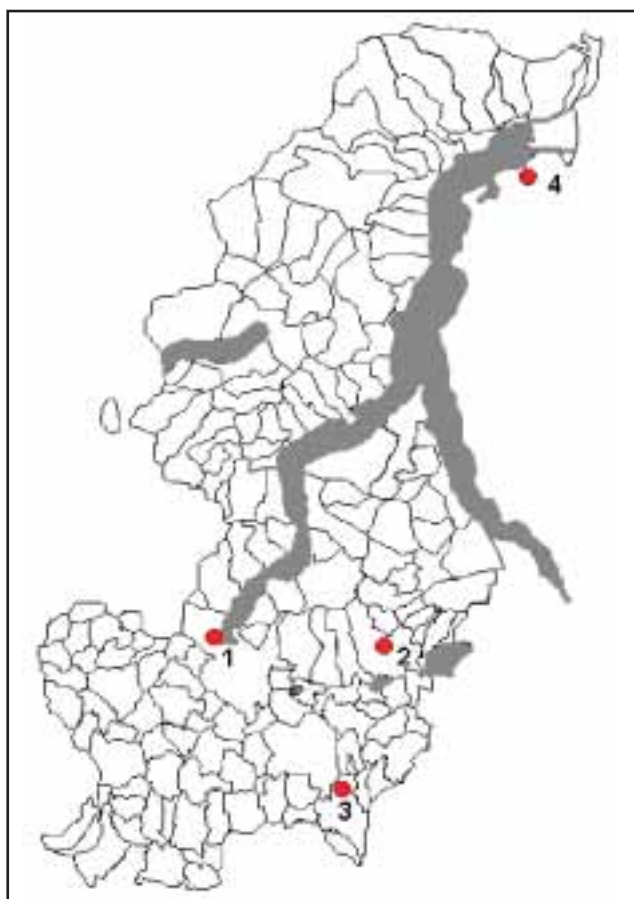


Figura 6.58 - Ubicazione stazioni per confronto delle classi di velocità e direzione dei venti (1991-2002)

La particolare conformazione del lago di Como, unitamente alla complessa orografia del territorio provinciale, comportano una generale predisposizione della direzione prevalente dei venti dai quadranti settentrionali (NE) con un particolare moderato rinforzo nei mesi estivi.

Limitatamente all'alto lago (Colico, Samolaco), la direzione del vento assume una componente più orientale derivante dall'influenza diretta della disposizione delle valli orientate da occidente ad oriente (Valtellina),

condizione che si alterna nel periodo primavera-estate con delle correnti meno frequenti ed intense provenienti dai settori nord-occidentali.

Considerando il territorio nella sua complessità, dai dati riportati in Appendice (*Tabelle 5.D.1.1- 5.D.4.12; Grafici 5.D.1.1-5.D.4.12*) si può dedurre che l'intensità dei venti non supera mai valori elevati tranne nei casi di venti flavonici (**Foëhn**: vento caldo e secco, che discende dalle vallate dell'arco alpino quando quest'ultimo viene investito da intense correnti settentrionali). Le aree maggiormente interessate dal Foëhn sono quelle alpine, prealpine e, in misura inferiore, quelle dell'area padana.

In caso di Foëhn, unico caso di meteorologia di bel tempo con bassa pressione, gli effetti più visibili sulla nostra provincia sono i seguenti: vento forte associato a raffiche dai quadranti settentrionali, visibilità ottima (tanto che da qualsiasi punto in quota è possibile osservare l'intero arco alpino e l'Appennino Tosco-Emiliano), cielo terso con rare nubi di tipo orografico, aumento di temperatura e netta diminuzione dell'umidità relativa.

Sull'area pedemontana ed in pianura il Fohën è da considerarsi comunque un fattore positivo, in quanto, unitamente alle precipitazioni, costituisce l'elemento naturale più importante per la dissipazione delle sostanze inquinanti, che ristagnano nei bassi strati atmosferici.

Le calme di vento non appaiono invece uniformemente distribuite, differenziandosi in misura anche rilevante tra le diverse aree ubicate in prossimità del lago, quelle di pianura o quelle situate in collina o nelle zone di confluenza tra due valli.

Nell'arco della giornata, soprattutto nella zona pedemontana, assumono una discreta importanza le brezze, le cui componenti variano dai quadranti meridionali (la "**Breva**"), nelle ore centrali e più calde della giornata, mentre la

componente settentrionale (il “**Tivano**”) inizia dopo il tramonto in misura più o meno accentuata a seconda della vicinanza al lago o ai rilievi (cfr. *Figure 6.59- 6.61*). La componente di brezza assume particolare rilievo in funzione della diffusione degli inquinanti in atmosfera sia locali sia provenienti dal settore della media pianura lombarda, in particolare dall’area metropolitana milanese e dalla Brianza nord-occidentale.

Sempre in regime di brezze alcune aree rivierasche del lago di Como sono soggette a particolari circolazioni locali direttamente collegabili alle particolari condizioni orografiche di alcune vallate laterali al corpo lacustre. Questi **venti locali** assumono spesso denominazioni tipiche del luogo in funzione della provenienza del vento o della zona di impatto (es: San Vincenzo, Borgognone, Garzeno, Bellanasco, S.Anna, Menaggino, Bergamasca, Argegnino, Molinaccio, ecc.) (cfr. *Figura 6.59*).

6.4.1 Condizioni medie del territorio regionale e confronto con la situazione provinciale

Venti al suolo

Il carattere più tipico della distribuzione anemologica della regione è l’estrema variabilità dovuta in gran parte agli effetti delle imponenti catene montuose.

Nonostante l’influsso delle perturbazioni atlantiche, delle depressioni sul Mediterraneo e dell’invasione di aria fredda da est, influenzano la pianura lombarda, come tutta l’Italia Settentrionale, nei periodi anticiclonici la Valle Padana modifica profondamente le masse d’aria locali. A causa della conformazione locale della Valle del Po e della vicinanza delle Alpi, la climatologia dell’area lombarda è caratterizzata da una spiccata mancanza di venti sinottici al livello del suolo.

In genere la circolazione dei venti è molto debole: le calme di vento (comprendenti velo-

cià inferiori a 0.5 m/s) rappresentano, nell’anno, il 50-60 % delle osservazioni, con punte del 70% durante la stagione invernale. La parte più orientale della regione è frequentemente interessata da venti orientali, in particolare quando vi sono venti di bora nell’alto adriatico.

In primavera, in autunno e in inverno si verificano correnti di Foëhn (vedi oltre), collegate a depressioni sottovento all’arco alpino occidentale.

Durante l’inverno si hanno venti prevalentemente occidentali sulla fascia meridionale, orientali sulla fascia centrale e settentrionali sulla fascia più prossima al versante alpino. Durante la primavera si ha una netta prevalenza di venti orientali con una componente di correnti meridionali in prossimità dei contrafforti appenninici.

Anche durante l’estate i venti sono prevalentemente orientali con componenti settentrionali verso la fascia alpina e meridionali verso gli Appennini. Durante l’autunno i venti sono prevalentemente orientali sulla parte centro-orientali e occidentali sulla parte occidentale e sud-occidentale.

In conclusione, durante l’anno i venti sono a componente settentrionale in vicinanza dell’arco alpino, meridionali in vicinanza degli Appennini e prevalentemente orientali sulla fascia centrale.

(Fonte: “*Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee*”, G.Tebaldi, ARPA Milano, in *Piano Regionale della Qualità dell’Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l’Ambiente, 2000*)

Venti da incanalamento

Nelle valli le correnti sono incanalate lungo l’asse principale; il verso e la velocità del flusso dipendono essenzialmente dal gradiente di pressione. Tipiche correnti da *incanalamento* si verificano molto spesso nelle vallate che con-

ducono ai passi più importanti. Queste correnti sono di tipo accelerazionale, essendo deboli dalla parte in cui la pressione è più alta e forti dall'altra.

Tra i venti da *incanalamento* è degno di particolare rilievo il Foëhn. Si tratta come è noto di una corrente secca che si riscalda dinamicamente discendendo dai rilievi. Il Foëhn si manifesta nelle vallate del versante italiano, quando l'aria proviene da nord e attraversa la linea spartiacque introducendosi nelle vallate che si aprono nella pianura padana. La frequenza di questo vento da nord è elevata nel periodo da dicembre a maggio e raggiunge un massimo in marzo.

Le correnti di Foëhn oltre ai danni dovuti al semplice effetto dinamico, possono determinare altri inconvenienti: ad esempio nel passare sui laghi alpini agli inizi della primavera, quando l'acqua è gelata, il Foëhn può causare un sottile strato di nebbia pur essendo l'aria molto secca; queste correnti essendo a temperatura elevata favoriscono lo sciogliersi delle nevi, sicché un Foëhn persistente per 2-3 giorni può determinare l'impraticabilità del terreno a causa delle piene torrentizie. Periodi di foëhn particolarmente caldi possono essere previsti con qualche anticipo (12 - 24 ore).

(Fonte: "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000)

Circolazioni locali

La maggior parte delle aree pedemontane sono soggette ad un regime di brezze di monte e di valle (specialmente da marzo ad ottobre), che avviene con una frequenza superiore al 50 %.

Le Figure 6.60 e 6.61 illustrano alla scala regionale come a nord del fiume Po, e quindi lontano dalla influenza dell'Appennino, i settori

maggiormente interessati dai fenomeni di brezze sono rispettivamente quelli da nord, durante la notte, e da sud durante le ore del giorno (tarda mattinata e pomeriggio), mentre nelle zone a sud del fiume Po l'andamento si inverte, con un massimo notturno da ovest-sud ovest ed un massimo pomeridiano da est-sud est.

L'effetto della circolazione di brezza è rilevabile solo al suolo, poiché più in alto la corrente di ritorno ha valori trascurabili rispetto all'intensità del vento sinottico, e comunque si esaurisce entro i primi 1000 metri dal suolo. La presenza della brezza e la sua frequenza o incidenza rispetto ai venti sinottici, cioè non influenzati dal ciclo termico giornaliero, si deduce dalla differenza tra le rose dei venti "diurni", e quelle dei venti "notturni". La differenza tra le frequenze delle direzioni di provenienza dei venti "diurni" e di quelli "notturni", attribuibile alla rotazione della brezza, varia da un massimo di circa il 64 % nelle zone dell'alto milanese (Milano Malpensa), ad un minimo del 33 % nella bassa pianura (da Milano Linate a Parma).

Le brezze notturne fluiscono prevalentemente dai quadranti settentrionali, da nord-nord est nella zona di Vercelli, da nord-nord ovest lungo la Valle del Ticino come a Milano Malpensa, tra est e nord-nord est in quelle ad est del Ticino come a Milano Linate, o più decisamente da est verso il Veneto, mentre a sud del Po la brezza notturna fluisce da ovest-sud ovest.

Questo flusso laminare converge quindi verso la bassa pianura, dove si accumula e si raffredda fino alla saturazione, formando uno strato di aria umida dello spessore di oltre 200 m. E' grazie a questo fenomeno che si spiega la elevata frequenza e persistenza di nebbie, non solo invernali, nella bassa pianura milanese e nel mantovano.

Di giorno, al nord del Po, in seguito al più rapido riscaldamento, dovuto alla maggiore

insolazione, della zona delle Prealpi, il vento tende a orientarsi dai quadranti meridionali, con un flusso relativamente veloce e turbolento. In questo modo viene convogliata aria più fresca, e d'inverno anche nebbiosa, verso le zone collinari dell'alto milanese, ma anche verso le zone alte del bresciano; ovviamente a sud del Po la circolazione delle brezze è invertita e questa proviene da est-nord est.

Nel milanese questa rotazione diurna delle brezze di valle e di monte, per effetto del differente riscaldamento, raffreddamento tra l'alta e la bassa pianura, unito all'effetto di incanalamento delle valli dell'Adda e del Ticino, tende a far provenire il vento dalla direzione del Sole, cioè tra le 00.00 e le 06.00, il vento proviene da nord est, dalle 09.00 alle 18.00 ruota da sud est a sud ovest, passando per sud alle 12.00, e alle 21.00 spira da nord.

Per quanto riguarda la **direzione** prevalente, dato il debole regime anemologico della pianura lombarda, tranne poche eccezioni legate alla orografia locale, non esiste una direzione predominante di provenienza del vento, essendo la calma la situazione predominante. Nel corso dell'anno, tuttavia, anche la circolazione locale risulta influenzata dai cambiamenti stagionali delle condizioni bariche medie che si instaurano nella parte nord-occidentale della Pianura Padana: nei mesi di novembre, dicembre e gennaio il vento tende a provenire da nord ovest, nei mesi di febbraio, marzo ed aprile si rafforza la componente da est, nei mesi di maggio, giugno e luglio si ha una prevalenza da sud ovest ed infine, nei mesi di agosto, settembre ed ottobre si rinforza di nuovo la componente da est. In generale, su tutto il territorio regionale nel semestre invernale domina la componente da ovest, mentre durante il semestre estivo prevale la componente da est.

A causa della complessa orografia della Valle Padana, nello strato tra il suolo e 1000 m vi è spesso una grande variabilità nella distribu-

zione anemologica.

Nella zona pedemontana nord è molto frequente il foëhn, descritto precedentemente, che scende a raffiche intermittenti dai crinali alpini e s'incanala lungo le valli, con una certa preferenza per quelle del Ticino e dell'Adda, anche se non è trascurabile lungo le valli dell'Oglio e del Mincio. In queste occasioni, nelle aree pedemontane tra Bergamo e Brescia, non investite dal foëhn, può esserci calma di vento e foschia, e d'inverno anche nebbia molto fitta.

Per quanto riguarda infine la **velocità** del vento, in generale già ad una altezza di 240 m, la velocità va da circa 3 a 7 m/s, raggiungendo i più alti valori intorno a mezzanotte. Infatti, quando a causa dell'inversione termica, al suolo la velocità del vento raggiunge il minimo valore (1 - 2 m/s), si sviluppa una struttura dinamicamente e termodinamicamente non-stazionaria, che non solo previene incanalamenti di flussi sinottici, ma porta inoltre ad un disaccoppiamento dei flussi a differenti altezze, dando luogo ad ampie variazioni di direzione e velocità dei venti con la quota (Wind Shear).

(Fonte: "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000)

Venti in quota

Tra il suolo e 1000 m, a causa della complessa orografia che circonda la pianura padana, vi è una grande variabilità nella distribuzione dei venti. E' da mettere in evidenza che il regime anemologico cambia rapidamente poco al di sopra del suolo; ad esempio le calme, che al suolo rappresentano nell'anno spesso oltre il 50 % dei casi, a 100 m raggiungono appena il 10 % delle osservazioni.

Da 1000 a 3000 m prevalgono correnti nord-

occidentali in inverno e sud occidentali in estate.

I venti molto forti rappresentano circa il 20 % dei casi e si verificano generalmente in inverno. Con la quota la direzione di provenienza del vento tende a ruotare dai quadranti nord-occidentali verso quelli sud-orientali.

La persistenza dei venti per una medesima direzione è maggiore durante l'estate e l'autunno, minore in inverno e primavera. La caratteristica rientra nel comportamento generale del vento negli strati prossimi al suolo. Tuttavia tale andamento in Valpadana è accentuato dall'azione concomitante di altri due fattori quali l'orografia e la brezza.

I venti di brezza a loro volta raggiungono la massima intensità nei primi 200-500 metri e pertanto favoriscono un rafforzamento della circolazione a grande scala soprattutto in tale strato. A quote superiori ai 2000 metri circa l'intensità del vento ritorna a crescere piuttosto rapidamente poiché le veloci correnti provenienti dai quadranti occidentali adesso non sono più deformate o attenuate dalla barriera alpina.

Per quanto riguarda la variazione giornaliera della direzione media vettoriale del vento, in tutti i mesi il vento negli strati prossimi al suolo subisce nelle ore diurne una rotazione oraria

rispetto alle ore notturne, cosicché le correnti, generalmente settentrionali delle ore notturne, divengono meridionali nelle ore diurne. Tale rotazione è limitata ai primi 500 metri mentre nel periodo da aprile a ottobre lo strato soggetto a variazione si estende fino a 1500-2000 metri con rotazione oraria dal suolo a 1000-1500 m e antioraria tra 1500 e 2000 metri.

La tendenza del vento a disporsi dai quadranti meridionali nelle ore centrali della giornata è senz'altro da attribuirsi alla influenza che la brezza diurna, diretta dalla pianura verso l'arco alpino, esercita sulla circolazione a grande scala.

Ai fini dell'inquinamento atmosferico lo strato più critico per i fenomeni di accumulo è quello dei primi 1500-2000 m, poiché in Valpadana è intorno a questa quota che si verifica la massima rotazione del vento con la quota a causa della separazione tra le correnti dei bassi strati, deformate e incanalate dall'Arco Alpino, e le correnti indisturbate degli strati superiori.

(Fonte: "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000)

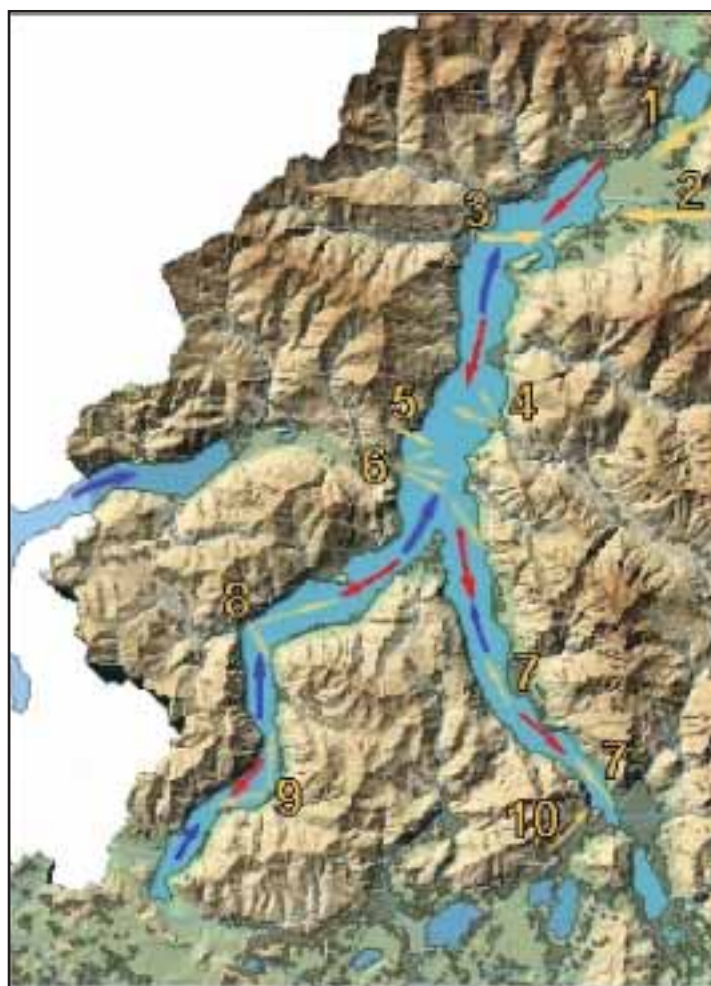


Figura 6.59 . Andamento delle brezze e dei venti locali nell'area lacustre

(Fonte: *Carta Nautica del Lago di Como, Istituto Geografico De Agostani, Novara; elaborazione grafica Punto Energia, 2004*)

Legenda: → Tivano; → Brega; → Venti locali :

1 = San Vincenzo; 2 = Borgognone; 3 = Garzeno; 4 = Bellanasco; 5 = S.Anna; 6 = Menaggio; 7 = Bergamasca;
8 = Argegno; 9 = Molinaccio; 10 = Brega dei laghetti.



Figura 6.60 - Andamento delle brezze notturne

(Fonte: informazioni tratte da "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000; elaborazione grafica di Punto Energia di Como, 2004 su base cartografica tratta da Sistema Informativo Territoriale, Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica - Struttura Analisi e Informazioni Territoriali, 2004)



Figura 6.61 - Andamento delle brezze diurne

(Fonte: informazioni tratte da "Caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatologico per zone omogenee", G.Tebaldi, ARPA Milano, in Piano Regionale della Qualità dell'Aria, Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2000; elaborazione grafica di Punto Energia di Como, 2004 su base cartografica tratta da Sistema Informativo Territoriale, Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica - Struttura Analisi e Informazioni Territoriali, 2004).

6.5 RADIAZIONE SOLARE

Le tre stazioni meteorologiche che rilevano la radiazione solare incidente: Samolaco (n.6), Como Villa Gallia (n.19 ed Erba (n.2) (cfr. *Figura 6.61*) non sono sufficienti per poter ipotizzare una suddivisione ottimale del territorio provinciale.

Indicativamente, all'aumentare della latitudine ed alla diminuzione della quota dovrebbe corrispondere un decremento della radiazione. In più le caratteristiche di esposizione di una superficie portano ad avere valori estremamente differenti.

In riferimento alle Tabelle ed ai Grafici riportati in Appendice (cfr. *Tabelle 5.E.1.1 - 5.E.1.3, Grafici 5.E.1.1 - 5.E.1.3, Tabelle 5.E.2.1 - 5.E.2.2, Grafici 5.E.2.1 - 5.E.2.2*), considerando la radiazione media annua la stazione di Samolaco risulta essere quella interessata dai valori relativamente più bassi. Per quanto riguarda le medie mensili si riscontrano invece comportamenti differenti con i valori più alti da dicembre a febbraio proprio a Samolaco (a nord) e valori più elevati nelle altre stagioni dell'anno ad Erba (a sud).

Di particolare interesse è inoltre la diversa inclinazione sull'orizzontale per la quale si hanno valori massimi di radiazione solare. Per le stazioni poste nel settore meridionale della Provincia (Como e Erba), la radiazione più elevata si riscontra su superfici inclinate di 30°, mentre per la zona settentrionale sono interessanti i valori riscontrati con angoli di 45°.

I dati riportati in Appendice confermano che la radiazione mensile, su tutte le località prese in considerazione, risulta più elevata nel mese di luglio e in misura decrescente nel mese di giugno, agosto, maggio, aprile; mentre nei mesi invernali la radiazione solare assume un comportamento pressoché uniforme in tutte le località considerate.

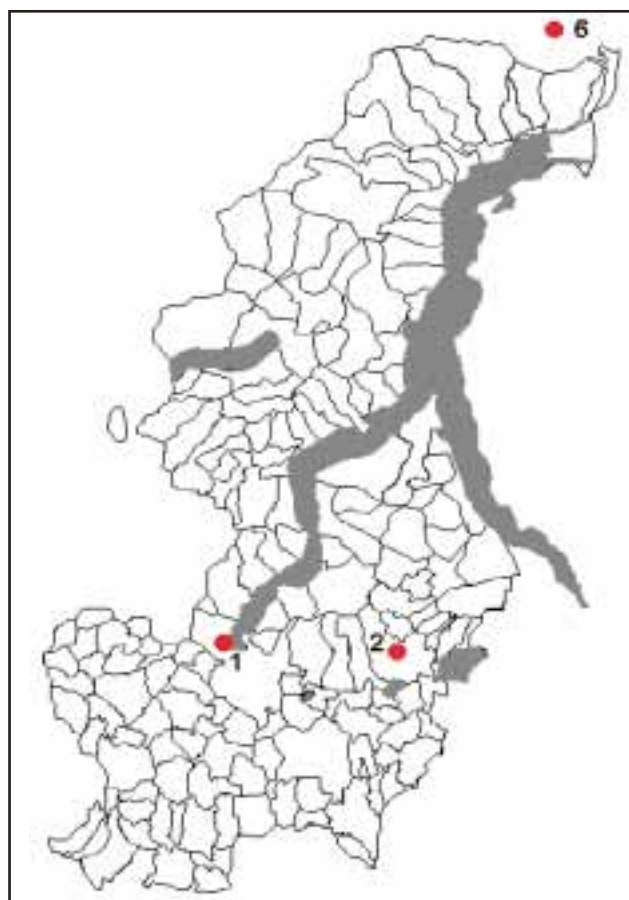


Figura 6.62 - Ubicazione stazioni per confronto dell'andamento mensile ed orario della radiazione solare incidente (1991-2002)

È da notare infine la similitudine fra il numero di ore di luminosità e quello della radiazione solare diretta che risulta più elevata rispettivamente nei mesi di giugno, luglio, maggio, agosto.

6.6 TEMPERATURE DELLE ACQUE LACUSTRI

Le caratteristiche termiche dei principali bacini lacustri della Provincia di Como presentano valori estremamente differenziati, dipendendo da fattori legati principalmente al loro volume, superficie, alla profondità, alla presenza di immissari/emissari e, ovviamente alla posizione geografica (latitudine e quota). Risulta pertanto superfluo proporre una zonizzazione.

Per quanto riguarda invece il solo Lago di Como, il quadro di estremo dettaglio, disponibile per diverse stazioni e periodi dell'anno, oltre ad evidenziare le naturali variazioni con la profondità (termoclino estivo e tendenze all'uniformità invernale), sufficientemente omogenee nelle diverse aree del lago, sembrerebbe configurare valori di temperature leggermente superiori per il bacino occidentale (ramo di Como), probabilmente dovuti alla ridotta circolazione delle acque rispetto l'alto lago ed il ramo di Lecco.

Note Bibliografiche

- AA.VV. 1971. *Lacustrine climatology proceeding of the international congress - may 20-23 1971 Como*. Centro di Cultura Scientifica "A. Volta". Como.
- M. Pinna. 1977. *Climatologia*, UTET, Torino, 442 pp.
- Aeronautica Militare - C.N.M.C.A.: *Valori estremi di alcuni parametri meteorologici nel periodo 1951-1978*, Aeronautica Militare, VOL. 1° 1983.
- M. Giuliacci. 1985. *Climatologia statica e dinamica della Valpadana*, C.N.R. AQ/3/18 Milano.
- Aeronautica Militare - C.N.M.C.A.: *Frequenze e medie delle osservazioni meteorologiche in superficie*, Aeronautica Militare, VOL. 2° 1986.
- ERSAL - Regione Lombardia. 1986. *Criteri e scelta del sito per stazioni meteorologiche a fini agricoli*.
- G. Bartesaghi, M. Casati, A. Pizzala. 1987. *Studio Climatologico del Territorio Lariano 1971-1976*. Enel-CRTN, Centro di Cultura Scientifica "A. Volta" - Settore Ambiente. Como.
- Aeronautica Militare - C.N.M.C.A.: *Valori estremi di alcuni parametri meteorologici nel periodo 1951-1978*, Aeronautica Militare, VOL. 2° 1987.
- M. Tebaldi. 1991. *Condizioni meteorologiche prevalenti del territorio della provincia di Milano*, relazione presentata al convegno Meteorologia e agricoltura in Lombardia, Milano, 6 maggio 1991.
- World Meteorological Organisation, 1992. *International Meteorological Vocabulary*, WMO n.182, Geneva.
- G. Chiaudani, G. Premazzi, Comunità Europea, Ministero dell'Ambiente, Regione Lombardia, Provincia di Como, CCR ISPRA. 1993. *Il lago di Como Condizioni ambientali attuali e modello di previsione dell'evoluzione delle qualità delle acque*. Rapporto EUR 15267 IT.
- U. Maione, U. Moisello. 1993. *Elementi di statistica per l'idrologia*. La Goliardica Pavese. Pavia.
- U. Pellegrini, F. Apadula, L. Banda, G. Manzi. Febbraio 1994. *Caratterizzazione meteorologica delle stazioni di misura di : Pian del Tivano e Brunate (1987-1991)*. G12/94/03/MI Enel-Direzione Studi e Ricerche Centro Ricerca Ambiente Materiali - Unità Studi e Monitoraggi Ambientali. Milano.
- R. Rosso. 1994. *Effetto serra istruzioni per l'uso*. Progetto Leonardo. Bologna.
- Enel - SNAM. 1995. *Caratteristiche diffusive dell'atmosfera- Criteri generali del lavoro e guida alla sua utilizzazione*. Enel - Direzione Relazioni Pubbliche e Comunicazione. Roma.
- AA.VV. (coordinatore Bruno Zevi). 1996. *Il Nuovo Manuale dell'architetto*. Mancuso editore. Roma.
- L. Buffoni, F. Chlistovskj, M. Maugeri. 1996. *1763-1995. 233 anni di rilevazioni termiche giornaliere a Milano-Brera*. Edizioni CUSL. Milano.
- R. Iorio. 1996. *Il Sistema Italiano Rilevamento Fulmini del CESI*. Rivista "Perito industriale" n. 3/1996.
- V. Colombo. Novembre 1997. *Applicazione di elementi della qualità nella gestione di impianti sperimentali per l'ambiente*. Relazione Enel - CRAM 19970201.

- L. Mariani, G. Lazzaroni, M. Russo, L. Verdelli, ERSAL, Servizio Meteorologico Regionale, 1997. *Il programma regionale di previsione e prevenzione 1998-2001*. Servizio di Protezione Civile della Regione Lombardia.
- L. Mariani, P. Scioli, 1998. *Foöhn episodes on high plain and Prealps of Lombardy (Italy)*, International Conference on Alpine Meteorology, ICAM '98, Torino, 14-19 sept. 1998.
- Nuovo Colombo. 1998. *Manuale dell'ingegnere*. Hoepli. Milano.
- N. Rossi. 1998. *Manuale del termotecnico - Fondamenti Riscaldamento Condizionamento Refrigerazione*. Hoepli. Milano.
- M. Greppi. 1999. *Idrologia: il ciclo dell'acqua ed i suoi effetti*. Hoepli. Milano.
- G. Tebaldi, M. Valentini, M. Frisoli. 2000. *Rapporto finale Piano Regionale per la Qualità dell'Aria - Regione Lombardia; caratterizzazione del territorio della regione sotto il profilo climatico per zone omogenee*. Regione Lombardia - Fondazione Lombardia per l'Ambiente.
- M. Ceriani e M. Carelli. 2000. *Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino lombardo, 1891 - 1990*. Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici, Regione Lombardia.
- L. Mariani, G. Lazzaroni, M. Russo, L. Verdelli. 2001. *Il programma regionale di previsione e prevenzione" Servizio di Protezione Civile della Regione Lombardia*. ERSAL, Servizio Meteorologico Regionale
- analisi temperature e precipitazioni*. ARPA-Emilia Romagna. Quaderno Tecnico ARPA-SMR. N° 04/2001.
- M. Maugeri, E. Mazzucchelli. 2003. *Il riscaldamento del nostro pianeta: la situazione italiana con particolare riferimento alla Regione Lombardia e alla città di Milano*. CUSL.
- C. Cacciamani, M. Lazzeri, A. Selvini, R. Tomozeiu, A. Zuccherelli. 2001. *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1:*

Glossario

Angolo di inclinazione - Indica l'angolo formato dalla superficie di captazione dell'energia solare con il piano orizzontale; vale 0° se la superficie è orizzontale e 90° se è perpendicolare al suolo.

Atmosfera - Involucro gassoso che avvolge la terra e viene trattenuto dalla forza di gravità, il suo peso totale è di circa 5.300 bilioni di tonnellate. E' composta da azoto (78%), ossigeno (21%), argon (0,95%), anidride carbonica (0,03%) e in piccole quantità neon, idrogeno, elio, kripton e xenon, vapore acqueo e ozono.

Bacino aerologico - Massa d'aria a comportamento omogeneo, che gravita su di un'area avente caratteristiche omogenee per distribuzione delle sorgenti di emissione e per caratteristiche meteorologiche e meteo-diffusive (dispersione in atmosfera degli inquinanti).

Clima - Insieme di condizioni meteorologiche che si verificano in una località per un determinato periodo di tempo (20-30 anni). I suoi elementi quali temperatura, pressione, umidità, nuvolosità, venti e precipitazione sono influenzati da diversi fattori come la latitudine, l'altitudine la conformità dei rilievi, delle pianure e del mare, le correnti aeree e marine, l'albedo e dall'intervento umano. Il clima è oggetto di varie classificazioni, la più nota è quella di W. Koppen che considera 5 classi: climi megatermici umidi o tropicali umidi, climi aridi, climi mesotermici o temperati caldi, climi microtermici o boreali e climi nivali o glaciali. Può essere inteso anche come stato medio dell'atmosfera.

Escursione termica - Differenza tra la temperatura massima e minima in un luogo, misurate in un dato periodo di tempo. Quella tra il giorno e la notte è detta escursione diurna; La temperatura subisce inoltre una variazione durante le diverse stagioni. I giorni si allungano d'estate e si accorciano d'inverno per effetto della non perpendicolarità dell'orbita dell'asse terrestre. Inoltre la variazione della latitudine influisce sulla differenza tra giorno e notte: più si sale, più si accentua tale differenza. D'estate, poiché le ore di insolazione aumentano mentre le ore notturne si accorciano, il bilancio termico tra il riscaldamento diurno e il raffreddamento diurno è a favore del caldo; d'inverno si verifica la situazione contraria ovvero la temperatura media si abbassa perché la notte è più lunga del giorno. La differenza tra il mese più caldo e quello più freddo viene chiamata escursione termica annuale.

Irraggiamento [W/m²] - Radiazione solare istantanea incidente sull'unità di superficie.

Latitudine - Fissato un punto sulla Terra, angolo che la normale alla superficie passante per il punto forma con il piano equatoriale; la latitudine si dice Nord se il punto considerato è sull'emisfero settentrionale, Sud se è sull'emisfero meridionale.

Massa d'aria - Determinato volume dell'atmosfera le cui caratteristiche fisiche sono omogenee.

Orientamento - Posizione del modulo rispetto alle direzioni dei punti cardinali N, S, E, O. La misura dell'orientamento è data dall'azimut (angolo orizzontale).

Radiazione diffusa - Componente della radiazione solare ricevuta da una superficie di captazione dopo la riflessione e la dispersione dovuta all'atmosfera.

Radiazione diretta - Componente della radiazione solare che colpisce la superficie di captazione con un unico e definito angolo di incidenza.

Radiazione globale - Somma delle tre componenti della radiazione solare: diretta, diffusa e riflessa.

Radiazione riflessa - Componente della radiazione solare ricevuta da una superficie di captazione dopo la riflessione del terreno.

Radiazione solare [Wh/m² - kcal/m² - MJ/m²] - È l'energia elettromagnetica che viene emessa dal Sole come conseguenza dei processi di fusione nucleare che in esso avvengono. Valori di riferimento: 1Wh = 3600 Joule; 1Joule = 0,24 cal.

Stau - Accumulo di nubi sul versante sopravvento di un pendio montuoso, causato dall'ascesa dell'aria allo scopo di superare il monte che fa da ostacolo. Fenomeno che precede la formazione del Foehn e come quest'ultimo è dovuto all'orografia. Si manifesta nelle stesse zone del Foehn, ovvero la catena alpina e appenninica.

Umidità assoluta - Quantità di vapore acqueo contenuta in 1 metro cubo di aria.

Umidità relativa - Esprime il rapporto in percentuale tra la quantità reale di vapore acqueo contenuto nell'aria e la quantità massima di vapore acqueo che l'aria potrebbe contenere, ad una data temperatura.

Venti predominanti - Venti che possono variare, ma che spirano quasi sempre con provenienza da un medesimo settore.

Wind chill - Equazione empirica introdotta per descrivere quale sia la reale temperatura avvertita da un organismo umano in relazione alla temperatura dell'aria libera e alla velocità del vento. Il wind chill è sempre pari alla temperatura effettiva dell'aria quando la velocità del vento è uguale o minore a 4 nodi.

(Fonte: GEOEX s.a.s. .1999; V. Villasmunta. 2000. Corso basico di meteorologia)

