

# Journal of Limnology

vol. 65 (Suppl. 1), 2006

## IL CLIMA DELL'AREALE DEL LAGO MAGGIORE DURANTE GLI ULTIMI CINQUANT'ANNI

### *THE CLIMATE OF LAGO MAGGIORE AREA DURING THE LAST FIFTY YEARS*

Walter Ambrosetti, Luigi Barbanti and Angelo Rolla

#### INDICE - CONTENTS

INTRODUZIONE ( <i>INTRODUCTORY REMARKS</i> ) .....	2
1. RADIAZIONE SOLARE ( <i>SOLAR RADIATION</i> ) .....	3
2. INSOLAZIONE ( <i>INSOLATION</i> ) .....	5
3. TEMPERATURA DELL'ARIA ( <i>AIR TEMPERATURE</i> ) .....	8
4. PRESSIONE ATMOSFERICA ( <i>ATMOSPHERIC PRESSURE</i> ) .....	15
5. UMIDITÀ ATMOSFERICA ( <i>ATMOSPHERIC UMIDITY</i> ) .....	19
6. NUVOLOSITÀ ( <i>CLOUD COVER</i> ) .....	22
7. PRECIPITAZIONI ( <i>PRECIPITATION</i> ) .....	25
8. EVAPORAZIONE ( <i>EVAPORATION</i> ) .....	31
9. VENTO ( <i>WIND</i> ) .....	34
10. LIVELLO DEL LAGO MAGGIORE ( <i>LAKE LEVEL</i> ) .....	39
11. TEMPERATURA DELL'ACQUA DEL LAGO ( <i>LAKE WATER TEMPERATURE</i> ) .....	47
RIASSUNTO .....	58
SUMMARY .....	60
BIBLIOGRAFIA ( <i>REFERENCES</i> ) .....	62



## ABSTRACT

*Data collected in over 50 years' activity at the C.N.R. meteorological station of Pallanza were analysed to see whether any changes have taken place in some climatic elements and to quantify the extent of such changes.*

*A statistical analysis of the respective historical series was performed on nine meteorological parameters (solar radiation, insolation, air temperature, atmospheric pressure, humidity, cloud cover, precipitation, evaporation and wind), and on two other strictly limnological features: the level of Lago Maggiore and its water temperature at six different depths. In particular, we evaluated the means and the extremes (maxima and minima) on an annual, seasonal, monthly and daily level, with the results presented uniformly for all the parameters, also in graphic form. We especially highlighted the trend lines, even though they were not always statistically significant owing to the extreme variability of the meteorological data; in the absence of statistical validity, their significance is an approximate indication of their increasing or decreasing trend. Results showed that insolation, air temperature and atmospheric pressure had increased markedly over time, at least on an annual level, with the trends for solar radiation, humidity and cloud cover also showing an increase, though very slight. Evaporation and wind showed a steady, marked decrease, while precipitation and lake level were essentially stable. Water temperature showed a more varied picture, with the temperature of the topmost levels (to a depth of 10 m) continuing to increase.*

Con lo scopo di verificare eventuali mutamenti intervenuti in alcuni elementi del clima, e di quantificarne l'entità, sono stati analizzati i dati raccolti in oltre 50 anni di attività della stazione meteorologica di Pallanza, gestita dal C.N.R.

Un'analisi statistica delle rispettive serie storiche è stata condotta su nove parametri meteorologici (radiazione solare, insolazione, temperatura dell'aria, pressione atmosferica, umidità, nuvolosità, precipitazioni, evaporazione e vento) e su altri due di carattere prettamente limnologico e cioè l'andamento del livello del Lago Maggiore e la temperatura delle sue acque a sei diverse profondità. In particolare si sono valutate le medie e gli estremi (massimi e minimi) a livello annuale, stagionale, mensile e giornaliero con la presentazione dei risultati che è stata impostata in modo uniforme per tutti i parametri, anche sotto il profilo grafico. Sono state evidenziate, in particolare, le rette di tendenza anche se la loro significatività, intesa in senso strettamente statistico, non sempre è stata raggiunta per l'estrema variabilità dei dati meteorologici: in assenza di una valenza statistica il loro significato è un'indicazione di massima sul loro andamento tendenziale, in crescita o in diminuzione. In sensibile aumento nel tempo sono risultati, almeno a livello dei dati annuali, insolazione, temperatura dell'aria e pressione atmosferica, mentre una tendenza sempre in crescita, ma in misura molto modesta, sono state radiazione solare, umidità e nuvolosità. Evaporazione e vento sono invece andati progressivamente e sensibilmente diminuendo, mentre sostanzialmente stabili si sono mantenuti precipitazioni e livello del lago. Più articolato invece il comportamento delle temperature dell'acqua con le più superficiali (fino a 10 m di profondità) che sono state sempre in aumento.

## INTRODUZIONE (*INTRODUCTORY REMARKS*)

Fin dal 1951 è attiva a Pallanza, presso l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (I.S.E.) del C.N.R. (già Istituto Italiano di Idrobiologia), una stazione meteorologica la cui funzione principale è la raccolta di informazioni sullo stato dell'atmosfera a supporto dei limnologi interessati allo studio del Lago Maggiore e degli altri bacini lacustri limitrofi: è infatti ormai riconosciuta l'importanza che i fenomeni atmosferici hanno nell'influenzare i processi fisici, chimici e biologici interni alla massa d'acqua.

Questa priorità non ha impedito la collaborazione nel passato con alcune reti meteorologiche nazionali quali l'U.C.E.A. (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria) dell'allora Ministero dell'Agricoltura e Foreste, la rete nazionale del C.N.R. per il controllo della radioattività da *fallout* e l'Ufficio Idrografico del Po del Ministero dei Lavori Pubblici con l'invio sistematico delle informazioni meteorologiche raccolte a Pallanza.

Attualmente è in atto la collaborazione con il Servizio Meteorologico della Regione Piemonte in materia di previsione e di monitoraggio ambientale, attraverso il collegamento con la centrale operativa della loro rete delle apparecchiature operanti a Pallanza, ed anche di alcune altre stazioni meteorologiche e idrologiche gestite dall'I.S.E.

È stata invece esclusa qualsiasi attività di previsioni del tempo e, conseguentemente dell'emissione dei relativi bollettini di informazione.

Per questi motivi accanto alle registrazioni di elementi del clima tradizionali si sono misurati anche altri parametri che hanno riferimento più specifico alla caratteristiche limnologiche quali l'evaporazione, il livello del lago e la temperatura delle sue acque a sei differenti profondità.

L'insieme di tutte queste informazioni raccolte in oltre cinquanta anni di attività sono già state presentate attraverso numerose pubblicazioni la cui ossatura principale è rappresentata dagli Annuari dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza (vedi bibliografia) e ad esse si dovrà fare riferimento per quanto attiene all'ubicazione della stazione, alle caratteristiche tecniche specifiche della dotazione strumentale, nonché alle modalità di lettura e di elaborazione dei dati.

Scopo principale di questo lavoro è pertanto di verificare se in questo lungo lasso di tempo siano intervenuti mutamenti nella struttura di alcuni parametri meteorologici e di quantificarne l'entità, senza per altro specificarne cause ed effetti.

I parametri che qui saranno considerati sono:

- radiazione solare
- insolazione
- temperatura dell'aria
- pressione atmosferica
- umidità
- nuvolosità
- precipitazioni
- vento

- livello del Lago Maggiore
- temperatura delle acque del lago a sei diverse profondità.

Le serie statistiche relative a ciascun parametro non sono state sottoposte ad alcuna integrazione dal momento che il continuo ed assiduo controllo con cui gli operatori hanno seguito il procedere delle registrazioni ha ridotto al minimo le immancabili interruzioni, immediatamente sopperite con osservazioni dirette con altre apparecchiature disponibili.

Le analisi statistiche sulle serie storiche dei singoli parametri non si limiteranno alle rispettive medie annuali ma saranno accompagnate da osservazioni su quelle stagionali, mensili e giornaliere al fine di evidenziare, anche a questi livelli, le eventuali diverse risposte agli agenti esterni da parte delle componenti dell'ecosistema lacustre.

Si ricorda, a questo proposito, che poiché l'anno meteorologico secondo le convenzioni internazionali, ha inizio con il primo giorno di dicembre, i periodi stagionali si articolano in modo diverso rispetto a quelli astronomici e pertanto l'inverno comprende nella loro interezza i mesi di dicembre, gennaio e febbraio, la primavera copre marzo, aprile e maggio, l'estate si estende da giugno ad agosto e, infine, l'autunno è composto dai mesi di settembre, ottobre e novembre.

Oltre ai dati medi di ciascun parametro saranno analizzati anche quelli estremi (massimi e minimi), utilizzando, ove possibile, le stesse modalità di elaborazione e di rappresentazione che sono state impostate, anche sotto il profilo grafico, in maniera uniforme per tutti i parametri per cui la maggior parte delle figure presentate nel testo risultano così strutturate:

- rappresentazione della serie storica attraverso la visualizzazione dei valori di ciascun anno, marcati ed uniti da una linea tratteggiata sottile;
- rappresentazione della retta di tendenza (linea a tratteggio grosso); nella consapevolezza che la sua significatività, intesa in senso strettamente statistico, non è sempre raggiunta sopra tutto per i valori estremi (massimi e minimi) stante la estrema variabilità interannuale dei dati meteorologici. La sua interpretazione va intesa soltanto come indicazione di massima della tendenza all'aumento o alla diminuzione dei valori;
- valutazione e rappresentazione sul grafico della sua equazione, al fine di consentire di quantificare, attraverso il parametro angolare, l'entità della tendenza nel corso del periodo considerato;
- rappresentazione della curva ricavata dalle medie mobili (linea grossa continua), valutata con diverso periodo (da 2 a 5) in rapporto alla lunghezza della serie di dati disponibile: la sua funzione è di lisciare la distribuzione dei dati e quindi di permettere la visualizzazione della presenza di eventuali andamenti ciclici o, comunque, di fluttuazioni, più o meno periodiche, dei fenomeni.

Altri grafici riguardano invece i regimi mensili dei particolari aspetti dei singoli elementi del clima al fine di valutare e quantificare la loro distribuzione media nel corso dell'anno e la distribuzione in classi di alcuni elementi del clima.

## 1. RADIAZIONE SOLARE (*SOLAR RADIATION*)

### 1.1. Generalità

La radiazione solare è espressa in termini "globali", comprensiva cioè tanto della quantità di energia radiante proveniente direttamente dal sole, quanto delle componenti diffusa e diffratta dall'atmosfera.

### 1.2. Strumentazione utilizzata:

Le misure, che si riferiscono al periodo compreso fra il 1952 ed il 2004, si sono articolate con l'impiego della seguente dotazione strumentale:

- fino al 1957 è stato utilizzato un piranografo bimetallico tipo Robitzsch di costruzione SIAP;
- successivamente è entrata in funzione una pila solarimetrica Kipp e Zonen, modello G 18, ancora in attività;
- dall'anno 2000 la precedente apparecchiatura è stata affiancata da un polarimetro HE 20/K della CAE.

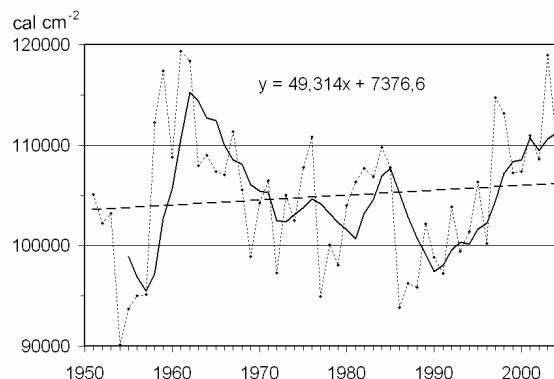
Le due ultime registrazioni, condotte in contemporanea, una su carta e l'altra con il segnale elettronico raccolto direttamente nella memoria della centralina che gestisce la stazione, hanno permesso di constatare che fra le due serie di dati non sussistono differenze significative. L'unità di misura adottata, al fine di dare continuità ai dati raccolti negli anni precedenti e riportati dagli Annuari, è la caloria su centimetro quadrato ( $\text{cal cm}^{-2}$ ).

### 1.3. Radiazione solare: totali annui

Nel periodo delle nostre osservazioni si è verificato un incremento tendenziale nei totali annuali dell'energia radiante di provenienza solare (Fig. 1.1) ma la retta di regressione non è statisticamente significativa. Il valore medio pluriennale è di  $104.894 \text{ cal cm}^{-2}$  con variabilità interannuale molto accentuata che copre un intervallo di quasi  $30.000 \text{ cal cm}^{-2}$  comprese tra il minimo di  $90.145 \text{ cal cm}^{-2}$  del 1954 ed il massimo di  $119.347 \text{ cal cm}^{-2}$  del 1961.

Dall'andamento della curva calcolata con le medie mobili, dopo una fase iniziale con radiazione solare in diminuzione che si protrae fino alla metà degli anni '50, si assiste ad un incremento che porta, nei primi anni '60, ai massimi del periodo. Segue una lunga fase in diminuzione con i valori di energia radiante che arrivano al di sotto della media all'inizio degli anni '80, decennio questo caratterizzato da un ciclo molto pronunciato che fa risalire i valori fino a circa  $108.000 \text{ cal cm}^{-2}$  nel 1985. A partire dal 1990, la radiazione è in progressiva continua risalita fino a raggiungere circa  $110.000 \text{ cal cm}^{-2}$  negli

anni più recenti. Da rilevare il dato del 2003 ( $118.970 \text{ cal cm}^{-2}$ ), quasi anomalo in questo contesto, che ha sfiorato il massimo dell'intera serie.



**Fig. 1.1.** Radiazione solare: totali annui (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Solar radiation: annual totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 1.4. Radiazione solare: totali stagionali

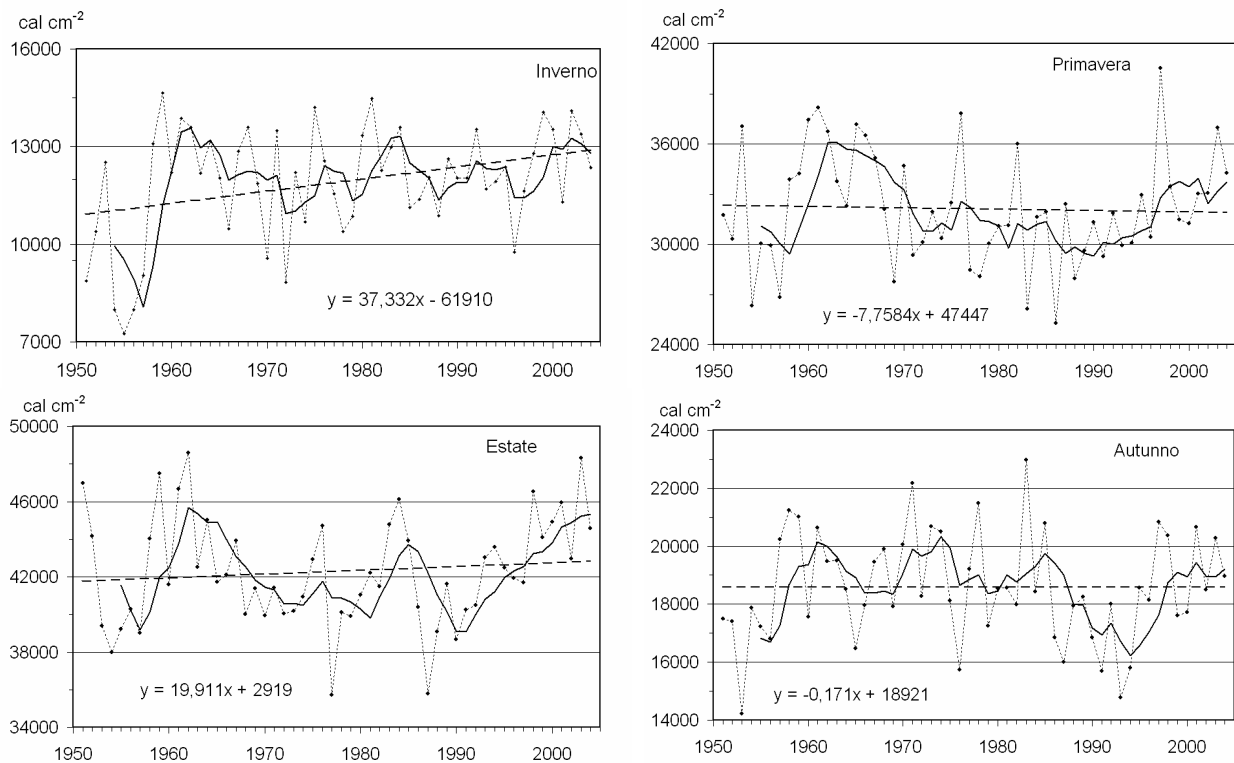
Come si evince dalla figura 1.2 che riporta i totali stagionali della radiazione solare, il quadro invernale si presenta del tutto diverso da quello delle altre tre stagioni: la retta di tendenza (significativa al livello di probabilità  $p=0,02$ ) è chiaramente diretta verso l'alto ad indicare un incremento energetico che, nell'intero periodo, è di circa  $1900 \text{ cal cm}^{-2}$ . Nelle altre stagioni invece, le rette di tendenza, per altro non significative, sono rispettivamente in leggerissima diminuzione in primavera, in altrettanto leggerissimo incremento in estate e in quasi assoluto equilibrio in autunno.

In tabella 1.1 sono riportati i valori medi pluriennali dei totali stagionali di energia radiante ed i limiti di variazione interannuali.

**Tab. 1.1.** Radiazione solare: valori medi ed estremi stagionali ( $\text{cal cm}^{-2}$ , in parentesi l'anno). *Solar radiation: means and extremes of seasonal totals (cal cm<sup>-2</sup>, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	11914	7257 (1955)	17755 (1959)
Primavera	32104	25266 (1986)	40547 (1997)
Estate	42293	35716 (1977)	48593 (1962)
Autunno	18582	14215 (1953)	22981 (1983)

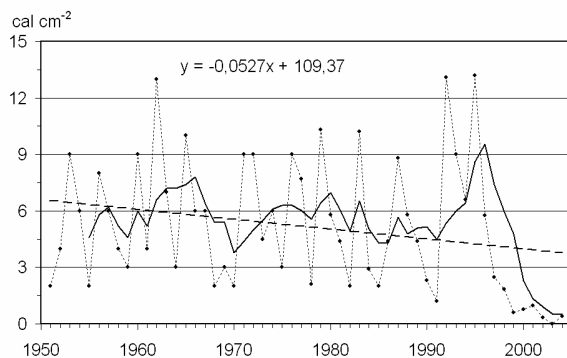
Quanto alle informazioni fornite dalle curve delle medie mobili stagionali esse si presentano quasi perfettamente in fase con l'andamento dei dati annuali sopra tutto per quanto attiene agli anni iniziali del periodo considerato, caratterizzati da un forte incremento prima del 1960; un po' più differenziata è invece la parte centrale del periodo che appare con andamento più regolare, mentre dagli anni '90 in poi la radiazione è in generale ripresa sopra tutto in estate e in autunno.



**Fig. 1.2.** Radiazione solare: totali stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Solar radiation: seasonal totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 1.5. Radiazione solare: minimi giornalieri (dati annuali)

La serie storica dei minimi giornalieri, registrati nel corso di ciascun anno quasi esclusivamente nel periodo invernale, è riportata in figura 1.3: è evidente che si tratta di una rappresentazione di scarso significato dal momento che tutti i valori sono inferiori a 10 cal cm<sup>-2</sup>. Da segnalare la netta caduta dei valori riscontrata nel corso degli anni più recenti, ed è sopra tutto in conseguenza di questo che la retta di tendenza, per altro non significativa, ha assunto una netta inclinazione verso il basso.



**Fig. 1.3.** Radiazione solare: minimi giornalieri (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Solar radiation: daily minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Tuttavia, soprattutto in estate, il minimo d'energia radiante è stato anche superiore a 100 cal cm<sup>-2</sup>: il caso più eclatante si è verificato nel 1989 quando, il 29 giugno, furono registrate 190 cal cm<sup>-2</sup>, valore che rappresenta il più elevato fra i minimi estivi dell'intera serie storica.

### 1.6. Radiazione solare: massimi giornalieri

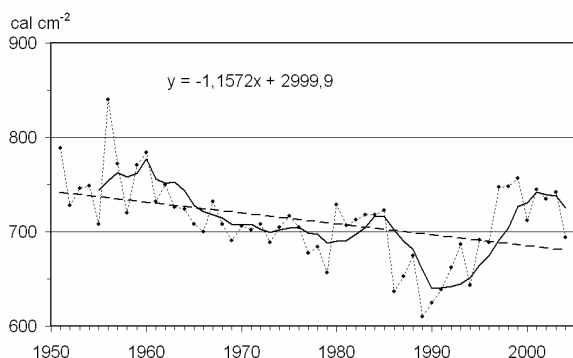
Il massimo assoluto giornaliero di radiazione solare risale al 22 giugno 1956 quando furono registrate 840 cal cm<sup>-2</sup>, un valore che trova la sua giustificazione nel fatto che si è verificato in una data molto prossima al solstizio d'estate.

Ovviamente tutti i massimi giornalieri di radiazione si verificano nella stagione estiva e rappresentano anche i massimi annuali. I valori invernali sono invece compresi fra 200 e 380 cal cm<sup>-2</sup> e nelle stagioni intermedie i loro limiti si collocano, rispettivamente, fra 550 e 740 cal cm<sup>-2</sup> in primavera e fra 400 e 580 cal cm<sup>-2</sup> in autunno.

La linea di tendenza applicata alla serie pluriennale dei massimi giornalieri di radiazione solare, significativa al livello  $p=0,01$ , presenta un'accentuata pendenza negativa indicando per i primi anni '50 valori intorno a 745 cal cm<sup>-2</sup> che scendono a 680 cal cm<sup>-2</sup> nel 2004 (Fig. 1.4).

Infine, l'andamento generale dei dati, indicato dalla curva delle medie mobili, segue con molta fedeltà quella descritto dai totali annuali: sono infatti i massimi estivi ad incidere maggiormente sul totale annuo.

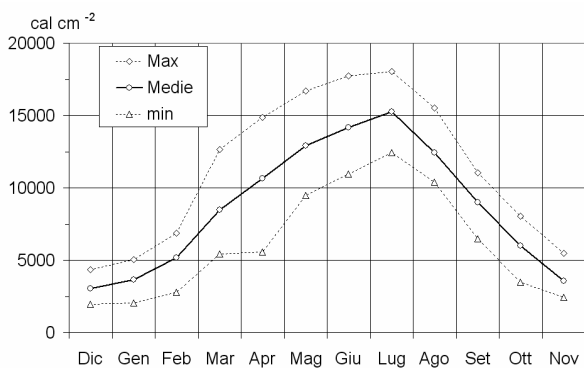
In tabella 1.2 sono raccolti i valori medi ed estremi stagionali della radiazione solare giornaliera.



**Fig. 1.4.** Radiazione solare: massimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Solar radiation: daily maxima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**Tab. 1.2.** Radiazione solare giornaliera: valori medi ed estremi stagionali (cal cm<sup>-2</sup>, in parentesi l'anno). *Daily solar radiation: mean and extreme seasonal values (cal cm<sup>-2</sup>, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	314,51	200,0 (1954)	383,0 (1953)
Primavera	661,44	560,6 (1990)	741,7 (2003)
Estate	709,12	610,3 (1989)	840,0 (1956)
Autunno	495,14	397,1 (1991)	577,0 (1969)



**Fig. 1.5.** Regimi mensili della radiazione solare: valori medi ed estremi. *Monthly solar radiation regimes.*

### 1.7. Regimi mensili della radiazione solare: valori medi ed estremi

Come è ovvio, il regime mensile dell'energia di provenienza solare è strettamente legato al ciclo stagionale del movimento apparente del sole, vale a dire alla durata dell'insolazione e alla sua altezza sopra l'orizzonte. Ciò è rilevabile dalle curve dei totali mensili dei massimi, delle medie e dei minimi della radiazione solare che collocano i loro valori più elevati in luglio ed i più bassi

in dicembre (Fig. 1.5). Dato per certo che è il ciclo solare annuale il fattore limitante della quantità di energia radiante che raggiunge la superficie terrestre, e vero anche che essa è controllata dalle condizioni meteorologiche locali e, in primo luogo, dalla copertura nuvolosa: infatti il dato di aprile nella spezzata dei minimi il valore è molto prossimo a quello del mese precedente.

## 2. INSOLAZIONE (INSOLATION)

### 2.1. Generalità

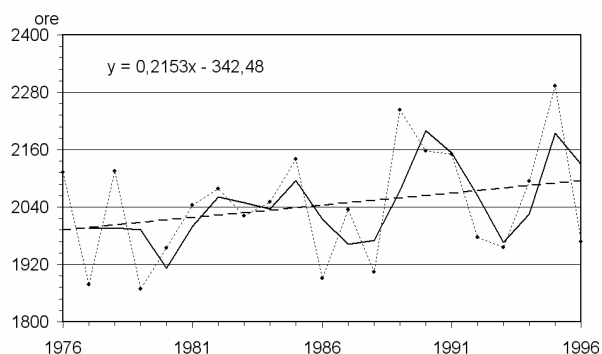
Poiché non è stata effettuata alcuna operazione di "riduzione" all'orizzonte dei dati relativi a questo elemento climatico, essi sono inficiati dalla presenza di alcuni rilievi naturali che sorgono tanto in direzione est, quanto in quella occidentale rispetto al sito di Pallanza. Di conseguenza si ha un'incidenza in senso riduttivo sulla durata dell'insolazione rispetto ad una valutazione impostata su basi esclusivamente teoriche. Anche per questo motivo le durate sono qui espresse in termini "assoluti", vale a dire in ore e minuti, e non come valore relativo, cioè in percentuale rispetto al tempo astronomico disponibile ricavato dalle effemeridi locali.

### 2.2. Strumentazione impiegata

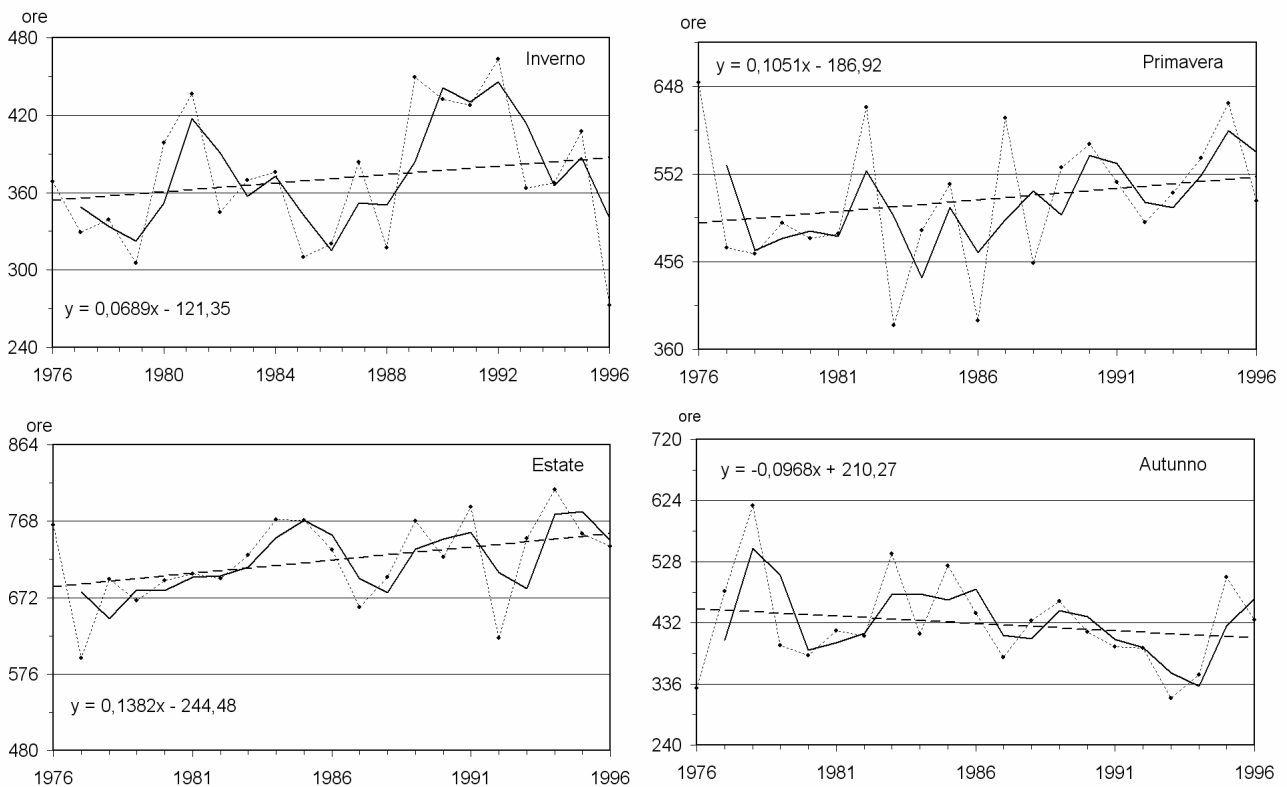
Si è sempre fatto uso dell'eliofanografo di Campbell e Stokes, di costruzione SIAP, basato sul potere convergente di una sfera di vetro che focalizzando i raggi solari lascia una traccia bruciata su apposite strisce di carta. Gli anni durante i quali sono stati effettuati rilevamenti dell'insolazione sono compresi fra il 1976 ed il 1996.

### 2.3. Insolazione: durate annuali

Nel ventennio considerato le durate totali annue dell'insolazione sono state in costante aumento con un incremento che la retta di tendenza (non significativa) valuta in circa 100 ore. La sua variabilità interannuale è molto elevata, spaziando fra valori compresi fra le 1.869 ore di sole nel 1979 e le 2.293 ore nel 1995, con una media di 2.044 ore (Fig. 2.1).



**Fig. 2.1.** Insolazione: durate annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Insolation: annual duration (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 2.2.** Insolazione: durate stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Insolation: seasonal duration (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Quanto all'andamento generale evidenziato dalla curva delle medie mobili, l'aspetto più interessante è la successione di due cicli, più quelli iniziale e finale che sono incompleti, che occupano tutta la parte centrale del periodo cui si riferisce il grafico, oscillazioni che sono però molto diversi tra loro sia per durata che per ampiezza.

#### 2.4. Insolazione: durate stagionali

Quanto ai dati stagionali, i valori più significativi delle durate dell'insolazione assoluta, indicati dalle loro medie e dai rispettivi estremi minimi e massimi, si possono leggere nella tabella 2.1.

**Tab. 2.1.** Insolazione: durate medie ed estreme stagionali (ore e minuti, in parentesi l'anno). *Insolation: mean and extreme seasonal duration (hours and minutes, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	370h 35m	272h 36m (1996)	463h 30m (1992)
Primavera	523h 30m	386h 00m (1983)	651h 48m (1976)
Estate	719h 17m	595h 42m (1977)	807h 30m (1994)
Autunno	430h 52m	313h 42m (1993)	616h 12m (1978)

I grafici delle serie storiche stagionali di questo elemento climatico (Fig. 2.2) hanno, quale aspetto più evidente, un comportamento diversificato fra inverno, primavera ed estate da un lato e l'autunno dall'altro: nei

primi la pendenza della retta di tendenza è chiaramente diretta verso l'alto, in modo più evidente in estate, mentre nell'ultima stagione dell'anno il senso dell'inclinazione si inverte. Da rilevare che fra le rette di regressione l'unica che presenta una certa significatività è quella estiva, per altro a livello molto basso ( $p=0,1$ ).

La curva delle medie mobili invernali indica la presenza di due cicli, quasi regolari, che interessano rispettivamente gli anni '80 e '90: questo andamento non appare nelle altre stagioni salvo un suo modesto accenno in estate. Inoltre, mentre in inverno la tendenza negli anni più recenti è verso la riduzione delle ore di sole, negli altri periodi stagionali si va verso un loro incremento.

#### 2.5. Insolazione: durate giornaliere

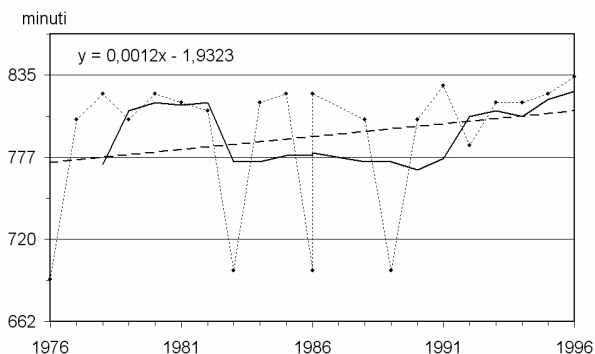
Il sole, per l'intero periodo delle nostre osservazioni, è stato mediamente presente per 335 minuti al giorno, con il minimo di 309 minuti nel 1979 ed il massimo di 375 minuti del 1995; la retta di regressione (non statisticamente significativa) indica che la media giornaliera delle durate dell'insolazione è andata sempre più aumentando nel tempo anche se con un tasso di incremento relativamente modesto.

Quanto ai valori minimi, la frequente presenza di una copertura nuvolosa completa ha fatto sì che numerosissime siano state le giornate, per altro distribuite per tutto l'arco dell'anno, nelle quali nessun segnale fosse



registrato dall'eliofanografo. Pertanto questa elaborazione statistica presenta un aspetto poco significativo del parametro in oggetto, sopra tutto dal punto di vista delle sue variazioni nel tempo.

Più interessante è invece l'analisi dei valori massimi giornalieri dell'insolazione a cominciare dal loro valore tendenziale (Fig. 2.3): sono in fase di crescita (hanno superato 800 minuti/giorno) sopra tutto negli anni più recenti quando non si sono verificati i picchi negativi (meno di 700 minuti) che avevano caratterizzato alcuni anni del passato. I limiti estremi delle durate massime giornaliere risultano essere 420 minuti, registrati in più occasioni in gennaio, e 844 minuti del 28 maggio 1996.



**Fig. 2.3.** Insolazione: durate massime giornaliere (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Insolation: maximum daily duration (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 2.6. Regimi mensili dell'insolazione

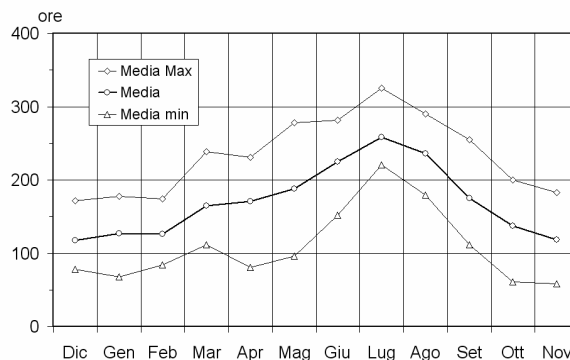
Il ciclo annuale delle durate medie mensili dell'insolazione, espressa in termini assoluti (Fig. 2.4), segue abbastanza fedelmente quello solare collocando da novembre a febbraio i valori più bassi (quasi livellati intorno alle 120 ore) ed il massimo in luglio (250 ore).

Più articolata è invece la distribuzione dei valori estremi: questo vale tanto per quelli più alti, il cui massimo è riscontrato sempre in luglio con 325 ore (la curva relativa presenta più di una irregolarità) quanto, e con maggiore accentuazione, nelle medie delle minime i cui valori di aprile e maggio sono più bassi di quelli di marzo, evidenziando in tal modo la presenza in questi ultimi due mesi di più frequenti episodi di accentuata nuvolosità.

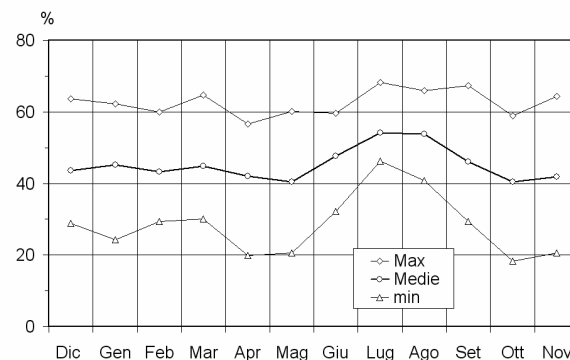
Interessante è il confronto fra i regimi mensili dell'eliofania espressi rispettivamente in valori assoluti (ore e minuti) e in valori relativi (percentuali dell'illuminazione solare locale).

Questi ultimi (Fig. 2.5) hanno andamenti più livellati dei primi, tanto per quanto attiene alla curva delle medie, i cui valori oscillano per molti mesi intorno al 40% e solo in luglio ed agosto salgono poco oltre il 50, quanto per quella delle massime, con valori sempre tra il

60 e 70%. Più articolato è invece l'andamento delle minime, in particolare nei mesi più caldi quando spaziano tra il 20 e il 50%. Si dimostra in tal modo che, se si escludono i mesi estivi e del primissimo autunno, la percentuale di tempo soleggiato rimane all'incirca costante su valori di poco superiore al 40%, mentre si incrementa di una dozzina di unità percentuali nel periodo più caldo.



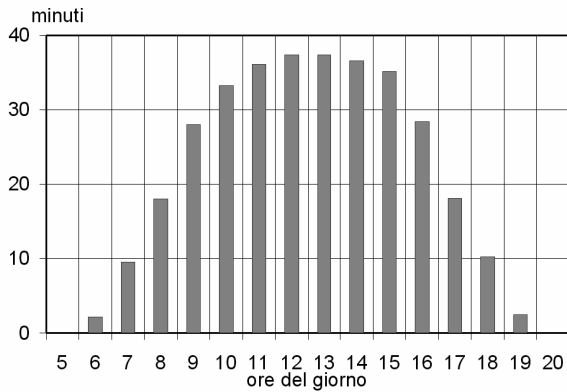
**Fig. 2.4.** Regimi mensili dell'insolazione assoluta: durate medie ed estreme. *Monthly absolute insolation regimes: mean and extreme duration.*



**Fig. 2.5.** Regimi mensili dell'insolazione relativa: percentuali medie ed estreme. *Monthly relative insolation regimes: mean and extreme percentages.*

### 2.7. Distribuzione dell'insolazione nelle ore del giorno

Nel corso dell'anno, col mutare dell'altezza del sole sopra l'orizzonte durante l'arco giornaliero, muta anche la durata dell'insolazione in ciascuna ora del giorno, come riportato in figura 2.6 per quanto attiene alla situazione media annuale. Ne sono interessate le ore comprese fra le sei del mattino e le 19 di sera, le prime e le ultime interessate per pochi minuti, mentre nelle ore centrali del giorno la durata dell'insolazione è quasi livellata attorno ai 37 minuti per ciascuna di esse. Il valore massimo appartiene congiuntamente alle ore 12 e 13 con 37 minuti e mezzo.



**Fig. 2.6.** Distribuzione delle durate dell'insolazione nelle ore del giorno. *Distribution of duration of insolation in daylight hours.*

### 3. TEMPERATURA DELL'ARIA (AIR TEMPERATURE)

#### 3.1. Strumentazione impiegata

Nel corso degli oltre 50 anni d'attività per la misura di questo elemento climatico sono stati utilizzati sensori a diversa sensibilità, tutti periodicamente tarati con l'ausilio di termometri di precisione a mercurio e/o a massima e a minima. Questa la sequenza degli utilizzi:

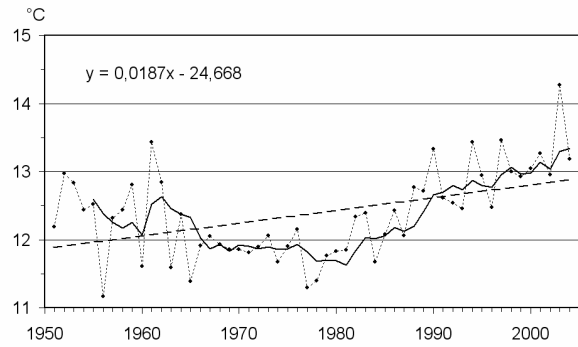
- dal 1951 al febbraio 1956, il termografo a spirale di costruzione Richard, con registrazione su carta;
- dal 1956 ad oggi, il termoigrografo MT 11 della SIAP, con sensore termico costituito da un tubo Bourdon e con registrazione su zone cartacee settimanali;
- dal 1996 è in funzione anche un sensore di temperatura 100 1/3 DIN: i suoi segnali sono raccolti nella memoria della centralina elettronica.

#### 3.2. Temperatura dell'aria: medie annuali

L'aspetto più evidente della serie storica relativa alle medie annue della temperatura dell'aria è rappresentato dal suo sensibile incremento nel periodo di osservazioni, statisticamente indicato dalla retta di tendenza, significativa al livello di  $p=0,001$ , che evidenzia una sua decisa tendenza all'aumento della temperatura quantificabile in circa  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , essendo passata da circa  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  del 1951 a  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  nel 2004 (Fig. 3.1).

La temperatura media del cinquantennio è di  $12,38\text{ }^{\circ}\text{C}$  e tutti i valori medi annui sono compresi tra il massimo di  $14,27\text{ }^{\circ}\text{C}$  del 2003 ed il minimo di  $11,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  del 1956.

L'andamento termico dell'atmosfera in questo lungo periodo, indicato dalla linea delle medie mobili, evidenzia la presenza di una concavità che occupa quasi l'intero intervallo di osservazioni, con il minimo, di circa  $11$  gradi e mezzo, incentrato nei primi anni '80; successivamente la temperatura ha subito un graduale aumento sino a superare i  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Fig. 3.1.** Temperatura dell'aria: medie annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: annual means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

#### 3.3. Temperatura dell'aria: medie stagionali

Tutte le quattro rette di tendenza delle medie termiche stagionali presentano una chiara indicazione al loro progressivo incremento nel tempo, anche se con diversa entità: più accentuato in estate ed in primavera e più contenuto in inverno e sopra tutto in autunno (Fig. 3.2). I livelli della loro significatività statistica variano con il periodo stagionale:  $p=0,001$  in estate,  $p=0,01$  in primavera,  $p = 0,02$  in inverno ed è del tutto assente in autunno. Le curve delle medie mobili seguono per grandi linee quelle già descritte a proposito delle medie annue fatta eccezione per quella invernale, assai più irregolare ed in contro tendenza per quanto attiene alle situazioni degli anni '70-'80.

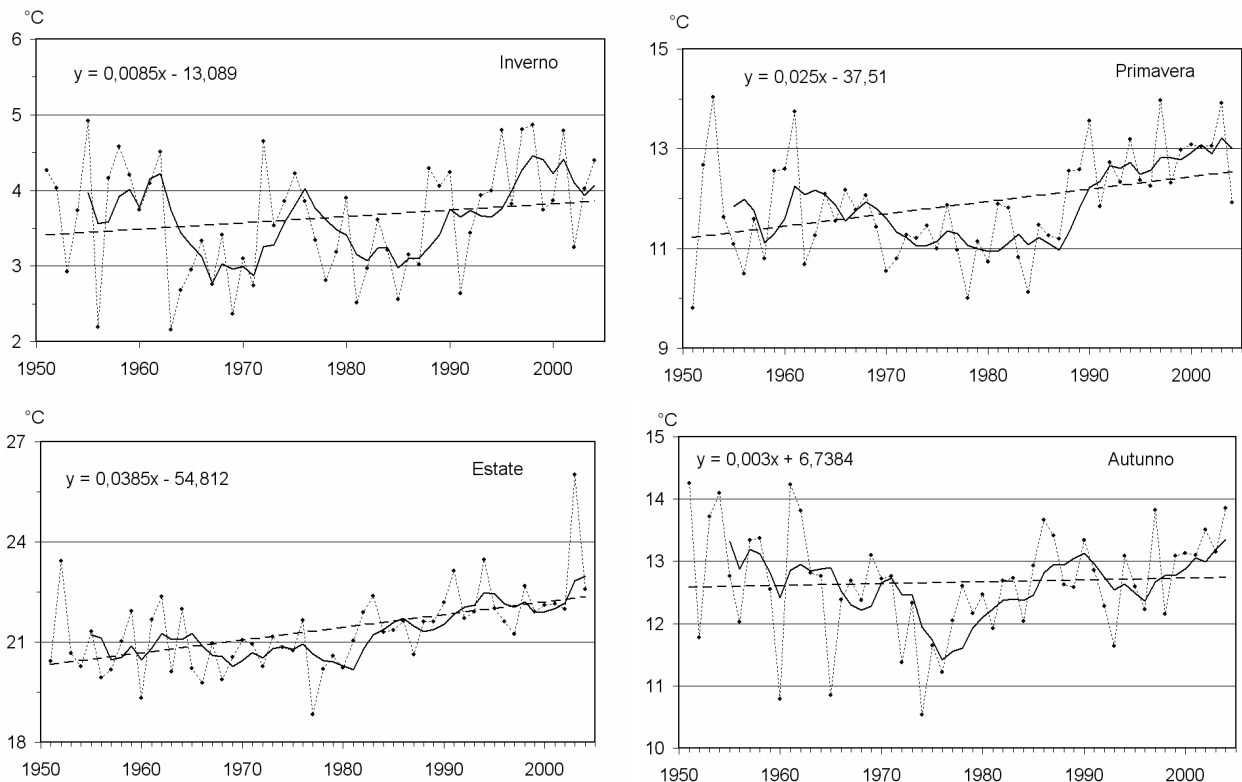
I dati relativi alle medie stagionali ed ai loro valori massimi e minimi sono riassunti nella tabella 3.1 dove tra tutti spicca l'elevato valore massimo della media estiva registrato nel 2003 ( $26,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

**Tab. 3.1.** Temperatura dell'aria: valori medi ed estremi stagionali ( $^{\circ}\text{C}$ , in parentesi l'anno). *Air temperature: mean and extreme seasonal values ( $^{\circ}\text{C}$ , in parenthesis the year).*

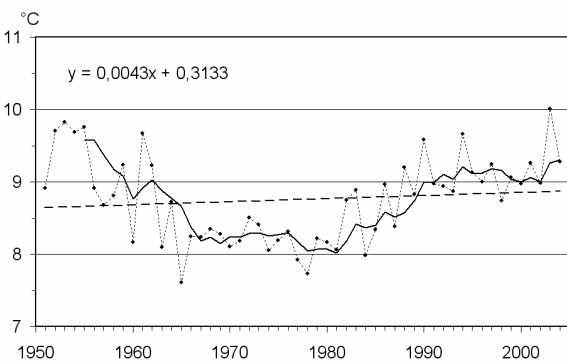
	Media	min	Max
Inverno	3,63	2,16 (1956)	4,92 (1955)
Primavera	11,88	10,00 (1978)	14,04 (1953)
Estate	21,34	18,83 (1977)	26,01 (2003)
Autunno	12,67	10,53 (1974)	14,25 (1951)

#### 3.4. Temperatura media dell'aria: minimi e massimi annuali

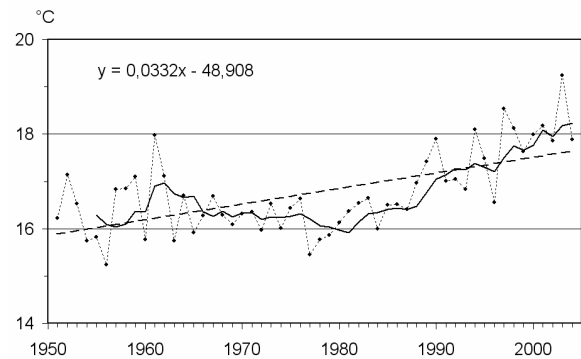
La serie storica dei minimi annuali delle temperature medie (Fig. 3.3) presenta un andamento assai simile a quello già descritto a proposito delle medie annuali, modulato cioè da una linea concava che occupa quasi tutto l'intero periodo di osservazioni: i valori più elevati si riscontrano nei primi anni della serie e dopo il minimo posizionato attorno al 1980 la crescita è



**Fig. 3.2.** Temperatura dell'aria: medie stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: seasonal means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 3.3.** Temperatura media dell'aria: minimi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean air temperature: annual minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 3.4.** Temperatura media dell'aria: massimi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean air temperature: annual maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

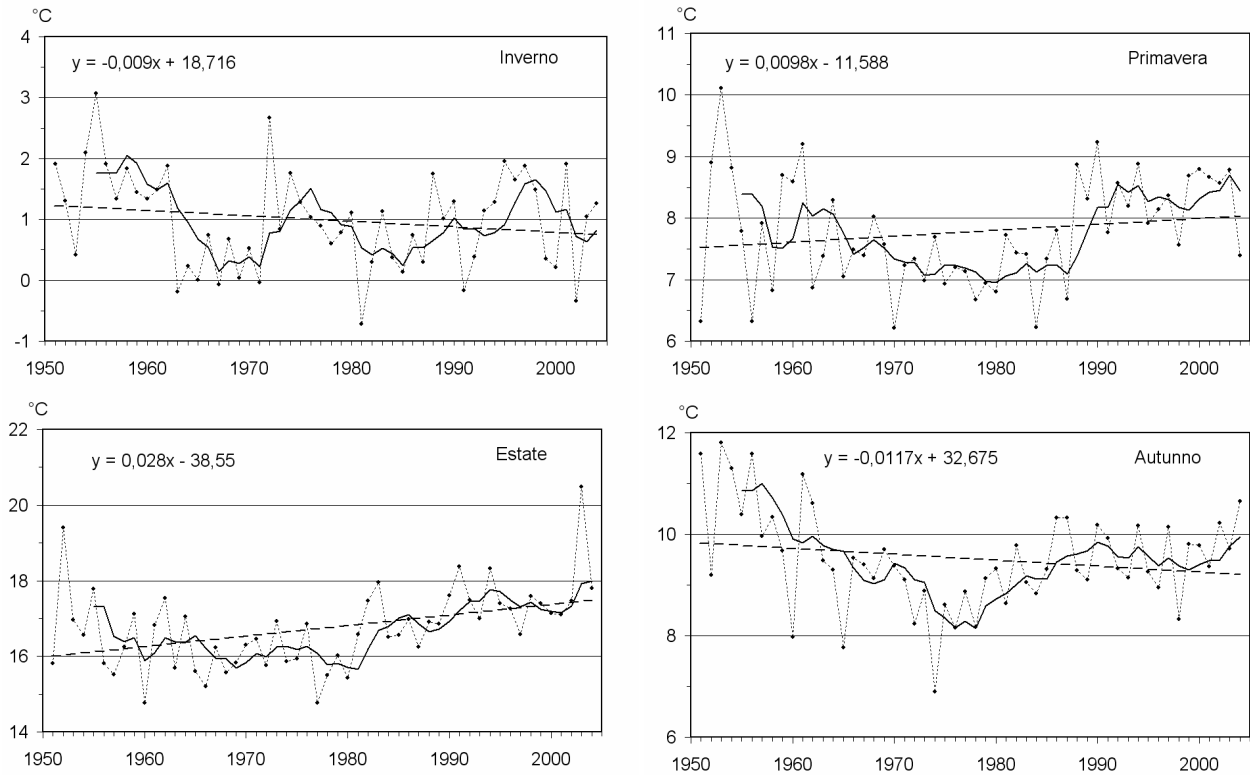
proseguita con una accentuazione negli ultimi anni, ma senza raggiungere i valori delle fasi iniziali.

La linea di tendenza, proiettata verso l'incremento, ha una significatività di livello non elevato ( $p=0,02$ ) e anche la sua pendenza è relativamente modesta tanto da indicare un aumento complessivo dei minimi delle medie limitato a qualche decimo di grado.

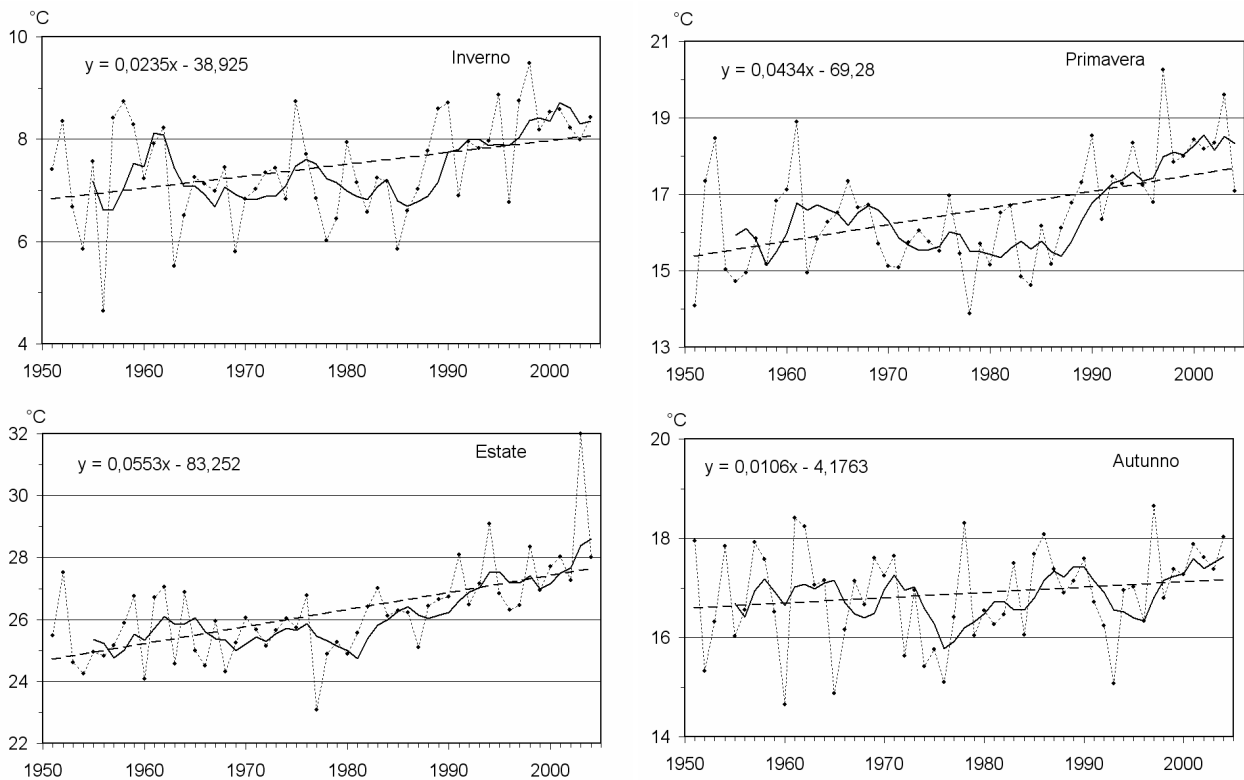
Più netta è invece la tendenza all'aumento dei massimi termici delle medie annuali tanto da sfiorare,

secondo la retta di regressione, i due gradi durante il periodo di osservazioni; in questo caso la sua significatività è al massimo livello (Fig. 3.4).

Anche la curva delle medie mobili di quest'ultima serie di dati si differenzia da quelle precedenti e, pur indicando la presenza di un minimo attorno agli anni '80, presenta un andamento più regolare e diretto verso l'alto, sopra tutto negli ultimi anni.



**Fig. 3.5.** Temperatura media dell'aria: minimi stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Mean air temperature: seasonal minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).



**Fig. 3.6.** Temperatura media dell'aria: massimi stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Mean air temperature: seasonal maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

### 3.5. Temperatura media dell'aria: minimi e massimi stagionali

Le rette tendenziali dei minimi delle medie stagionali (Fig. 3.5) indicano un progressivo incremento nel tempo delle serie storiche primaverili ed estive, mentre mostrano una tendenza in diminuzione quelle delle altre due stagioni. I parametri angolari delle rette, tuttavia, evidenziano che le inclinazioni sono alquanto contenute (intorno a 0.5 °C), fatta eccezione per l'estate quando l'incremento è stato superiore ad 1 °C. Quanto alla significatività di tali rette, sempre con l'eccezione di quella estiva che ha una  $p=0,01$ , tutte le altre sono al livello di probabilità di 0,05.

Quanto ai massimi delle medie stagionali, la figura 3.6 mostra invece, una tendenza complessiva ad un loro progressivo aumento col passare degli anni, molto modesto in autunno, di poco più di un grado in inverno, di circa due gradi in primavera, mentre più accentuato (oltre 3 °C) risulta quello estivo.

Sempre in autunno si riscontra il più basso livello di significatività della retta di tendenza ( $p=0,05$ ), mentre in inverno esso sale a  $p=0,01$  e negli altri due periodi stagionali arriva a  $p=0,001$ .

Si conferma ancora una volta che la maggior variabilità dei dati interannuali si riscontra fra i minimi della temperatura dell'aria, e in particolare fra quelli che si registrano nella stagione autunnale. I limiti entro i quali si sono collocati le medie e gli estremi dei minimi e dei massimi delle temperatura atmosferica media sono riportati, rispettivamente, nelle tabelle 3.2 e 3.3.

**Tab. 3.2.** Temperatura medie dell'aria: valori medi ed estremi dei minimi annuali e stagionali (°C, in parentesi l'anno). *Mean air temperature: mean and extreme values of annual and seasonal minima (°C, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Anno	8,76	7,61 (1966)	10,01 (2003)
Inverno	0,99	-0,72 (1981)	3,07 (1955)
Primavera	7,78	6,21 (1970)	10,11 (1953)
Estate	16,75	14,76 (1960)	20,48 (2003)
Autunno	9,52	6,90 (1974)	11,80 (1953)

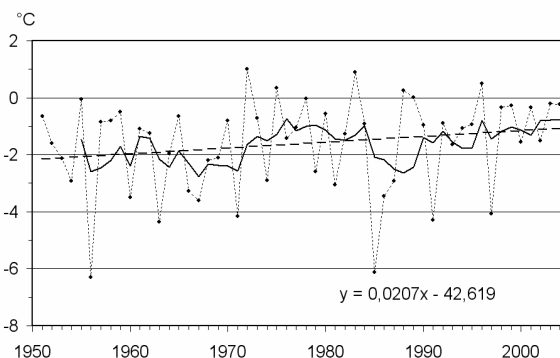
**Tab. 3.3.** Temperatura media dell'aria: valori medi ed estremi dei massimi annuali e stagionali (°C, in parentesi l'anno). *Mean air temperature: mean and extreme values of annual and seasonal maxima (°C, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Anno	16,76	15,24 (1956)	19,25 (2003)
Inverno	7,45	4,64 (1956)	9,49 (1998)
Primavera	16,53	0,60 (1978)	20,26 (1997)
Estate	26,19	23,09 (1977)	32,01 (2003)
Autunno	16,88	14,65 (1960)	18,65 (1997)

### 3.6. Temperatura media dell'aria: minimi e massimi giornalieri

La serie storica dei valori minimi annuali delle medie giornaliere della temperatura dell'aria (Fig. 3.7) pre-

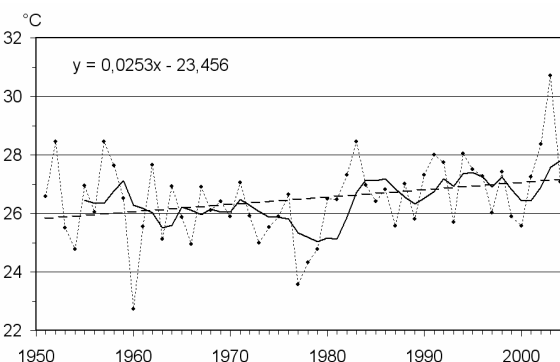
senta una tendenza all'aumento riscontrata nel corso degli oltre cinquanta anni qui considerati: la retta di regressione ha comunque una pendenza limitata ed è significativa al livello  $p=0,05$ . I singoli valori sono distribuiti nell'intervallo compreso tra 1,00 °C, registrato il 29 novembre 1972 e -6,30 °C dell'11 febbraio 1956 (Tab. 3.4).



**Fig. 3.7.** Temperatura media dell'aria: minimi giornalieri (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean air temperature: daily minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**Tab. 3.4.** Temperatura media dell'aria: valori medi ed estremi annuali e stagionali dei minimi giornalieri(°C, in parentesi l'anno). *Mean air temperature: mean and extreme annual and seasonal values of daily minima (°C, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Anno	-1,61	-6,30 (1956)	1,00 (1972)
Inverno	-1,58	-6,30 (1956)	1,35 (1972)
Primavera	3,19	-3,27 (1971)	8,13 (1961)
Estate	13,95	9,87 (1984)	20,88 (2003)
Autunno	3,05	-0,34 (1996)	6,35 (2002)



**Fig. 3.8.** Temperatura media dell'aria: massimi giornalieri (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean air temperature: daily maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Anche i corrispondenti valori massimi delle medie giornaliere della temperatura presentano (Fig. 3.8) una

tendenza all'aumento, con un incremento che, come indicato dalla retta di interpolazione ( $p=0,05$ ), è valutabile in poco più di un grado centigrado nell'intervallo di tempo da noi considerato. L'intervallo di variazione di questo tipo di dati spazia tra 22,73 °C riscontrati nella giornata del 18 giugno 1960 e 30,71 °C che hanno caratterizzato l'11 agosto del 2003 (Tab. 3.5).

**Tab. 3.5.** Temperatura media dell'aria: valori medi ed estremi annuali e stagionali dei massimi giornalieri (°C, in parentesi l'anno). *Mean air temperature: mean and extreme annual and seasonal values of daily maxima (°C, in parenthesis the year).*

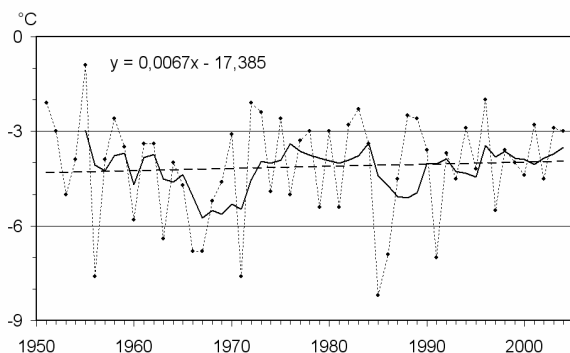
	Medie	min	Max
Anno	26,50	22,73 (1960)	30,71 (2003)
Inverno	9,68	7,22 (1981)	14,08 (2000)
Primavera	20,87	17,12 (1983)	25,50 (2001)
Estate	26,50	22,73 (1960)	30,71 (2003)
Autunno	21,55	17,67 (1965)	25,60 (1951)

### 3.7. Temperatura dell'aria: minime e massime assolute

La più bassa temperatura in assoluto registrata alla stazione di Pallanza durante tutto il periodo di attività è stata -8,2 °C e risale al 6 gennaio 1985. Inoltre tutti gli anni sono stati caratterizzati da almeno un valore termico sotto lo zero; il meno rigido in tal senso è stato il 1955 con una minima assoluta di -0,9 °C registrata il 27 novembre; si veda a questo proposito la tabella. 3.6 dove sono raccolti anche i dati relativi ai minimi assoluti stagionali.

**Tab. 3.6.** Temperatura minima assoluta dell'aria: valori medi ed estremi annuali e stagionali (°C, in parentesi l'anno). *Absolute minimum air temperature: mean and extreme annual and seasonal values (°C, in parenthesis the year).*

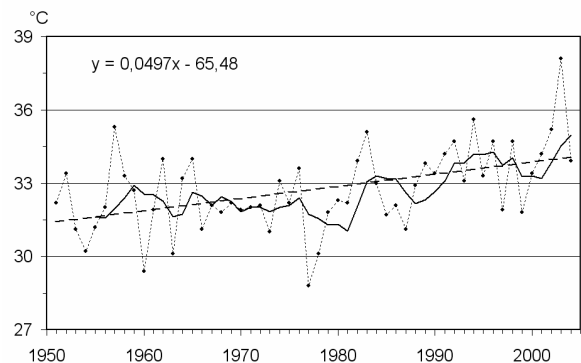
	Medie	min	Max
Anno	-4,13	-8,2 (1985)	-0,9 (1955)
Inverno	-4,07	-8,2 (1985)	-0,4 (1955)
Primavera	-0,19	-7,1 (1971)	4,0 (1959)
Estate	10,22	7,0 (1978)	15,3 (1952)
Autunno	0,37	-3,6 (1998)	4,0 (1958)



**Fig. 3.9.** Temperatura dell'aria: minime assolute (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: absolute minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Quanto alla serie storica di questo gruppo di minimi termici (Fig. 3.9), la linea di tendenza, per altro del tutto non significativa, ha un andamento quasi perfettamente orizzontale che si sviluppa attorno ad un valore medio pluriennale di circa -4°C.

Le temperature massime assolute, diversamente dalle minime, hanno invece mostrato, nel corso degli anni di osservazione, una netta tendenza al rialzo, valutabile secondo la retta di interpolazione (in questo caso statisticamente significativa con  $p=0,001$ ) in quasi tre gradi centigradi (Fig. 3.10).



**Fig. 3.10.** Temperatura dell'aria: massime assolute (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: absolute maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

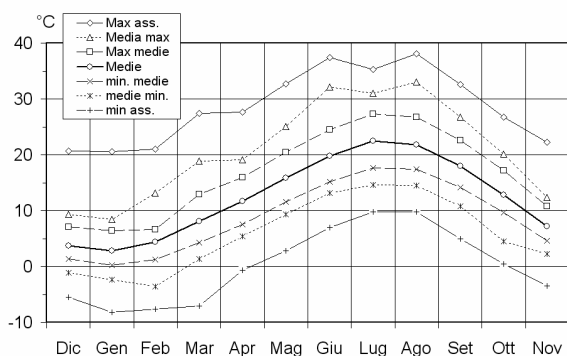
Il massimo assoluto è stato raggiunto l'11 agosto 2003 (38,1 °C) ma in quasi tutti gli anni si sono superati i 30 °C: le uniche due eccezioni sono rappresentate dal 1977 (con il valore più elevato di 28,8 °C riscontrato il 12 luglio) e dal 1960 (29,4 °C il 29 luglio). La loro media pluriennale (Tab. 3.7) si colloca al valore di 32,74°C.

**Tab. 3.7.** Temperatura massima assoluta dell'aria: valori medi ed estremi annuali e stagionali (°C, in parentesi l'anno). *Absolute maximum air temperature: mean and extreme annual and seasonal values (°C, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Anno	32,74	28,8 (1977)	38,1 (2003)
Inverno	17,10	12,1 (1969)	21,0 (2001)
Primavera	27,10	21,9 (1955)	32,7 (2001)
Estate	32,71	28,8 (1977)	38,1 (2003)
Autunno	27,78	23,8 (1965)	32,6 (1962)

### 3.8. Regimi mensili della temperatura dell'aria

L'importanza della temperatura dell'aria come elemento climatico fondamentale impone una sua analisi dettagliata. A questo proposito fra i regimi mensili saranno posti a confronto le sette curve che riguardano, nell'ordine, le temperature massime assolute, le massime delle medie delle massime giornaliere, le medie delle massime giornaliere, le medie giornaliere, le medie delle minime giornaliere, le minime delle medie delle minime giornaliere e le minime assolute (Fig. 3.11).



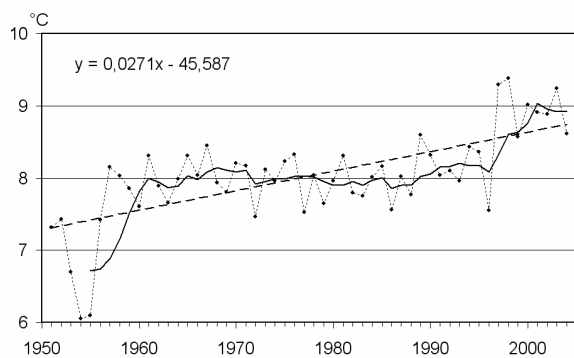
**Fig. 3.11.** Regimi mensili della temperatura dell'aria. *Monthly air temperature regimes.*

Mentre per i dati medi il mese più freddo e quello più caldo dell'anno sono rispettivamente gennaio e luglio, i regimi dei valori estremi, sopra tutto i massimi, indicano variazioni che coinvolgono anche giugno e settembre.

### 3.9. Temperatura dell'aria: escursioni giornaliere

Il valore massimo dell'escursione termica giornaliera è stato di 21,1 °C registrato il 2 maggio 1955 e la distribuzione nell'anno dei dati vede i valori più elevati collocati nei mesi dalla tarda primavera a tutta l'estate.

Anche la serie annuale delle medie dell'escursione termica giornaliera mostra la tendenza all'incremento nel tempo (Fig. 3.12), incremento che, il parametro angolare della retta ( $p=0,001$ ) indica dell'ordine di circa 1,5 °C, essendo passata da un valore intorno a 7 °C della fase iniziale di osservazioni a più di 8,5 °C degli anni più recenti.



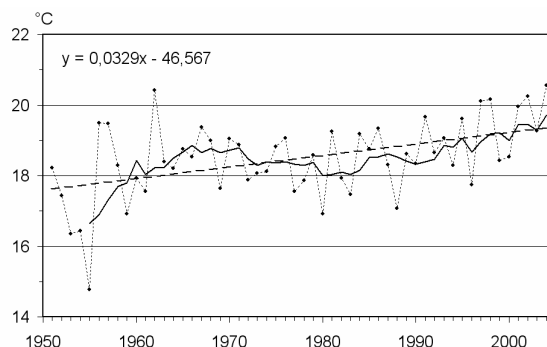
**Fig. 3.12.** Temperatura dell'aria: escursioni giornaliere (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: daily excursions (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Lo stesso andamento nel corso degli anni è stato riscontrato nei dati stagionali, con rette di tendenza significative, tranne l'autunno, e parametro angolare dello stesso ordine di grandezza. Tutti i valori medi annui dell'escursione termica giornaliera sono compresi fra 6,05 °C, rilevato nel 1955, e 9,38 °C del 1996.

### 3.10. Temperatura dell'aria: escursioni mensili

Il valore più elevato dell'escursione termica mensile registrato nel corso dell'intero periodo di osservazioni è stato di 28,2 °C (ottobre 1997), mentre il più basso risale al febbraio 1955 con 10,2 °C; la sua media pluriennale è di 18,49 °C ed ha come limiti il minimo 14,77 °C (1955) ed il massimo del 2004 (20,52 °C).

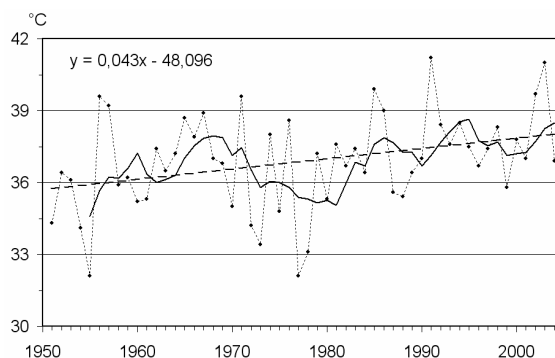
La retta di regressione della serie temporale delle medie mensili (statisticamente significativa con  $p=0,001$ ), così come per le escursioni giornaliere, indica un tendenza all'incremento con un tasso di crescita di poco meno di 2 °C (Fig. 3.13); altrettanto dicasi per le linee di tendenza delle medie stagionali, anche se, in questo caso, le pendenze delle rette sono in genere minori.



**Fig. 3.13.** Temperatura dell'aria: escursioni medie mensili (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: monthly excursions (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 3.11. Temperatura dell'aria: escursioni annuali

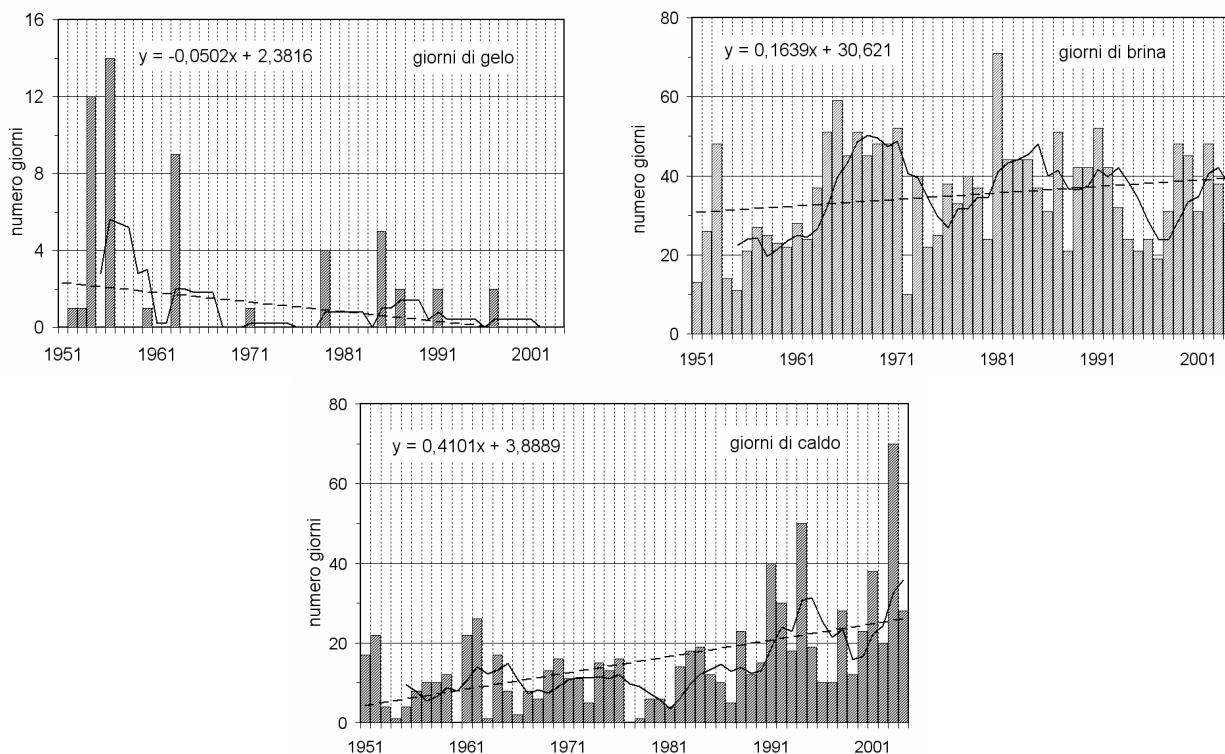
L'anno con più elevata escursione termica è stato il 1991 con 41,2 °C, mentre le più basse si riferiscono, congiuntamente, al 1955 e al 1977 con 32,1 °C; il loro valore medio annuo è di 36,88 °C. Anche per questo insieme di dati la tendenza nel tempo è verso l'incremento: la retta di figura 3.14, significativa con una probabilità dello 0,02%, ha una pendenza che in poco più di cinquanta anni ha portato all'aumento dell'escursione annua di circa 2 °C.



**Fig. 3.14.** Temperatura dell'aria: escursioni annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Air temperature: annual excursions (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**Tab. 3.8.** Temperatura dell'aria: distribuzione generale dei giorni di gelo, brina e di caldo. *Air temperature: general distribution of frosty, rimy and hot days.*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Totale
Giorni di gelo	4	28	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
Giorni di brina	548	724	437	91	3	1	0	0	0	0	0	90	1894
Giorni di caldo	0	0	0	0	0	9	112	390	300	18	0	0	829
Totale													2777



**Fig. 3.15.** Temperatura dell'aria: serie storiche dei giorni di gelo, di brina e di caldo. *Air temperature: historical series of frosty, rimy and warm days.*

### 3.12. Classificazione dei giorni su base termica

Sulla base delle loro caratteristiche di temperatura atmosferica i giorni possono essere suddivisi in classi secondo le seguenti definizioni:

- giorni di gelo, se la temperatura massima nelle 24 ore è stata inferiore, o uguale, a zero gradi centigradi;
- giorni di brina (o di disgelo), se la temperatura minima è stata inferiore, o uguale a zero gradi centigradi;
- giorni di caldo se la temperatura massima è stata superiore, o uguale, a 30 °C.

Le giornate che hanno risposto a questi requisiti nei 53 anni di osservazioni sono state complessivamente 2777, suddivise nei mesi e secondo la classe di appartenenza come specificato nella tabella 3.8.

È in gennaio che prevalgono tanto i fenomeni di gelo (esclusivi ovviamente dei mesi invernali) mentre quelli

di brina hanno presenze anche in primavera e in novembre e quelli di caldo sono essenzialmente concentrati in luglio e agosto, con prevalenza nel primo di essi. Dalla figura 3.15 si rileva come parecchi siano stati gli anni durante i quali a Pallanza non si siano avuti giorni di gelo e come essi siano tendenzialmente in diminuzione; si è passati da un numero di 14 nel 1955 e dai 12 del 1953 ad anni più recenti senza che si sia riscontrata alcuna giornata di gelo: sono infatti assenti dal 1998.

In leggera crescita sono invece i giorni di brina, oltre tutto caratterizzati da un andamento a cicli successivi. L'anno che ha visto la maggior presenza di questo tipo di fenomeni è stato il 1982 con 72 eventi, mentre nel 1971 furono soltanto 10. Quanto ai giorni di caldo la loro presenza è in deciso aumento con la linea di tendenza, statisticamente significativa ( $p=0,001$ ), che indica un incremento di più di 0,4 giorni all'anno, essendo passati dai poco più di 3 giorni presenti nei primi anni cinquanta ai 24 dell'ultimo anno; è una ulteriore dimo-



strazione dell'incremento generalizzato della temperatura atmosferica riscontrato nell'ultima metà del secolo scorso. È il caso di segnalare che l'anno con la maggior presenza di giorni di caldo è stato il 2003 con 70 eventi così distribuiti: 25 in agosto, 21 in luglio, 22 in giugno e 2 in maggio. Viceversa, tanto nel 1960 quanto nel 1977 non ci furono giorni di caldo.

#### 4. PRESSIONE ATMOSFERICA (ATMOSPHERIC PRESSURE)

##### 4.1. Generalità

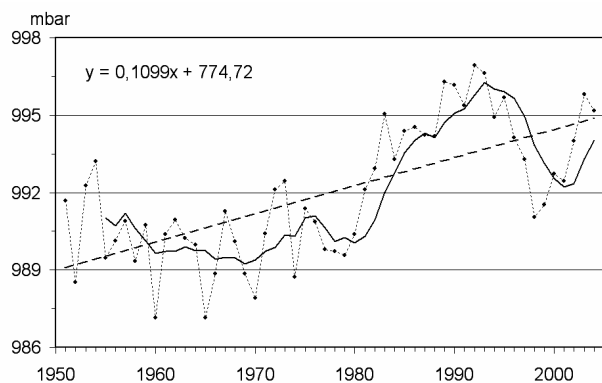
La registrazione di questo elemento climatico copre l'intero periodo della sua attività, vale a dire gli anni dal 1951 al 2004.

##### 4.2. Strumentazione utilizzata

Fino all'attivazione della stazione elettronica automatica (1996), la raccolta dei dati relativi a questo parametro atmosferico ha visto l'utilizzo di un barografo aneroido di costruzione Richard con registrazioni su zone cartacee settimanali, affiancato da un barometro tipo Fortin con funzioni di controllo e di taratura. In seguito, inserito nell'automatismo elettronico, è stato messo in opera il sensore BA 20 della CAE, caratterizzato da elevata sensibilità, ripetibilità e stabilità nel tempo.

##### 4.3. Pressione atmosferica: medie annuali

L'osservazione della consueta rappresentazione della serie storica (Fig. 4.1) consente di rilevare come la pressione atmosferica sia stata in sensibile incremento dall'inizio delle osservazioni: la retta di tendenza, statisticamente significativa, ha un valore iniziale di 989 mbar ed uno finale di circa 995 mbar.



**Fig. 4.1.** Pressione atmosferica: medie annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Atmospheric pressure: annual means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

La distribuzione dei singoli dati medi annui intorno alla retta è abbastanza contenuta mentre l'andamento generale, indicato dalla curva delle medie mobili,

presenta alcune fluttuazioni, la maggiore delle quali comprende gli anni dal 1980 al 2000. I dati relativi alle medie bariche annuali sono compresi fra il minimo di 987,1 mbar del 1965 ed il massimo di 996,9 del 1992.

##### 4.4. Pressione atmosferica: medie stagionali

Sia come andamento generale, sia come linee di tendenze, le quattro serie storiche delle medie delle pressioni stagionali ricalcano quanto già detto a proposito della serie annuale evidenziando, in particolare, una forte crescita nel tempo, più accentuata nelle stagioni estreme rispetto alle intermedie (Fig. 4.2). Quanto alla significatività delle tendenze, le rette relative alle prime tre stagioni dell'anno sono pienamente significative, mentre quella autunnale limita la sua significatività ad una  $p=0,01$ . Nella tabella 4.1 sono riportati i valori medi, minimi e massimi delle pressioni atmosferiche stagionali con il riferimento all'anno in cui si sono verificati gli eventi.

**Tab. 4.1.** Pressione atmosferica: valori medi ed estremi stagionali (mbar, in parentesi l'anno). Atmospheric pressure: mean and extreme seasonal values (mbar, in parenthesis the year).

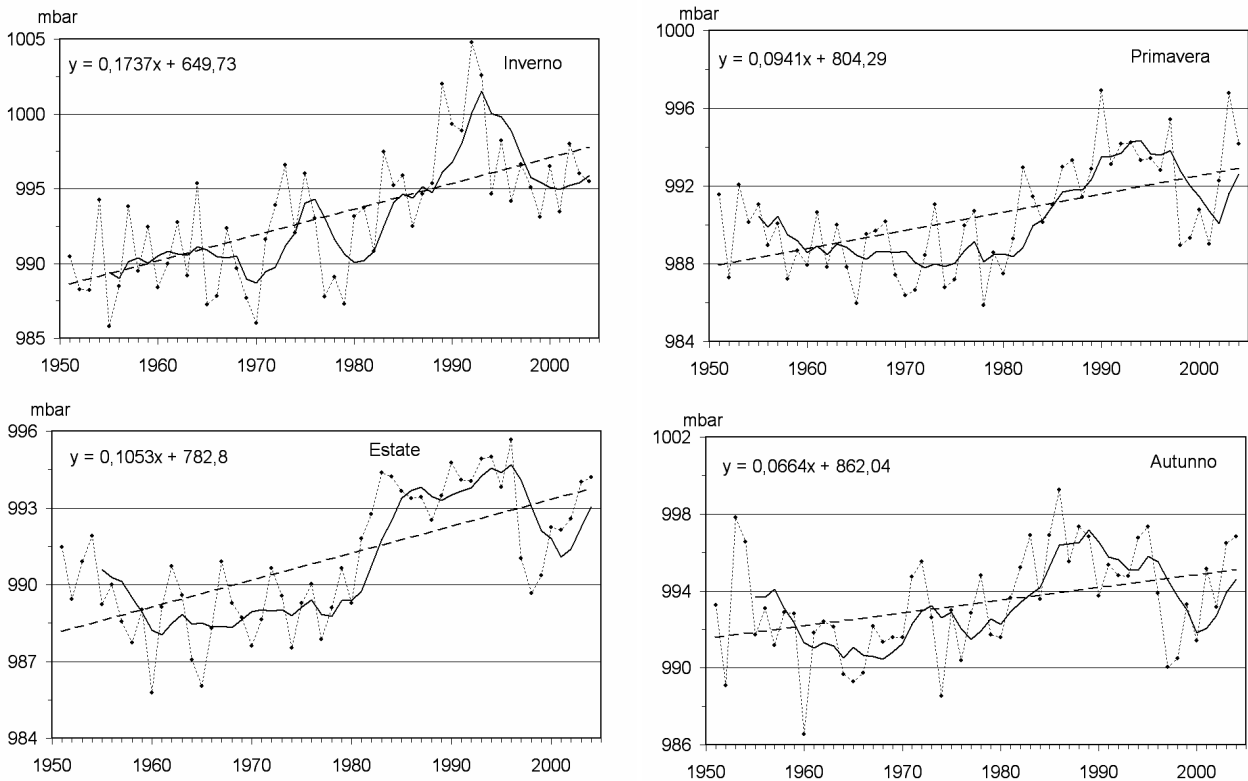
	Medie	min	Max
Inverno	993,3	985,8 (1955)	1004,8 (1992)
Primavera	990,4	985,9 (1978)	996,9 (1990)
Estate	991,0	985,8 (1960)	995,7 (1996)
Autunno	993,4	986,5 (1960)	999,2 (1986)

##### 4.5. Pressione atmosferica media: minimi giornalieri (dati annuali)

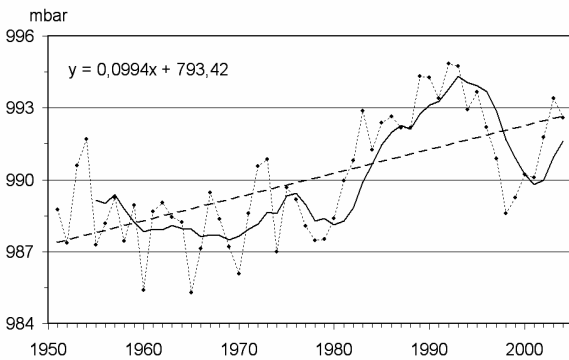
La serie storica delle medie delle pressioni minime giornaliera è rappresentata in figura 4.3; la sua configurazione è molto simile a quella della corrispondente figura delle pressioni medie sia per quanto attiene alla pendenza della retta di tendenza (altamente significativa), sia per quel che riguarda l'andamento della curva delle medie mobili. La dispersione dei dati di questa serie intorno alla retta di regressione è piuttosto contenuta: tutti i valori sono compresi entro il limite inferiore di 985,3 mbar registrato nel 1965 e quello superiore di 994,9 mbar che risale al 1992; si noti che sono gli stessi anni dei limiti delle pressioni medie.

##### 4.6. Pressione atmosferica media: minimi giornalieri (dati stagionali)

Anche le serie storiche valutate su base stagionale delle minime bariche giornaliera hanno configurazioni che, in generale, ricalcano quella precedentemente descritta a proposito dei dati annui: in particolar modo sono riproposte le tendenze verso un sensibile aumento dei valori con il passare degli anni. Nella tabella 4.2 si riportano le medie bariche, le minime e le massime di ciascun periodo stagionale, con l'indicazione dell'anno in cui si sono verificati gli eventi.



**Fig. 4.2.** Pressione atmosferica: medie stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: seasonal means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



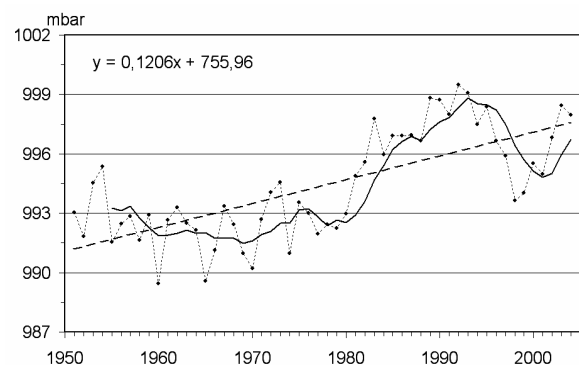
**Fig. 4.3.** Pressione atmosferica media: minimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean atmospheric pressure: daily minima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**Tab. 4.2.** Pressione atmosferica media: valori medi ed estremi stagionali dei minimi giornalieri (mbar, in parentesi l'anno). *Mean atmospheric pressure: mean and extreme seasonal values of daily minima (mbar, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	990,9	983,3 (1955)	1002,6 (1992)
Primavera	988,4	983,7 (1978)	995,1 (1990)
Estate	989,4	984,3 (1960)	994,1 (1996)
Autunno	991,4	984,6 (1960)	997,4 (1986)

**4.7. Pressione atmosferica media: massimi giornalieri (dati annuali)**

Una costante di tutti i dati della pressione atmosferica è la tendenza delle rispettive serie storiche verso un progressivo incremento nel tempo: anche le medie bariche delle massime giornaliere non sfuggono a questa prerogativa sia per quanto attiene ai dati annuali, sia per quelli delle singole stagioni. La curva delle medie mobili che descrive l'andamento generale della serie storica è molto simile a quelle già viste in precedenza (Fig. 4.4).



**Fig. 4.4.** Pressione atmosferica media: massimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean atmospheric pressure: daily maxima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Quanto ai singoli dati annuali, essi si adeguano con buona fedeltà alla retta di tendenza (significativa con  $p=0,001$ ) e i loro limiti sono costituiti dal minimo di 989,5 mbar relativo al 1960 ed al massimo di 999,5 mbar del 1992; il loro valore medio è di 994,4 mbar.

4.8. *Pressione atmosferica media; massimi giornalieri (dati stagionali)*

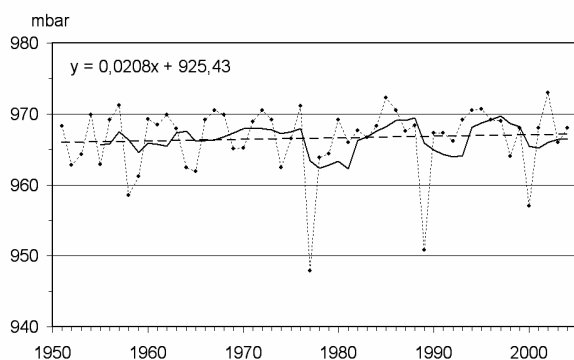
L'analisi delle serie storiche relative alle pressioni medie delle massime giornaliere valutate a livello stagionale conferma in tutto e per tutto un comportamento molto simile a quello delle altre serie bariche già presentate: tutte hanno una tendenza all'incremento nel tempo di entità analoga e anche un andamento generale simile con fluttuazioni delle curve del liscciamento di ampiezze e frequenze simili. I valori medi ed estremi delle pressioni massime giornaliere calcolate su base stagionale sono raccolti in tabella 4.3: per i due valori limiti sono indicati anche gli anni in cui si sono verificati gli eventi.

**Tab. 4.3.** Pressione atmosferica media: valori medi ed estremi stagionali dei massimi giornalieri (mbar, in parentesi l'anno). *Mean atmospheric pressure: mean and extreme seasonal values of daily maxima (mbar, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	996,2	988,6 (1970)	1007,6 (1992)
Primavera	992,9	988,6 (1965)	999,6 (1996)
Estate	992,8	987,5 (1960)	997,5 (1996)
Autunno	995,4	989,5 (1960)	1001,6 (1986)

4.9. *Pressione atmosferica: minimi assoluti (dati annuali)*

A dispetto della presenza di alcuni pronunciati picchi negativi la serie dei dati delle pressioni minime assolute non evidenzia alcuna variazione tendenziale e la retta di regressione, per altro non significativa, è quasi perfettamente orizzontale (Fig. 4.5). La curva di smorzamento dei dati, con scarse variazioni fino alla metà degli anni '70, presenta successivamente alcune oscillazioni cicliche un po' più accentuate.



**Fig. 4.5.** Pressione atmosferica: minimi assoluti (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: absolute minima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

L'insieme di questi dati, che presentano un valore medio di 966,58 mbar, si articola fra il minimo di 947,9 mbar del 1977 ai 973,0 mbar del 2002.

4.10. *Pressione atmosferica: minimi assoluti (dati stagionali)*

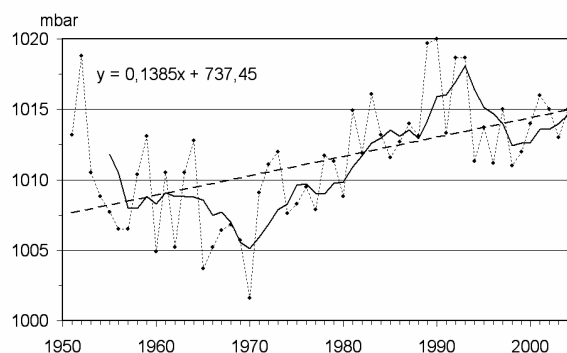
Le linee di tendenza delle pressioni minime assolute proprie delle singole stagioni hanno comportamenti fra di loro leggermente differenziati: leggermente proiettate all'incremento quelle primaverili ed estive, quasi perfettamente orizzontale quella invernale e debolmente diretta alla variazione negativa quella autunnale. Le linee di liscciamento sono per lo più irregolari con molte oscillazioni e la dispersione dei dati assai accentuata. Circa i loro valori medi estremi e le date degli eventi, si veda quanto riportato in tabella 4.4.

**Tab. 4.4.** Pressione atmosferica minima assoluta: valori medi ed estremi stagionali (mbar, in parentesi l'anno). *Absolute minimum atmospheric pressure: mean and extreme seasonal values (mbar, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	968,1	947,9 (1977)	980,8 (1992)
Primavera	971,8	964,0 (1964)	979,7 (1993)
Estate	978,2	967,9 (1978)	984,7 (1983)
Autunno	972,7	961,2 (1959)	985,2 (1972)

4.11. *Pressione atmosferica: massimi assoluti (dati annuali)*

Diversamente dai corrispondenti valori minimi, la serie dei massimi barici assolute presenta una retta di tendenza, significativa al massimo livello, che evidenzia il netto incremento intervenuto durante il periodo di osservazioni (Fig. 4.6). La curva delle medie mobili indica la presenza di un'onda ciclica con il cavo centrato sugli anni 70 e la cresta poco oltre il 1990. Piuttosto accentuata la dispersione dei singoli dati. Questi si collocano tutti tra il minimo di 1001,6 mbar registrato nel 1970 ed il massimo 1020,0 del 1990.



**Fig. 4.6.** Pressione atmosferica: massimi assoluti (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: absolute maxima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

#### 4.12. Pressione atmosferica: massimi assoluti (dati stagionali)

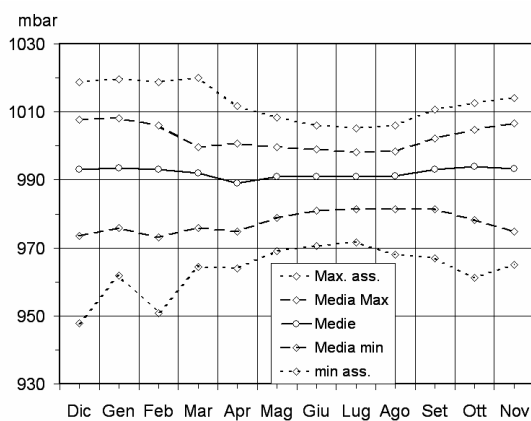
Tanto per quanto riguarda le linee tendenziali, improntate tutte verso un incremento dei valori nel tempo, quanto per l'andamento generale suggerito dalle curve delle medie mobili, quanto ancora per la dispersione dei dati intorno alle rispettive rette di regressione, i dati stagionali ripropongono le stesse caratteristiche descritte a proposito dei dati annuali. In tabella 4.5 se ne riportano i valori medi, minimi e massimi, questi ultimi con le date degli eventi.

**Tab. 4.5.** Pressione atmosferica massima assoluta: valori medi ed estremi stagionali (mbar, in parentesi l'anno). *Absolute maximum atmospheric pressure: means and seasonal extremes (mbar, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	1010,7	998,4 (1970)	1019,7 (1989)
Primavera	1005,3	998,0 (1975)	1020,0 (1990)
Estate	1000,3	993,1 (1965)	1006,0 (2002)
Autunno	1007,6	998,1 (1974)	1014,0 (1987)

#### 4.13. Regimi mensili della pressione atmosferica

L'andamento nel corso del ciclo annuale dei diversi aspetti della pressione atmosferica (Fig. 4.7) consente di verificare come i dati relativi alla media siano pressoché livellati durante l'intero anno, mantenendosi costantemente intorno a 990-991 mbar. Viceversa i massimi ed i minimi hanno una variabilità assai più marcata: i loro valori estremi si collocano per lo più nella stagione invernale e all'inizio della primavera: i primi raggiungono anche 1020 mbar mentre i secondi, sempre negli stessi mesi, risultano anche inferiori a 950 mbar. Sempre in inverno l'andamento di questi ultimi appare caratterizzato da alcune irregolarità.



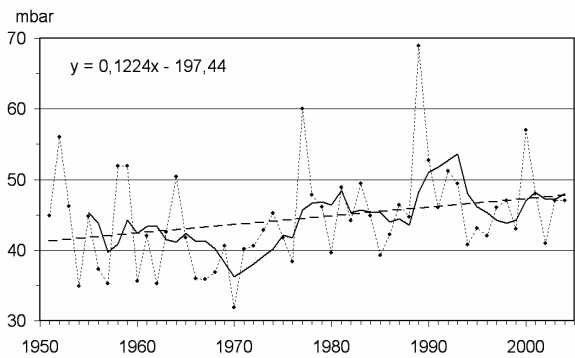
**Fig. 4.7.** Regimi mensili della pressione atmosferica. *Monthly atmospheric pressure regimes.*

Nei mesi estivi questi i dati estremi della pressione atmosferica si livellano su valori molto più modesti: poco sopra i 1005 mbar i massimi, intorno a 970 mbar

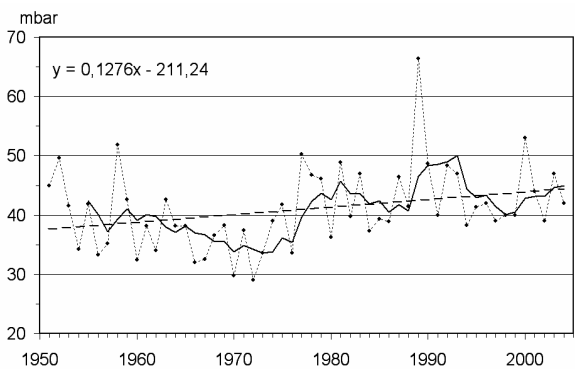
quelli minimi. Ne consegue che anche le escursioni annuali seguono un andamento ciclico stagionale con i loro valori che vanno sempre più calando dall'inverno all'estate per poi tornare ad aumentare con l'autunno.

#### 4.14. Escursioni bariche: massime annue, mensili e giornaliere

Nelle figure 4.8, 4.9 e 4.10 sono riportate, rispettivamente, le serie storiche delle escursioni bariche annuali, mensili e giornaliere.



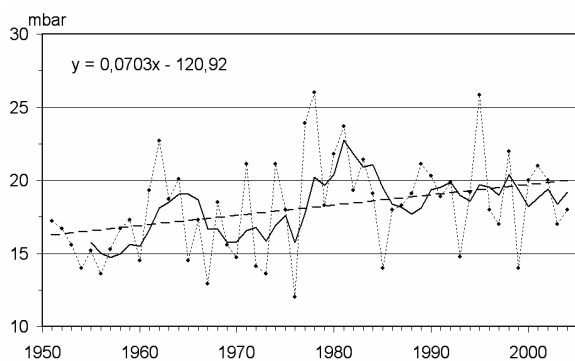
**Fig. 4.8.** Pressione atmosferica: escursioni massime annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: annual maximum excursions (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 4.9.** Pressione atmosferica: escursioni massime mensili (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: monthly maximum excursions (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

I tre insiemi di dati hanno caratteristiche comuni quali una moderata tendenza all'aumento con il passare degli anni (poco marcata sopra tutto nei dati giornalieri), un andamento generale della curva delle medie mobili caratterizzata da cicli non sempre in fase tra loro e una forte dispersione attorno alla retta di regressione, in particolare per i dati annuali. Per quest'ultimo motivo la significatività delle loro rette di tendenza non sono

elevate:  $p=0,1$  per i dati annui,  $p=0,05$  per quelli mensili e  $p=0,02$  per i giornalieri.



**Fig. 4.10.** Pressione atmosferica: escursioni massime giornaliere (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Atmospheric pressure: daily maximum excursions (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

I valori massimi dei tre tipi di escursione barica sono i seguenti:

- escursione annuale, 68,9 mbar relativa al 1989;
- escursione mensile, 66,4 mbar (marzo 1989)
- escursione giornaliera, 26,0 mbar, registrata il 28 gennaio 1978.

## 5. UMIDITÀ ATMOSFERICA (ATMOSPHERIC HUMIDITY)

### 5.1. Generalità

Questo elemento del clima è stato rilevato senza soluzione di continuità dal 1951 ed è espresso in termini relativi, vale a dire come quantità percentuale rispetto all'aria satura di vapore acqueo fatta uguale al 100%.

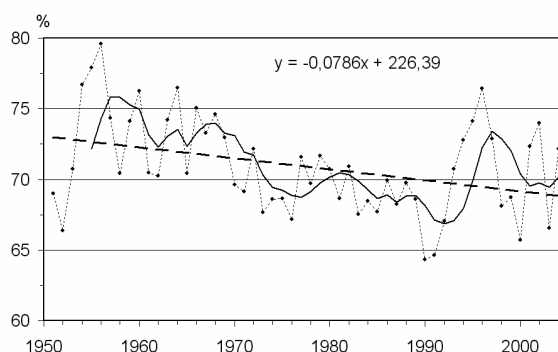
### 5.2. Strumentazione utilizzata

- igrografo a capelli Salmoiraghi dall'inizio all'aprile 1955;
- igrometro a lettura diretta dal maggio 1955 al febbraio 1956;
- termoigrografo MT 11 SIAP a capelli, con registrazione grafica su zone settimanali, utilizzato a partire da marzo 1956;
- in contemporanea, dal 2000 è operativo anche il termoigrografo TU20AS di costruzione CAE con sensore a film sottile la cui capacità è in rapporto proporzionale con l'umidità relativa.

### 5.3. Umidità: medie annuali

L'andamento tendenziale del parametro è, a livello annuale, in netta fase di diminuzione: è passato infatti da un valore medio statistico del 73% circa del 1951 al 68% circa del 2004 (Fig. 5.1). La retta di regressione è significativa al livello  $p=0,01$  e la variazione negativa

ha seguito, secondo la linea delle medie mobili, alcune modulazioni cicliche, la più evidente delle quali ha interessato l'ultimo decennio del secolo scorso. I singoli valori sono contenuti fra un massimo del 79,6% del 1956 ed un minimo del 64,3% del 1990, mentre la media interannuale è pari al 70,86%.



**Fig. 5.1.** Umidità: medie annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Humidity: annual means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 5.4. Umidità: medie stagionali

L'analisi delle serie storiche dell'umidità media su base stagionale, riportate in figura 5.2, consente di confermare, in linea di massima, quanto è stato affermato a proposito della corrispondente serie dei dati annuali.

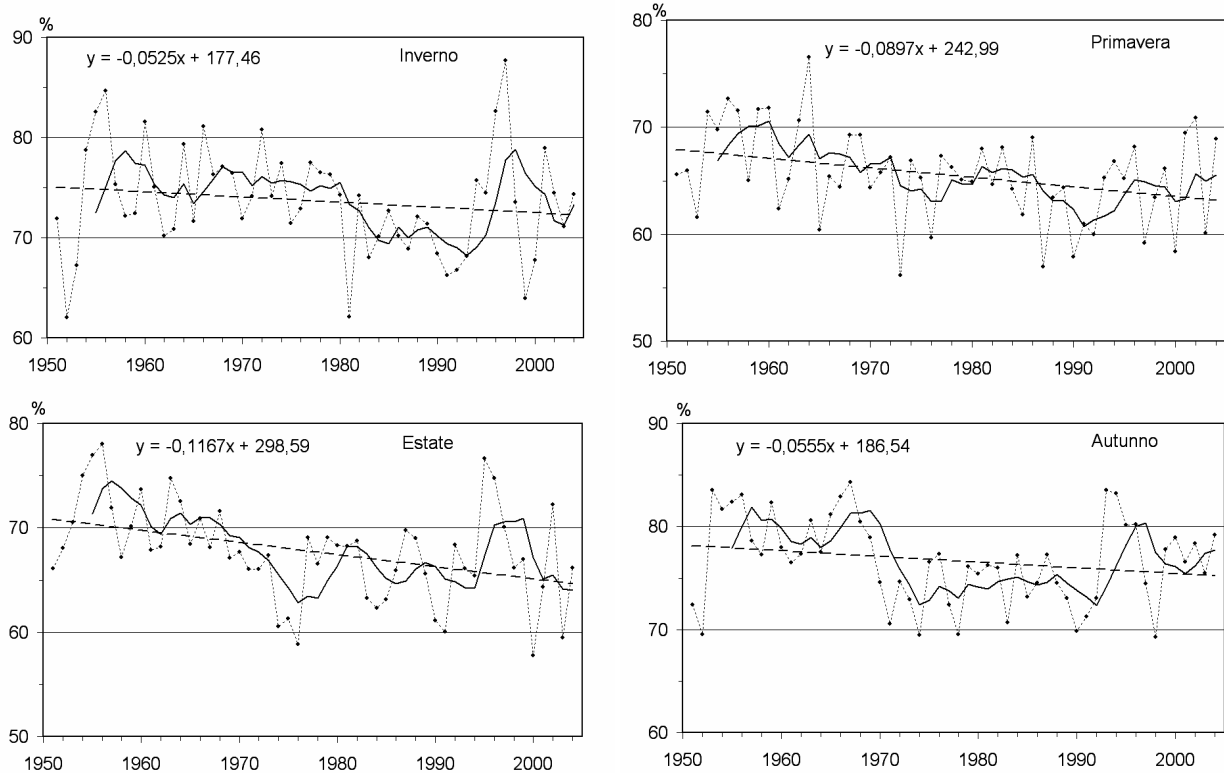
Persiste in tutte le stagioni la tendenza al ribasso igrometrico anche se con pendenze leggermente diversificate, e con le rispettive rette di regressione che hanno livelli di significatività compresi fra  $p=0,1$  dell'autunno a  $p=0,01$  dell'estate. L'insieme dei dati mostra un andamento generale leggermente fluttuante, con cicli di breve durata, mentre la dispersione intorno alla retta statistica appare piuttosto moderata, un po' più accentuata in inverno ed in autunno. I valori medi, minimi e massimi di questi dati medi stagionali sono stati raccolti nella tabella 5.1 e sono accompagnati dall'indicazione degli anni in cui si sono verificati gli eventi.

**Tab. 5.1.** Umidità media: valori medi ed estremi stagionali (% , in parentesi l'anno). *Mean humidity: mean and extreme seasonal values (% , in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	73,6	62,0 (1952)	87,7 (1997)
Primavera	65,5	56,2 (1973)	76,5 (1964)
Estate	67,8	57,8 (2000)	78,1 (1956)
Autunno	76,6	69,3 (1998)	84,3 (1967)

### 5.5. Umidità media: minimi giornalieri (dati annuali)

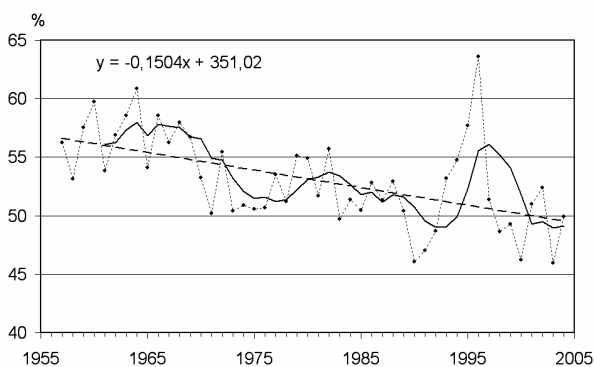
Anche la serie delle medie annuali dei minimi igrometrici giornaliera indica una pronunciata tendenza alla diminuzione: secondo la retta di regressione,



**Fig. 5.2.** Umidità: medie stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Humidity: seasonal means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

statisticamente significativa al massimo livello, i valori erano infatti intorno al 56% all'inizio delle osservazioni (primi anni '50) e si sono portati al di sotto del 50% nel 2004 (Fig. 5.3). La curva delle medie mobili indica la presenza di fluttuazioni di debole entità.

Il valore medio pluriennale di queste medie è di 53,2%, mentre quello più alto è stato registrato nel 1995 (63,6%) ed il più basso nel 2003 (46%).



**Fig. 5.3.** Umidità media: minimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean humidity: daily minima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 5.6. Umidità media: minimi giornalieri (dati stagionali)

I valori medi delle minime igrometriche giornaliere riguardanti le singole stagioni presentano caratteristiche molto simili a quelle indicate a proposito dei corrispondenti dati annuali.

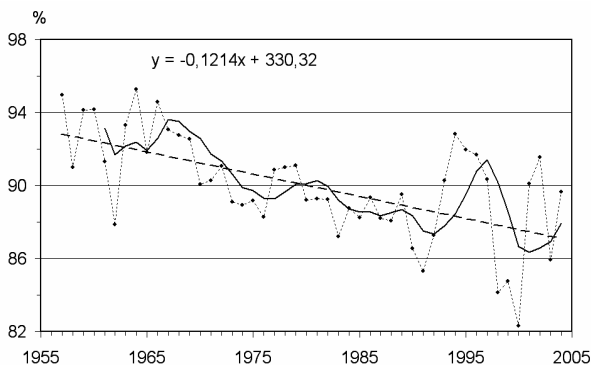
In particolare è evidente la loro tendenza verso valori sempre più bassi che è più pronunciata in primavera (parametro angolare uguale a 0,21), più contenuta nelle altre stagioni, sopra tutto in autunno quando il suo valore è sceso a 0,07. La curva ricavata dal lisciamento dei dati presenta fluttuazioni abbastanza contenute, con l'eccezione dell'autunno, mentre la dispersione dei dati è modesta in primavera ed estate ( $R^2 = 0,28$  e  $0,25$ , rispettivamente) e più accentuata nelle altre due. Come di consueto, nella tabella 5.2 si riportano i valori medi, minimi e massimi stagionali, accompagnati dall'indicazione dall'anno in cui si sono verificati.

**Tab. 5.2.** Umidità media: valori medi ed estremi stagionali dei minimi giornalieri (%), in parentesi l'anno. *Mean daily humidity: mean and extreme seasonal values of minima (%), in parenthesis the year.*

	Medie	min	Max
Inverno	56,8	43,9 (1981)	73,1 (1996)
Primavera	47,3	31,8 (1997)	61,3 (1964)
Estate	49,8	38,1 (2000)	59,4 (1996)
Autunno	58,7	47,3 (1978)	68,8 (1993)

5.7. Umidità media: massimi giornalieri (dati annuali)

La linea di tendenza, significativa al massimo livello di probabilità, indica un continuo deprezzamento delle medie delle massime igrometriche giornaliere, valutate su base annuale: il parametro angolare della retta (-0,13) ha portato il valore statistico da circa il 93% dei primi anni '50 all'86% circa degli anni più recenti.(Fig. 5.4).



**Fig. 5.4.** Umidità media: massimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Mean humidity: daily maxima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

L'andamento generale mostra una serie di fluttuazioni cicliche la maggiore delle quali ha interessato l'ultimo decennio del secolo scorso e, al suo termine, si è raggiunto il minimo storico della serie (82,3% nel 2000); il valore massimo (95,3%) è stato registrato invece nel 1964 mentre la media risulta di 89,9%. Un'ultima considerazione riguarda la dispersione dei dati annuali che risulta piuttosto contenuta.

5.8. Umidità media; massimi giornalieri (dati stagionali)

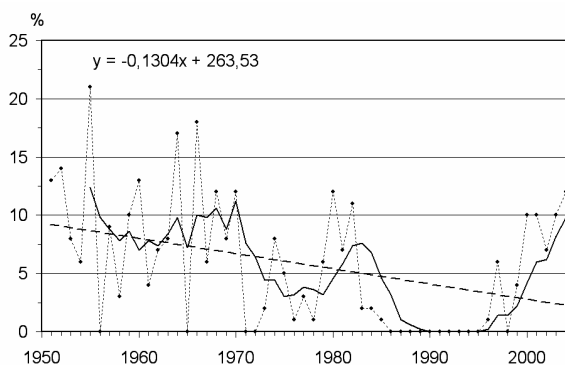
Caratteristiche molto simili a quelle appena descritte, sono quelle relative all'umidità relativa analizzata su scala stagionale. In tutti i periodi le linee di tendenza sono chiaramente orientate verso una progressiva riduzione col tempo (parametri angolari delle rette compresi fra -0,11 e -0,15), mentre anche le linee delle medie mobili seguono l'andamento già descritto a proposito dei dati annuali. Un po' meno conforme alla norma comune agli altri periodi risulta, dal punto di vista della dispersione dei dati, la situazione invernale caratterizzata da un R<sup>2</sup> inferiore a 0,15. I valori medi, minimi e massimi di questo particolare aspetto dell'umidità sono riportati nella tabella 5.3.

5.9. Umidità giornaliera: minimi assoluti

I valori minimi assoluti di umidità relativa giornaliera hanno raggiunto, con buona frequenza, lo zero percentuale, condizione questa che in natura è riconosciuta solo in situazioni estreme (Fig. 5.5).

**Tab. 5.3.** Umidità media: valori medi ed estremi stagionali dei massimi giornalieri (% in parentesi l'anno). Mean daily humidity: mean and extreme seasonal values of maxima (% in parenthesis the year).

	Medie	min	Max
Inverno	89,4	78,3 (1999)	98,5 (1997)
Primavera	88,6	76,4 (2000)	97,5 (1964)
Estate	89,6	76,3 (2000)	96,4 (1964)
Autunno	92,3	84,3 (1998)	97,9 (1967)



**Fig. 5.5.** Umidità giornaliera: minimi assoluti (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Daily humidity: absolute minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

A questo proposito, va ricordato che nella zona del Lago Maggiore sono molto frequenti gli episodi con aria molto secca connessi alla presenza del foehn, il noto vento di caduta, caldo ed asciutto, che travalica le Alpi da Nord a Sud a seguito di squilibri barici fra i due versanti della catena montuosa.

La tendenza temporale di questa serie di dati, indicata dalla retta che ha una significatività statistica molto vicina al massimo di probabilità, è verso un netto ribasso anche per l'elevata frequenza di valori prossimi o uguali allo zero che ha caratterizzato il periodo dalla metà degli anni '80 a quasi tutto il decennio successivo. Ne sono derivate due oscillazioni, molto evidenti, che hanno caratterizzato la curva delle medie mobili negli anni immediatamente precedenti e successivi, con un deciso innalzamento nelle ultime fasi del periodo di osservazioni. La dispersione dei dati intorno alla retta statistica appare elevata sopra tutto prima degli anni '70. Lo zero per cento rappresenta quindi il minimo d'umidità e, come si è detto, questi valori sono stati registrati in più occasioni e in anni diversi, mentre il più elevato fra i minimi annuali è stato registrato il 5 dicembre 1955 (21%). La loro media generale è stata del 5,52%.

5.10. Umidità giornaliera: minimi assoluti (dati stagionali)

I quadri stagionali delle serie storiche relative alle umidità minime giornaliera presentano come caratteristica comune rette di tendenza dirette verso un netto abbassa-

mento dei valori nel corso del periodo di osservazioni: il decremento è più evidente in inverno ed in primavera, un po' più modesto nelle altre due stagioni. L'andamento generale indicato dalle curve delle medie mobili segue in linea di massima quello della serie delle minime annuali, sopra tutto nelle stagioni invernale e primaverile. La stessa cosa dicasi anche per la dispersione dei dati, con alternanze di picchi positivi e negativi che si ripetono però per tutto il periodo di osservazione. I valori medi e quelli estremi delle minime giornaliere di ogni singola stagione sono riportati nella **tabella 5.4**, unitamente alle date degli eventi estremi.

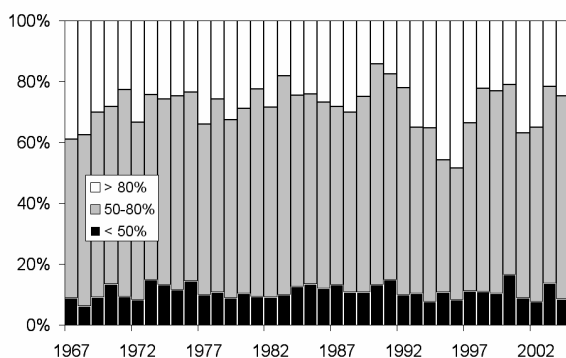
**Tab. 5.4.** Umidità giornaliera: valori medi ed estremi stagionali dei minimi assoluti (% , g.d. = giorni diversi). *Daily humidity: mean and extreme seasonal values of absolute minima (% , g.d. = several days).*

	Medie	min	Max
Inverno	9,06	0 (g.d.)	27 (g.d.)
Primavera	7,69	0 (g.d.)	22 (12-lug-55)
Estate	18,53	2 (g.d.)	36 (18-ago-55)
Autunno	13,83	0 (g.d.)	36 (25-nov-55)

### 5.11. Distribuzione dei giorni in base ad alcune classi di umidità media

Una classificazione delle giornate sulla base della loro umidità media può essere fatta introducendo tre classi caratterizzate rispettivamente da valori inferiori al 50%, tra il 50% e l'80% e superiori a quest'ultimo. Con questa impostazione negli anni dal 1967 al 2003, cui si riferiscono le osservazioni di questo particolare aspetto, i giorni dell'anno con umidità inferiore al 50% sono stati mediamente 39,7 corrispondenti al 10,9%, quelli di media umidità (50-80%) hanno raggiunto la quota di 221,7 (60,7%), mentre i più umidi sono stati mediamente 103,9 per anno, cioè il 28,4%.

Nei singoli anni i giorni a bassa umidità hanno variato tra un minimo di 23 ed un massimo di 60, quelli della classe intermedia tra 159 e 265, mentre la classe a igrometria più elevata ha avuto presenze comprese fra 52 e 177. Tutti questi valori sono sintetizzati, in termini percentuali, nella figura 5.6.

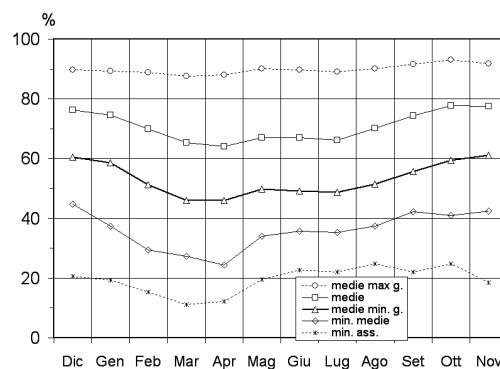


**Fig. 5.6.** Distribuzione percentuale dei giorni in classi di umidità media. *Percent distribution of days in mean humidity classes.*

### 5.12. Regimi mensili dell'umidità

Nella presentazione dei regimi mensili dei diversi aspetti dell'umidità sono stati privilegiati quelli riguardanti i valori igrometrici più bassi che sono i più interessanti dal punto di vista ambientale, anche perché i valori più elevati di umidità, raggiungono facilmente il 100%, e ciò accade praticamente durante ogni episodio di precipitazione meteorica.

Le curve rappresentate in figura 5.7 oltre a rappresentare nel loro valore percentuale i regimi mensili dei diversi aspetti dell'umidità relativa (secondo la suddivisione esplicitata nella didascalia), consente di verificare come detti valori siano più elevati in autunno e nel primo inverno mentre più asciutti sono, in genere, le situazioni riscontrate in primavera e nella prima estate.



**Fig. 5.7.** Regimi mensili dell'umidità. *Monthly humidity regimes.*

## 6. NUVOLOSITÀ (CLOUD COVER)

### 6.1. Generalità

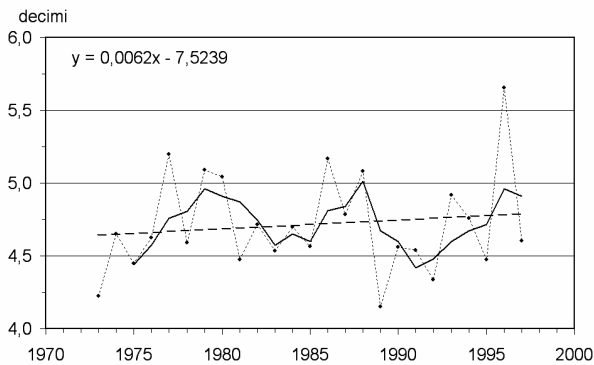
Fra i parametri atmosferici trattati in questo lavoro, la nuvolosità (copertura del cielo) è il solo che non viene rilevato con l'utilizzo di apparecchiature ad hoc, ma ci si avvale dell'osservazione diretta da parte di operatori, i quali, suddividendo idealmente il cielo in decimi, ne individuano la porzione coperta dalle nubi: queste osservazioni sono state condotte a Pallanza dal 1973-1997.

### 6.2. Nuvolosità: coperture medie annuali

La rappresentazione della serie storica consente di rilevare, anche per questo elemento del clima, una linea tendenziale (per altro non significativa) che indica soltanto un leggerissimo incremento nel periodo considerato, il che esclude la possibilità che vi siano state variazioni nel tempo, anche di modesta entità (Fig. 6.1).

L'andamento generale della serie indica la presenza di tre cicli ben definiti, ciascuno con un periodo di circa 10 anni ed un'elevata dispersione dei dati. Le medie della nuvolosità annuale sono comprese fra il minimo di 4,2 decimi del 1989 e il massimo di 5,7 decimi del 1996: in questo caso si è trattato di un picco, assai isolato dagli altri valori della serie. La media pluriennale è invece di 4,72 decimi.



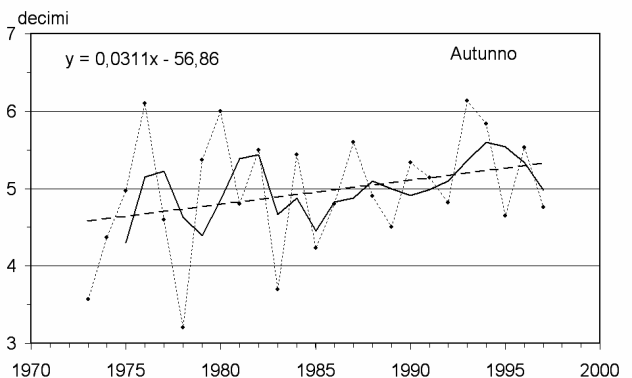
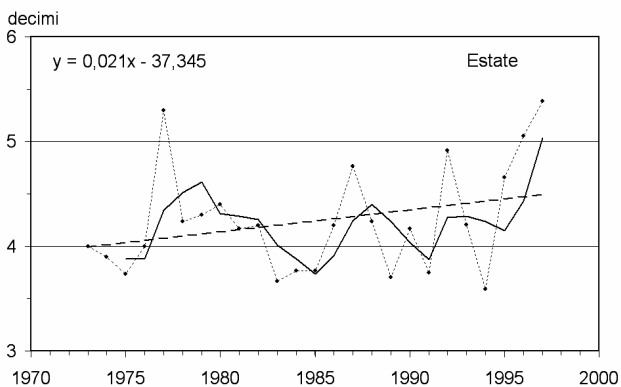
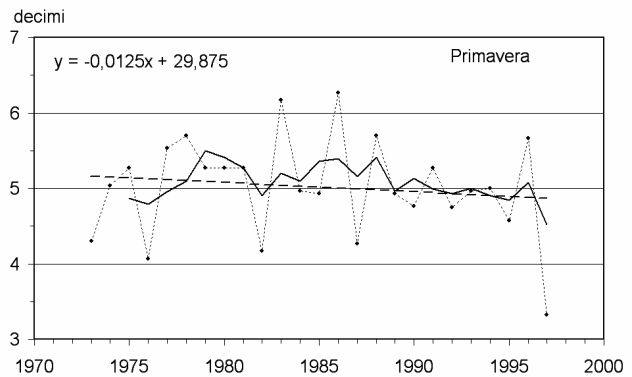
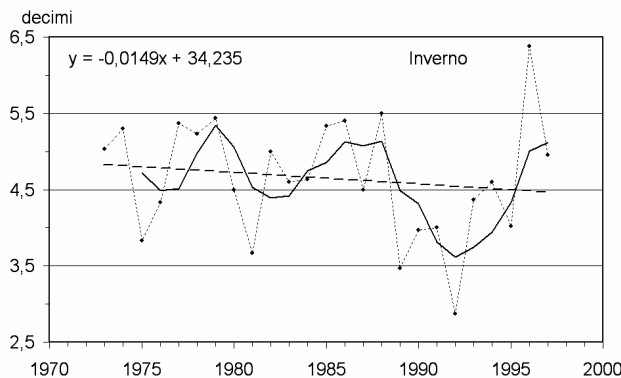


**Fig. 6.1.** Nuvolosità: coperture medie annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Cloud cover: mean annual cover (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

altri periodi stagionali non è più riscontrabile la presenza di fluttuazioni cicliche che avevano caratterizzato la serie annuale. Resta invece sempre elevata la dispersione dei dati attorno alla retta statistica. Quanto ai valori medi ed estremi che hanno caratterizzato le singole stagioni, il riferimento è alla tabella 6.1.

**Tab. 6.1.** Nuvolosità: valori medi ed estremi delle coperture stagionali (decimi di copertura, in parentesi l'anno). *Cloud cover: mean and extreme values of seasonal cloud cover (tenths of cover, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	4,56	2,9 (1992)	6,4 (1996)
Primavera	5,02	3,3 (1997)	6,3 (1986)
Estate	4,24	3,6 (1994)	5,4 (1997)
Autunno	4,95	3,2 (1978)	6,1 (1993)



**Fig. 6.2.** Nuvolosità: coperture medie stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Cloud cover: mean seasonal cover (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

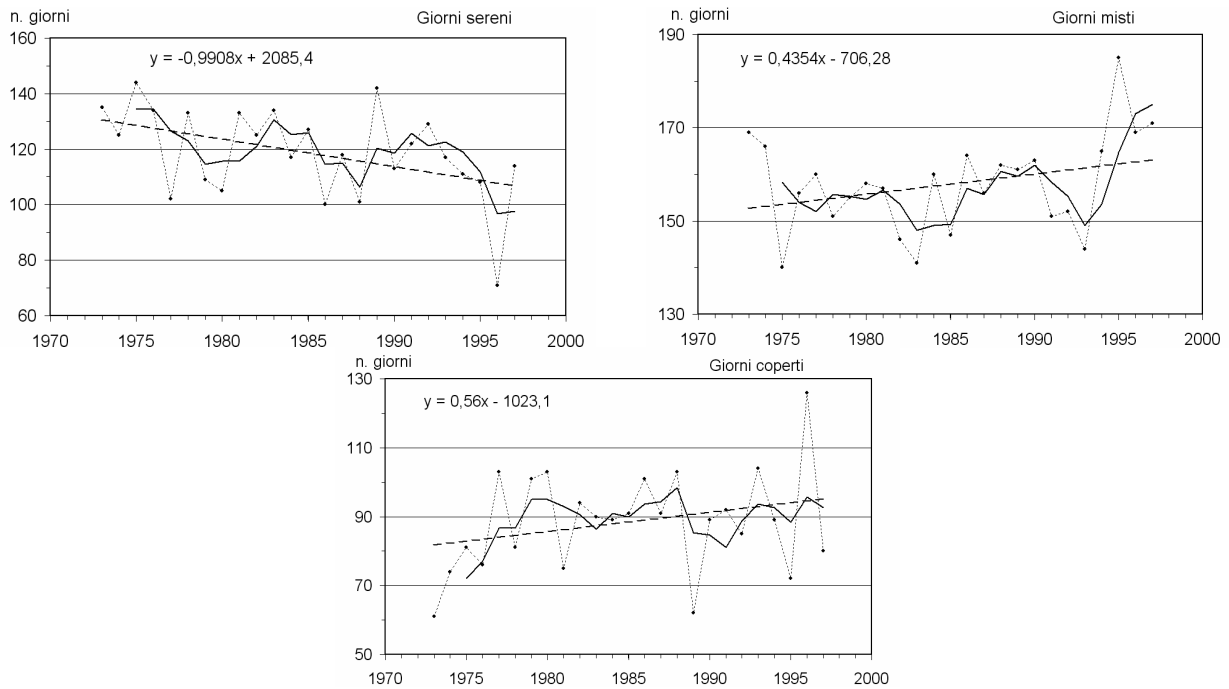
### 6.3. Nuvolosità: coperture medie stagionali

La leggerissima tendenza all'incremento riscontrata nei dati annuali si traduce in quelli stagionali in situazioni similari per quanto riguarda l'estate e l'autunno, mentre negli altri due periodi si nota una tendenza opposta, diretta cioè verso la diminuzione dei valori nel tempo: per altro l'inclinazione delle rette, tutte lontane dalla significatività statistica, è sempre molto modesta. Tranne che in inverno, e in parte anche in estate, negli

### 6.4. Classificazione dei giorni in base alla loro copertura nuvolosa

Seguendo il criterio di classificazione dei giorni sulla base della loro copertura nuvolosa, come indicato anche dall'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, si fatto uso delle seguenti definizioni:

- Sereni, quelle con nuvolosità media non superiore a 2 decimi;



**Fig. 6.3.** Nuvolosità: numero dei giorni nelle tre classi di copertura (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Cloud cover: number of days in the three classes of cover (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

- Misti, quelle con copertura compresa fra 2 e 8 decimi;
- Coperti, se la nuvolosità media supera gli 8 decimi.

L'analisi della figura 6.3 nella quale sono riportate le serie storiche relative alla distribuzione annua dei giorni con caratteristiche diverse di copertura pone in evidenza come quelli sereni siano andati progressivamente riducendosi di numero durante i 25 anni di osservazioni: la retta di regressione indica come dai circa 130 eventi riscontrati nel 1973 si sia progressivamente passati a meno di 110 alla fine degli anni '90. Del tutto opposto il comportamento tanto dei giorni misti quanto di quelli coperti: più contenuto l'incremento dei primi (11 giorni circa) rispetto a quello dei secondi (14 giorni). Quanto alla significatività delle tre rette di tendenza solo quella relativa ai giorni sereni ha un livello accettabile a  $p=0,02$ , mentre le altre due ne sono escluse.

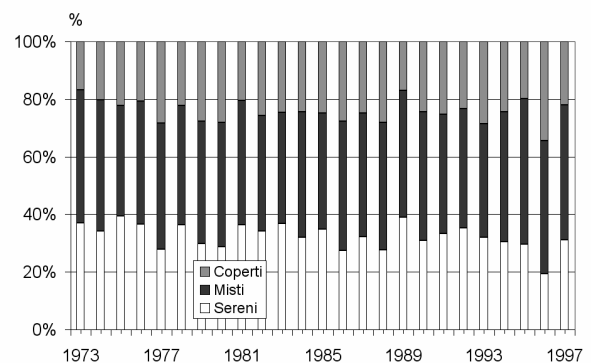
**Tab. 6.2.** Distribuzione dei giorni nelle tre classi di nuvolosità (decimi di copertura, in parentesi l'anno). *Distribution of days in the three classes of cloud cover (tenths of cover, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Giorni sereni	118,8	71 (1996)	144 (1975)
Giorni misti	158,0	140 (1976)	185 (1995)
Giorni coperti	88,5	61 (1973)	126 (1996)

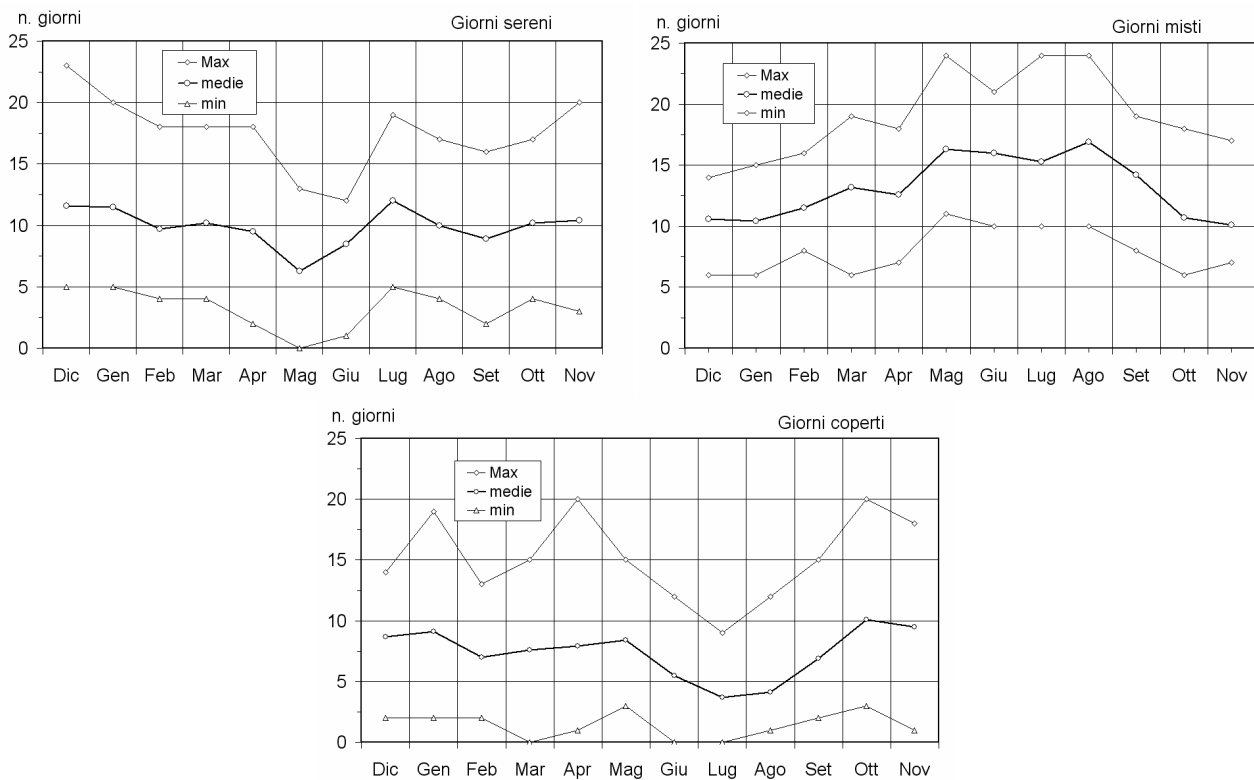
La dispersione dei singoli valori è assai accentuata soprattutto nelle due classi a più elevata nuvolosità. Il numero medio, minimo e massimo dei giorni riscontrati nell'intero periodo in ogni singola classe, unitamente alla loro media e agli anni dei singoli episodi, sono riportati nella tabella 6.2.

### 6.5. Distribuzione percentuale dei giorni nelle classi di copertura nuvolosa

Il giorni complessivi dei 25 anni in cui si è proceduto all'osservazione di questo parametro risultano percentualmente così distribuiti nelle tre classi di copertura nuvolosa precedentemente definite: il 32,5% sono stati sereni, il 43,3% misti ed il restante 24,2% hanno visto la presenza di copertura. La maggior presenza dei primi si è avuta nel 1975 con quasi il 40% dei casi, quella dei secondi nel 1995 con il 50,7%, mentre nel 1996 i giorni coperti hanno raggiunto il 34,5%. Viceversa scarsi sono stati i giorni sereni nel 1997 (poco meno del 20%) così come quelli misti nel 1975 (poco più del 38%) e quelli coperti nel 1973 con solo il 16,7% dei casi. La loro distribuzione anno per anno è riportata nella figura 6.4.



**Fig. 6.4.** Nuvolosità: distribuzione percentuale dei giorni nelle tre classi di copertura. *Cloud cover: percent distribution of days in the three cloud cover classes.*



**Fig. 6.5.** Regimi mensili dei giorni con diversa copertura nuvolosa. *Monthly regimes of days with differing cloud cover.*

### 6.6. Regimi mensili della nuvolosità

Nella figura 6.5 sono rappresentate, per ciascuna classe di copertura nuvolosa, le curve dei regimi mensili medi, minimi e massimi dei giorni complessivi dell'intero periodo di osservazione. I giorni sereni prevalgono mediamente nelle fasi del primo inverno e in luglio con presenze di circa 10-12 giorni al mese e scarseggiano soprattutto in maggio mese che nel 1984 non vide alcun giorno sereno. Assai più regolare risulta il regime medio dei giorni misti distribuiti con una certa regolarità secondo l'arco annuale che ha i suoi minimi nel tardo autunno e nel primo inverno ed i massimi in estate con un picco ad agosto (17 giorni di media); un picco secondario è presente anche in maggio (16 giorni).

Ottobre e novembre sono i mesi caratterizzati dalla più elevata presenza media di giorni coperti (circa 10 per ciascuno di essi), mentre in luglio ed agosto il loro numero scende, in media, a non più di quattro. In marzo, giugno e luglio in più di un'occasione non si sono riscontrati giorni coperti.

## 7. PRECIPITAZIONI (PRECIPITATION)

### 7.1. Generalità

L'osservazione di questo parametro ha avuto inizio nel 1951 per quanto riguarda la misura della quantità di acqua precipitata, mentre il rilevamento della durata degli eventi è iniziato nel 1955.

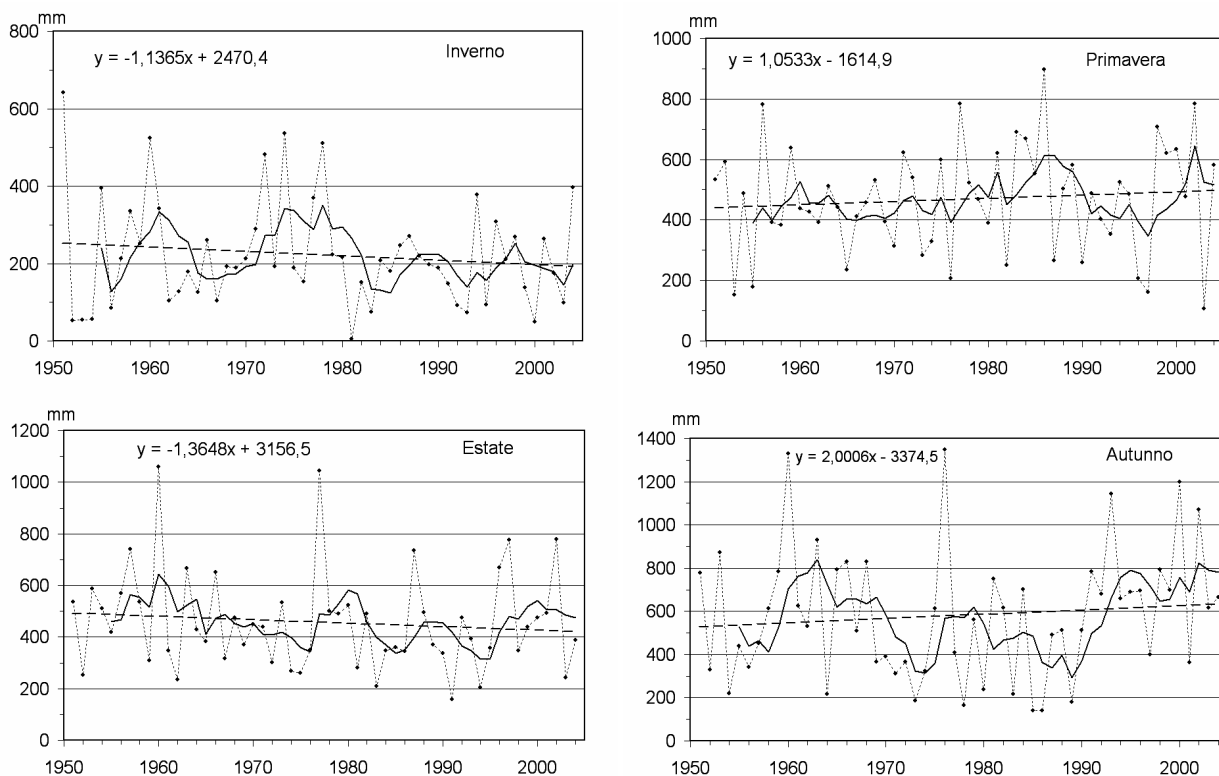
### 7.2. Strumentazione utilizzata

Questa la sequenza delle apparecchiature utilizzate:

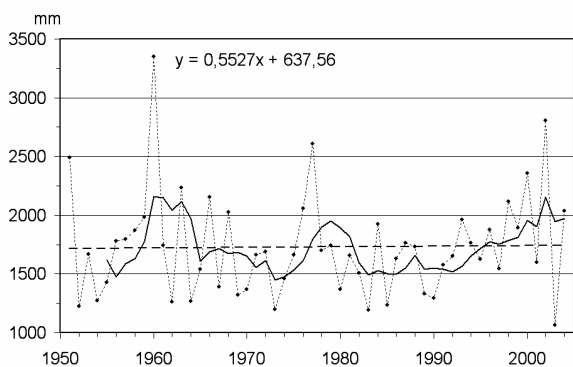
- precedentemente al 30 marzo 1956 ha funzionato una apparecchiatura tipo Palazzo di costruzione Salmoiraghi con sensibilità di 0,1 mm;
- successivamente è stato installato il pluviografo a vaschetta basculante UM 81 della SIAP (sensibilità 0,2 mm)
- con l'automatizzazione della stazione è entrato in funzione il nuovo pluviometro elettronico modello PMB 2 della CAE, sempre a vaschetta basculante, con sensibilità 0,2 mm.

### 7.3. Precipitazioni: totali annuali

L'analisi della serie storica delle quantità annue di acqua meteorica (Fig. 7.1) permette di verificare una situazione tendenziale caratterizzata da una sostanziale orizzontalità della retta di tendenza (comunque non significativa) a dimostrazione della elevata dispersione dei dati attorno alla linea di regressione. L'andamento generale evidenziato dalla curva delle medie mobili indica la presenza di tre evidenti oscillazioni centrate, rispettivamente, sui primi anni '60 e sul 1980 mentre la terza, forse ancora incompleta, che ha il suo picco nel 2002. La quantità media annuale di acqua precipitata a Pallanza negli anni considerati è stata di 1729.3 mm, con i minimi ed i massimi che si collocano rispettivamente nel 2003 (1062,4 mm) e nel 1960 (3352,2 mm).



**Fig. 7.2.** Precipitazioni: totali stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Precipitation: seasonal totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 7.1.** Precipitazioni: totali annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Precipitation: annual totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**7.4. Precipitazioni: totali stagionali**

La disaggregazione dei dati delle precipitazioni a livello stagionale, riportata graficamente in figura 7.2, consente di verificare un loro diverso comportamento tendenziale per ogni singolo periodo: la quantità di pioggia è andata leggermente aumentando in primavera ed in autunno, mentre nelle stagioni estreme la tendenza è stata esattamente opposta; l'ordine di grandezza delle diminuzioni è valutabile, per entrambi i casi, in circa 100 mm per l'intero periodo di osservazioni, mentre ri-

sultano di entità minore quelle in aumento (inferiori a 50 mm). Le rispettive rette di correlazione non sono comunque significative. Elevata è la dispersione dei dati in tutte e quattro i periodi stagionali con frequenti alternanze di valori superiori e inferiori alla media statistica, a dimostrazione della grande aleatorietà di questo parametro. Le linee delle medie mobili delle singole stagioni presentano numerose oscillazioni ma non vi si riconosce alcun andamento fra di loro in fase. Il prospetto in tabella 7.1 riporta i valori medi, minimi e massimi rilevati per ogni stagione, accompagnati dagli anni in cui essi si sono verificati.

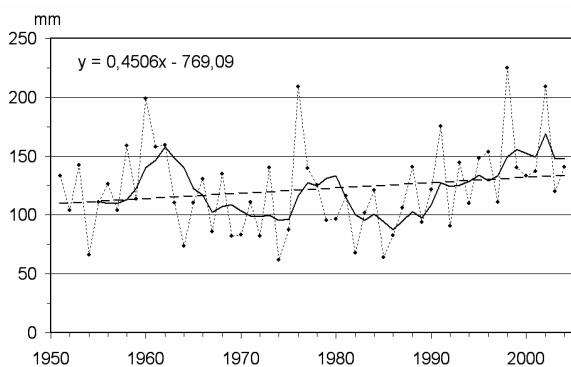
**Tab. 7.1.** Precipitazioni: valori medi ed estremi stagionali dei totali (mm, in parentesi l'anno). *Precipitation: values and extremes of seasonal totals (mm, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	223,1	5,0 (1981)	641,5 (1951)
Primavera	466,9	107,0 (2003)	898,4 (1986)
Estate	457,6	157,2 (1991)	1058,6 (1960)
Autunno	581,8	139,8 (1986)	1347,2 (1976)

**7.5. Precipitazioni: massimi giornalieri (dati annuali)**

La pendenza della retta di regressione relativa alle precipitazioni massime giornaliera rilevate su base annua (Fig. 7.3), per altro non significativa, indica come esse siano andate sempre più aumentando dall'inizio delle osservazioni, con un incremento totale che statistica-

mente è quantificabile in poco più di 25 mm. L'andamento generale di questa serie di dati è molto simile a quello già visto nei totali annuali di pioggia e anche il livello di dispersione risulta piuttosto elevato. Fra i massimi giornalieri di pioggia il più basso è stato registrato il 3 febbraio 1974 (62,0 mm) mentre il più elevato si è verificato il 5 settembre 1998 quando nelle 24 ore sono caduti 225,2 mm di pioggia.



**Fig. 7.3.** Precipitazioni: massimi giornalieri (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Precipitation: daily maxima (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

7.6. Precipitazioni: massimi giornalieri (dati stagionali)

La quantità massima di pioggia caduta in un giorno nelle singole stagioni risulta assai differenziata nei diversi periodi: con propensione all'incremento nel tempo in primavera ed in autunno (parametro angolare delle rispettive rette di tendenza uguali a 0,52 e 0,42), in leggerissimo aumento anche in estate ed in lieve diminuzione in inverno. Le quattro rette di regressione non sono significative, la dispersione dei singoli dati risulta molto elevata e le linee che rappresentano il loro andamento generale presentano molte fluttuazioni, per altro assai dissimili da stagione a stagione. Nella tabella 7.2 si ripropongono i loro valori medi ed estremi, questi ultimi accompagnati dalla data dell'evento.

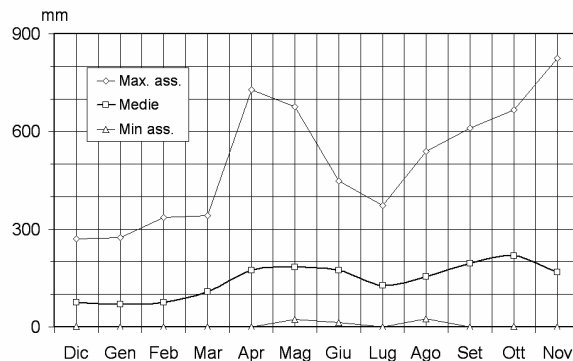
**Tab. 7.2.** Precipitazioni massime giornaliere: valori medi ed estremi stagionali (mm, g.d. = giorni diversi). *Maximum daily precipitation: mean and extreme seasonal values (mm, g.d. = several days).*

	Medie	min	Max
Inverno	28,9	0,0 (g.d.)	128,0 (11-gen-51)
Primavera	47,2	0,0 (g.d.)	209,0 (3-apr-02)
Estate	55,9	0,2 (2-giu-84)	153,4 (8-lug-02)
Autunno	65,3	0,0 (g.d.)	225,2 (5-set-98)

7.7. Regimi mensili delle precipitazioni

Le tre spezzate riportate in figura 7.4 si riferiscono, rispettivamente, ai regimi su base mensile delle precipitazioni massime, medie e minime. La linea delle medie

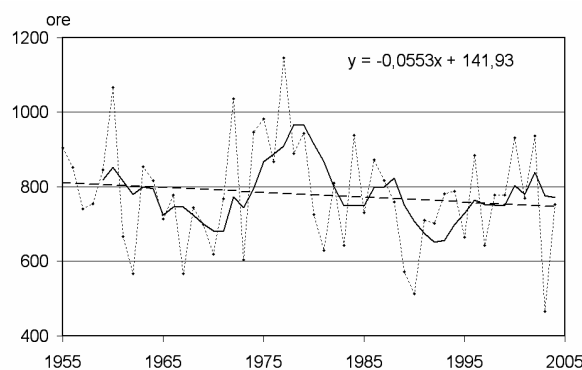
presenta una doppia ciclicità con i due massimi collocati rispettivamente in autunno (il più pronunciato) e nella tarda primavera-prima estate. Il minimo principale si riscontra invece nei mesi invernali e quello secondario in estate (luglio). Anche l'andamento dei massimi conferma la presenza della doppia ciclicità, mentre quello dei minimi persiste per più mesi su valori nulli o prossimi allo zero.



**Fig. 7.4.** Regimi mensili delle precipitazioni. *Monthly precipitation regimes.*

7.8. Precipitazioni: durate annuali

Le registrazioni di questo particolare aspetto delle precipitazioni sono iniziate nel 1955 e sono proseguite senza soluzione di continuità fino ai giorni nostri. La linea di tendenza generale (non significativa statisticamente) indica una progressiva diminuzione in questi anni quantificabile intorno alle 70 ore (Fig. 7.5). Un altro aspetto importante che si ricava dall'osservazione del grafico è l'elevata dispersione dei singoli dati, con frequenti alternanze fra valori elevati e modesti, mentre la linea che indica il loro andamento generale segnala sopra tutto la presenza di un'ondulazione decisamente positiva centrata sugli anni '70. Le durate medie annuali si aggirano attorno alle 777 ore con un picco massimo di 1147 ore nel 1977 ed uno minimo di 465 ore che ha caratterizzato il 2003.



**Fig. 7.5.** Precipitazioni: durate annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Precipitation: annual duration (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 7.9. Precipitazioni: durate stagionali

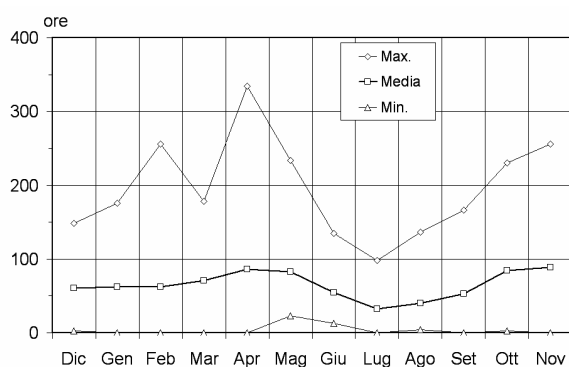
La tendenza negativa presente nei dati annuali si ritrova, a livello stagionale, solo nelle serie invernale ed estiva, più accentuata nel primo che non nel secondo caso; praticamente senza alcuna variazione di pendenza sono invece le rette delle stagioni intermedie. Tutte però non sono statisticamente significative. Sempre assai marcata è la dispersione dei dati attorno alle rispettive rette di regressione, mentre le curve relative al loro andamento generale presenta evidenti oscillazioni, per altro con scarsa corrispondenza temporale fra le singole stagioni. I loro valori medi stagionali (espressi in ore) ed i rispettivi limiti inferiori e superiori sono riportati in tabella 7.3: dalla loro analisi si riscontra la presenza di due stagioni con maggior durata dei processi di precipitazioni meteoriche (primavera e autunno) alternate alle altre due meno piovose.

**Tab. 7.3.** Durate delle precipitazioni: valori medi ed estremi stagionali (ore e minuti, in parentesi l'anno). *Duration of precipitation: mean and extreme seasonal values (hours and minutes, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	185,24	10,40 (1981)	411,20 (1974)
Primavera	240,41	54,11 (1997)	443,20 (1986)
Estate	127,57	45,40 (1991)	310,20 (1977)
Autunno	227,00	76,40 (1989)	465,00 (1976)

### 7.10. Regimi delle durate delle precipitazioni

Anche i regimi mensili delle durate massime, medie e minime delle precipitazioni seguono, come risulta dalla figura 7.6, la doppia ciclicità: la spezzata delle massime ha i valori più elevati nella stagione primaverile e secondariamente in autunno, mentre gli stessi sono su quote quasi identiche (intorno alle 90 ore) nella linea delle durate medie; quasi piatta, con la sola eccezione di un piccolo picco in maggio di poco più di 23 ore, è invece quella delle minime.



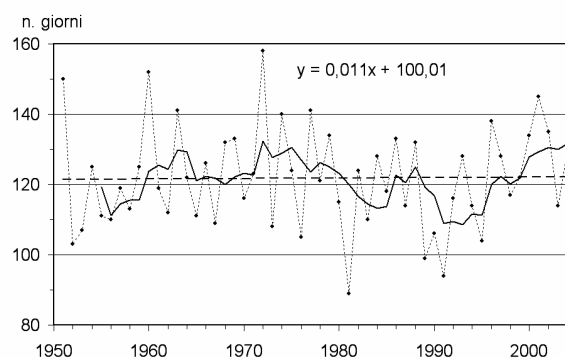
**Fig. 7.6.** Regimi mensili delle durate delle precipitazioni. *Monthly regimes of precipitation duration.*

Da rilevare che una netta irregolarità caratterizza i valori massimi con un picco di 334 ore in aprile che

precede il minimo isolato di marzo (178 ore) mentre il valore più basso dell'anno è in luglio con 98,7 ore.

### 7.11. Numero di giorni con precipitazioni

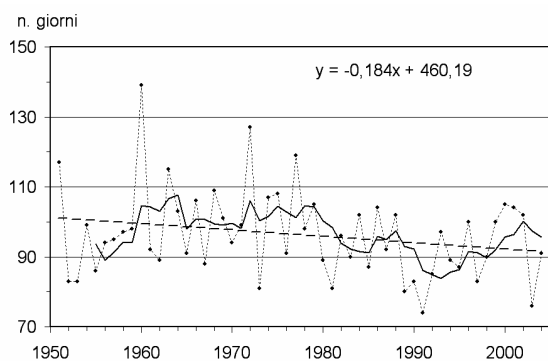
Il grafico relativo alla serie storica dei giorni con precipitazioni di qualsiasi forma ed entità occorsi durante ciascun anno (Fig. 7.7) indica come il loro numero sia rimasto invariato nell'arco degli oltre 50 anni di osservazione (retta di tendenza non significativa). La curva delle medie mobili presenta però una serie di oscillazioni molto pronunciate, in particolare dal 1980 in poi. Elevata risulta anche la dispersione del numero di giorni perturbati con frequenti alternanze di valori inferiori e superiori alla media statistica. L'anno nel quale i giorni piovosi sono stati in numero maggiore è stato il 1972 con 158 eventi mentre nel 1981 se ne verificarono solo 89. La media pluriennale risulta di 121,8 giorni.



**Fig. 7.7.** Numero di giorni con precipitazioni (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Number of days with precipitation (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 7.12. Numero di giorni con precipitazioni sensibili (dati annuali)

Si definiscono sensibili le precipitazioni che superano 1 mm al giorno e pertanto solo quando la quantità di acqua meteorica supera questo valore si può parlare di giornate piovose. Il consueto grafico della serie dei giorni caratterizzati da questo aspetto (Fig. 7.8) indica, attraverso la retta di tendenza (per altro non statisticamente significativa), che il loro numero è andato progressivamente diminuendo nella misura di 7-8 giorni complessivi per l'intero periodo di osservazioni. Sufficientemente regolare è la curva delle medie mobili, seppure con molte piccole oscillazioni, ed elevata è la dispersione dei dati attorno alle medie statistiche. Ai 139 giorni di piogge sensibili che hanno caratterizzato il 1960, valore massimo della serie pluriennale, fanno riscontro i 74 giorni del 1991; la media relativa all'intero periodo di osservazioni è di 96,6 giorni di piogge sensibili all'anno.



**Fig. 7.8.** Numero di giorni con precipitazioni sensibili (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Number of days with perceptible precipitation (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**7.13. Numero di giorni con precipitazioni sensibili (dati stagionali)**

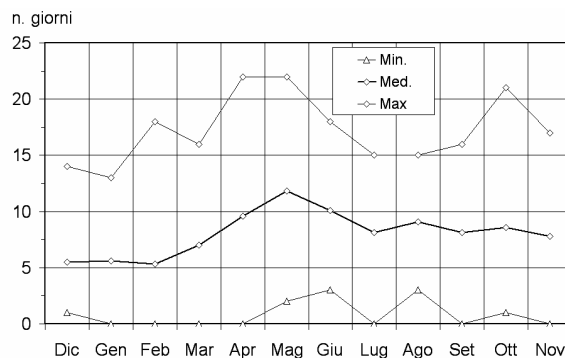
In inverno ed in estate i giorni caratterizzati da piogge sensibili sono stati nel periodo considerato in diminuzione, più marcata nella stagione calda (circa 10 giorni) che in quella fredda (5 giorni). Praticamente stabile la situazione negli altri due periodi. Piuttosto consistenti sono le dispersioni dei singoli dati in tutte le stagioni, particolarmente in primavera. I massimi, i minimi e le medie stagionali dei giorni con piogge sensibili sono riportati nel tabella 7.4 nella quale con la sigla a.d. si indica che l'evento è avvenuto in anni diversi.

**Tab. 7.4.** Numero di giorni con precipitazioni sensibili: valori medi ed estremi stagionali (a.d. = anni diversi, in parentesi l'anno). *Number of days with perceptible precipitation: mean and extreme seasonal values (a.d. several years, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	16,4	3 (1981)	33 (1972)
Primavera	28,5	12 (a.d.)	43 (1983)
Estate	27,3	14 (1991)	40 (1977)
Autunno	24,5	7 (1978)	45 (1960)

**7.14. Regimi mensili dei giorni con precipitazioni sensibili**

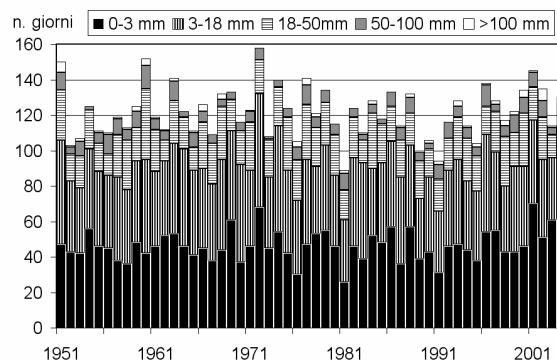
Come risulta dalla figura 7.9 mediamente il mese con il maggior numero di giorni con piogge sensibili (quantità superiore ad 1 mm) è maggio con 11,8 giorni, mentre in inverno il loro numero si attesta poco sopra 5. Il maggior numero di casi è stato riscontrato in aprile e maggio (in entrambi i casi 22 volte), oltre che in ottobre (21 volte). Da segnalare, fra i valori minimi i 3 giorni di giugno ed agosto mentre essi sono del tutto mancati da novembre ad aprile, se si esclude dicembre che ha visto il verificarsi di un solo evento.



**Fig. 7.9.** Regimi mensili dei giorni con precipitazioni sensibili. *Monthly regimes of days with perceptible precipitation.*

**7.15. Distribuzione dei giorni con precipitazioni di diversa intensità**

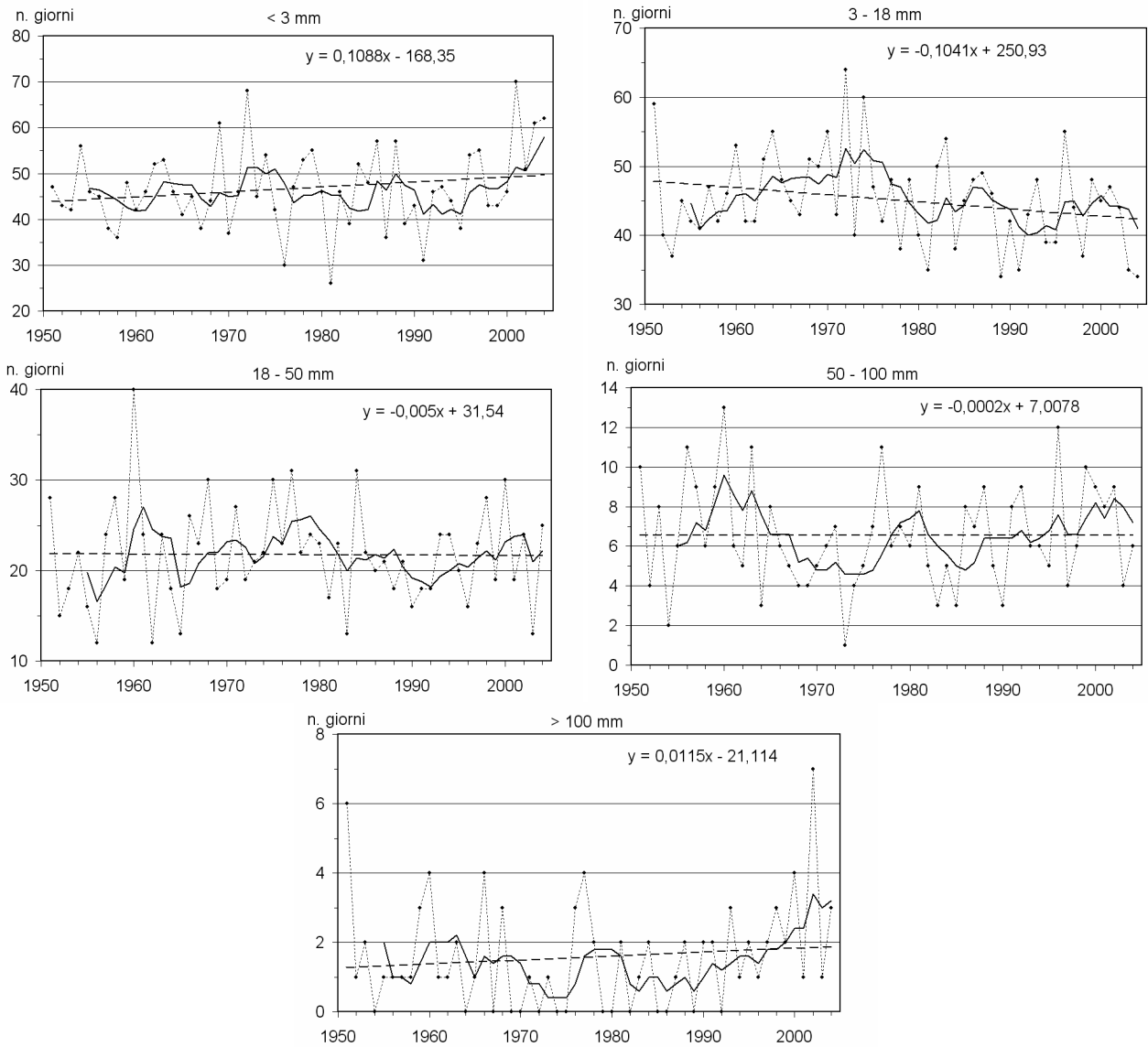
I giorni perturbati, comprensivi anche di quelli caratterizzati da piogge non sensibili, sono stati suddivisi in classi in base alle loro intensità secondo il seguente schema: inferiori a 3 mm al giorno, da 3 a 18 mm, da 18 a 50 mm, da 50 a 100 mm e superiori a 100 mm. Gli istogrammi di figura 7.10 pongono a confronto, anno dopo anno, il numero di giorni appartenenti a ciascuna di queste classi.



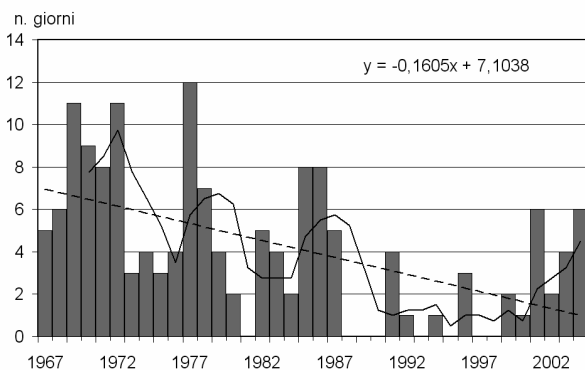
**Fig. 7.10.** Distribuzione nel tempo dei giorni con precipitazioni di diversa intensità. *Distribution in time of days with precipitation of differing intensity.*

Le serie storiche di ciascuna classe sono invece riportate in figura 7.11: tutte le rette di tendenza non sono statisticamente significative, ma va rilevato che, fatta eccezione per le due classi di intensità inferiore, le altre indicano una sostanziale costanza nel tempo.

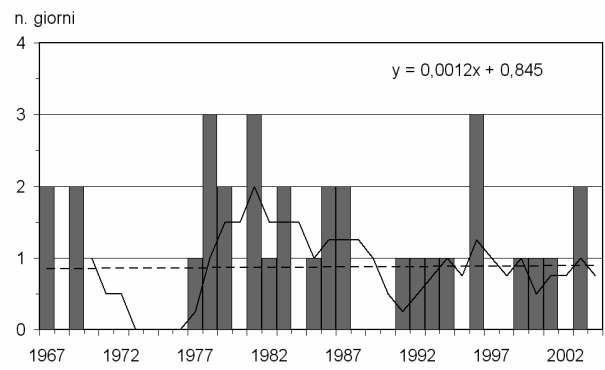
I valori medi pluriennali sono di circa 22 giorni al mese per le piogge tra 18 e 50 mm, di 6-7 giorni per le precipitazioni di intensità comprese fra 50 e 100 mm e di 1-2 giorni per le piogge superiori a 100 mm. Per la prima di esse i giorni interessati dai fenomeni sono passati dai 12 del 1956 e del 1962, ai 40 del 1960; la classe successiva ha visto 13 eventi nel 1960 ed uno soltanto nel 1973. Quanto all'ultima classe (>100 mm), nel 2002 gli episodi sono stati 7 mentre in ben 15 anni della serie non ci sono stati precipitazioni di tale intensità.



**Fig. 7.11.** Numero di giorni con precipitazioni di diversa intensità (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Number of days with precipitation of differing intensity (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 7.12.** Numero di giorni con precipitazioni nevose (linee: intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Number of days with snow (lines: full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 7.13.** Numero di giorni con grandine (linee: intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Number of days with hail (lines: full = moving average; broken = best fit).*



Circa le due classi con minor intensità di precipitazioni, esse mostrano invece caratteristiche opposte: una tendenza all'aumento per la prima, alla diminuzione per la seconda: in entrambi i casi le pendenze delle rispettive rette sono all'incirca uguali, tali cioè da arrivare a 7 giorni di variazione in più o in meno dall'inizio alla fine del periodo di osservazioni. Anche in queste due casi le variabilità interannuali sono molto evidenti e gli intervalli in cui si collocano i dati sono molto ampi: dai 26 giorni del 1981 ai 70 giorni del 2002 per la classe a più bassa intensità e dai 36 giorni del 1989 e del 2004 ai 64 giorni del 1972 per l'altra. I rispettivi valori medi pluriennali risultano di 46,8 e di 45,1 giorni.

#### 7.16. Precipitazioni solide: giorni con neve

L'osservazione di questo particolare aspetto delle precipitazioni è limitato agli anni successivi al 1967. Fra le giornate con neve vengono considerate anche quelle con precipitazioni miste di acqua e neve; del resto anche la neve viene valutata quantitativamente con la sua trasformazione in acqua di fusione. Dal grafico di figura 7.12 appare evidente la sensibile riduzione delle giornate nevose nel corso degli anni, riduzione che statisticamente porta i giorni annui con neve da 7 ad 1 circa. La retta di tendenza in questo caso è significativa con  $p=0,01$ .

Il numero più elevato di giorni nevosi risale al 1977 (12), mentre alcuni anni non hanno visto la presenza di questo fenomeno.

#### 7.17. Precipitazioni solide: giorni con grandine

La presenza della grandine è essenzialmente collegata ai processi convettivi che accompagnano i temporali estivi. I giorni caratterizzati dal fenomeno sono stati pochissimi (al massimo 3) con una media per anno inferiore all'unità e il loro numero non sembra presentare alcuna variazione nel tempo (Fig. 7.13).

### 8. EVAPORAZIONE (EVAPORATION)

#### 8.1. Strumentazione utilizzata

La registrazione di questo parametro è iniziata nel 1956 ed è proseguita sino ad oggi senza soluzione di continuità.

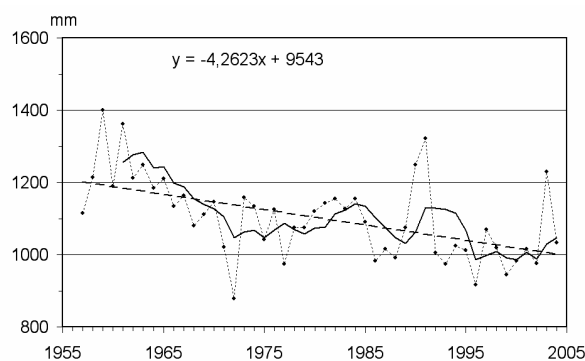
Si è sempre fatto uso dell'evaporigrafo Wild, modello a bilancia EV 63 di costruzione SIAP, con superficie evaporante della bacinella di 250 cm<sup>2</sup> e con la registrazione dei dati che avviene su zone cartacee settimanali.

#### 8.2. Evaporazione: totali annuali

La rappresentazione della serie storica dei totali annui di questo elemento del clima mette in evidenza una netta tendenza alla riduzione della quantità di acqua evaporata nel corso dei quasi cinquanta anni di osservazioni: dal valore di 1200 mm del 1956 indicato dalla retta di tendenza (significativa con 46 gradi di libertà al

massimo livello di probabilità) si è progressivamente passati a circa 1000 mm nel 2004.

La distribuzione dei singoli dati annuali attorno alla retta di regressione è caratterizzata dalla presenza di alcuni picchi molto pronunciati, diretti sia verso l'alto che verso il basso (Fig. 8.1). Nel primo trentennio la curva delle medie mobili presenta un andamento in prevalenza concavo in fase di diminuzione fino al 1975, mentre nel periodo successivo si evidenziano due fluttuazioni con periodo di circa 7-8 anni, e dal 1996 anche una leggera tendenza all'aumento.



**Fig. 8.1.** Evaporazione: totali annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Evaporation: annual totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

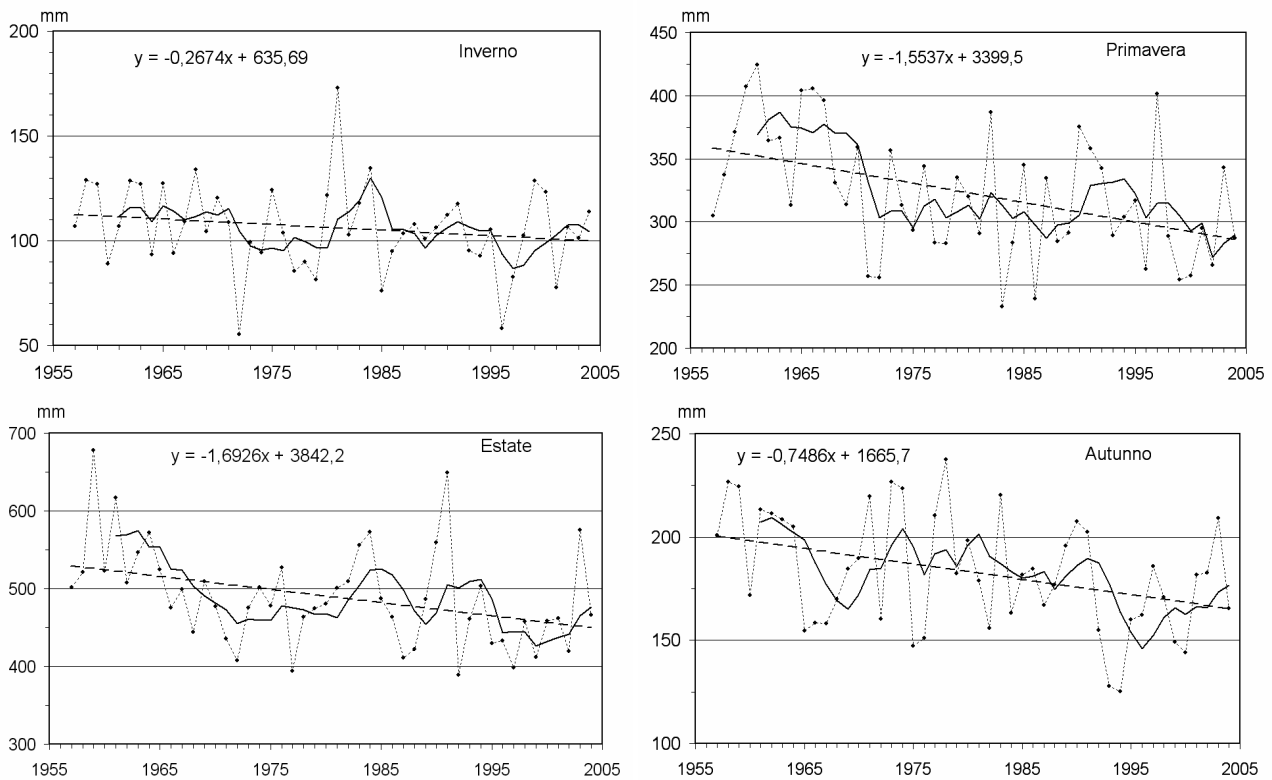
La massima quantità annua d'acqua evaporata è stata registrata nel 1959 (1400,9 mm) mentre la minima di 878,9 mm risale all'anno 1972: la media pluriennale risulta di 1001,6 mm.

#### 8.3. Evaporazione: totali stagionali

La tendenza al ribasso riscontrata nei totali annui di questo parametro si ritrova anche in quelli stagionali, seppure con incidenze diverse da periodo a periodo; in particolare la pendenza della retta in inverno è sensibilmente più bassa di quella annuale (Fig. 8.2) e la riduzione dell'evaporazione è contenuta in una decina di millimetri, mentre in primavera ed in autunno se ne contano circa 70 mm ed in estate una cinquantina. Anche le significatività delle rispettive rette di tendenza rispecchiano analoghe differenze stagionali con la primavera del tutto non significativa mentre quelle delle altre tre stagioni lo sono al livello di  $p=0,01$ .

Le dispersioni dei dati stagionali attorno alle rispettive rette statistiche sono sempre elevate e l'andamento generale delle curve di lisciamiento sia in primavera che in estate è molto simile a quello già descritto per i dati annuali, mentre assai più regolare appare quella invernale ed è del tutto difforme dal corrispondente annuale quello autunnale.

Nella tabella 8.1 sono elencati i valori medi ed estremi di evaporazione riscontrati nel corso di ciascuna stagione, accompagnati dall'indicazione degli anni del loro rilevamento.



**Fig. 8.2.** Evaporazione: totali stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Evaporation: seasonal totals (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

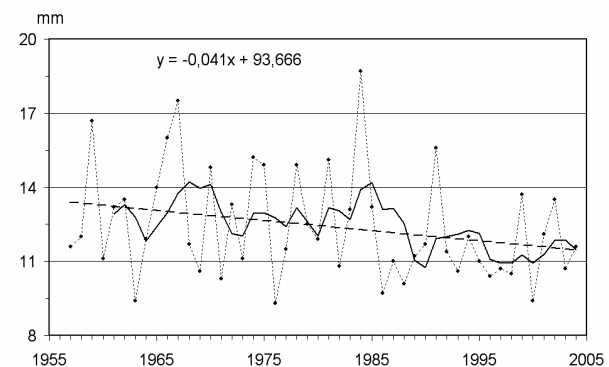
**Tab. 8.1.** Evaporazione: valori medi ed estremi dei totali stagionali (mm, in parentesi l'anno). *Evaporation: mean and extreme values of seasonal totals (mm, in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	106,2	55,4 (1972)	172,8 (1981)
Primavera	322,4	233,1 (1983)	424,5 (1961)
Estate	489,9	389,4 (1992)	677,9 (1959)
Autunno	183,1	125,1 (1994)	237,6 (1978)

#### 8.4. Evaporazione giornaliera: massimi annuali

Anche il grafico della serie storica delle quantità massime di acqua evaporata giornalmente durante ciascun anno indica una chiara tendenza alla riduzione: la retta di regressione ( $p=0,1$ ) da un valore statistico iniziale di circa 13,5 mm è passata a 11,5 mm nel 2004 (Fig. 8.3). Una continua alternanza di valori d'evaporazione superiori ed inferiori alla media ha determinato una loro elevata dispersione attorno alla retta statistica, così come un andamento assai irregolare della curva delle medie mobili che si caratterizza con frequenti oscillazioni di ampiezza e frequenza del tutto irregolari.

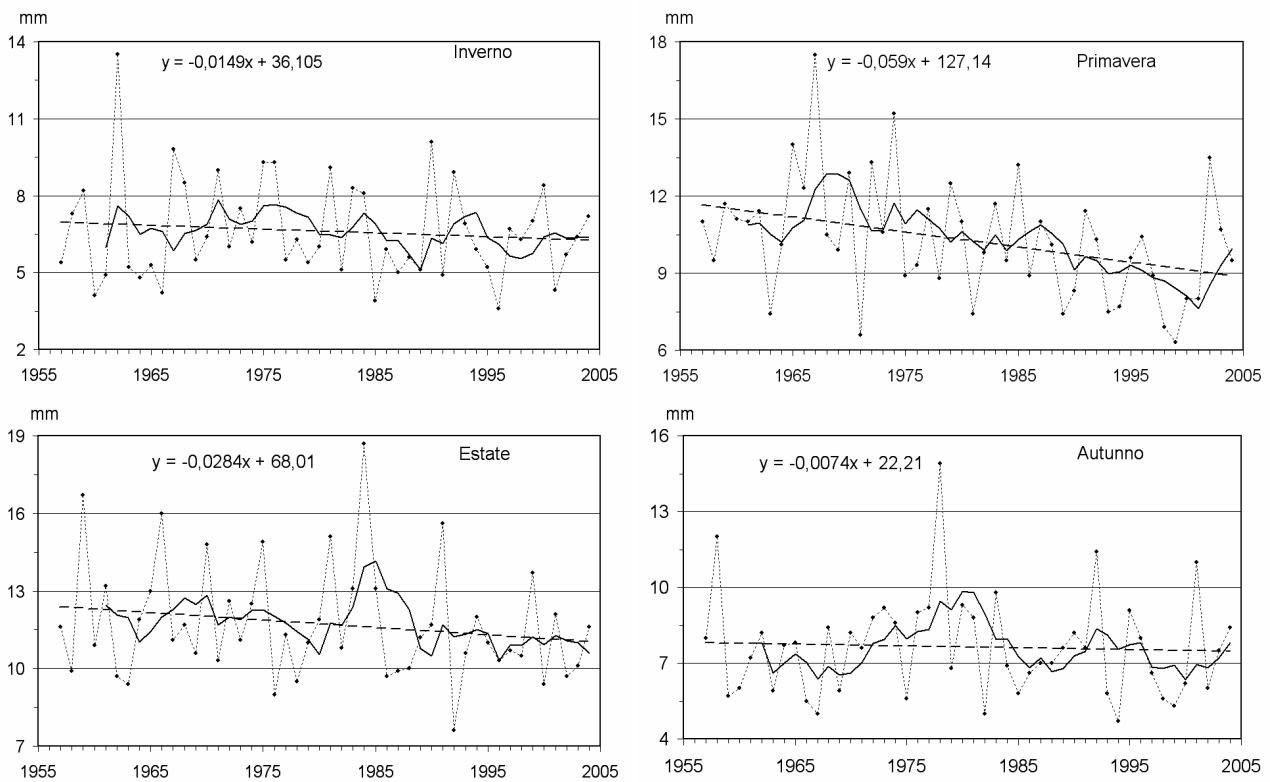
Il più basso fra i massimi giornalieri dell'evaporazione (9,3 mm) risale al 22 maggio 1976 mentre il più elevato è stato registrato il 16 luglio 1984 (18,7 mm): il loro valore medio è di 12,63 mm.



**Fig. 8.3.** Evaporazione giornaliera: massimi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Daily evaporation: annual maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

#### 8.5. Evaporazione giornaliera: massimi stagionali

Anche i dati che riguardano questo aspetto dell'evaporazione confermano la tendenza ad una progressiva riduzione nel corso degli anni di osservazione, seppure con diversa intensità nelle singole stagioni: molto elevata in primavera (una diminuzione di circa 3 mm nel periodo), più ridotta in estate (circa 2 mm), modesta in inverno e quasi nulla in autunno (Fig. 8.4).



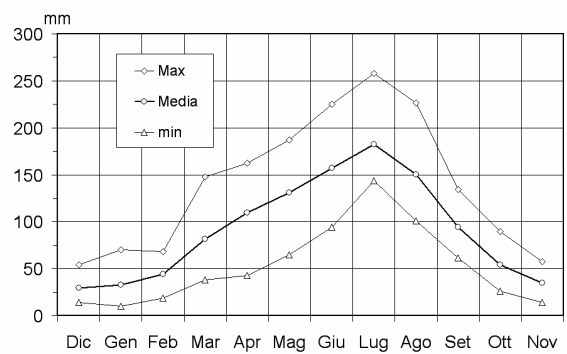
**Fig. 8.4.** Evaporazione giornaliera: massimi stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Daily evaporation: seasonal maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Un accenno all'aumento negli ultimi anni è evidente sopra tutto nelle serie primaverile ed autunnale anche se sono sempre molto elevate le dispersioni dei dati ed irregolari i loro andamenti. Quanto alle significatività statistiche delle rispettive rette di regressione, solo quella primaverile risulta tale al livello  $p=0,02$ . I valori medi ed estremi stagionali dei massimi giornalieri di evaporazione sono elencati nella tabella 8.2, unitamente all'elenco dei giorni in cui si sono verificati.

**Tab. 8.2.** Evaporazione massima giornaliera: valori medi ed estremi stagionali (mm). *Maximum daily evaporation: mean and extreme seasonal values (mm).*

	Medie	min	Max
Inverno	6,61	3,6 (17-feb-96)	13,5 (17-feb-62)
Primavera	10,29	6,3 (23-mag-99)	17,5 (14-mar-67)
Estate	11,73	7,6 (13-lug-92)	18,7 (16-lug-84)
Autunno	7,63	4,7 (12-nov-94)	14,8 (28-nov-77)

umidità). I valori più elevati si collocano, secondo la norma, in luglio e i più bassi, tutti abbastanza livellati, in novembre e nei mesi del primo inverno (Fig. 8.5).



**Fig. 8.5.** Regimi mensili dell'evaporazione. *Monthly evaporation regimes.*

### 8.6. Regimi mensili dell'evaporazione

Seppure con qualche irregolarità, presente sopra tutto nella curva dei valori massimi, i regimi mensili dell'evaporazione seguono molto fedelmente il ciclo annuale dell'illuminazione e della radiazione solare: è la dimostrazione che il processo di evaporazione dell'acqua dipende essenzialmente da fattori astronomici ed in sub-ordine da quelli meteorologici (temperatura, vento,

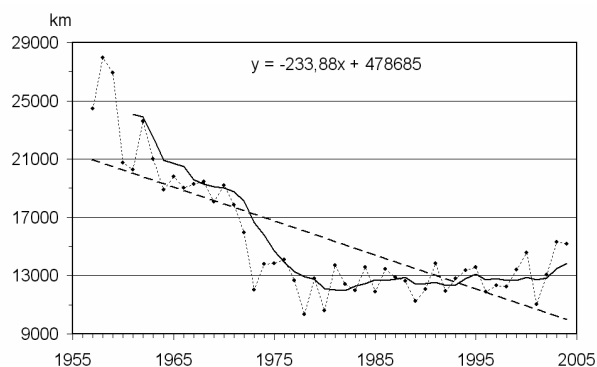
## 9. VENTO (*WIND*)

### 9.1. Generalità

La posizione geografica della stazione meteorologica di Pallanza, posta sulla sponda nord-orientale del bacino delle Isole Borromeo, ramo laterale del Lago Maggiore con direzione NW-SE, risulta parzialmente defilata ai venti provenienti dai quadranti settentrionali e nord-orientali (cioè quelli che seguono l'asse principale del lago) mentre è del tutto aperta alle provenienze nord-occidentali. Anche per quanto riguarda i venti meridionali la morfologia della conca lacustre impone il prevalere locale delle direzioni da SE.

### 9.2. Strumentazione utilizzata

La registrazione del vento a Pallanza è iniziata nel 1957 con l'installazione di un anemometro autogeneratore VT 140 di costruzione SIAP, munito di sensori ad elica e a timone direzionale e con registrazione su carta, anemometro che è ancor oggi in attività. In contemporanea, dal 1997 funziona anche un gonioanemometro a banderuola (modello DV 200) accoppiato ad un tacheanemometro a tre coppe (modello VV 200), ambedue di costruzione CAE, che consentono l'acquisizione elettronica dei dati in tempo reale. Le registrazioni fornite dall'apparecchiatura di prima installazione non sono però confrontabili con quelli ottenuti dalla strumentazione più recente in quanto, per le sue caratteristiche tecniche autogeneratrici, è scarsamente sensibile alle brezze e ai venti deboli; al contrario, la soglia di sensibilità del secondo tipo di strumentazione è molto elevata ( $1 \text{ km h}^{-1}$ ). I dati qui presentati, riferiti alla lunga serie storica, sono quelli raccolti con l'anemometro autogeneratore.



**Fig. 9.1.** Vento: percorsi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Annual wind runs (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

### 9.3. Vento: percorsi annuali

Notevole è il decremento della quantità di vento filato avvenuta negli ultimi cinquanta anni a Pallanza: da 21.000 km di percorso indicati all'inizio del periodo

di osservazioni dalla retta di tendenza, per altro altamente significativa ( $R^2 = 0,57$ ), si è passati a valori intorno a 14.000 km degli ultimi anni.

L'andamento della curva delle medie mobili si presenta suddivisa in due parti: la prima, che comprende gli anni iniziali fino al 1980 circa, indica una sensibile diminuzione dei percorsi del vento che si riducono su base annuale di 600 – 700 km; la seconda, che arriva fino ai giorni nostri, mantiene un andamento praticamente orizzontale, o in debole ascesa, il che significa che la forte diminuzione dei percorsi del vento indicata dalla retta di regressione si è concentrata essenzialmente nella prima parte del periodo di osservazioni. I percorsi annuali del vento hanno valori compresi fra il massimo di 27.980 km del 1958 ed il minimo di 10.339 km registrato nel 1978, con una media di 15.481 km (Fig. 9.1).

### 9.4. Vento: percorsi stagionali

La flessione dei percorsi annuali del vento registrata nel corso del cinquantennio d'osservazioni è pienamente confermata anche dalle serie storiche stagionali (Fig. 9.2), le cui rette di tendenza, tutte statisticamente significative al più alto livello di probabilità, presentano pendenze negative sempre molto pronunciate, soprattutto in primavera. Anche le curve delle medie mobili confermano, per grandi linee, quanto già detto a proposito dell'andamento annuale, anche se con qualche variazione come in primavera quando la tendenza alla diminuzione, diversamente dagli altri periodi, continua per tutto il periodo di osservazione. Per quanto riguarda la dispersione dei dati si riconoscono soltanto solo alcuni picchi, di non elevata entità, localizzati sopra tutto in autunno ed in inverno.

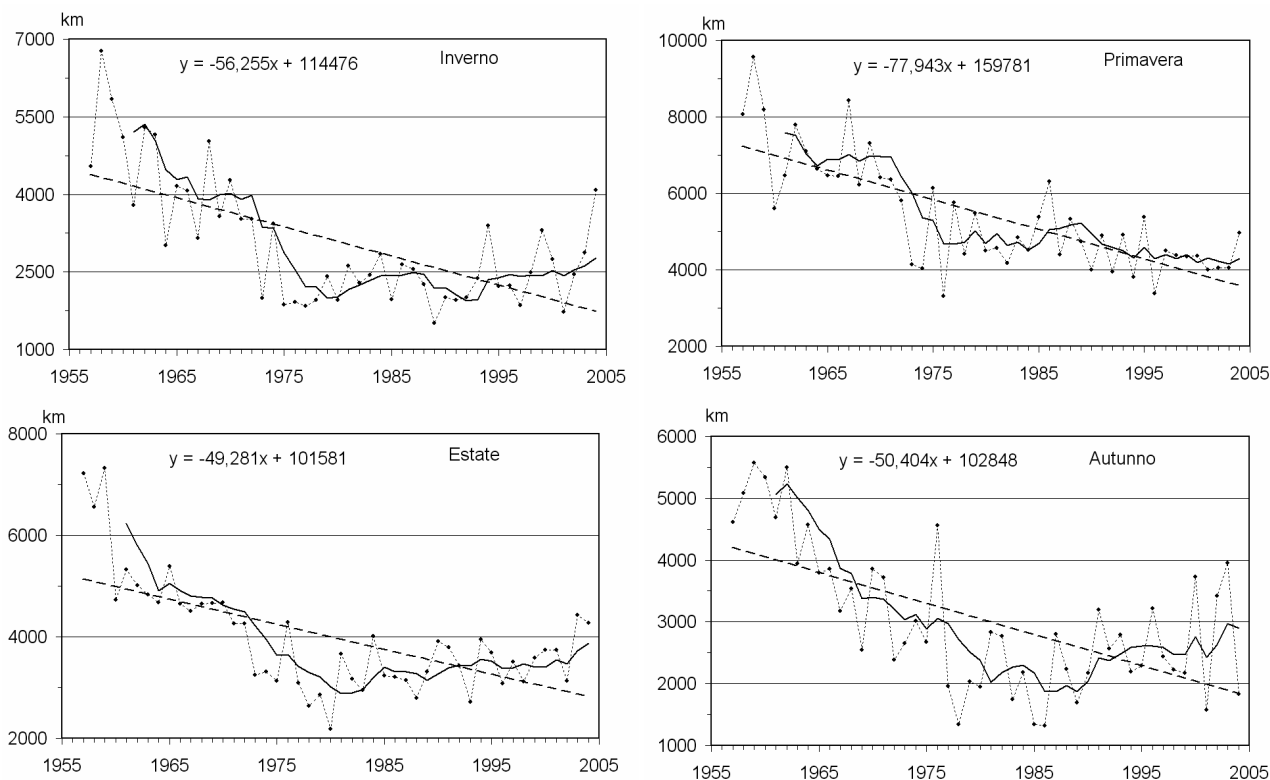
I valori medi, minimi e massimi dei percorsi stagionali del vento, come al solito accompagnati dall'informazione sugli anni in cui si sono verificati gli eventi, sono riportati nella tabella 9.1.

**Tab. 9.1.** Vento: valori medi ed estremi dei percorsi stagionali (km, in parentesi l'anno). Wind: mean and extreme seasonal values (km, in parenthesis the year).

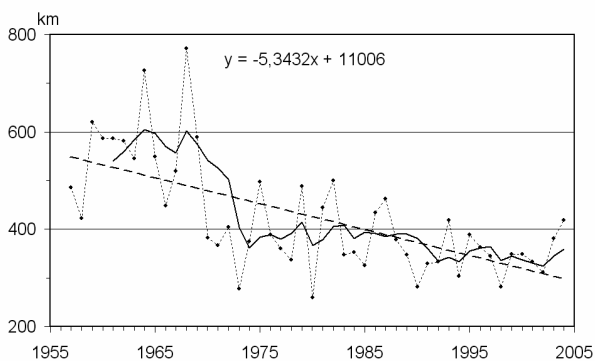
	Medie	min	Max
Inverno	3063	1512 (1989)	6769 (1958)
Primavera	5415	3316 (1976)	9564 (1958)
Estate	3980	2182 (1980)	7322 (1959)
Autunno	3023	1319 (1986)	5575 (1959)

### 9.5. Vento giornaliero: percorsi massimi (dati annuali)

Anche l'analisi dei massimi giornalieri del percorso del vento riscontrati anno dopo anno conferma la forte diminuzione che ha caratterizzato questo parametro nei 50 anni di osservazioni (Fig. 9.3). Secondo la retta di tendenza ( $R^2 = 0,44$ ), si è passati da un valore statistico di circa 550 km al giorno che caratterizzava l'inizio delle registrazioni, ai 300 km degli ultimi anni, una riduzione media cioè di circa 5 km all'anno.



**Fig. 9.2.** Vento: percorsi stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Seasonal wind runs (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).



**Fig. 9.3.** Vento giornaliero: percorsi massimi (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Daily wind: maximum runs (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

Come indicato dalla curva delle medie mobili, la diminuzione più consistente del vento giornaliero è avvenuta nei primi anni '70 (netta la caduta di circa 200 km tra il 1969 e il 1974), ma diversamente da quanto rilevato a proposito dei percorsi annuali e stagionali del vento, essa è proseguita fino al 2004 pur con un tasso di riduzione assai più contenuto. La dispersione dei dati, come è tipico per tutti quelli rilevati su base giornaliera, è invece più accentuata che non nei corrispondenti totali annui, sopra tutto per quanto attiene al primo decennio

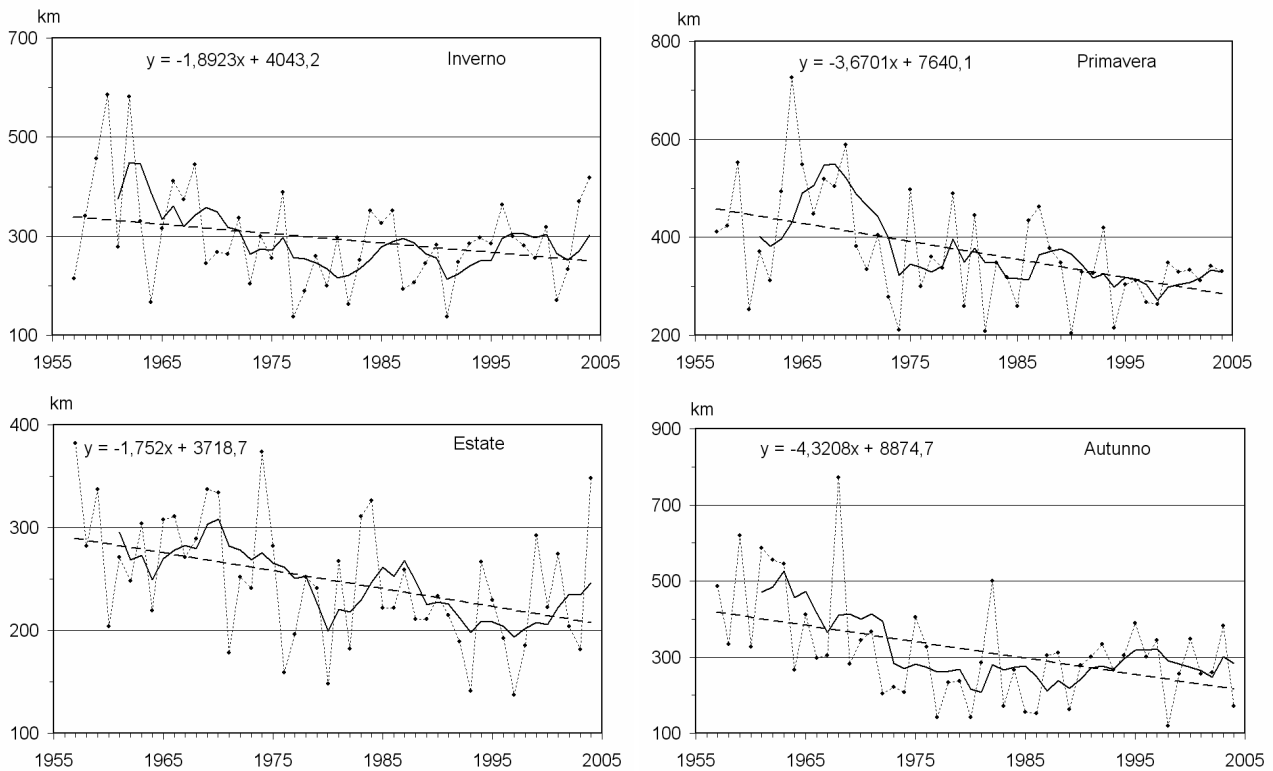
di osservazioni. La quantità di vento filato giornaliero è compresa fra 771 km, registrati il 2 novembre 1968, e i 259 km del 10 marzo 1980; la media è invece di 422,4 km.

#### 9.6. Vento giornaliero: percorsi massimi (dati stagionali)

Le elaborazioni storiche stagionali del percorso massimo del vento giornaliero confermano il dato già emerso dai dati annuali e cioè la loro sensibile variazione in senso negativo. Emergono tuttavia alcune differenze quantitative fra i singoli periodi stagionali (Fig. 9.4): la diminuzione è infatti di circa 200 km complessivi in autunno, di poco meno in primavera e di circa 100 km sia in inverno che in estate. La retta di tendenza primaverile è significativa con  $p=0,001$ , a livello inferiore sono l'autunnale e l'estiva ( $p=0,01$ ), e l'invernale ( $p=0,05$ ). Piuttosto irregolare è l'andamento delle curve delle medie mobili, non sempre conformi a quelle annuali, con la presenza di picchi, tanto positivi che negativi. I valori medi ed estremi dei percorsi massimi giornalieri sono riportati, con le date degli eventi, in tabella 9.2.

#### 9.7. Vento: raffiche massime (dati annuali)

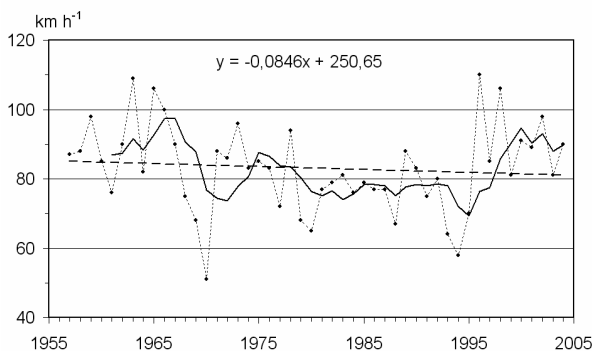
Rispetto ai dati presentati in precedenza e riguardanti altri aspetti del vento, le raffiche massime rilevate nel corso di ogni anno indicano soltanto un leggero decremento occorso nel periodo di osservazioni.



**Fig. 9.4.** Vento giornaliero: percorsi massimi (dati stagionali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Daily wind: maximum runs (seasonal data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

**Tab. 9.2.** Vento giornaliero: valori medi ed estremi stagionali dei percorsi massimi (km). *Daily wind: mean and extreme seasonal values of maximum run (km).*

	Medie	min	Max
Inverno	295	137 (1-dic-91)	586 (1-dic-60)
Primavera	371	204 (19-mar-90)	726 (19-mar-94)
Estate	249	137 (14-ago-97)	382 (17-giu-55)
Autunno	318	119 (2-nov-68)	771 (11-nov-98)

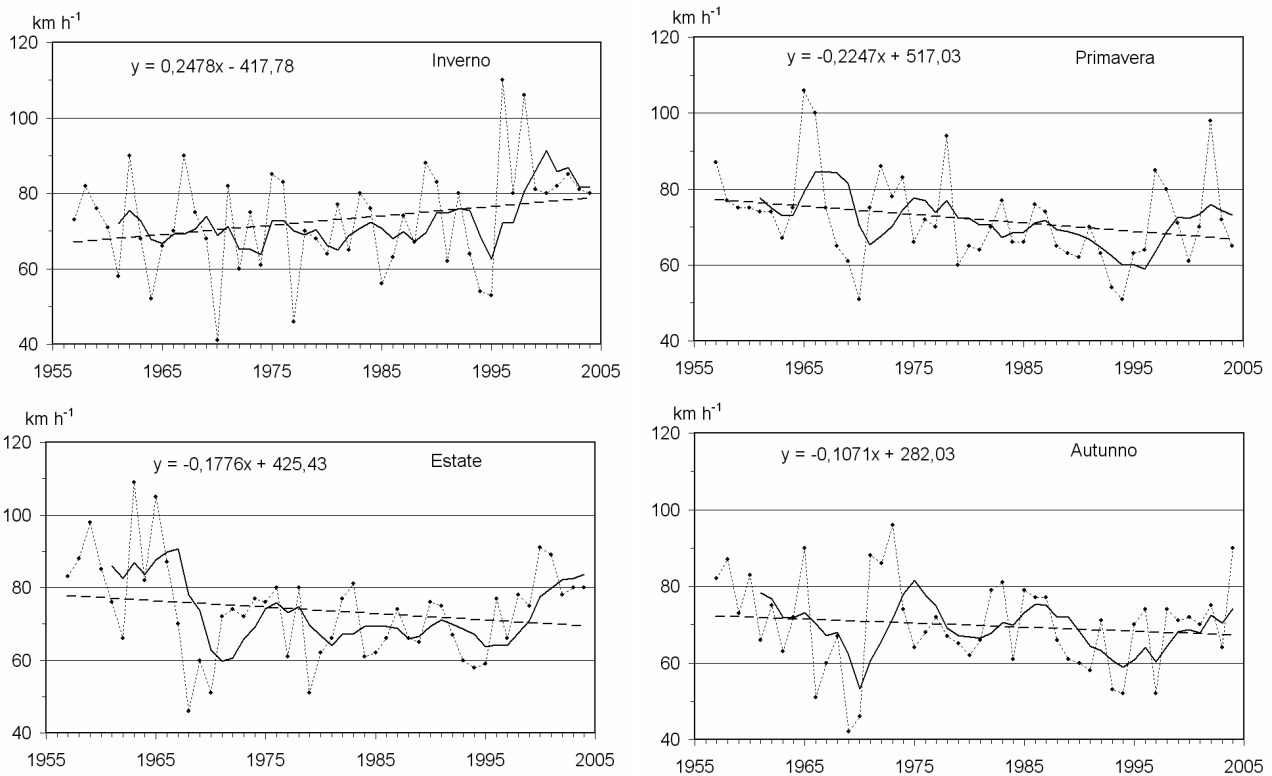


**Fig. 9.5.** Vento: raffiche massime annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Wind: annual maximum gusts (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Altra caratteristica delle raffiche massime è la loro estrema variabilità interannuale, con picchi assai pronunciati in ambedue i sensi, con la conseguente assoluta non significatività della retta di tendenza e la notevole articolazione della curva delle medie mobili (Fig. 9.5). La raffica massima più elevata è stata registrata il 17 febbraio 1996 ( $110 \text{ km h}^{-1}$ ), ma va rilevato che anche in altre occasioni è stata superata la velocità di  $100 \text{ km h}^{-1}$  ( $109 \text{ km h}^{-1}$  nel 1963 e  $106 \text{ km h}^{-1}$  sia nel 1965 che nel 1998). Viceversa, nel 1970 la velocità massima raggiunta è stata di soli  $51 \text{ km h}^{-1}$ .

#### 9.8. Vento: raffiche massime stagionali

In primavera ed in estate le raffiche massime sono risultate ancora una volta in fase di diminuzione anche se in misura non molto pronunciata; in autunno invece la tendenza al ribasso è stata appena accennata, mentre in inverno la situazione si è invertita e le raffiche massime del vento sono andate incrementando nel tempo di circa  $10 \text{ km h}^{-1}$  (Fig. 9.6). Scarsa o nulla la significatività delle rispettive rette di tendenza e molto irregolari sono le linee di lisciamiento dei dati originari ed elevate le loro oscillazioni attorno alle medie statistiche. La tabella 9.3 riporta le medie e gli estremi delle raffiche massime riscontrate in ogni singola stagione con le rispettive date di riferimento (a.d. = anni diversi).



**Fig. 9.6.** Vento: raffiche massime stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). Wind: seasonal maximum gusts (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).

**Tab. 9.3.** Raffica massima del vento: valori medi ed estremi stagionali ( $\text{km h}^{-1}$ , a.d. = anni diversi). Maximum gust: mean and extreme seasonal values ( $\text{km h}^{-1}$ , (a.d. several years).

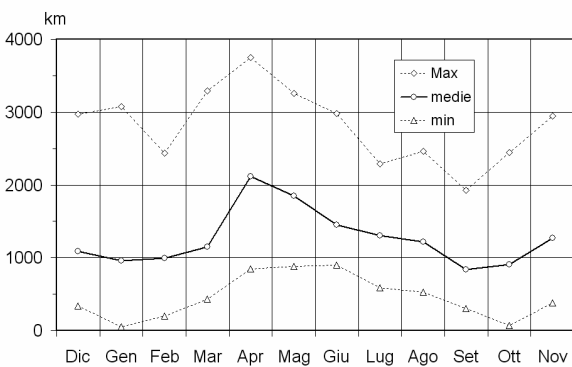
	Media	min	Max
Inverno	73	41 (23-feb-70)	110 (17-feb-96)
Primavera	72	51 (a.d.)	106 (10-mag-65)
Estate	73	46 (2-ago-68)	109 (6-ago-63)
Autunno	70	42 (18-set-69)	96 (27-nov-73)

sopra tutto nella serie dei massimi: le tre curve sono caratterizzate da una tipica doppia ciclicità con i massimi principali in aprile ed i secondari in novembre-dicembre, mentre i minimi si collocano in gennaio e nei mesi del primo autunno.

### 9.10. Vento: direzioni di provenienza

Nei paragrafi precedenti è stata verificata, per il periodo di osservazioni, la sensibile riduzione di intensità del vento, ma variazioni importanti sono intervenute anche nelle sue direzioni di provenienza. Nella figura 9.8 sono riportate le rose del vento riguardanti le situazioni medie riscontrate nei decenni che si sono susseguiti a partire dal 1957 fino agli otto anni conclusivi del periodo interessato e cioè dal 1997-2004. Si evidenzia in tal modo il progressivo spostamento della direzione prevalente di provenienza del vento dai quadranti settentrionali, inizialmente collocata su NW con oltre il 25% dei casi e poi ruotata su WNW, con la stessa percentuale di frequenza.

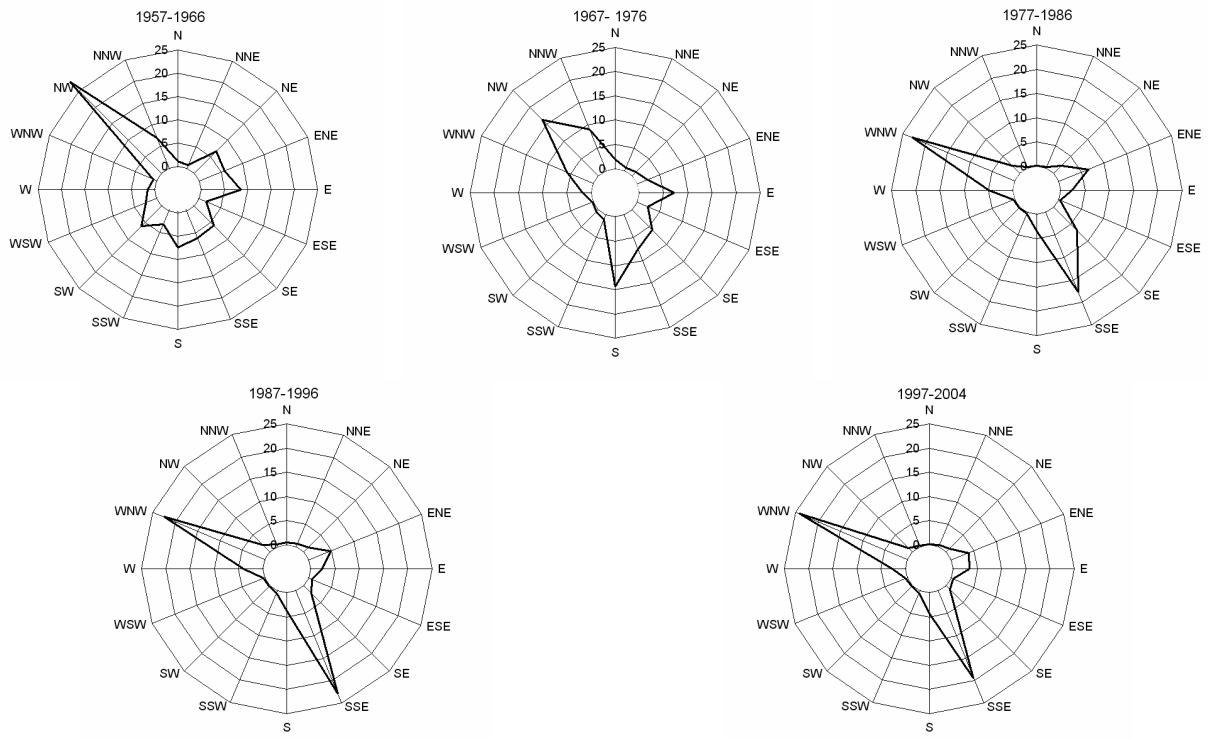
Anche le provenienze meridionali hanno visto alcuni variazioni: sono infatti passate da una distribuzione compresa fra le direzioni SW e SE (circa il 5% per ciascuna di esse) che hanno caratterizzato il primo decennio, a quella prevalente da S (quasi il 15% dei casi) negli anni 1967-1976; successivamente è prevalsa nettamente la direzione da SSE con frequenze comprese fra il 20 ed il 25%. Dai quadranti orientali è presente anche la provenienza da ENE, per altro con valori percentuali intorno al 5%.



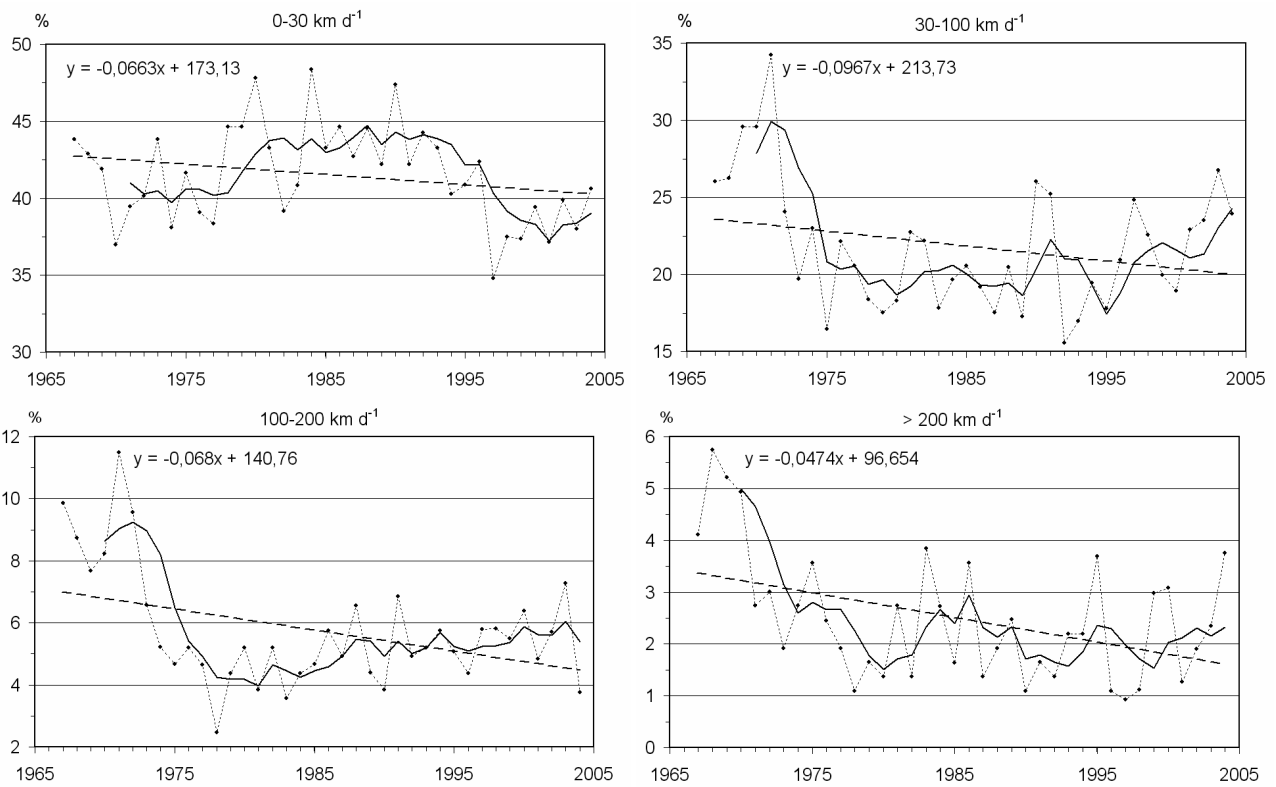
**Fig. 9.7.** Regimi mensili del percorso del vento. Monthly wind run regimes.

### 9.9. Regime mensile del percorso del vento

Le distribuzioni nell'arco dell'anno delle quantità massime, medie e minime di vento filato (Fig. 9.7) mostrano andamenti simili, anche se non manca qualche irregolarità



**Fig. 9.8.** Rose dei venti (provenienze): medie decennali. *Wind roses (directions): ten-year means.*



**Fig. 9.9.** Vento giornaliero: percentuali di presenze nelle classi d'intensità (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Daily wind: percent of presence in intensity classes.*



9.11. Distribuzione del vento in classi di intensità

Va premesso che l'elaborazione del vento in classi di intensità ha avuto inizio nel 1967 e pertanto tutte le considerazioni statistiche vanno riferite ad un periodo di tempo inferiore rispetto a quello degli altri aspetti di questo elemento del clima trattati in precedenza. Secondo lo schema consueto delle serie storiche sono stati costruiti i grafici che raccolgono le frequenze percentuali del vento (Fig. 9.9) distribuite in alcune classi di intensità: (0-30; 30-100; 100-200 e superiore a 200 km d<sup>-1</sup>). Delle rispettive rette di tendenza solo quelle delle due classi a più elevata intensità sono significative (rispettivamente a p=0,01 e a p=0,02). Da rilevare che tutte le classi di intensità sono in diminuzione con una tendenza più elevata per quelle 0-30 e 30-100 km d<sup>-1</sup>.

Fatta eccezione per la prima classe, le altre tre evidenziano una dispersione dei dati piuttosto elevata, ed anche le curve delle medie mobili si presentano molto articolate; si noti come queste ultime mostrino una netta caduta di frequenza prima del 1980, per poi tornare ad aumentare negli anni successivi. Nella tabella 9.4 sono riportate le frequenze medie, massime e minime che hanno caratterizzato ciascuna delle quattro classi d'intensità del vento.

Tab. 9.4. Classi di intensità del vento: frequenze medie ed estreme (% in parentesi l'anno). *Wind intensity classes: mean and extreme frequencies (% in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
0-30 km d <sup>-1</sup>	40,9	37,0 (1970)	48,4 (1984)
30-100 km d <sup>-1</sup>	24,6	15,6 (1992)	34,3 (1977)
100-200 km d <sup>-1</sup>	7,1	2,5 (1979)	11,5 (1971)
>200 km d <sup>-1</sup>	3,2	1,1 (1978)	5,7 (1968)

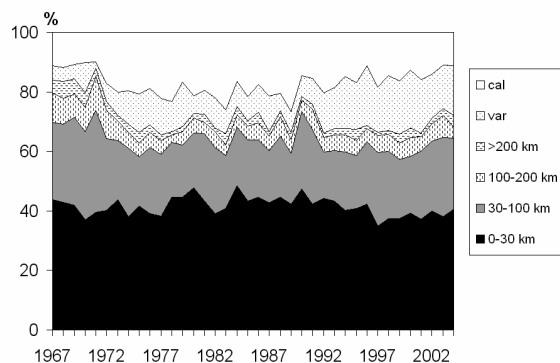


Fig. 9.10. Vento giornaliero: distribuzione percentuale in classi d'intensità, calme e variabili. *Daily wind: percent distribution in intensity classes, calms and variables.*

È possibile anche una suddivisione più dettagliata del vento giornaliero separando la classe a più elevata intensità introducendo quelle tra 200 e 300 km d<sup>-1</sup> e > 300 km d<sup>-1</sup> e tenendo conto anche sia dei giorni di calma assoluta che di quelli caratterizzati da estrema variabilità. Mentre si rimanda alla loro distribuzione percentuale rappresentata in figura 9.10 si ricorda che la per-

centuale media delle giornate di calma è stata del 12,2% mentre quelle con vento variabile sono state percentualmente inferiori (9,9%).

10. LIVELLO DEL LAGO MAGGIORE (LAKE LEVEL)

10.1. Generalità

Il Lago Maggiore è un bacino naturale sottoposto a regolazione idraulica attraverso una diga a paratie mobili costruita al suo incile (località Miorina nel Comune di Sesto Calende). Le operazioni di livellamento allo sbarramento sono state regolamentate da un'apposita convenzione stipulata fra Italia e Svizzera, le due nazioni alle quali appartiene il lago ed il suo bacino, che ne stabilisce tempi e modalità: in linea di massima, l'emunzione di acqua destinata alle utenze agricole di valle si effettua per lo più dalla primavera al primo autunno, mentre durante l'intero ciclo annuale si soddisfano anche le richieste connesse alla produzione di energia elettrica delle centrali dislocate lungo il corso del Ticino emissario. La ritenzione d'acqua nella conca lacustre, oltre che nei momenti di maggior invaso, è quindi prevista sopra tutto nei mesi invernali.

Da rilevare che il bilancio idrologico del lago è influenzato anche dalle regolazioni idrauliche dei numerosi bacini artificiali presenti nell'areale imbrifero costruiti per lo più con finalità idroelettriche; questi invasi hanno una capacità potenziale complessiva di oltre 550 milioni di metri cubi. La loro gestione tanto in termini di quantità di acqua trattenuta o rilasciata, quanto per il momento nel quale vengono effettuate le operazioni, è demandata ai responsabili della produzione di energia elettrica, salvo interventi di autorità superiori per lo più connessi ad episodi di siccità o di alluvioni nei territori a valle.

10.2. Strumentazione utilizzata

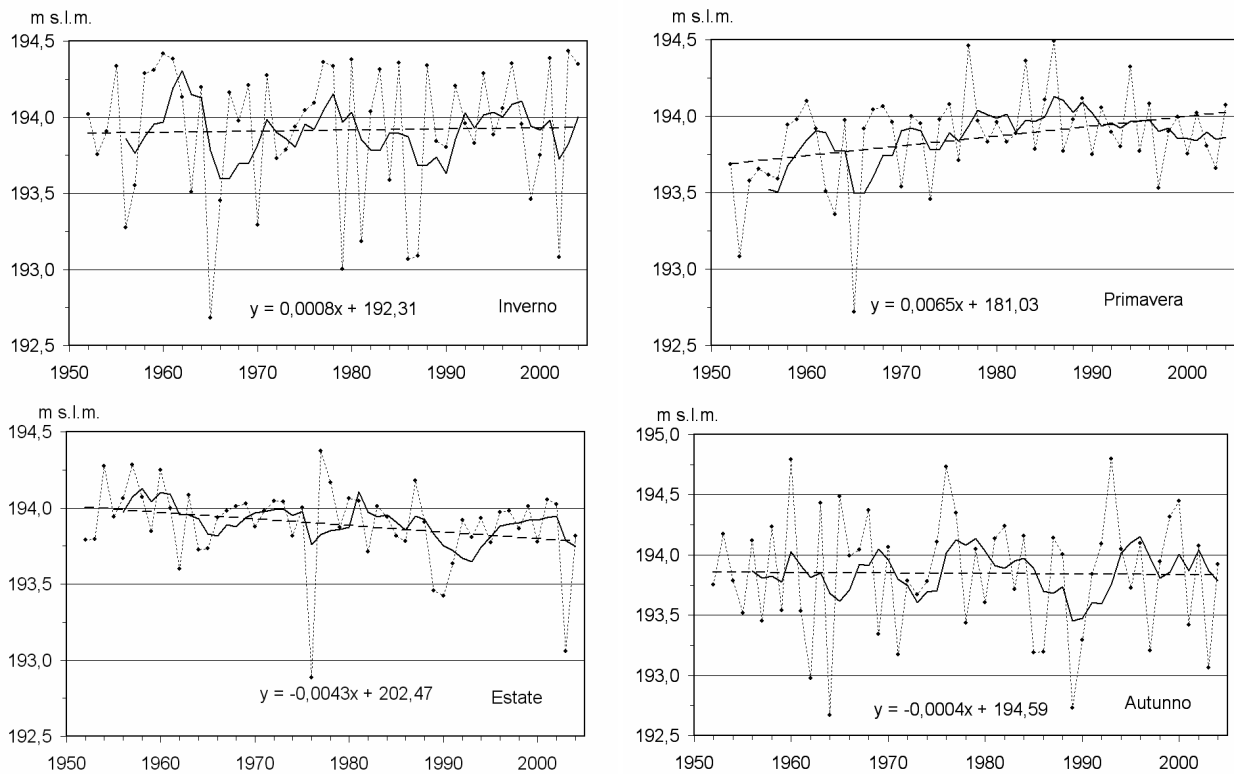
La raccolta dei dati di livello del Lago Maggiore è cominciata a Pallanza nel 1952, inizialmente con la lettura diretta sull'asta idrometrica posta nella darsena dell'Istituto alle ore 12 di ogni giorno.

Dal marzo 1957 è stato messo in funzione il tele-idrometrografo modello IDE 506 di costruzione SIAP, con registrazione su carta, mentre dal 1993 è in opera il profondimetro PLM 20 della CAE, un idrometro a pressione con uscita di un segnale elettrico direttamente tarato in altezza idrometrica.

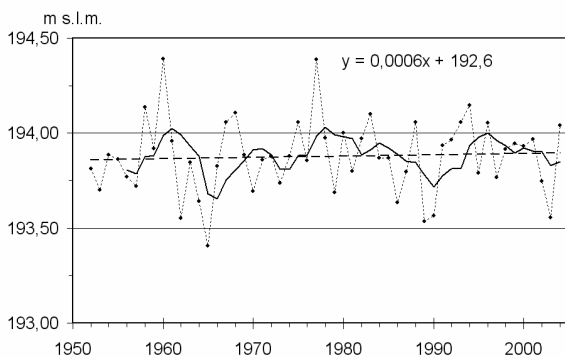
Tutti i dati che saranno qui presentati fanno riferimento all'altezza in metri sul livello medio del mare.

10.3. Livello del lago: medie annuali

Il consueto grafico delle serie storiche riportato in figura 10.1 si riferisce alle altezze idrometriche medie annue rilevate durante il periodo d'osservazioni.



**Fig. 10.2.** Livello del lago: medie stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: seasonal means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 10.1.** Livello del lago: medie annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: annual means (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

La sua caratteristica più evidente è la quasi perfetta orizzontalità della retta di tendenza intorno alla quale è molto elevata la dispersione dei singoli dati, tanto da porla totalmente al di fuori dei limiti di significatività.

Anche l'andamento irregolare della curva delle medie mobili, caratterizzata da evidenti fluttuazioni, risente della presenza nella serie dei dati originari di numerose picchi che alternano valori elevati ad altri molto contenuti come conseguenza del succedersi di anni con forte afflusso meteorico con altri prevalentemente siccitosi.

Il valore più elevato delle medie idrometriche annuali è stato riscontrato sia nel 1960 che nel 1977 con 194,39 m s.l.m., mentre quello più basso risale al 1965 (193,41 m s.l.m.). La media pluriennale, infine, risulta di 193,88 m s.l.m.

#### 10.4. Livello del lago: medie stagionali

Fra le rette tendenziali delle medie stagionali del livello del Lago Maggiore (Fig. 10.2) sono evidenti alcune differenze che caratterizzano i singoli periodi: sono stabili nel tempo quelle invernali e autunnali (ambidue con valori di poco superiori a 193,90 m s.l.m.), mentre netta è l'incremento della linea primaverile, con un aumento di circa 35 cm, e altrettanto netta è la riduzione riscontrata in estate, anche se d'entità inferiore alla precedente (intorno ai 25 cm). Nessuna fra le rette di tendenza è però è statisticamente significativa.

Fatta eccezione per l'estate, e in subordine anche per la primavera, nelle altre due stagioni sono presenti molti picchi, diretti sia verso l'alto che verso il basso, che determinano un'elevata dispersione dei dati in ambedue i sensi. Nella stagione fredda, invece, ci sono solo picchi diretti verso il basso a causa sia della minore quantità di acqua di provenienza meteorica che caratterizza questi mesi, sia per la prevalenza fra queste ultime delle precipitazioni nevose su un bacino imbrifero caratterizzato da un'elevata altitudine media (circa 1270 m), sia ancora per effetto della regolazione del lago che in questa stagione è orientata al

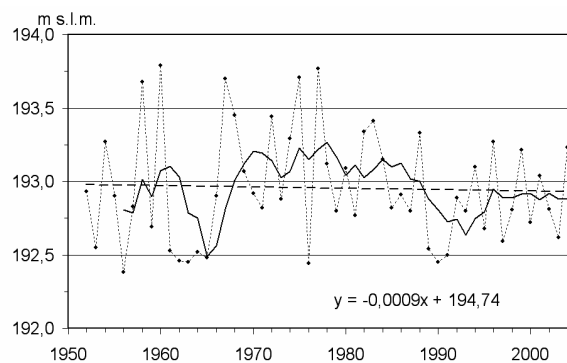
trattenimento dell'acqua. La dispersione dei dati influisce anche sulla regolarità delle curve delle medie mobili, che presentano numerose fluttuazioni. I livelli medi, minimi e massimi stagionali sono riportati in tabella 10.1.

**Tab. 10.1.** Livello medio del lago: valori medi ed estremi stagionali ( m s.l.m., in parentesi l'anno). *Mean level of lake: mean and extreme seasonal values ( m a.s.l., in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	193,91	192,68 (1965)	194,44 (2003)
Primavera	193,86	192,72 (1965)	194,49 (1986)
Estate	193,89	192,89 (1976)	194,37 (1977)
Autunno	193,84	192,67 (1964)	194,80 (1993)

10.5. Livello del lago: minimi annuali

La caratteristica più importante evidenziata della serie storica dei livelli minimi annuali del Lago Maggiore (Fig. 10.3) è la quasi perfetta orizzontalità della retta di tendenza su valori poco inferiori alla quota idrometrica di 193 m s.l.m.; tuttavia va segnalata la estrema variabilità dei singoli dati annuali, che rende conto anche della non significatività della retta. La curva delle medie mobili individua anche due periodi di evidente crisi idrica del lago: il più pronunciato occorso nella prima metà degli anni '60 a seguito di una serie di minimi annuali con valori attorno ai 192,5 m s.l.m., ed un secondo, collocato a cavallo del 1990, che ha visto tre anni consecutivi di minimi dello stesso valore dei precedenti.

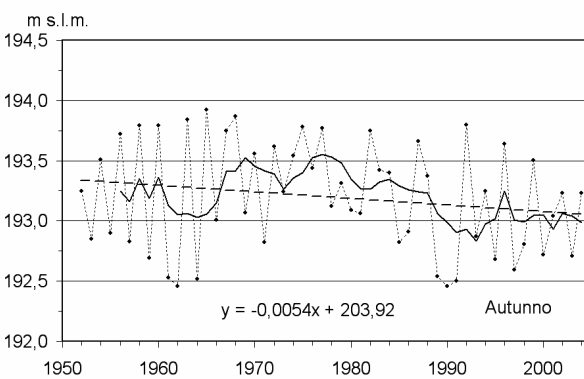
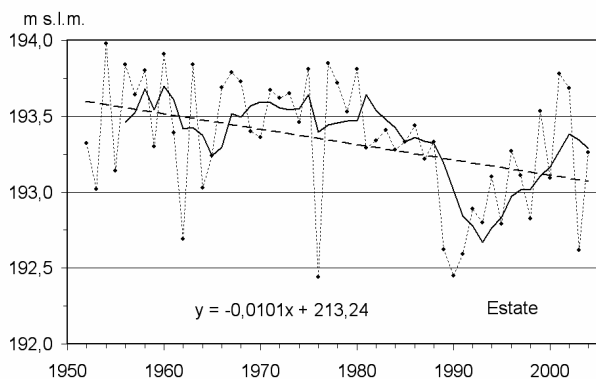
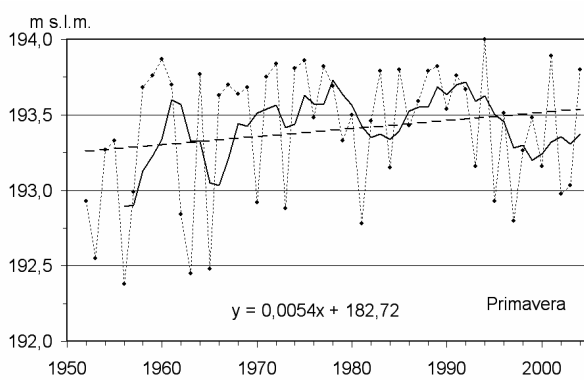
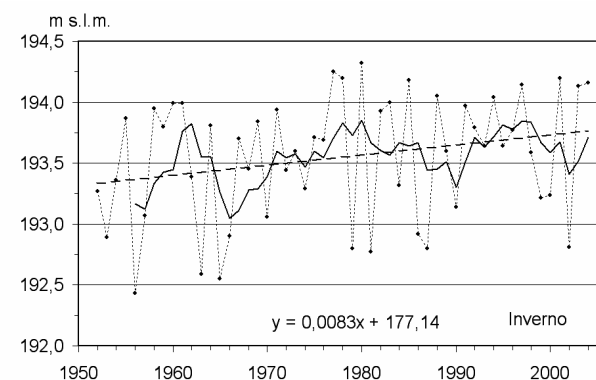


**Fig. 10.3.** Livello del lago: minimi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: annual minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Il livello più basso in assoluto è stato raggiunto dal lago il 18 marzo 1956 con 192,38 m s.l.m., mentre, sempre fra i minimi annuali, la quota più elevata è stata registrata il 4 settembre 1960 (193,79 m s.l.m.). Il loro valore medio risulta di 192,96 m s.l.m.

10.6. Livello del lago: minimi stagionali

Nel corso dell'intero periodo d'osservazioni le prime due stagioni dell'anno hanno visto i livelli minimi del lago in costante incremento, situazione che si è completamente rovesciata in estate ed in autunno (Fig. 10.4). Le rette tendenziali hanno pendenze quasi simili, indipendentemente però dal segno del parametro angolare, e portano ad una variazione fra l'inizio e la fine del



**Fig. 10.4.** Livello del lago: minimi stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: seasonal minima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

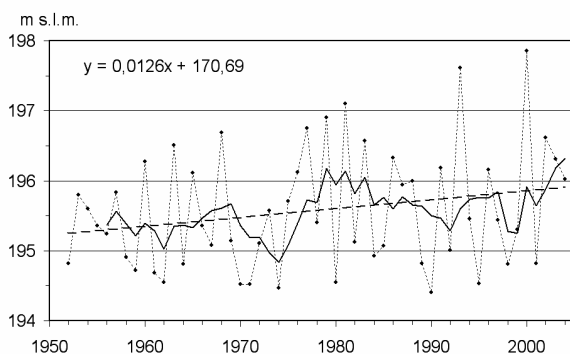
periodo interessato di circa 40 cm in inverno e di 25-30 cm negli altri tre periodi stagionali: l'estiva ha  $p=0,01$ , l'invernale  $p=0,1$  mentre non sono significative negli altri due periodi. Le dispersioni dei dati attorno ai rispettivi elementi statistici sono molto elevate per le frequenti e consistenti variazioni interannuali delle quote idrometriche dei livelli lacustri. Grandi irregolarità presentano anche le curve di lisciamento ricavate con le medie mobili. I valori estremi e medi registrati in ogni singola stagione sono raccolti nella tabella 10.2, unitamente alle date dei singoli eventi. I livelli minimi sovente persistono per più giorni consecutivi per effetto del ristagno che caratterizza le quote più basse dopo una fase di lenta diminuzione dei livelli.

**Tab. 10.2.** Livello minimo del lago: valori medi ed estremi stagionali (m s.l.m., in parentesi l'anno). *Minimum level of lake: mean and extreme seasonal values (m a.s.l., in parenthesis the year).*

	Medie	min	Max
Inverno	193,55	192,43 (g.d.)	194,32 (g.d.)
Primavera	193,40	192,38 (18-mar-56)	194,00 (11-apr-94)
Estate	193,33	192,44 (9-ago-76)	193,98 (2-ago-54)
Autunno	193,20	192,46 (g.d.)	193,92 (g.d.)

### 10.7. Livello del lago: massimi annuali

La caratteristica più importante evidenziata dalla curva relativa a questo aspetto dei livelli lacustri è rappresentata dalla estrema variabilità dei dati con frequente presenza di picchi positivi, ad indicare le numerose piene del lago al di sopra della quota di 195,5 m s.l.m., alternati ad anni dove questo processo non si manifesta affatto (Fig. 10.5).



**Fig. 10.5.** Livello del lago: massimi annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: annual maxima (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Molto evidente è la tendenza all'incremento dei livelli massimi annuali con il valore della regressione che è aumentato di circa 70 cm nel cinquantennio di osservazioni anche se occorre tener presente che la retta

di tendenza è al di fuori di alcun livello di significatività statistica. La linea delle medie mobili individua un periodo con assenza di livelli elevati concentrato nella prima parte del decennio 1970 seguito, a cavallo del 1980, da una sequenza di anni caratterizzati da quote idrometriche elevate: la presenza di due episodi di piena nel 1993 e nel 2000 ha portato il livello del lago a superare, a pochi anni di distanza uno dall'altro, la quota massima degli ultimi 120 anni.

Il livello massimo assoluto (197,86 m s.l.m.) è stato raggiunto il 17 ottobre 2000 mentre il 14 ottobre 1993 si erano toccati 197,61 m s.l.m. Fra i massimi annuali il più basso è stato di 194,40 (17 novembre 1990) e la loro media è di 195,58 m s.l.m.

### 10.8. Livello del lago: massimi stagionali

Le quattro linee di tendenza stagionali dei livelli massimi stagionali presentano pendenza fra loro diverse: sono quasi orizzontali in inverno, in leggera ascesa in primavera, in diminuzione, altrettanto modesta, in estate e con una chiara tendenza all'aumento in autunno (Fig. 10.6). Tutte le rette sono però al di fuori di ogni limite di significatività. Fatta eccezione per un unico picco verso l'alto (196,31 m s.l.m.), registrato per altro il 1 dicembre 2003, i dati invernali presentano un generale appiattimento sulla quota di m 194,50 s.l.m., rispondendo in ciò alla regolazione di valle che tende in questo periodo alla ritenzione dell'acqua nel lago.

Molto più irregolare è la dispersione dei dati nelle altre tre stagioni, sopra tutto in autunno, periodo con più accentuate escursioni delle quote idrometriche. Ne consegue, per le curve delle medie mobili, un andamento generale con molte irregolarità e senza che tra di loro sussista alcun allineamento in fase. I loro valori medi, minimi e massimi sono presentati nella tabella 10.3, con l'indicazione dei giorni in cui si sono verificati gli eventi estremi.

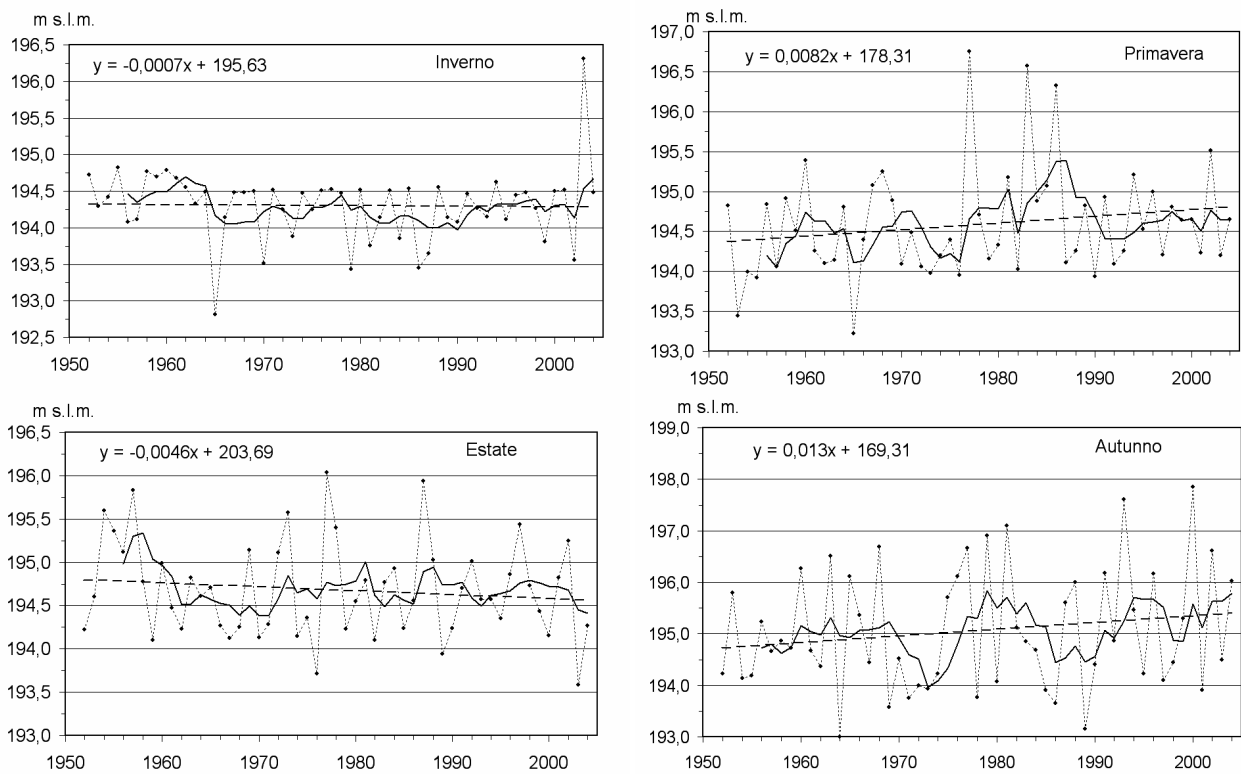
**Tab. 10.3.** Livello massimo del lago: valori medi ed estremi stagionali (m s.l.m., g.d. = giorni diversi). *Maximum level of lake: mean and extreme seasonal values (m a.s.l., g.d. = several days).*

	Medie	min	Max
Inverno	194,31	192,81 (g.d.)	196,31 (1-dic-03)
Primavera	194,59	193,22 (31-mag-65)	196,75 (5-mag-77)
Estate	194,48	193,59 (6-giu-03)	196,04 (31-ago-77)
Autunno	195,05	193,00 (1-set-64)	197,86 (17-ott-00)

### 10.9. Regimi mensili del livello del lago

Nella figura 10.7 sono rappresentati, nell'ordine, i regimi mensili dei livelli massimi assoluti, delle medie dei massimi mensili, delle medie generali, delle medie dei minimi e dei minimi assolute.

L'andamento nel corso del ciclo annuale delle prime due curve evidenzia la presenza di una netta doppia ciclicità, con il massimo principale in ottobre ed il secondario in maggio, mentre i minimi si verificano nel tardo

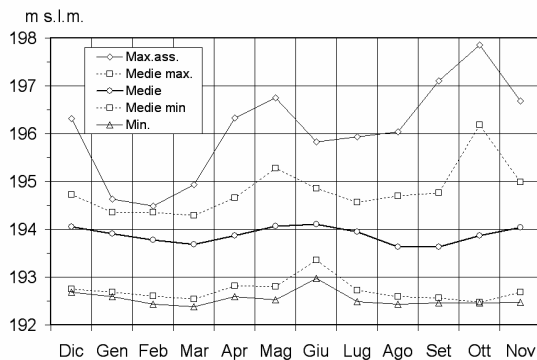


**Fig. 10.6.** Livello del lago: valori stagionali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: seasonal values (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

inverno (il principale) ed in estate. Per quanto attiene alla curva delle medie generali, la doppia ciclicità è ancora presente con i massimi, quasi livellati, collocati rispettivamente a fine primavera-inizio estate e nel tardo autunno-inizio inverno; anche i minimi hanno valori quasi uguali e si manifestano in marzo e a fine estate. Le due spezzate che riguardano i minimi hanno un andamento quasi parallelo e mostrano un solo massimo, molto ben evidenziato, in giugno.

livello: soggetto com'è all'impatto di un bacino versante di circa 6.600 km<sup>2</sup>, collocato in una zona caratterizzata da elevate precipitazioni, alternate anche a lunghi periodi siccitosi, il bacino lacustre reagisce incrementando la sua quota idrometrica non riuscendo a smaltire con immediatezza l'afflusso d'acqua a causa della strozzatura presente al suo incile.

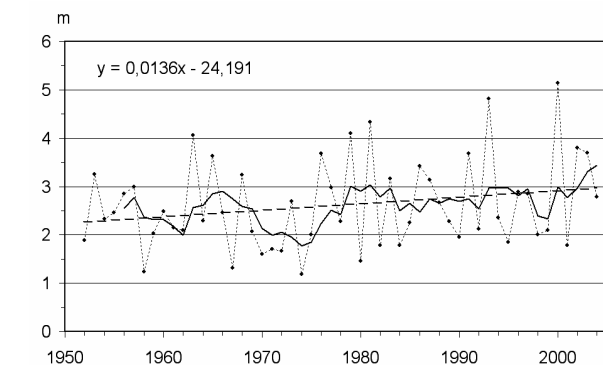
Le escursioni massime annuali dei livelli sono incrementate nel corso degli ultimi cinquanta anni di circa 70 cm; la retta di tendenza non è comunque statisticamente significativa (Fig. 10.8).



**Fig. 10.7.** Regimi mensili del livello del lago. *Monthly regimes of lake level.*

10.10. Livello del lago: escursioni massime annuali

Uno dei problemi idrologici più importanti del Lago Maggiore è rappresentato dalle forti escursioni del suo



**Fig. 10.8.** Livello del lago: escursioni massime annuali (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: annual maximum excursions (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

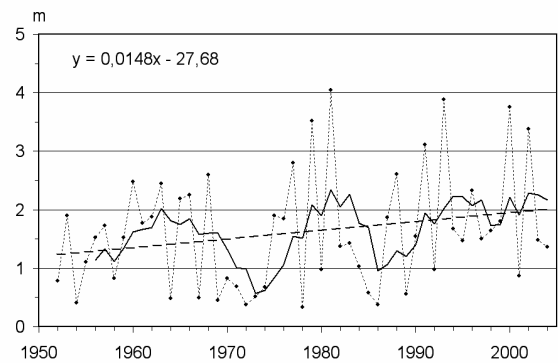
La variabilità interannuale dei dati è infatti molto accentuata, come del resto già sottolineato nel commento ai livelli minimi e massimi. Non a caso le due escursioni più elevate sono relative agli anni 2000 (m 5,14) e 1993 (m 4,81) nel corso dei quali, come si è visto, si sono verificate le ultime due piene secolari. Il valore minimo fra le escursioni massime annuali, è quello registrato nel 1974 ed è pari a m 1,18, mentre la media dell'intero periodo è di m 2,62.

#### 10.11. Livello del lago: escursioni massime mensili (dati annuali)

La serie storica inerente alle massime escursioni mensili dei livelli del lago registrate nel corso di ciascun anno (Fig.10.9) mostra un progressivo incremento di questo particolare aspetto dell'idraulica lacustre.

La retta di tendenza, significativa solo al livello più basso ( $p=0,1$ ), indica in quasi 90 cm l'incremento statistico nel corso dei 50 anni considerati e la curva delle medie mobili presenta una serie di almeno tre cicli i cui cavi, di entità sempre minore, sono centrati nei primi anni '70, a metà degli '80 e alla fine di quelli '90.

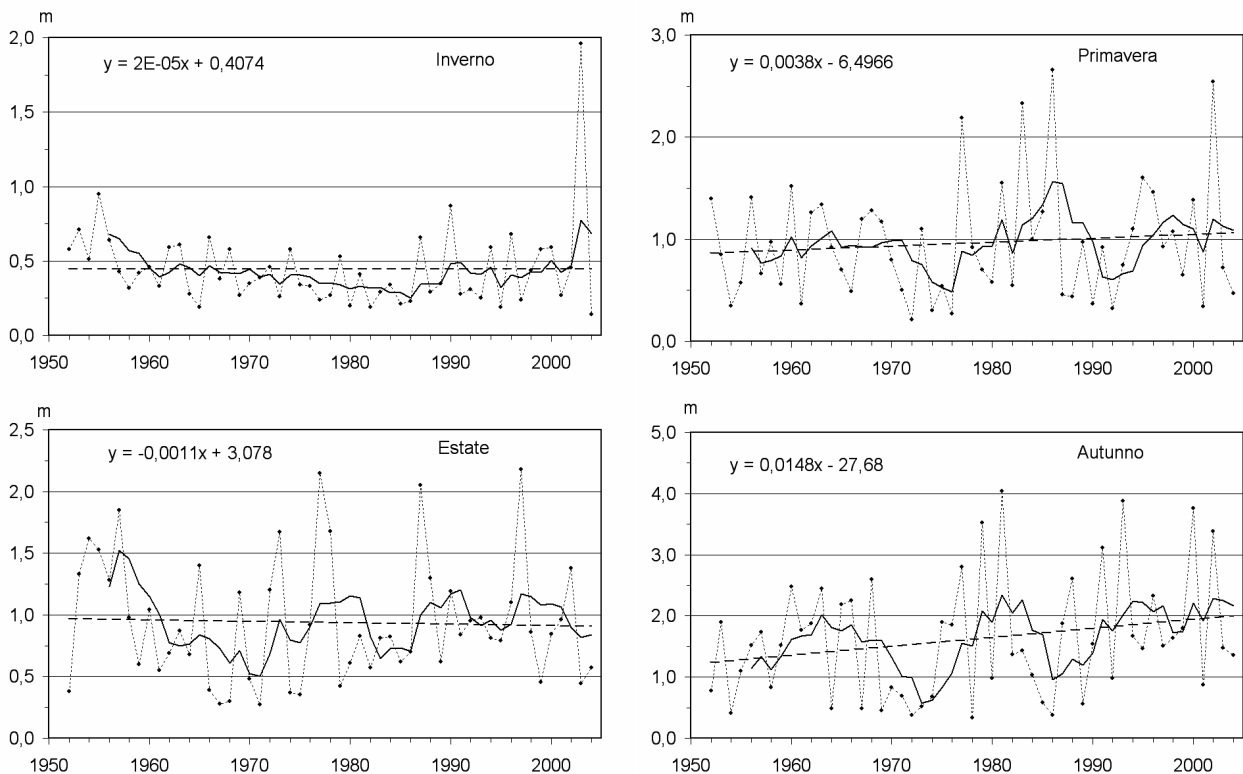
Con altrettanta evidenza si pone l'elevata dispersione dei dati, con frequenti alternanze di valori elevati e bassi. I loro valori estremi sono il massimo di m 4,04 del novembre 1981 ed il minimo di m 0,33 registrato nel settembre 1978; la media interannuale è stata calcolata in m 1,88.



**Fig. 10.9.** Livello del lago: escursioni massime mensili (dati annuali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: monthly maximum excursions (annual data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

#### 10.12. Livello del lago: escursioni massime mensili (dati stagionali)

Le serie storiche stagionali delle escursioni massime mensili (Fig. 10.10) presentano caratteristiche fra loro differenti; in particolare la retta di tendenza in estate è diretta verso una debole diminuzione dei valori (poco più di 10 cm in 50 anni), in primavera presenta un leggero incremento dello stesso ordine di grandezza, offre una sostanziale stabilità in inverno ed in autunno ha una



**Fig. 10.10.** Livello del lago: escursioni massime mensili (dati stagionali) (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: monthly maximum excursions (seasonal data) (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

più decisa tendenza all'aumento (circa 30 cm). Le rette di regressione non sono, per altro, significative fatta eccezione per quella autunnale che però raggiunge solo il livello di probabilità  $p=0,1$ .

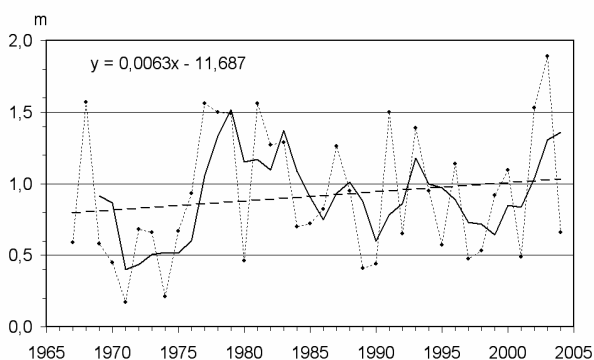
Quanto alle dispersione dei dati, nella stagione invernale la situazione è di un loro contenimento generalizzato con un solo isolato ma consistente picco verso l'alto nel 2003, conseguenza della piena eccezionale che aveva caratterizzato l'autunno precedente; in primavera ed in estate invece sono presenti frequenti punte estreme, sopra tutto in senso positivo, aspetto quest'ultimo largamente diffuso anche in autunno. In primavera ed in autunno le linee delle medie mobili seguono abbastanza fedelmente l'andamento descritto a proposito delle escursioni annuali, mentre nelle restanti due stagioni esse presentano una maggiore regolarità. Le escursioni medie, massime e minime mensili riscontrate in ognuno dei quattro periodi stagionali si possono leggere nella tabella 10.4.

**Tab. 10.4.** Escursioni massime mensili del livello del lago: valori medi ed estremi stagionali (m s.l.m.). *Level of lake: mean and extreme seasonal values of maximum monthly excursions (m a.s.l.).*

	Medie	min	Max
Inverno	0,45	0,14 (feb-04)	1,96 (dic-03)
Primavera	0,96	0,21 (apr-72)	2,66 (apr-86)
Estate	0,94	0,27 (giu-71)	2,18 (ago-97)
Autunno	1,62	0,33 (set-78)	4,04 (set-81)

**10.13. Livello del lago: escursioni massime giornaliere**

Per le caratteristiche morfologiche ed idrologiche del bacino versante e della conca del Lago Maggiore, il suo livello può aumentare sensibilmente anche nel breve volgere di 24 ore. È quanto si evince anche dall'esame della figura 10.11 dove è rappresentata la serie storica delle escursioni massime giornaliere dei livelli lacustri, limitata per altro agli anni dal 1967 al 2004: la retta di tendenza, tuttavia, non è statisticamente significativa.



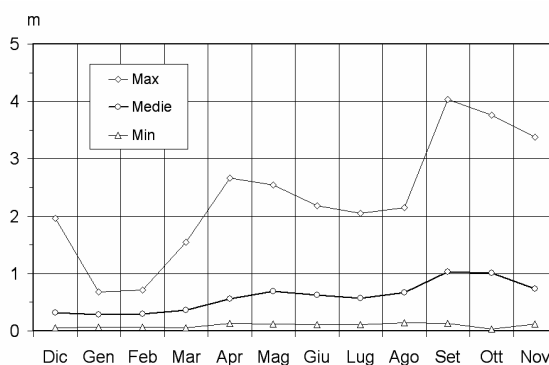
**Fig. 10.11.** Livello del lago: escursioni massime giornaliere (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake level: daily maximum excursions (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Grande è la variabilità interannuale di questo tipo di dati, con la conseguente forte irregolarità della curva delle medie mobili, mentre la retta di tendenza suggerisce il loro progressivo incremento dell'ordine di 25 cm nel corso degli anni di osservazione.

La massima escursione in 24 ore è stata di m 1,89 (30 novembre – 1 dicembre 2003), mentre la minima, sempre fra questi valori massimi, è stata di m 0,17 (21-22 marzo 1971) e la media fra tutti i valori annuali è invece di m 0,91.

**10.14. Regimi mensili delle escursioni del livello del lago**

La distribuzione nel corso dell'anno delle escursioni massime, medie e minime mensili, cioè i loro rispettivi regimi, è riportata in figura 10.12. È chiara la presenza di un doppio ciclo annuale dei valori più elevati con il massimo in settembre, un secondo picco in aprile ed i due minimi, molto ben differenziati tra di loro, in inverno ed in luglio. La stessa doppia ciclicità è presente nei dati medi, anche se con ampiezza molto più contenuta, mentre le escursioni minime sono ovviamente quasi tutte livellate su quote di qualche centimetro.



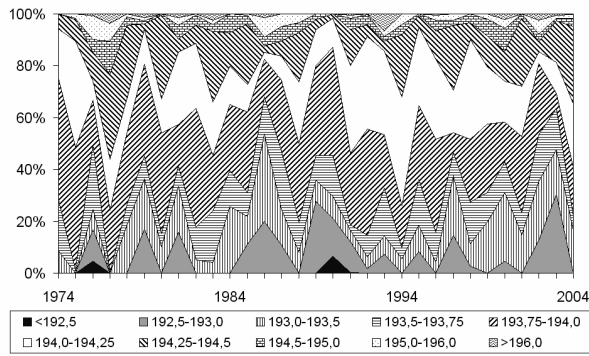
**Fig. 10.12.** Regimi mensili delle escursioni del livello del lago. *Monthly regimes of lake level excursions.*

**10.15. Distribuzione percentuale del livello del lago in classi della scala idrometrica**

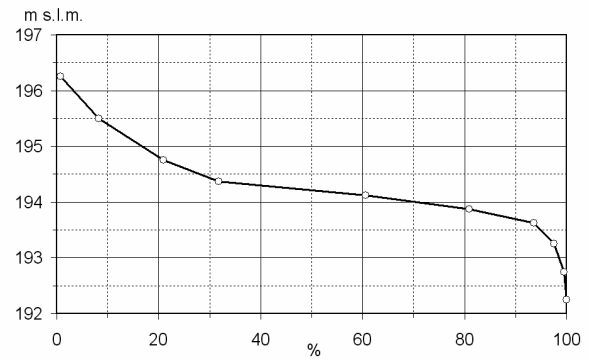
L'osservazione della figura 10.13 in cui è configurata, per gli anni dal 1967 al 2004, la distribuzione percentuale dei livelli del Lago Maggiore in alcune classi della scala idrometrica, consente di constatare la grande variabilità interannuale di detti valori, in tutte le classi individuate. Quanto alla presenza delle varie classi, in termini percentuali predominano ovviamente quelle centrali della scala idrometrica, rappresentanti cioè la situazione idrometrica più usuale del lago, ma anche in questi casi la variabilità interannuale è molto accentuata.

**10.16. Livello del lago: curva delle durate (permanenze)**

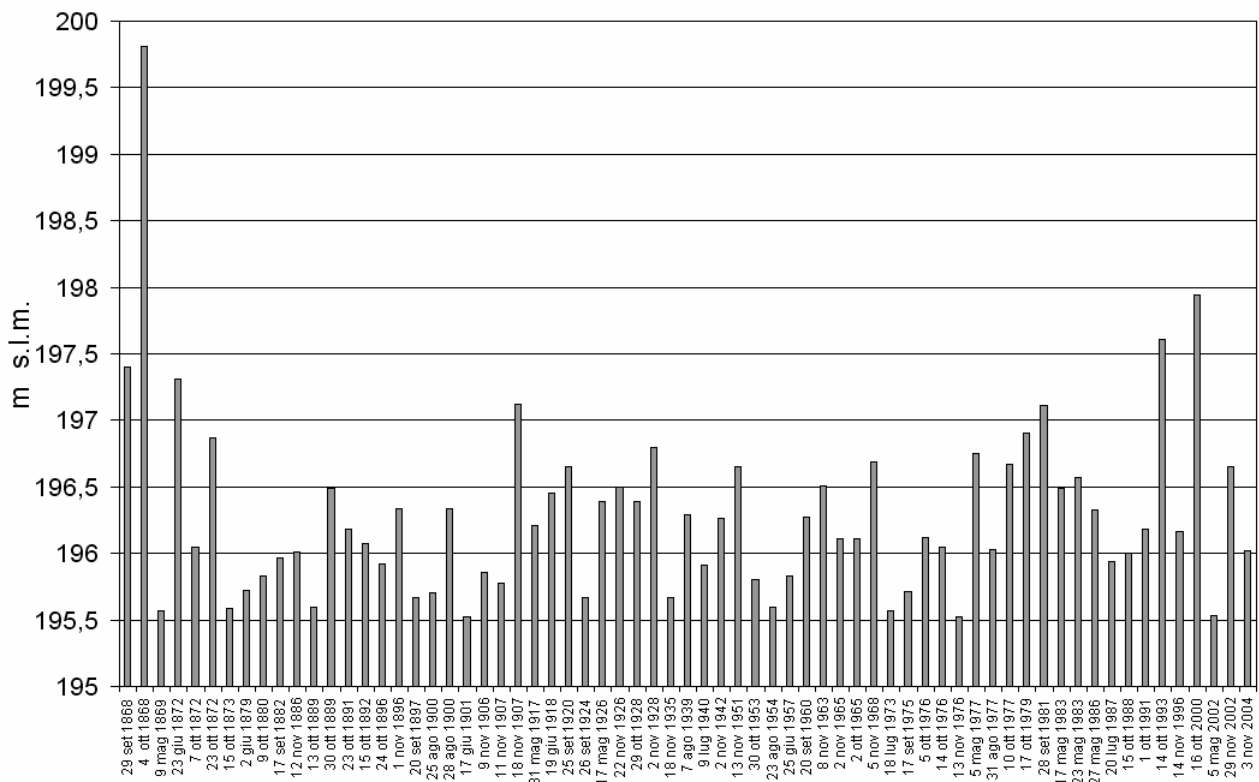
La stessa distribuzione vista nel paragrafo precedente consente anche la costruzione della curva delle



**Fig. 10.13.** Distribuzione cumulata dei livelli del lago in classi della scala idrometrica. *Cumulative distribution of lake level in classes of the hydrometric scale.*



**Fig. 10.14.** Livello del lago: curva delle durate (permanenze) in classi della scala idrometrica. *Lake level: curve of durations (permanences) in classes of the hydrometric scale.*



**Fig. 10.15.** Serie storica delle piene del Lago Maggiore. *Historical series of Lago Maggiore floods.*

durate (Fig. 10.14) ossia della curva della persistenza percentuale del livello del lago in una certa classe della scala idrometrica: il suo appiattimento nella porzione centrale, quella compresa tra m 193,60 e 194,20 m s.l.m., è indice della maggior presenza in queste classi.

#### 10.17. Livello del Lago Maggiore: le piene

A completamento del paragrafo riguardante le fluttuazioni dei livelli del Lago Maggiore si ritiene utile riportare la serie delle piene, successive all'evento storico del 1868, anno in cui è stata raggiunta la quota di

199,68 m s.l.m. In figura 10.15 sono rappresentati gli eventi che hanno superato m 195,5 s.l.m., corrispondente al livello d'esondazione del lago sulla piazza di Pallanza.

Nella successiva figura 10.16 si propone invece il dettaglio dell'andamento dei livelli durante l'ultima grande piena dell'autunno 2000, al fine di illustrare la dinamica di questi fenomeni sopra tutto per quanto attiene alle velocità con cui incrementa e decrementa il livello del lago. Per maggiori dettagli riguardanti la piena del 1993 si faccia riferimento a Ambrosetti *et al.* (1994), mentre per quella del 2000 a Ambrosetti *et al.* (2001).



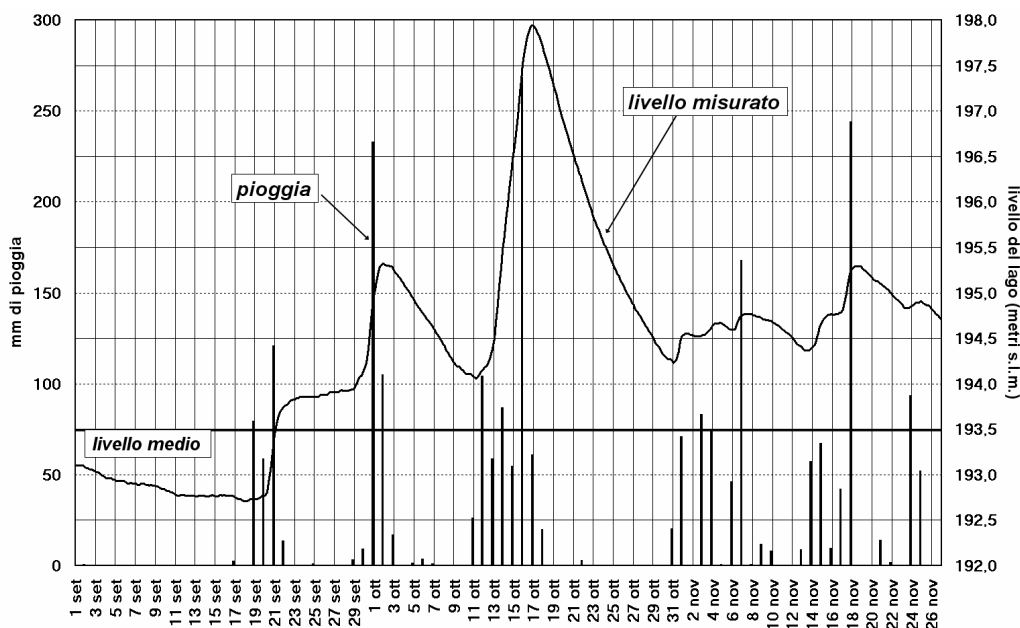


Fig. 10.16. Andamento della piena del Lago Maggiore nell'autunno 2000. Trend of the Lago Maggiore flood in autumn 2000.

## 11. TEMPERATURA DELL'ACQUA DEL LAGO (LAKE WATER TEMPERATURE)

### 11.1. Strumentazione utilizzata

La temperatura dell'acqua del Lago Maggiore è stata rilevata, a partire dal 1962 e fino al 1997, nello specchio d'acqua antistante l'edificio che ospita l'Istituto del C.N.R., tramite una catena di sei sonde termometriche (termometri a resistenza) che, agganciata ad una boa ancorata su un fondale di 50 m circa, consentiva la sua misura alle seguenti sei profondità di: m 0,50; 5,50; 10,50; 13,50; 16,50 e 19,50. La scelta di questi livelli è legata essenzialmente a criteri di natura limnologica in quanto è nello strato dei primi venti metri di acqua che avviene la maggior parte dello scambio di calore con l'atmosfera e, di conseguenza, la formazione della tipica stratificazione termica verticale, caratteristica fisica fra le più importanti dei grandi corpi d'acqua.

Un cavo subacqueo collegava le sonde ad un registratore posto all'interno dell'Istituto e una commutazione ogni 20 secondi le inseriva in sequenza alla registrazione: ne risultavano sei curva termiche praticamente continue.

Tuttavia, poiché lo scopo principale di questa nostra elaborazione è l'analisi delle variazioni intervenute nel corso di lunghe serie storiche di temperatura dell'acqua lacustre, da porre eventualmente in relazione con le osservazioni meteorologiche coeve, si è ritenuto di limitare le letture dei dati termici alla registrazioni delle ore 12, trascurando così le variazioni intervenute all'interno del giorno.

### 11.2. Temperatura dell'acqua del lago: medie annuali

Nelle figure 11.1 e 11.2 sono state raccolte le sei serie storiche della temperatura dell'acqua alle sei pro-

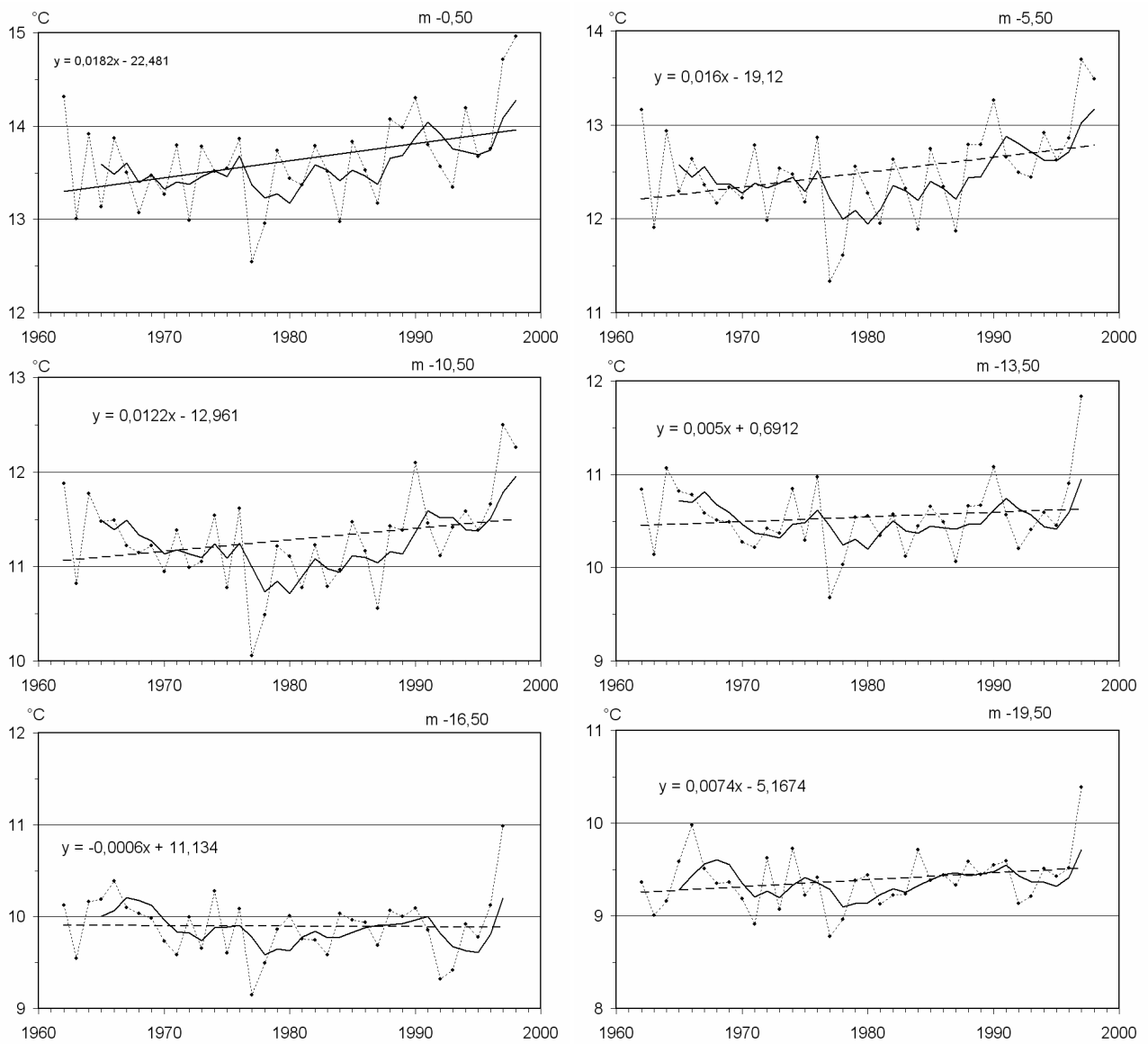
fondità prescelte: fra le rispettive linee di tendenza solo quelle dei due livelli più superficiali sono statisticamente significative, per altro, a livelli molto bassi (rispettivamente  $p=0,02$  e  $p=0,05$ ). La loro pendenza, tuttavia, indica la presenza di un incremento termico che in questi primi livelli è valutabile in circa  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  per l'intero periodo di osservazioni; alla profondità di m 16,50 la temperatura media annua si mantiene invece costante nel tempo.

La dispersione dei dati attorno alle rispettive rette di tendenza si modifica con la profondità andando a ridursi sempre più. La stessa cosa può dirsi per le curve delle medie mobili che vanno sempre più regolarizzandosi verso i livelli più bassi. L'andamento di queste ultime è generalmente di tipo concavo e indica la presenza di un periodo di temperature più basse della norma tra il 1975 e il 1990.

In tabella 11. 1 sono raccolti, per ciascuna profondità, i valori medi, minimi e massimi della temperatura dell'acqua lacustre.

Tab. 11.1. Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi annuali alle sei profondità controllate ( $^{\circ}\text{C}$ , in parentesi l'anno). Mean lake water temperature: annual mean and extreme values at the six monitored depths ( $^{\circ}\text{C}$ , in parenthesis the year).

	Medie	min	Max
m -0,50	13,63	12,54 (1977)	14,96 (1998)
m -5,50	12,50	11,33 (1977)	13,70 (1997)
m -10,50	11,28	10,06 (1977)	12,50 (1997)
m -13,50	10,54	9,68 (1977)	11,84 (1997)
m -16,50	9,90	9,15 (1977)	10,98 (1997)
m -19,50	9,38	8,78 (1977)	10,39 (1997)



**Fig. 11.1.** Temperatura dell'acqua del lago: medie annuali alle sei profondità misurate (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Lake water temperature: annual means at the six topmost depths (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

### 11.3. Temperatura dell'acqua: medie stagionali

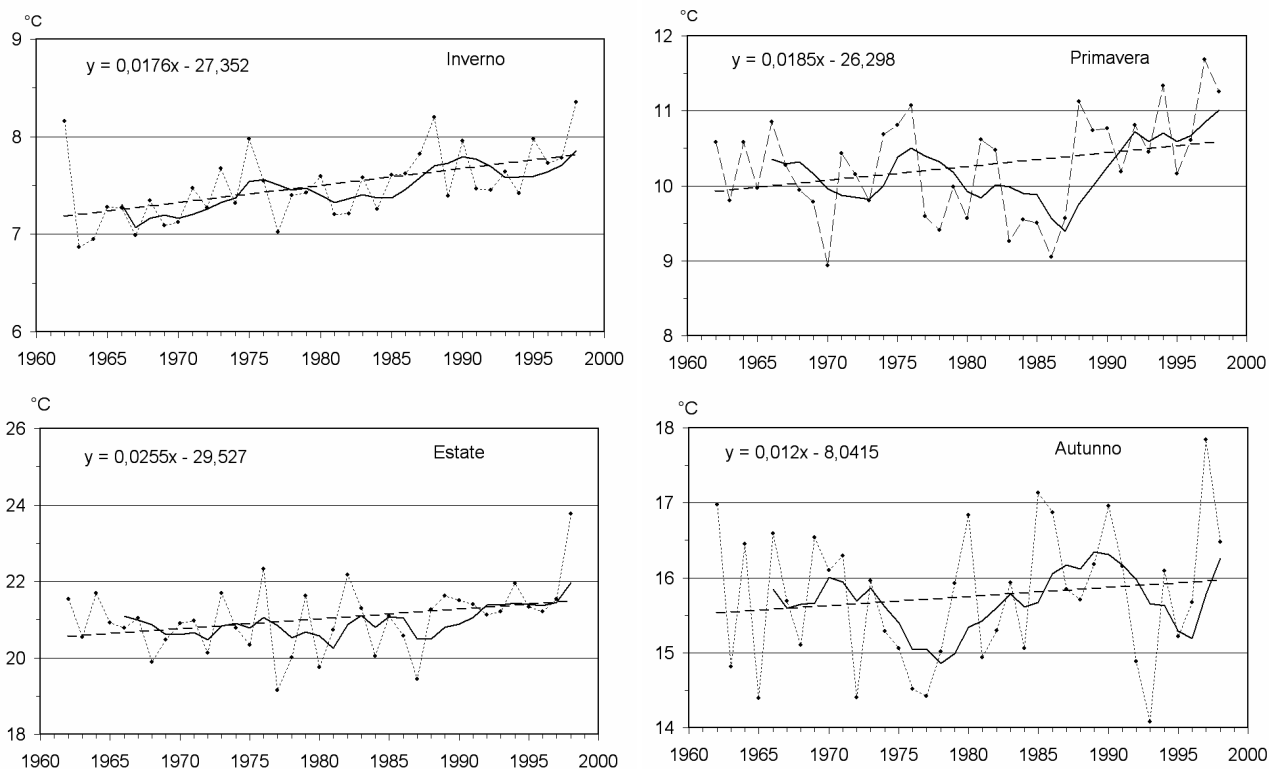
Le serie storiche delle medie stagionali della temperatura dell'acqua per ciascuna delle sei profondità di misura (figure da 11.2 a 11.7) confermano, seppure con qualche leggera differenza, quanto già esposto a proposito delle medie termiche annuali. Le loro significatività statistiche sono riassunte nella tabella 11.2.

Questa loro particolare distribuzione rende conto del fatto che in inverno, e anche nella prima primavera, l'intero strato d'acqua più superficiale del lago è in condizioni di isoterma e pertanto risponde in maniera uniforme alle condizioni esterne; quando invece subentra, per effetto del riscaldamento stagionale, la stratifica-

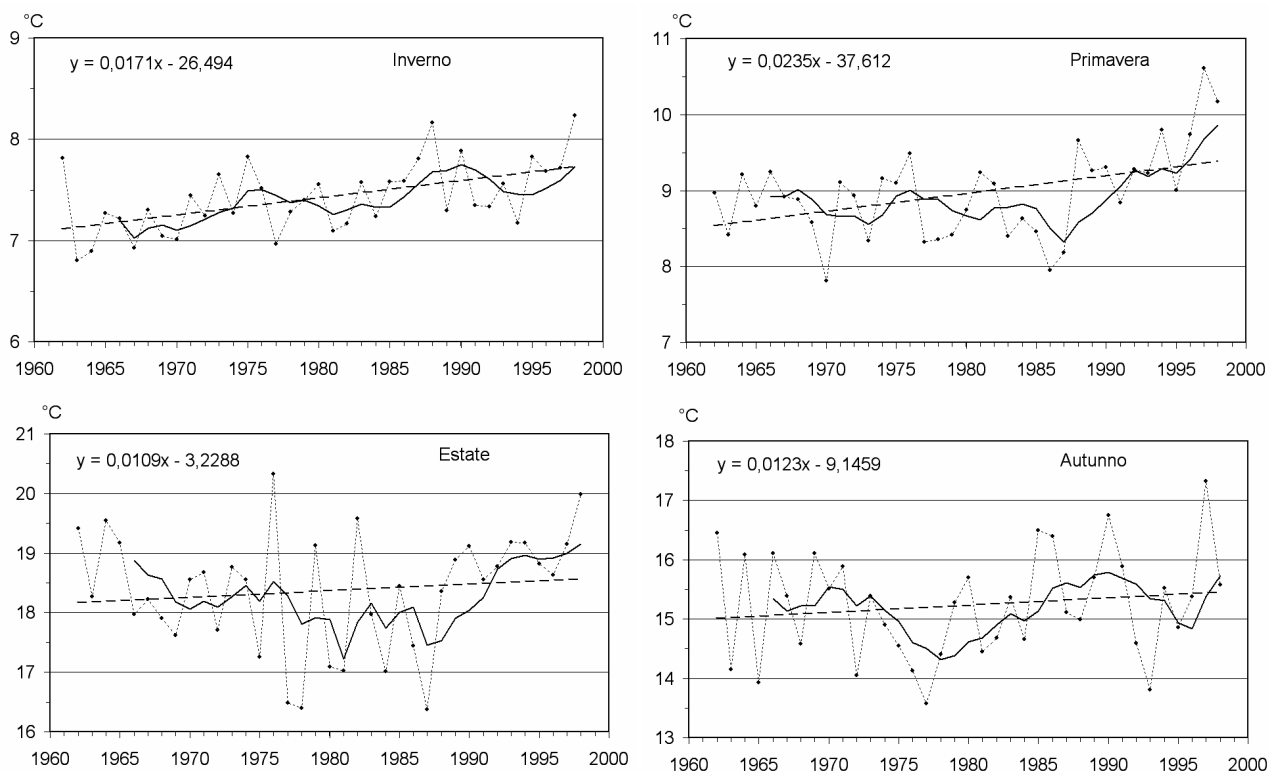
zione termica estiva e autunnale, tutte le profondità vengono interessate da gradienti termici verticali assai pronunciati e i singoli livelli si comportano in modo indipendente l'uno dall'altro rispondendo a diverse dinamiche.

**Tab. 11.2.** Significatività statistica delle medie stagionali. *Statistical significance of seasonal means.*

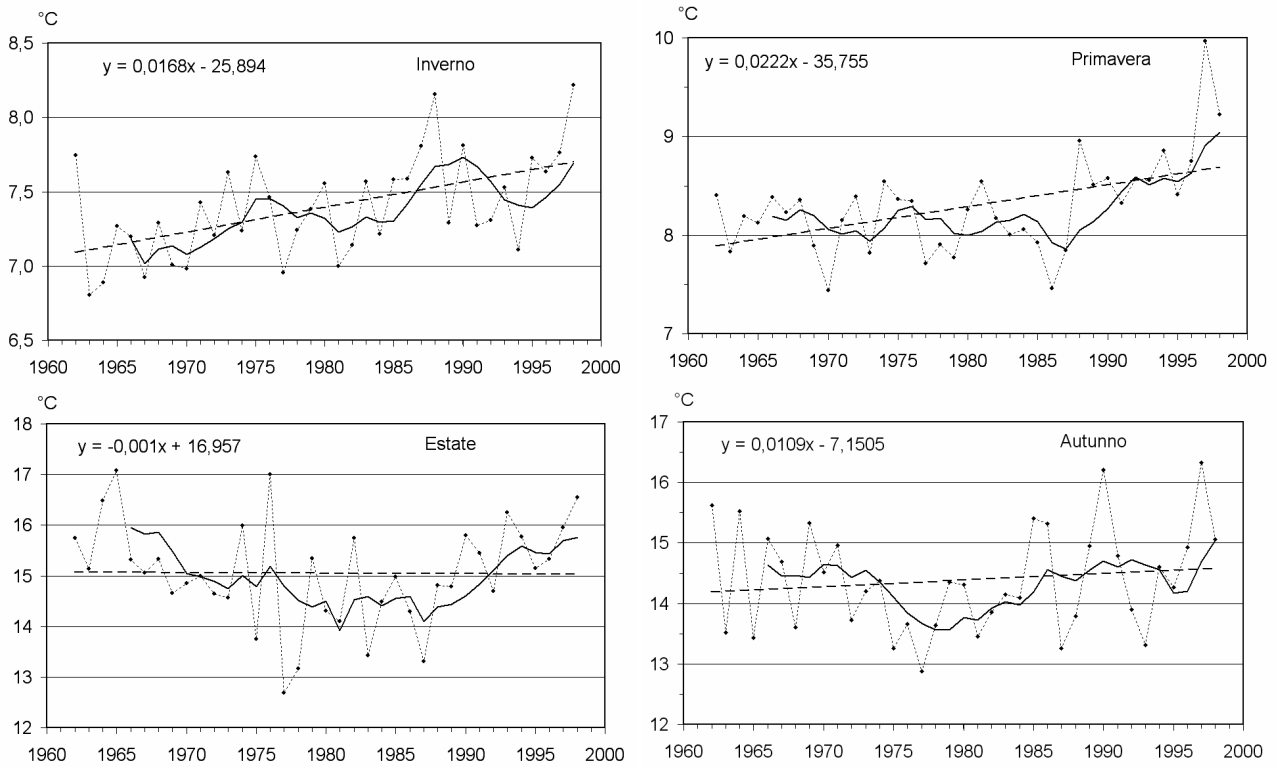
	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
m -0,50	p=0,01	p=0,1	p=0,1	n.s
m -5,50	p=0,001	p=0,01	n.s	n.s
m -10,50	p=0,01	p=0,01	n.s	n.s
m -13,50	p=0,01	p=0,02	n.s	n.s
m -16,50	p=0,01	p=0,02	n.s	n.s
m -19,50	p=0,02	p=0,02	n.s	n.s



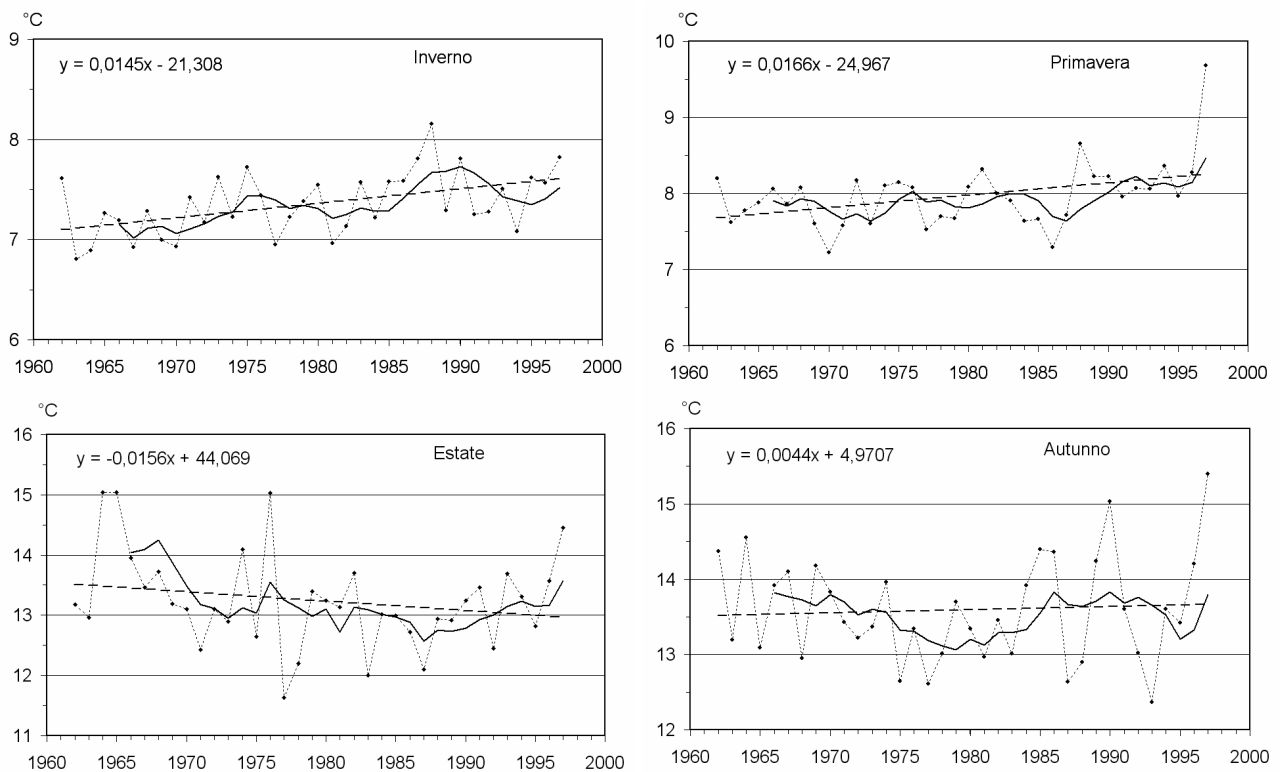
**Fig. 11.2.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 0,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 0.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



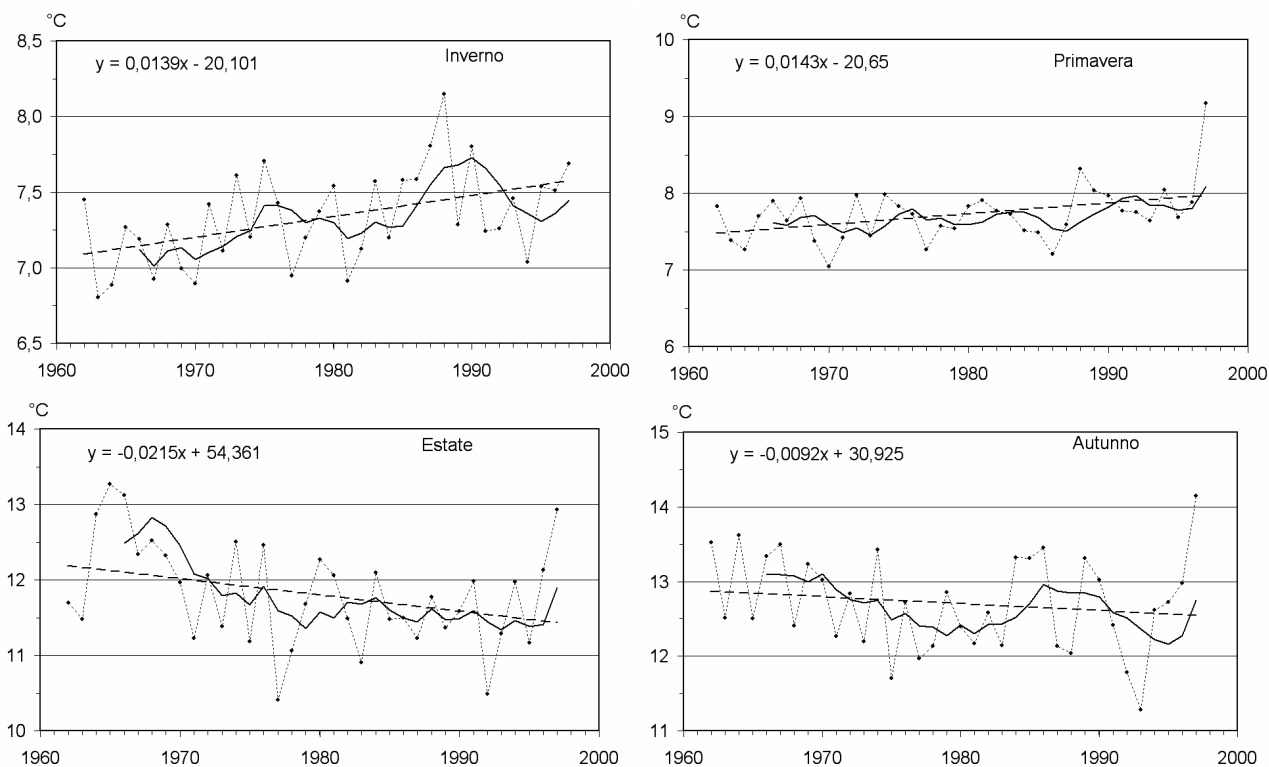
**Fig. 11.3.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 5,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 5.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



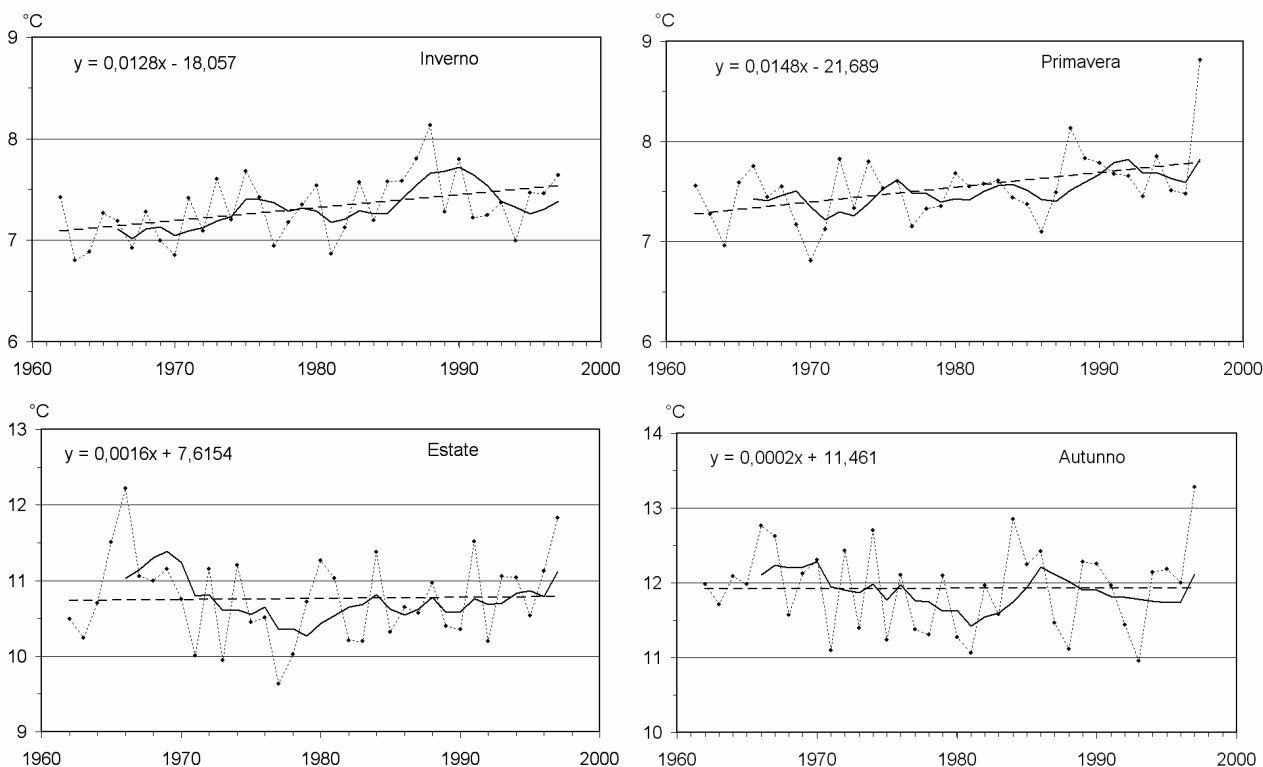
**Fig. 11.4.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 10,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 10.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.5.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 13,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 13.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.6.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 16,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 16.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.7.** Temperatura media dell'acqua del lago: medie stagionali alla profondità di m 19,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: seasonal means at 19.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*

Circa l'andamento delle rette di tendenza, nel periodo invernale, a tutte e sei le profondità, risulta un progressivo incremento termico con il progredire degli anni, valutabile in circa 0,70 °C per il livello di -0,50 m e che tende ad una progressiva leggera diminuzione man mano che si procede verso il basso.

Considerazioni analoghe circa la tendenza all'aumento della temperatura dell'acqua si ricavano anche in primavera con la constatazione però che i parametri angolari delle rette di tendenza hanno in questo caso valori leggermente superiori. Un po' più articolato è invece il quadro presente nei mesi dall'estate: la tendenza al leggero incremento è presente solo ai due livelli superiori e dopo essersi annullata alla profondità di m 10,50, si è invertita ai due livelli successivi, con una riduzione in termini statistici di quasi 0,8 °C a m -16,50. Alla quota più profonda si è invece affermata la tendenza verso l'orizzontalità.

Un comportamento molto simile è quello riscontrato in autunno con i parametri angolari delle rette di tendenza che presentano un segno leggermente positivo in progressiva diminuzione ai primi tre livelli, quasi nullo al quarto e al sesto e debolmente negativo al quinto.

La dispersione dei dati termici, poco pronunciata in inverno a tutte le profondità, assume alle altre quote valori sempre più rilevanti in quanto i singoli livelli, con il procedere del ciclo stagionale, sono progressivamente coinvolti dallo strato mescolato che si sviluppa al di sopra del salto termico: questo accade fino a -5,50 m in primavera e da -5,50 a -19,50 m sia in estate che in autunno.

Anche le curve delle medie mobili presentano diverse irregolarità con la presenza di cicli, di diversa lunghezza ed ampiezza, che non sono sempre in fase tra di loro. Una caratteristica comune è però quella di mostrare negli ultimi anni del periodo d'osservazioni la tendenza verso l'aumento termico, più o meno pronunciata a seconda delle stagioni e dei livelli considerati.

Per ciascuna profondità si riportano, nelle tabelle da 11.3 a 11.8, le medie, minime e massime delle temperature medie stagionali, con l'indicazione dell'anno dell'evento.

**Tab. 11.3.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali a m -0,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -0.50 m (°C, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	7,50	6,87 (1963)	8,36 (1998)
Primavera	10,25	8,94 (1970)	11,69 (1997)
Estate	21,02	19,14 (1971)	23,76 (1998)
Autunno	15,75	14,08 (1993)	17,84 (1997)

**Tab. 11.4.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali m -5,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -5.50 m (°C, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	7,42	6,80 (1963)	8,23 (1998)
Primavera	8,96	7,81 (1970)	10,61 (1997)
Estate	18,37	16,38 (1987)	20,32 (1976)
Autunno	15,24	13,57 (1977)	17,33 (1997)

**Tab. 11.5.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali m -10,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -10.50 m (°C, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	7,40	6,80 (1963)	8,22 (1998)
Primavera	8,29	7,44 (1970)	9,96 (1997)
Estate	15,05	12,69 (1977)	17,08 (1965)
Autunno	14,39	12,88 (1977)	16,32 (1997)

**Tab. 11.6.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali m -13,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -13.50 m (°C, in parenthesis the year).*

	Media	min	Max
Inverno	7,36	6,80 (1963)	8,16 (1988)
Primavera	7,97	7,22 (1970)	9,69 (1997)
Estate	13,25	11,64 (1977)	15,04 (1964)
Autunno	13,59	12,36 (1993)	15,40 (1997)

**Tab. 11.7.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali m -16,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -16.50 m (°C, in parenthesis the year).*

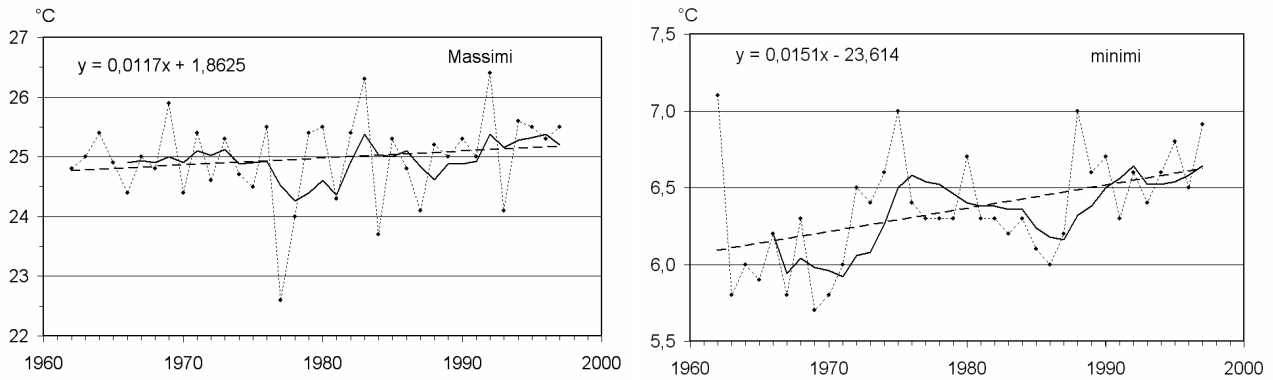
	Media	min	Max
Inverno	7,33	6,80 1963	8,15 1988
Primavera	7,73	7,04 1970	9,17 1997
Estate	11,81	10,41 1977	13,27 1965
Autunno	12,71	11,28 1993	14,14 1997

**Tab. 11.8.** Temperatura dell'acqua del lago: valori medi ed estremi stagionali m -19,50 (°C, in parentesi l'anno). *Mean lake water temperature: seasonal mean and extreme values at -19.50 m (°C, in parenthesis the year).*

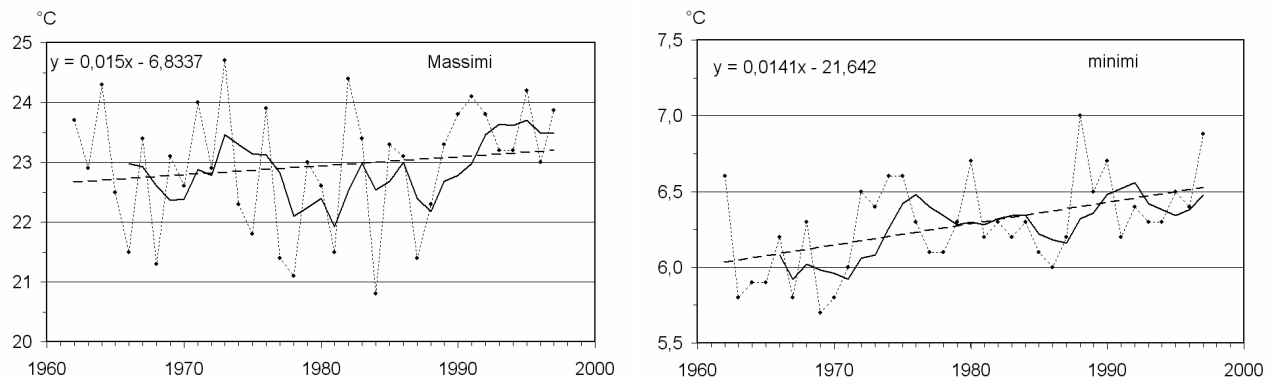
	Media	min	Max
Inverno	7,32	6,80 (1963)	8,14 (1988)
Primavera	7,53	6,81 (1970)	8,82 (1997)
Estate	10,76	9,63 (1977)	12,22 (1966)
Autunno	11,93	10,96 (1993)	13,28 (1997)

#### 11.4. Temperatura giornaliera dell'acqua del lago: massimi e minime annuali

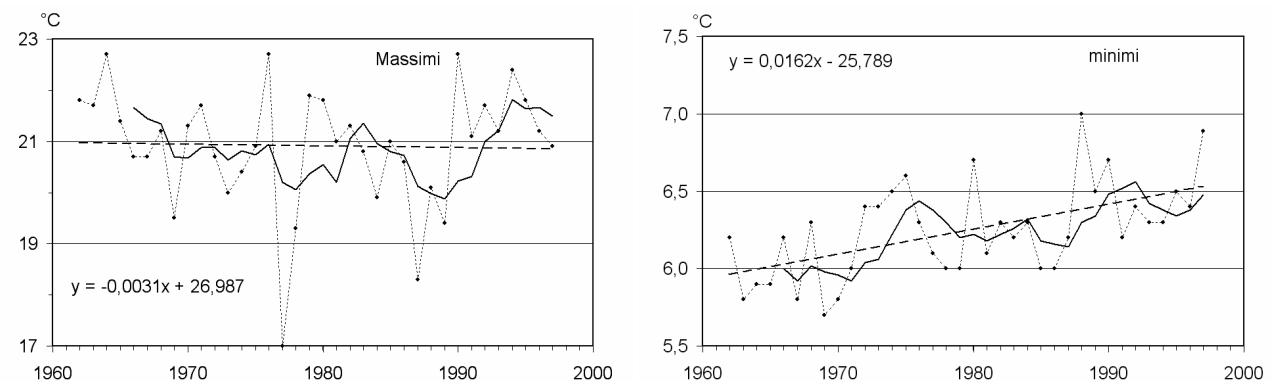
Le serie storiche dei massimi e dei minimi giornalieri della temperatura dell'acqua, rilevati per ciascun anno alle sei profondità di misura, sono rappresentate nelle figure da 11.8 a 11.13.



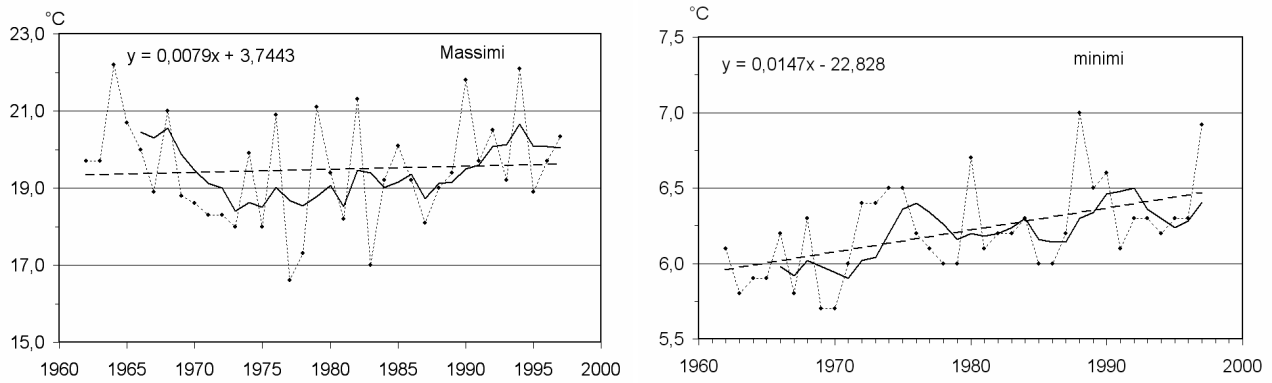
**Fig. 11.8.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 0,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 0.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



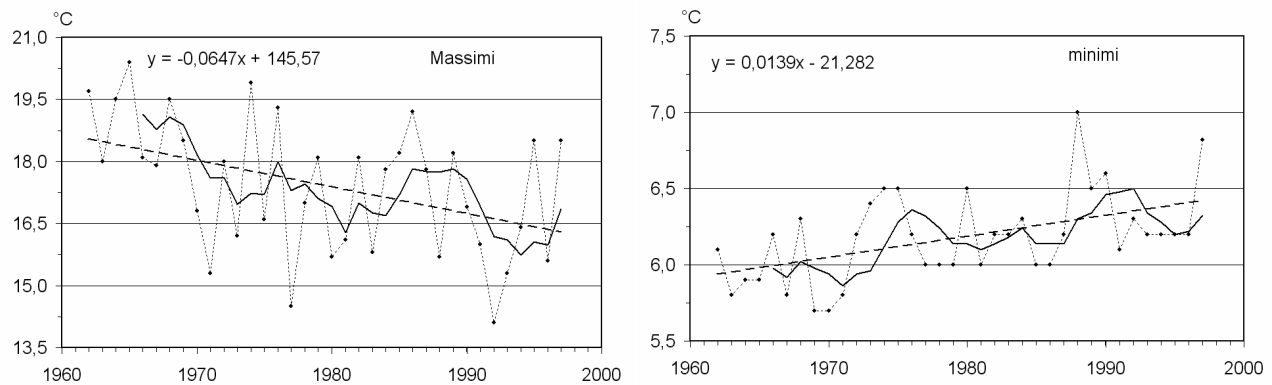
**Fig. 11.9.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 5,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 5.50 m depth.*



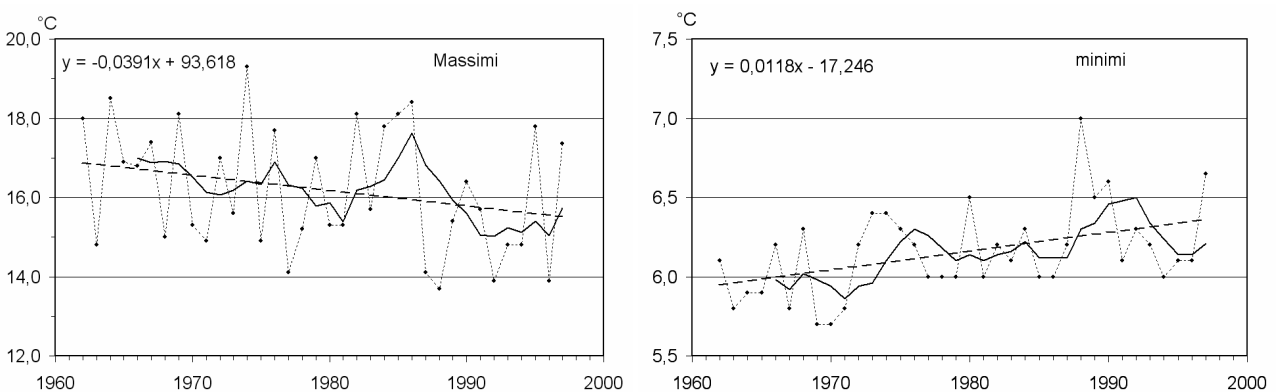
**Fig. 11.10.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 10,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 10.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.11.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 13,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 13.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.12.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 16,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 16.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Fig. 11.13.** Temperatura dell'acqua del lago: massimi e minimi giornalieri alla profondità di m 19,50 (linee: puntinata = valori misurati; intera = media mobile; tratteggiata = linea di tendenza). *Mean lake water temperature: daily maxima and minima at 19.50 m depth (lines: dotted = measured values; full = moving average; broken = best fit).*



**Tab. 11.9.** Temperature massime e minime dell'acqua del lago: valori medi ed estremi alle sei profondità controllate(°C). *Maximum and minimum temperatures of lake water: mean and extreme values at the six monitored depths (°C).*

Profondità		-0,50	-5,50	-10,50	-13,50	-16,50	-19,50
Temp. Massime	Massime	26,40	24,70	22,70	22,20	22,40	19,30
	Medie	24,97	22,94	20,91	19,48	17,42	14,10
	minime	22,60	20,80	17,00	16,60	14,10	13,70
Temp minime	Massime	7,10	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Medie	6,36	6,28	6,25	6,21	6,18	6,15
	minime	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70

I grafici relativi ai due parametri sono stati accoppiati e, per un utile confronto, sono state mantenute le stesse ampiezze di scala, una per i massimi e l'altra per i minimi, nonostante che ciò possa determinare qualche difficoltà di lettura.

La significatività delle rette di tendenza è alquanto diversa fra le serie dei massimi rispetto a quelle dei minimi: queste ultime hanno infatti una  $p=0,01$  (addirittura  $p=0,001$  quella relativa alla profondità di m 10,50) mentre non hanno alcuna significatività statistica le rette dei massimi, fatta eccezione di quella della profondità m 16,50 ( $p=0,02$ )

Le serie dei massimi mostrano alcune caratteristiche comuni, ma non mancano significative differenze: molto frequente, infatti, è la presenza di picchi, diretti sia verso l'alto che verso il basso, che determinano una sensibile dispersione dei dati attorno alle rispettive linee statistiche.

Anche le curve ricavate dalle medie mobili presentano andamenti molto irregolari, con oscillazioni non sempre in fase tra di loro, ma con alcuni aspetti comuni quali per esempio la tendenza all'incremento termico che ha caratterizzato gli ultimi anni.

Molto difforme a seconda delle profondità è invece l'inclinazione della retta di tendenza, sia in termini di valore del parametro angolare sia per quanto riguarda il suo segno. Da situazioni con le linee poco discoste dall'orizzontalità o con scarse pendenze positive (vedi le profondità di m 0,50; 5,50; 13,50) o negative (-10,50 m), si passa ai due livelli più bassi dove la tendenza della temperatura massima è verso una netta diminuzione dell'ordine di circa 2°C per l'intero periodo di osservazioni.

Quanto alle temperature minime i grafici relativi evidenziano una grande uniformità dovuta alla scarsa variabilità dei dati a tutte le profondità: i singoli valori, che si riferiscono evidentemente al periodo invernale, sono molto simili tra di loro collocandosi attorno a 6 °C, o poco superiori. Di conseguenza le linee delle medie mobili non possono che essere molto regolari con oscillazioni di debole ampiezza che risultano quasi tutte in fase tra di loro a dimostrazione di un comune comportamento nel procedere degli anni. Le rette di tendenza hanno parametri angolari molto simili (compresi fra 0,01 e 0,02) indicando in tal modo un seppur leggero

incremento termico intervenuto in questi strati delle acque del lago durante il periodo delle osservazioni. I valori medi ed estremi sia delle temperature massime che di quelle minime misurate a ciascuna delle sei profondità investigate, sono riportate nella tabella 11.9.

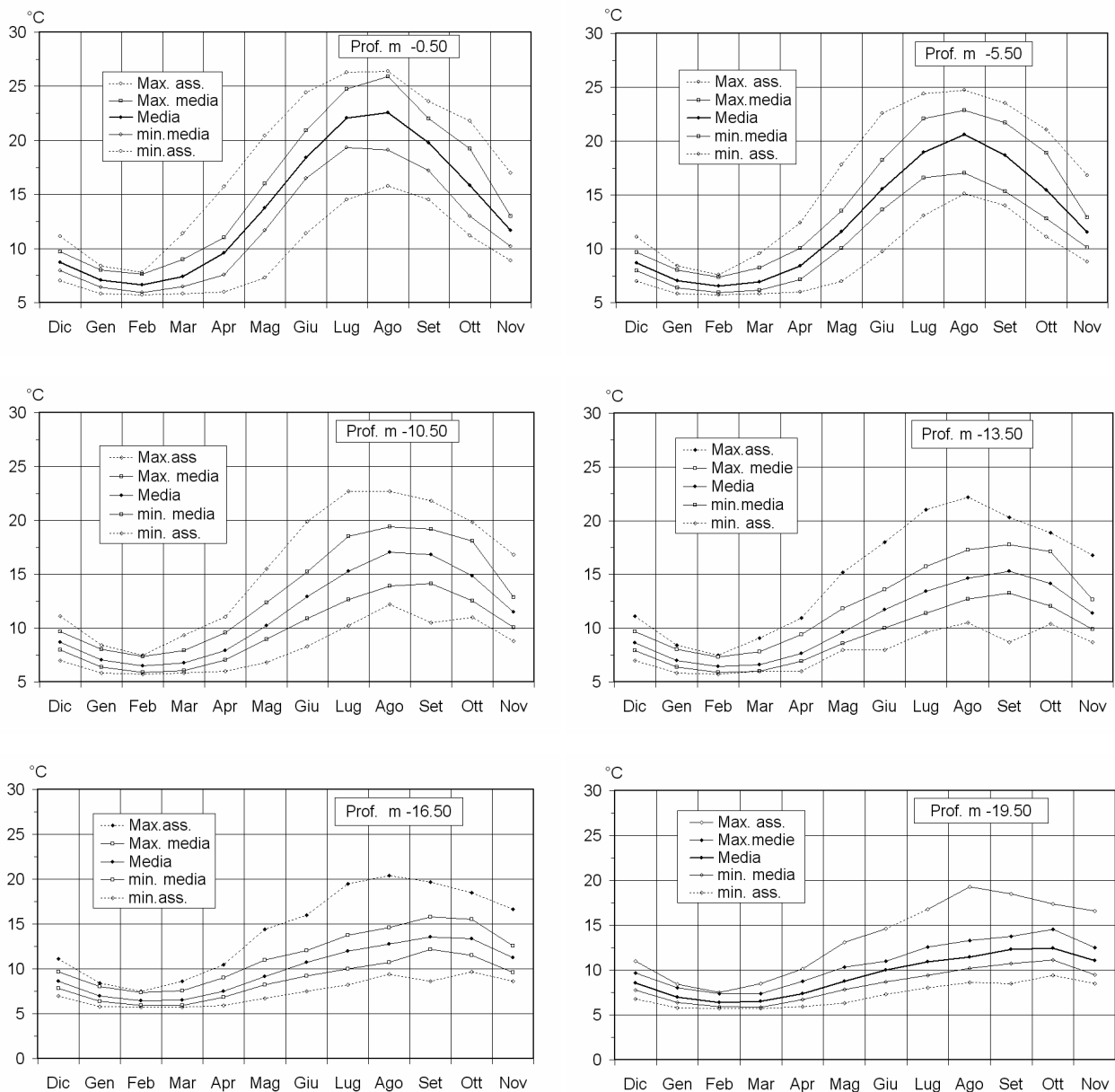
#### 11.5. Regimi mensili della temperatura dell'acqua del lago

Con lo scopo di ottenere un quadro completo delle variazioni che intervengono durante il ciclo annuale nelle caratteristiche termiche dell'acqua lacustre si è proceduto alla valutazione dei regimi mensili della temperatura a ciascuna delle sei profondità controllate: in un unico grafico sono state associate, accanto alle medie generali, anche altri valori caratteristici quali le massime e le minime delle stesse medie, nonché le massime e le minime assolute.

I grafici relativi sono proposti nelle figura 11.14, tutte realizzati con la stessa scala delle temperature al fine di evidenziare le differenze che si riscontrano fra le singole profondità.

Caratteristica comune di tutte le sei rappresentazioni grafiche è il riconoscimento del mese di febbraio quale periodo dell'anno nel quale gli strati d'acqua più superficiali del lago raggiungono il loro minimo termico, anche se gennaio e, sopra tutto, marzo presentano temperature molto vicine a quelle di febbraio: viene così a caratterizzarsi l'inverno limnologico, sfasato di poco più di un mese rispetto a quello astronomico e anche a quello meteorologico. Inoltre, mentre le variazioni termiche ai livelli più superficiali sono ben definite, anche nei mesi invernali, le temperature vanno sempre meno differenziandosi man mano che si procede in profondità tanto che a -19,50 m da gennaio ad aprile si ha lo stesso andamento termico.

Più complessa è invece la situazione della stagione calda quando il lago, e in particolare i suoi livelli più superficiali, sono interessati dalla fase di stratificazione termica con la formazione dello strato mescolato, interessato da forti scambi di calore con l'atmosfera, strato che va sempre più riscaldandosi ed approfondendosi. La temperatura registrata appena sotto il pelo libero della massa d'acqua lacustre presenta il massimo annuale fra luglio ed agosto, a seconda dei diversi aspetti termici che vengono considerati; tuttavia già al secondo livello



**Fig. 11.14.** Regimi mensili delle temperature medie ed estreme dell'acqua del lago alle diverse profondità. *Monthly regime of mean and extreme lake water temperatures at different depth.*

(-5,50 m) tutte le curve dei regimi presentano il loro picco in agosto, segno che lo strato mescolato di acqua calda ha già raggiunto, e superato, questa profondità. Questo meccanismo, caratteristico della fase di stratificazione termica dei laghi profondi, è evidenziato anche dalla spezzata dei minimi assoluti che a -10,50 m presenta a settembre un'inflexione verso il basso ad indicare che lo strato mescolato non raggiunge questa profondità.

Conclusa la fase di riscaldamento, con l'inizio del ciclo calante dell'illuminazione solare, l'approfondimento dello strato mescolato è accompagnato da una sensibile diminuzione della sua temperatura a tutti i

livelli. Il massimo della media termica, che era di oltre 22 °C in luglio appena al di sotto del pelo libero, si riduce progressivamente man mano che aumenta la profondità spostandosi nel tempo verso i mesi autunnali fino ad arrivare a circa 12,5 °C in ottobre alla profondità di m 19,50.

Rispetto a tutte le altre curve la spezzata della sonda posta a -0,50 m, la più sottoposta alla diretta influenza dei raggi solari, ha mantenuto costantemente il suo valore più elevato in agosto. I valori riguardanti gli aspetti più caratteristici della temperatura delle acque lacustri alle sei profondità sottoposte al nostro controllo sono riportati nelle tabelle 11.10 -11.15.

**Tab. 11.10.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a m -0,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -0.50 m depth (°C).*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,10	8,40	7,80	11,40	15,70	20,40	24,40	26,30	26,40	23,60	21,78	16,99
Max. media	9,68	8,01	7,65	8,98	11,04	15,98	20,94	24,75	25,87	22,04	19,22	12,96
Media	8,74	7,10	6,65	7,42	9,60	13,74	18,42	22,06	22,57	19,78	15,81	11,66
min. media	7,98	6,40	5,95	6,50	7,56	11,69	16,51	19,32	19,12	17,19	12,96	10,21
min. ass.	7,00	5,80	5,70	5,80	6,00	7,30	11,40	14,50	15,80	14,50	11,20	8,90

**Tab. 11.11.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a -5,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -5.50 m depth (°C).*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,10	8,40	7,60	9,54	12,40	17,80	22,60	24,40	24,70	23,50	21,05	16,83
Max. media	9,68	8,01	7,35	8,23	10,07	13,54	18,26	22,09	22,84	21,68	18,92	12,92
Media	8,70	7,05	6,52	6,90	8,40	11,59	15,54	18,96	20,60	18,69	15,46	11,56
min. media	7,98	6,35	5,91	6,14	7,14	10,03	13,63	16,57	17,05	15,31	12,79	10,10
min. ass.	7,00	5,80	5,70	5,80	6,00	7,00	9,70	13,10	15,10	14,00	11,10	8,80

**Tab. 11.12.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a -10,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -10.50 m depth (°C).*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,10	8,40	7,50	9,34	11,05	15,50	19,90	22,70	22,70	21,80	19,83	16,83
Max. media	9,68	8,01	7,34	7,93	9,58	12,38	15,21	18,50	19,38	19,16	18,09	12,84
Media	8,67	7,04	6,49	6,74	7,91	10,23	12,89	15,26	17,01	16,83	14,86	11,47
min. media	7,97	6,35	5,89	6,06	7,01	8,98	10,90	12,64	13,88	14,11	12,52	10,06
min. ass.	7,00	5,80	5,70	5,80	6,00	6,80	8,30	10,20	12,20	10,50	11,00	8,8

**Tab. 11.13.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a -13,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -13.50 m depth (°C).*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,10	8,40	7,50	9,05	10,92	15,20	18,00	21,00	22,20	20,30	18,88	16,80
Max. media	9,68	8,01	7,34	7,82	9,40	11,82	13,59	15,75	17,29	17,77	17,13	12,68
Media	8,62	7,00	6,45	6,61	7,67	9,63	11,70	13,41	14,63	15,27	14,14	11,37
min. media	7,92	6,35	5,89	6,01	6,90	8,57	10,00	11,41	12,73	13,27	12,03	9,88
min. ass.	7,00	5,80	5,70	6,00	6,00	8,00	8,00	9,60	10,50	8,70	10,40	8,70

**Tab. 11.14.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a -16,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -16.50 m depth (°C).*

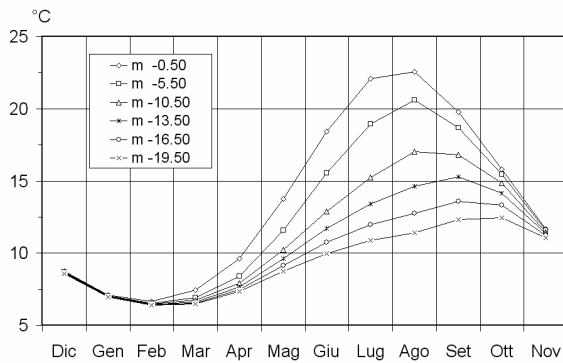
	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,10	8,40	7,50	8,65	10,44	14,40	16,00	19,50	20,40	19,70	18,50	16,65
Max. media	9,68	8,01	7,34	7,54	8,99	10,99	12,03	13,72	14,61	15,76	15,53	12,58
Media	8,59	6,98	6,43	6,54	7,50	9,14	10,73	11,96	12,75	13,58	13,33	11,22
min. media	7,84	6,35	5,89	5,94	6,82	8,20	9,22	10,00	10,72	12,18	11,50	9,63
min. ass.	7,00	5,80	5,70	5,70	5,90	6,70	7,50	8,20	9,40	8,60	9,70	8,60

**Tab. 11.15.** Temperature dell'acqua del lago: valori medi ed estremi mensili a -19,50 m (°C). *Temperature of lake water: monthly mean and extreme values at -19.50 m depth (°C).*

	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
Max. ass.	11,00	8,40	7,50	8,48	10,10	13,10	14,60	16,80	19,30	18,50	17,36	16,58
Max. media	9,67	8,01	7,34	7,39	8,72	10,33	11,00	12,55	13,32	13,75	14,53	12,53
Media	8,57	6,97	6,41	6,50	7,36	8,74	9,97	10,89	11,42	12,30	12,44	11,04
min. media	7,77	6,35	5,89	5,88	6,73	7,82	8,67	9,42	10,22	10,72	11,13	9,49
min. ass.	6,80	5,80	5,70	5,70	5,90	6,30	7,30	8,00	8,60	8,50	9,40	8,50

### 11.6. Regimi mensili della temperatura media dell'acqua del lago alle sei profondità controllate

La sintesi più completa della situazione termica riscontrata nel Lago Maggiore nello strato d'acqua compreso fra il pelo libero e i venti metri di profondità è riportata in figura 11.15 nella quale le sei spezzate riportano le temperature medie mensili di ciascun livello.



**Fig. 11.15.** Regimi delle temperature medie dell'acqua del lago a ciascuna delle sei profondità controllate. *Mean lake water temperature regimes at each of the six depths monitored.*

È molto bene evidenziata la fase della stratificazione termica delle acque che comincia ad instaurarsi ad aprile: è pur vero che alla quota superiore la temperatura si differenzia già in febbraio, ma è solo quando l'incremento termico raggiunge una profondità più consistente e si individua uno strato con una temperatura uniforme superiore a quella degli strati sottostanti.

Il riscaldamento prosegue poi, seppure in maniera differenziata fra i vari livelli, ed il massimo in superficie viene raggiunto ad Agosto mentre alle quote inferiori questa situazione, per altro già analizzata e discussa, interessa i mesi successivi a -16.50 m e a -19.50 m si verifica in ottobre: è la conseguenza del processo legato alla fase di destratificazione termica del lago che si manifesta con il progressivo incremento dello spessore dello strato mescolato, accompagnato però da un'altrettanto progressiva riduzione del suo contenuto calorico.

La fase di stratificazione può ritenersi definitivamente conclusa nel mese di novembre con il raggiungimento, in questo primo strato di 20 metri della colonna d'acqua lacustre, di una quasi completa isotermità.

È ben noto tuttavia che nella grande massa d'acqua sottostante permangono piccoli gradienti verticali di temperatura che, per la notevole profondità del lago, possono persistere anche per tutto l'inverno limnologico. Sono questi gli anni nei quali in inverno non si verifica il mescolamento verticale totale, mentre con situazioni meteorologiche sufficientemente rigide anche queste piccole differenziazioni termiche verticali possono essere distrutte. Ecco perché il Lago Maggiore viene

classificato fra i laghi olo-oligomittici, cioè con alternanze di mescolamenti totali e parziali. Va ricordato anche che negli ultimi cinquanta anni il mescolamento parziale è stato largamente maggioritario.

### RIASSUNTO

I dati raccolti in oltre 50 anni di attività della stazione meteorologica operante a Pallanza, presso l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del C.N.R. (già Istituto Italiano di Idrobiologia), sono stati analizzati al fine di verificare se negli anni siano intervenuti mutamenti nella struttura di alcuni elementi climatici e, possibilmente, quantificarne l'entità.

Sono stati analizzati nove parametri meteorologici (radiazione solare, insolazione, temperatura dell'aria, pressione atmosferica, umidità, nuvolosità, precipitazioni, evaporazione e vento) più altri due tipicamente limnologici quali le variazioni di livello del Lago Maggiore e la temperatura delle sue acque a sei diverse profondità.

Le analisi statistiche delle rispettive serie storiche hanno preso in considerazione medie, massimi e minimi a livello pluriennale, annuale, stagionale, mensile e giornaliero; inoltre, se ne sono analizzati gli andamenti attraverso le rette di regressione e le curve delle medie mobili, impostate, anche sotto il profilo grafico, in modo uniforme per tutti gli elementi climatici. In particolare sono state evidenziate le rette di tendenza, anche se la loro significatività, intesa in senso strettamente statistico, non sempre è stata raggiunta, a causa della notevole variabilità interannuale dei dati meteorologici, sopra tutto i loro massimi minimi; in questi casi il significato attribuito ai risultati è stato quello di un'indicazione generale sulla tendenza all'aumento o alla diminuzione del parametro nel tempo.

In tal senso va letta anche l'equazione della retta presentata sui grafici relativi alle serie storiche e cioè la possibilità di quantificare, attraverso il parametro angolare, l'entità della tendenza nel corso del periodo considerato.

Sugli stessi grafici è stata anche rappresentata la curva ricavata dalle medie mobili, valutata con diverso periodo (da 2 a 5) in rapporto alla lunghezza della serie di dati disponibili: la sua funzione è di lisciarne la distribuzione dei dati e quindi di permettere la visualizzazione della presenza di andamenti ciclici o di fluttuazioni, più o meno periodiche, degli eventi.

Per ogni elemento climatico è stata infine proposto anche il quadro dei regimi mensili dei loro aspetti più importanti.

In oltre 50 anni di osservazioni la radiazione solare annua ha visto un leggero incremento tendenziale, pur in presenza di un'accentuata variabilità interannuale dei dati: il minimo è stato di poco più di 90.000 cal cm<sup>-2</sup> (1954) mentre nel 1961 si è registrata un'energia radiante di oltre 119.000 cal cm<sup>-2</sup>. Un comportamento

analogo risulta dai dati stagionali anche se il quadro invernale si differenzia con una tendenza indirizzata verso un incremento più sostenuto.

La retta di tendenza della serie storica relativa alle durate dell'insolazione annua, anche questa caratterizzata da una notevole dispersione dei dati, indica una crescita che nei 20 anni di osservazioni è di circa 100 ore in quanto si è passati da circa 2000 ore, media della seconda metà degli anni '70, a 2100 ore di presenza annua del sole del 1996. Le serie storiche stagionali hanno invece un comportamento più diversificato con le prime tre stagioni dell'anno tendenzialmente dirette verso un incremento e l'ultima verso una diminuzione.

Quanto alla temperatura dell'aria, la retta tendenziale, altamente significativa, evidenzia una decisa tendenza all'aumento a partire dal 1951 con un aumento di circa 1 °C. La curva delle medie mobili presenta un andamento di tipo concavo, con una fase iniziale nella quale le temperature sono in diminuzione (fino al 1980) seguita da un periodo di continua e sensibile ascesa termica che si protrae fino ai giorni nostri. Le tendenze stagionali sono tutte indirizzate ad un progressivo incremento della temperatura, più accentuato in estate e in primavera e più contenuto in inverno, e, sopra tutto, in autunno. Anche le escursioni giornaliere della temperatura sono in aumento di circa 1,5°C, mentre le mensili arrivano a quasi 2°C e le annuali a circa 2,5 °C. Quanto alla classificazione dei giorni in base alle loro caratteristiche termiche, risultano scarsi e in diminuzione quelli di "gelo", in leggera crescita quelli di "brina", mentre sono in deciso aumento quelli di "caldo" passati da una media di poco più di 3 nei primi anni '50 ai 24 dell'ultimo anno.

La pressione atmosferica è stata in sensibile incremento nel periodo di osservazioni con la retta di tendenza, statisticamente significativa, che da un valore iniziale di 989 mbar è passata a quello finale di 995 mbar. Sia come andamento generale, che come linee di tendenza le serie storiche stagionali ricalcano quella annuale evidenziando una forte crescita, più accentuata nelle stagioni estreme rispetto alle intermedie. Confermano la costante tendenza all'aumento di tutti i dati della pressione atmosferica anche le serie storiche delle minime e delle massime bariche giornaliere.

Con una retta tendenziale statisticamente significativa, l'umidità atmosferica a livello annuale è indicata in fase di diminuzione passando da un valore medio del 73% circa del 1951 al 68% circa del 2004; tuttavia il suo andamento generale espresso dalla curva delle medie mobili indica la presenza di alcune modulazioni cicliche, la più evidente delle quali ha interessato l'ultimo decennio del secolo scorso. Le serie storiche stagionali danno sostanziale conferma della situazione riscontrata nei dati annuali; la stessa cosa vale anche per le medie igrometriche delle minime e delle massime.

Il rilevamento della nuvolosità è stato limitato agli anni compresi fra il 1973 ed il 1997 e l'elaborazione

statistica dei dati annui indica la tendenza ad un suo leggerissimo incremento anche se in presenza di tre cicli ben definiti, ciascuno con un periodo di circa 10 anni. Leggera tendenza all'aumento è stata riscontrata anche nelle serie estive ed autunnali mentre una situazione opposta ha caratterizzato gli altri due periodi. Quanto alla distribuzione dei giorni con differenti coperture nuvolose, quelli "sereni" sono andati progressivamente diminuendo (da 130 a 110), i "mistri" ed i "coperti" invece sono aumentati con un incremento rispettivo di circa 11 e 17 unità.

I risultati dell'analisi delle precipitazioni annuali indicano una sostanziale invariabilità nel tempo della quantità di acque meteoriche nel periodo 1951-2003, anche se molto elevata è stata la dispersione dei dati. A livello stagionale le piogge primaverili ed autunnali sono leggermente aumentate mentre sono diminuite della stessa quantità quelle degli altri due periodi. Il sito di Pallanza si trova in un'area di forti precipitazioni con una media annua di 1718 mm (la più elevata di 3352 mm nel 1960 e la minima di 1062 mm nel 2003) ed un massimo giornaliero di 225 mm. Anche le durate dei fenomeni, in progressiva diminuzione nel periodo considerato, si caratterizzano anno dopo anno per le frequenti alternanze fra valori elevati e modesti: la loro media annua è di 777 ore. Fra i giorni con precipitazioni (mediamente 122 all'anno, con un massimo di 158 eventi nel 1972 ed un minimo di 89 nel 1981) sono andati sensibilmente diminuendo quelli con precipitazioni nevose e con pioggia mista a neve, mentre sono rimaste invariate quelle con grandine.

Una netta tendenza alla diminuzione è indicata dai totali annui dell'evaporazione: si è passati infatti dai 1200 mm circa del 1956 ai 1000 mm dell'ultimo anno. Questa riduzione è evidente anche in tutte le stagioni seppure con diversa incidenza: molto contenuta in inverno quando la riduzione dell'evaporazione fu di 10 mm soltanto, mentre se ne contano una cinquantina in estate e circa 70 mm sia in primavera che in autunno. La massima quantità annua di acqua evaporata è stata di 1401 mm (1959), la minima di 879 mm (1972), mentre la massima giornaliera ha raggiunto 18,7 mm (16 luglio 1984).

Notevole è il decremento del percorso del vento registrato a Pallanza negli ultimi cinquanta anni: dai 21.000 km che la retta di regressione indica per il 1955 si è passati infatti a meno di 14.000 negli ultimi anni. La diminuzione è stata particolarmente accentuata negli anni iniziali del periodo di osservazioni (fino all'incirca al 1980) mentre successivamente si è molto ridotta e, più recentemente, con qualche accenno di ripresa. Questa situazione generale è confermata anche in tutti i periodi stagionali. Il percorso massimo in un giorno del vento è stato di 771 km (11 novembre 1996), mentre la raffica massima registrata ha raggiunto 110 km h<sup>-1</sup> (17 febbraio 1996). Quanto alle direzioni di provenienza, si è manifestato un progressivo spostamento del vento

settentrionale, inizialmente prevalentemente collocato da NW con oltre il 25% dei casi e poi ruotato da WNW con la stessa percentuale di frequenza. Anche le provenienze meridionali hanno visto alcune variazioni di direzione fino al prevalere di quella da SSE con frequenze superiori al 20%. Quanto alla distribuzione del vento in classi di intensità è netto il prevalere percentuale di quelle minori (fino a  $30 \text{ km h}^{-1}$ ), che sono anche in aumento, mentre netta è la diminuzione dei venti più forti.

La caratteristica più evidente dell'andamento dei livelli del Lago Maggiore è la costanza nel tempo delle sue quote idrometriche anche se con evidenti fluttuazioni e con una forte alternanza interannuale fra livelli elevati e bassi, conseguenza del succedersi di anni con forte afflusso meteorico con altri prevalentemente siccitosi. Il livello medio pluriennale risulta di m 193,88 s.l.m. mentre il più basso in assoluto è stato raggiunto con 192,38 m s.l.m. il 18 marzo 1956, ed il massimo risale al 17 ottobre 2000 con 197,86 m s.l.m. Le escursioni massime annue dei livelli sono tendenzialmente incrementate nel corso degli ultimi cinquanta anni con un aumento complessivo di circa 70 cm: la massima annua del 2000 ha raggiunto la quota di m 5,14: mentre la mensile è stata di 4,04 m (novembre 1981) e la giornaliera di m 1,89 (1° dicembre 2003).

La temperatura dell'acqua del lago, misurata a sei diverse profondità nei primi 20 m d'acqua, è tendenzialmente in aumento, su base annua, nei primissimi livelli (circa  $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e si mantiene costante più in profondità. La stessa situazione si è riscontrata anche in inverno e in primavera, mentre è stata un po' più articolata negli altri due periodi, maggiormente coinvolti nei processi di stratificazione termica: la tendenza all'aumento è ancora evidente nei livelli più superficiali mentre la temperatura è in debole diminuzione alle altre profondità. Quanto ai valori termici giornalieri, nei massimi è molto frequente la presenza di picchi diretti sia verso l'alto che verso il basso, mentre i minimi hanno una maggior uniformità dovuta alla scarsa variabilità dei dati a tutte le profondità.

## SUMMARY

*Data collected for over 50 years at the meteorological station of the C.N.R. Institute for Ecosystem Study (formerly the Italian Institute of Hydrobiology) in Pallanza were analysed to see whether during this period any changes occurred in the structure of some climatic elements, and if possible to quantify any such changes.*

*Nine meteorological parameters were analysed (solar radiation, insolation, air temperature, atmospheric pressure, humidity, cloud cover, precipitation, evaporation and wind) along with two limnological parameters (variations in the level of Lago Maggiore and the temperature of its water at six different depths).*

*Statistical analyses of the respective historical series considered means, maxima and minima on pluriannual, annual, seasonal, monthly and daily levels. We also analysed trends using regression lines and curves of the running means, presented uniformly (and also in graphic form) for all the climatic elements. In particular we highlighted the trend lines, although they were not always significant in a strictly statistical sense, owing to the considerable interannual variability of the meteorological data, especially the maxima and the minima; in such cases the significance of the results was more a general indication of the increasing or decreasing trend of the parameter over time.*

*This is also the case for the equation of the line on the graphs relating to the historical series, and thus for the possibility of quantifying the magnitude of the trend during the period considered by means of the angular parameter. The same graphs also show the curve obtained from the running means, evaluated with different periods (from 2 to 5) according to the length of the data series available: this curve serves to smooth the data distribution, showing the presence of cyclic trends or the more or less periodic fluctuations of the events. Finally, a summary of the monthly regimes of the major aspects of each climatic event is given.*

*In more than 50 years' observations, annual solar radiation has shown a slight increasing trend, though there has also been a marked interannual variability in the data: the minimum was just over  $90,000 \text{ cal cm}^{-2}$  (1954), while in 1961 a radiant energy of over  $119,000 \text{ cal cm}^{-2}$  was recorded. The seasonal data show a similar behaviour pattern, although the winter pattern is more differentiated, with a trend towards a higher increase.*

*The trend line of the historical series relating to the duration of annual insolation (also characterised by considerable data dispersion) shows an increase which in 20 years' observation is of around 100 hours: the mean of the second half of the 70s was around 2000 hours, while in 1996 it had increased to 2100 hours. The seasonal historical series show a more diversified pattern of behaviour, with the first three seasons of the year tending to an increase and the last season to a decrease.*

*The trend line of the air temperature, which is highly significant, shows a distinct rising tendency from 1951, with an increase of around  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . The curve of the running means has a concave trend, with an initial phase of decreasing temperatures (up to 1980) followed by a period of continuous and marked thermal rise which is still ongoing. Seasonal trends are all in the direction of a progressive temperature increase, more marked in summer and spring and less so in winter and (especially) in autumn. Daily temperature excursions are also increasing by about  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , while the monthly excursion values show an increase of almost  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  and the annual values of around  $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . As regards the*

thermal classification of days, few days were classified under "frost", and this trend is decreasing; those classed as "hoar frost" showed a slight rise, but those classed as "warm" showed a marked increasing trend, from a mean of just over 3 in the early 50s to 24 in the last year.

Atmospheric pressure increased markedly in the study period, with a statistically significant trend line rising from an initial value of 989 mbar to a final value of 995 mbar. Both as a general tendency and as trend lines, the seasonal historical series reflect the annual trend, showing a strong increase which is more marked in the extreme seasons than the intermediate seasons. The steady rising trend of all the atmospheric pressure data is confirmed by the historical series of daily baric minima and maxima.

With a statistically significant trend line, the atmospheric humidity on an annual level appears to be decreasing, falling from a mean value of around 73% in 1951 to around 68% in 2004. Nevertheless, its general trend, expressed by the curve of the running means, indicates the presence of some cyclical modulations, the most striking of which affected the last ten years of the 20<sup>th</sup> century. The historical seasonal series substantially confirm the situation shown by the annual data; the same is also true of the hygrometric means of the minima and maxima.

Measurement of the cloud cover was limited to the years between 1973 and 1997. The statistical elaboration of the annual data indicates a slightly rising trend, although there are three clearly defined cycles, each of around 10 years' duration. The summer and autumn series also showed a slight tendency to increase, while the contrary situation was found in the other two periods. Regarding the distribution of days with different cloud cover, "cloudless" days showed a progressive decrease (from 130 to 110), while "mixed" and "overcast" days increased by around 11 and 17 units respectively.

Results of the analysis of annual precipitation show that the quantity of meteoric water over time was essentially unvaried from 1951-2003, although the data dispersion was very high. On a seasonal level the spring and autumn rains increased slightly, whereas the rains in the other two periods decreased by the same amount. The Pallanza site is located in an area of high precipitation, with an annual mean of 1718 mm (highest values 3352 mm in 1960 and lowest 1062 mm in 2003), and a daily maximum of 225 mm. The duration of the phenomena, progressively decreasing in the period considered, was also characterised year after year by frequent alternations between high and low values: their annual mean is 777 hours. Of days with precipitation (on average 122 per year, with a maximum of 158 events in 1972 and a minimum of 89 in 1981), those with snow or sleet have shown a marked decrease, while there has been no change in the number of days with hail.

A clear decreasing trend is shown by the annual total values of evaporation, from around 1200 mm in 1956 to 1000 mm in the last year. This reduction is also evident in all seasons, though with varying incidence: very low in winter, with a drop in evaporation of just 10 mm, about 50 mm in summer and around 70 mm both in spring and autumn. The greatest annual quantity of water evaporated was 1401 mm (1959), the lowest 879 mm (1972), while the daily maximum reached 18.7 (16 July 1984).

The wind run recorded at Pallanza over the last 50 years has shown a substantial decrease: from 21,000 km on the regression line in 1955 to less than 14,000 in the last few years. The decrease was especially marked in the years at the beginning of the observation period (up to approximately 1980); after this date the decrease was much smaller and has recently shown signs of increasing again. This general pattern was confirmed for all seasons. The maximum run on a windy day was 771 km (11 November 1996), with a maximum gust recorded of 110 km h<sup>-1</sup> (17 February 1996). As regards wind direction, there was a progressive shift of the northerly wind, which tended to blow from NW in over 25% of cases, to WNW with the same frequency percentage. Southerly winds also underwent some shift in direction, with an eventual prevalence of wind from SSE with frequencies over 20%. As regards intensity classes, there was a clear percentage prevalence of lighter winds (up to 30 km h<sup>-1</sup>), which are also increasing, with a clear decrease in stronger winds.

The most evident characteristic in the trend of the level of Lago Maggiore is the constancy over time of its hydrometric levels, even though there have been sharp fluctuations and a marked interannual alternation between high and low levels, which have been the result of years of high precipitation alternating with prevalently dry years. The mean pluriannual level is 193.88 m a.s.l., while the lowest level of 192.38 m a.s.l. was recorded on 18 March 1956 and the maximum of 197.86 m a.s.l. on 17 October 2000. The annual maximum excursions of levels have tended to increase over the last 50 years, with a total increase of around 70 cm: the annual maximum of 2000 reached a value of 5.14 m, the monthly maximum was 4.04 m in November 1981 and the daily maximum was 1.89 m on December 1<sup>st</sup> 2003.

The lake water temperature, measured at six different depths in the first 20 m of water, showed an increasing trend, on an annual basis in the top levels (around 0.8 °C), and is steady at lower depths. The same situation was also found in winter and spring, but was a little more complex in the other two periods, which are involved to a greater extent in thermal stratification processes: the increasing trend is still evident in the levels nearer the surface, while the temperature decreases slightly at other depths. Maximum daily thermal values show a frequent presence of both upward and downward peaks, while the minima are more uniform owing to the low variability of the data at all depths.

## BIBLIOGRAFIA (REFERENCES)

- Arca, G. & L. Barbanti. 1976 e seguenti. Annuari dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 34 e seguenti.
- Arca, G. & L. Barbanti. 1984 e seguenti. Annuari dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza. *Documenta Ist. ital. Idrobiol.*, 3, 7, 10, 13, 20, 21, 25 e 31.
- Barbanti, L. 1967. Analisi di una serie pluriennale di osservazioni meteorologiche (1951-1966). *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 22: 177-287.
- Barbanti, L. 1968 e seguenti. Annuari dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 23 e seguenti.
- Barbanti, L. 1991 e seguenti. Annuari dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza. *Documenta. Ist. ital. Idrobiol.*, 34, 41, 48, 52, 58 e 62.
- Ambrosetti, W., L. Barbanti, R. de Bernardi, V. Libera & A. Rolla. 1994. La piena del Lago Maggiore nell'autunno 1993. Un evento di portata secolare. *Documenta Ist. ital. Idrobiol.*, 45: 51 pp.
- Ambrosetti, W., L. Barbanti, A. Ferrari & A. Rolla. 2001. Indagini sull'ambiente pelagico. Limnologia fisica. In: C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia (Ed.), *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2000*. Commissione Inter. per la protezione delle acque italo-svizzere, Chironico Svizzera: 35-44.