



Centro di Ecologia e Climatologia
OSSERVATORIO GEOFISICO SPERIMENTALE S.C.AR.L.

**Caratterizzazione climatologica delle Marche:
campo medio della temperatura
per il periodo 1950-2000**

A cura di

**Dott.ssa Romina Spina
Dott.ssa Silvia Stortini
Prof. Redo Fusari
Prof. Carlo Scuterini
Dott. Maurizio Di Marino**

Indice.

| | |
|---|----|
| Premessa | 2 |
| 1. Banca dati per l'analisi della temperatura | 3 |
| 1.1. Ricostruzione delle serie storiche | |
| 1.2. Omogeneizzazione delle serie storiche | |
| 2. Distribuzione di probabilità della temperatura media mensile | 10 |
| 3. Applicazione della <i>cluster analysis</i> | 20 |
| 4. Analisi della variabilità della temperatura mediante <i>empirical orthogonal functions</i> | 24 |
| 5. Gradiente termico altimetrico | 27 |
| 6. Carte della temperatura media annua, di gennaio e di luglio nelle Marche per il periodo 1950-2000 | 29 |
| 7. Analisi delle serie temporali di temperatura | 32 |
| 8. Sintesi dei risultati ottenuti e considerazioni conclusive | 47 |
| Appendice I: Aree sotto la curva normale standardizzata da 0 a z | 52 |
| Appendice II: Valori dei percentili per la distribuzione della variabile casuale chi-quadrato con v gradi di libertà | 53 |
| Appendice III: Probabilità per la distribuzione χ^2 | 54 |
| Ringraziamenti | 55 |
| Bibliografia | 55 |

Premessa.

La temperatura atmosferica rappresenta l'elemento climatico che più direttamente influisce sia sull'ambiente, sia sugli organismi: il suo andamento giornaliero e quello stagionale ed annuale, i suoi valori normali e quelli estremi concorrono decisamente alla determinazione di un comportamento quotidiano negli esseri viventi e di un ciclo annuo nei vegetali. La temperatura interviene, inoltre, nella definizione dei limiti entro cui può manifestarsi la vita sul nostro pianeta ed assume un ruolo di primaria importanza nella definizione delle caratteristiche del paesaggio.

Ecco perché nel campo degli studi climatologici si dà ampio sviluppo all'analisi di questo elemento, che risulta invero di fondamentale interesse.

Lo studio, oggetto di questo documento e realizzato dal Centro di Ecologia e Climatologia Osservatorio Geofisico Sperimentale S.C.A R.L. di Macerata, su incarico del Servizio Protezione Civile e Sicurezza Locale della Regione Marche, è una caratterizzazione del territorio regionale attraverso l'analisi di serie di temperatura.

Per lo svolgimento di questa attività di ricerca sono stati elaborati statisticamente i seguenti parametri: temperatura media mensile, media mensile delle temperature massime assolute giornaliere e media mensile delle temperature minime assolute giornaliere, di 24 stazioni di misura della rete marchigiana di monitoraggio meteorologico, per il periodo 1950-2000.

Nella presente relazione è riportata una descrizione del lavoro fatto. In prima istanza vengono presentati i dati usati, la ricostruzione delle eventuali fallanze ed il procedimento attuato per il controllo di qualità delle serie storiche, al fine di poter compiere un'indagine attendibile. Nei paragrafi susseguenti sono riportate le analisi statistiche effettuate sulle variabili investigate, con le finalità prestabilite di generare nuove informazioni, integrando quelle già disponibili nella bibliografia scientifica, riguardanti i caratteri termici del territorio marchigiano. I dati di base sono stati ulteriormente elaborati con procedure e strumenti *GIS (Geographic Information System)*, atti a rappresentarli in forma di mappe. Infine sono state esaminate le serie temporali a disposizione, con l'intento di determinare un'eventuale tendenza nell'andamento delle temperature nelle Marche. Nell'ottavo paragrafo sono riepilogati i risultati e prodotti ottenuti, disaminati con ulteriori e maggiori ragguagli al termine di ogni sezione.

1. Banca dati per l'analisi della temperatura.

Il *data base* utilizzato è in parte costituito dalle osservazioni termometriche per il periodo 1950-1989, riportate negli Annali Idrologici dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Bologna, integrate con gli aggiornamenti dal 1990 in formato digitale, non ancora pubblicati. L'altra parte del *data set* è desunta dall'archivio, sia cartaceo che elettronico, interno al CEC-OGSM, contenente le misurazioni effettuate nelle stazioni coordinate dal Centro per periodi variabili, in base all'installazione degli strumenti di misura e, tuttavia, posteriori al 1957.

La rete meteorologica di rilevamento dati dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata è costituita (2000) da 17 stazioni, di cui 8 controllate direttamente dal Centro di Ecologia e Climatologia, mentre 9 gestite da operatori terzi, che collaborano con l'Osservatorio inviando periodicamente i dati di pertinenza. Con riferimento allo studio svolto, 5 di esse sono state incluse nel campione di stazioni impiegate nell'analisi: Bolognola (Pintura), Civitanova Marche, Macerata, Pollenza e S. Benedetto del Tronto.

Tra le stazioni termometriche dislocate sul territorio regionale ne sono state selezionate 24 in tutto. La scelta è stata condotta in base alla continuità delle serie storiche o alla possibilità di completarle, con la ricostruzione statistica dei dati mancanti nell'intervallo temporale in questione.

Nelle pagine successive sono riportati l'elenco delle stazioni (Tab. 1.2) e la loro ubicazione all'interno della regione (Fig. 1.1).

1.1. Ricostruzione delle serie storiche.

Per discontinuità brevi (da 1 a 3 anni), è stata impiegata una tecnica di interpolazione *within-station* [Niglio, 2001]. In particolare, è stato assegnato al dato non disponibile il valor medio delle temperature registrate da una stessa centralina nei 30 anni precedenti o successivi a quello affetto da mancata osservazione.

Per periodi lunghi (oltre 3 anni), è stato dapprima misurato il grado di interdipendenza tra le stazioni. Il periodo preso in considerazione per fare ciò, il 1961-1990, corrisponde al trentennio raccomandato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO), quale riferimento convenzionale per le analisi ed i confronti climatologici. All'atto pratico, è stato effettuato il calcolo del coefficiente di correlazione lineare di Pearson tra tutte le coppie di stazioni, per ciascun parametro, per ogni mese dell'anno dell'intervallo 1961-

1990. La ricostruzione dei dati mancanti è avvenuta poi attraverso la regressione semplice lineare tra la serie della stazione *target* e quella maggiormente correlata ad essa. Il calcolo dell'intercetta e della pendenza delle equazioni di regressione è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati [Wilks, 1995].

1.2. Omogeneizzazione delle serie storiche.

Dopo essere state ricostruite, le serie storiche dal 1950 al 2000 sono state sottoposte ad una procedura di controllo di qualità dei dati. L'obiettivo era quello di ottenere serie temporali omogenee, per le quali le variazioni potessero attribuirsi soltanto ai cambiamenti meteorologici (Conrad and Pollack, 1962).

Per individuare le disomogeneità sono state costruite le serie delle differenze secondo la relazione:

$$Q_i = Y_i - \left\{ \sum_{j=1}^k \rho_j^2 [X_{ji} - \bar{X}_j + \bar{Y}] / \sum_{j=1}^k \rho_j^2 \right\},$$

dove il secondo termine a destra dell'uguale è detto valore di riferimento e rappresenta la stima per la serie candidata, Y ottenuta a partire dai corrispondenti valori di un dato *set* di cinque stazioni di riferimento, correlate ad essa secondo i coefficienti ρ_j , per $j = 1, \dots, k = 5$.

Standard normal homogeneity test (SNHT) per singoli *shifts* è stato poi applicato alle serie standardizzate:

$$Z_i = \frac{(Q_i - \bar{Q})}{\sigma_Q}.$$

Sotto le ipotesi nulla (H_0) ed alternativa (H_1):

$$H_0 : Z_i \in N(0,1) \quad i \in \{1, \dots, n\} \qquad H_1 : \left\{ \begin{array}{l} Z_i \in N(\mu_1, 1) \quad i \in \{1, \dots, a\} \\ Z_i \in N(\mu_2, 1) \quad i \in \{a+1, \dots, n\} \end{array} \right\},$$

dove N indica una distribuzione normale di valor medio e deviazione standard noti, si è determinato il valore della statistica T_{\max}^S (Alexandersson, 1986):

$$T_{\max}^S = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{T_a^S\} = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{a\bar{z}_1^2 + (n-a)\bar{z}_2^2\},$$

dove \bar{z}_1 e \bar{z}_2 sono le medie aritmetiche della serie $\{z_i\}$ prima e dopo lo *shift*.

Il valore di a , corrispondente al massimo della serie $\{T_a^S\}$, appare dunque l'anno più probabile per il *break*. A tal proposito, la T_{\max}^S è stata confrontata con il valore critico

(relativo all'ampiezza, n della serie) al livello di significatività prescelto del 5 per cento (T_{95}), riportato nella tabella sottostante (Tab. 1.1). Se risultava $T_{max}^S > T_{95}$, l'ipotesi nulla di omogeneità veniva rifiutata al predetto livello di significatività; in tal caso i dati per il periodo $\{1, \dots, a\}$ erano corretti della differenza: $\bar{q}_2 - \bar{q}_1$, con $\bar{q}_1 = \sigma_Q \bar{z}_1 + \bar{Q}$ e $\bar{q}_2 = \sigma_Q \bar{z}_2 + \bar{Q}$ [Moberg and Alexandersson, 1997].

| n | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 250 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T_{95} | 5,70 | 6,95 | 7,65 | 8,10 | 8,45 | 8,65 | 8,80 | 8,95 | 9,05 | 9,15 | 9,35 | 9,70 |

Tab. 1.1: Valori critici per *single shift test* al livello di significatività del 5 per cento.

L'omogeneizzazione delle serie di temperatura è stata condotta sulle medie mensili dei valori di temperature massime e minime assolute giornaliere, trattando i dati come un intero *set* e non come serie individuali, non avendo a disposizione serie di riferimento da ritenersi sufficientemente omogenee. La procedura di omogeneizzazione ha compreso un test preliminare e un test finale, entrambi a più sessioni.

Nel test preliminare, ciascuna delle 24 stazioni è risultata essere stazione di riferimento insieme alle altre 22 per la candidata in esame e stazione candidata a sua volta. Per ogni stazione candidata, sono state selezionate le 5 stazioni di riferimento, secondo il criterio della più alta correlazione; si sono identificati e rimossi gli *outliers* ed è stato effettuato il test di omogeneità *SNHT* soprariportato.

Alla fine di ogni sessione sono state applicate le correzioni per le disomogeneità. Le stazioni risultate omogenee sono state trattate nel prosieguo soltanto come stazioni di riferimento, fino a quando non è stato più possibile individuare alcuna disomogeneità per tutte le stazioni.

A questo punto, è stato svolto il test finale per mezzo di una procedura analoga, con l'unica differenza riguardante l'impiego di *sets* di riferimento fissi, costituiti dalle stazioni risultate omogenee al test preliminare.

Le temperature medie mensili sono state poi calcolate come media aritmetica delle due variabili suddette.

| Stazione | Altitudine (m) | Latitudine (N) | Longitudine (E) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Ancona (Torrette) | 6 | 43°36'35" | 13°27'13" |
| Arcevia | 535 | 43°29'58" | 12°56'21" |
| Ascoli Piceno | 136 | 42°51'30" | 13°35'43" |
| Bargni | 273 | 43°45'00" | 12°51'13" |
| Bolognola (Pintura) | 1380 | 42°59'12" | 13°14'24" |
| Camerino | 664 | 43°08'10" | 13°04'08" |
| Carpegna | 748 | 43°46'47" | 12°20'00" |
| Cingoli | 631 | 43°22'25" | 13°12'58" |
| Civitanova Marche | 10 | 43°17'27" | 13°43'45" |
| Fabriano | 357 | 43°20'10" | 12°54'22" |
| Fano | 14 | 43°50'30" | 13°01'06" |
| Fonte Avellana | 689 | 43°28'13" | 12°43'38" |
| Jesi | 96 | 43°31'27" | 13°14'48" |
| Lornano | 232 | 43°17'10" | 13°25'15" |
| Macerata | 303 | 43°17'32" | 13°25'09" |
| Mercatello | 429 | 43°38'47" | 12°20'08" |
| Montemonaco | 987 | 42°53'53" | 13°19'26" |
| Novafeltria | 293 | 43°53'30" | 12°17'25" |
| Pergola | 306 | 43°33'46" | 12°50'08" |
| Pesaro | 11 | 43°54'45" | 12°54'38" |
| Pollenza | 158 | 43°14'54" | 13°23'36" |
| S. Benedetto del Tronto | 5 | 42°56'54" | 13°53'24" |
| Servigliano | 215 | 43°04'48" | 13°29'35" |
| Urbino | 451 | 43°43'30" | 12°38'08" |

Tab. 1.2: Elenco delle 24 stazioni termometriche.

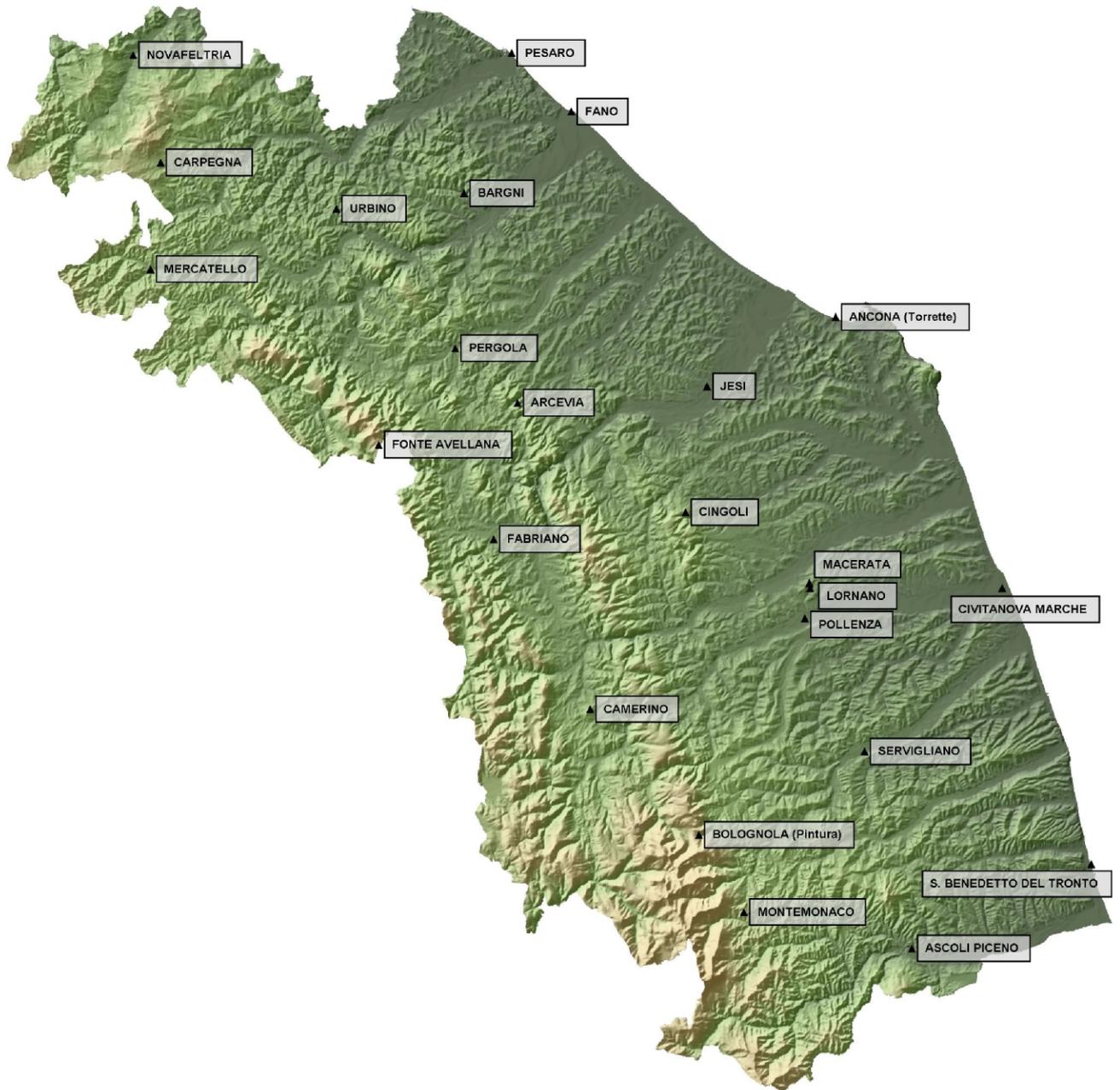


Fig. 1.1: Distribuzione geografica delle 24 stazioni termometriche.

In Fig. 1.2 sono mostrati i *boxplots* dei dati mensili della temperatura media, dal 1950 al 2000, per ogni stazione, costruiti sui valori dei cinque quantili: minimo, 1° quartile (lascia prima di sé il 25% dell'insieme di dati sistemato in ordine di grandezza), mediana, 3° quartile (al di sotto del quale cade il 75% dei *records*) e massimo, riportati in Tab. 1.3. In ciascun *box* è raggruppato il 50% dei dati. Essendo le mediane prossime al centro dei *boxes*, i dati sono da ritenersi distribuiti in maniera pressoché simmetrica [Wilks, 1995].

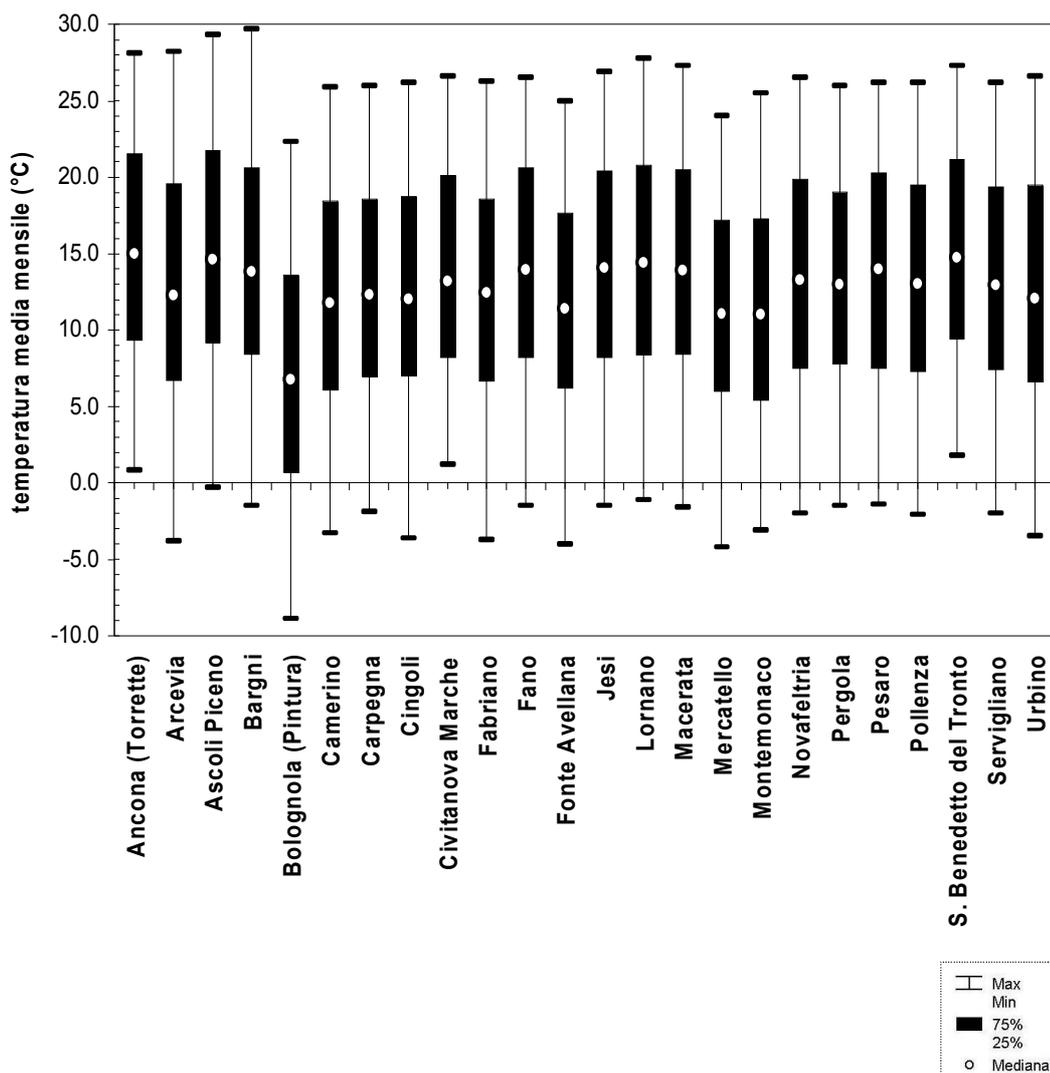


Fig. 1.2: *Boxplots* delle serie dei dati di temperatura media mensile.

Dalla rappresentazione grafica soprariportata si può notare, come era da aspettarsi, che a Bolognola (Pintura), unica stazione in esame oltre i 1.000 m, si registrano temperature più basse rispetto alle altre stazioni. Valori della mediana oscillanti attorno agli 11-12 °C si manifestano poi nella fascia altocollinare montana. A seguire, si evidenzia una fascia medio e bassocollinare con temperature medie intorno ai 13 °C. Infine i valori termici più alti si presentano lungo la costa e nelle zone ad essa limitrofe (mediana circa 14-15 °C).

| Stazione | Minimo (°C) | 1° Quartile (°C) | Mediana (°C) | 3° Quartile (°C) | Massimo (°C) |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Ancona (Torrette) | 0,8 | 9,3 | 15,0 | 21,6 | 28,1 |
| Arcevia | -3,8 | 6,7 | 12,3 | 19,6 | 28,2 |
| Ascoli Piceno | -0,3 | 9,2 | 14,7 | 21,8 | 29,3 |
| Bargni | -1,5 | 8,4 | 13,8 | 20,7 | 29,7 |
| Bolognola (Pintura) | -8,9 | 0,7 | 6,8 | 13,6 | 22,3 |
| Camerino | -3,3 | 6,1 | 11,8 | 18,5 | 25,9 |
| Carpegna | -1,9 | 7,0 | 12,3 | 18,6 | 26,0 |
| Cingoli | -3,6 | 7,0 | 12,1 | 18,8 | 26,2 |
| Civitanova Marche | 1,2 | 8,2 | 13,2 | 20,1 | 26,6 |
| Fabriano | -3,7 | 6,7 | 12,5 | 18,6 | 26,3 |
| Fano | -1,5 | 8,2 | 14,0 | 20,7 | 26,5 |
| Fonte Avellana | -4,0 | 6,2 | 11,4 | 17,7 | 25,0 |
| Jesi | -1,5 | 8,2 | 14,1 | 20,4 | 26,9 |
| Lornano | -1,1 | 8,4 | 14,4 | 20,8 | 27,8 |
| Macerata | -1,6 | 8,4 | 13,9 | 20,5 | 27,3 |
| Mercatello | -4,2 | 6,0 | 11,1 | 17,2 | 24,0 |
| Montemonaco | -3,1 | 5,4 | 11,0 | 17,3 | 25,5 |
| Novafeltria | -2,0 | 7,5 | 13,3 | 19,9 | 26,5 |
| Pergola | -1,5 | 7,8 | 13,0 | 19,1 | 26,0 |
| Pesaro | -1,4 | 7,5 | 14,0 | 20,3 | 26,2 |
| Pollenza | -2,1 | 7,3 | 13,1 | 19,5 | 26,2 |
| S. Benedetto del Tronto | 1,8 | 9,4 | 14,8 | 21,2 | 27,3 |
| Servigliano | -2,0 | 7,4 | 13,0 | 19,4 | 26,2 |
| Urbino | -3,5 | 6,6 | 12,1 | 19,5 | 26,6 |

Tab. 1.3: Quantili delle serie dei dati di temperatura media mensile.

2. Distribuzione di probabilità della temperatura media mensile.

E' stata studiata la distribuzione di probabilità della variabile temperatura media mensile, x considerata alla maniera di una variabile aleatoria continua definita in tutto il campo reale, ben rappresentata dalla distribuzione normale o gaussiana, la cui densità di probabilità (*probability density function, PDF*) risulta:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty.$$

I due parametri μ e σ sono rispettivamente il valor medio e la deviazione standard della distribuzione.

Validi parametri estimatori per questa distribuzione si possono facilmente ottenere usando il metodo dei momenti, stimando semplicemente μ come la media campione \bar{x} e σ come la deviazione standard campione s , attraverso le rispettive equazioni:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{e} \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

dove n è il numero di valori del *set* di dati e s^2 rappresenta la varianza campione.

La probabilità di avere una temperatura mensile minore o uguale ad un valore fissato x_0 è data allora dalla funzione di distribuzione cumulativa (*cumulative distribution function, CDF*) definita come:

$$F(x_0) = P(x \leq x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} f(x) dx,$$

ricordando che essa rappresenta il valore dell'area sottostante la curva tra $-\infty$ e x_0 .

Volendo calcolare la probabilità che la temperatura mensile risulti maggiore al valore x_0 , si

tiene conto della proprietà generale della *CDF* secondo la quale $F(-\infty, +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$,

da cui segue che:

$$P(x > x_0) = 1 - \int_{-\infty}^{x_0} f(x) dx.$$

La *PDF* della distribuzione gaussiana non è integrabile analiticamente, quindi per ottenere la *CDF* si procede per calcolo approssimato (Abramowitz and Stegun, 1984) o utilizzando la tabella in Appendice I [Spiegel, 1976]. In ambedue i casi occorre in primo luogo standardizzare la variabile x con la trasformazione:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma},$$

da cui la funzione densità di probabilità della distribuzione normale standardizzata diventa:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}$$

e la relativa *CDF* diviene:

$$F(z_0) = P(z \leq z_0) = \int_{-\infty}^{z_0} f(z) dz = \int_{-\infty}^{z_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz.$$

Le caratteristiche fondamentali di questa distribuzione sono il valor medio $\mu = 0$ e la varianza $\sigma^2 = 1$.

In generale, per il calcolo delle probabilità della distribuzione normale, si rammenta che nell'area compresa tra i punti di ascissa $\mu - 3\sigma$ e $\mu + 3\sigma$ è inclusa la quasi totalità dei valori di x [Wilks, 1995].

Sono riportati di seguito i grafici rappresentanti gli istogrammi delle densità di frequenza dei dati di anomalie standardizzate di temperatura media mensile e l'andamento della *PDF* (Fig. 2.1); sono elencate le principali proprietà statistiche per ciascuna distribuzione (Tab. 2.1); infine sono indicate la media e la deviazione standard delle serie dei dati di temperatura media mensile per il periodo 1950-2000 (Tab. 2.3).

Da una prima analisi degli istogrammi dei dati standardizzati (Fig. 2.1), si può notare, come aspettato, che la temperatura media mensile segue la distribuzione normale.

Ciò è confermato dal confronto degli indici di forma, posizione e dispersione (Tab. 2.1), calcolati per ciascuna stazione di misura, con quelli relativi alla curva di Gauss, riportati in Tab. 2.2.

La bontà di adattamento della distribuzione dei dati campionari alla gaussiana è stata stimata attraverso il test chi-quadrato al livello di significatività del 5 percento.

Si indichino con o_k le frequenze osservate e siano e_k le frequenze teoriche o attese. La misura della discrepanza esistente tra le frequenze osservate e quelle teoriche è fornita dalla statistica χ^2 data da:

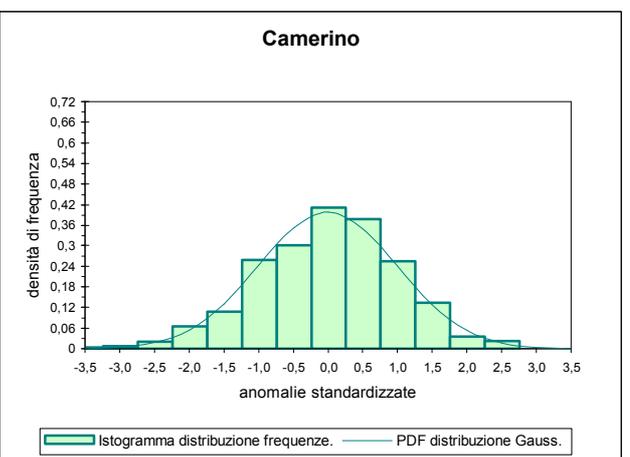
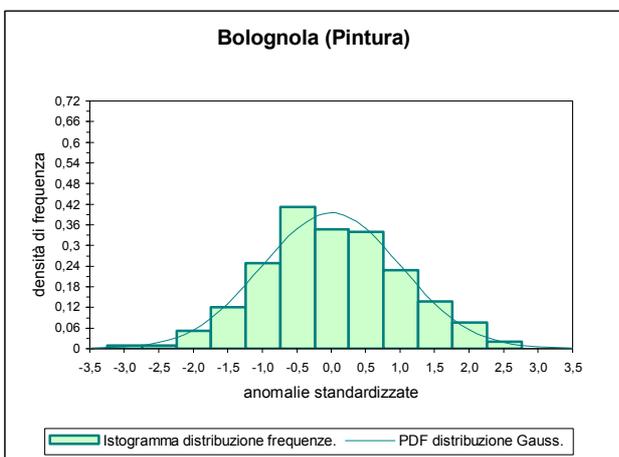
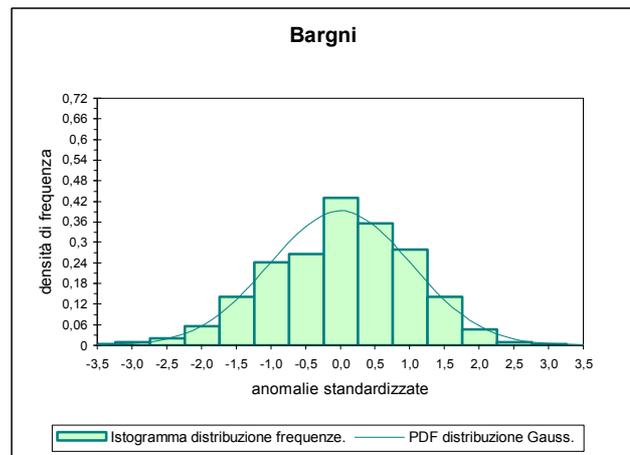
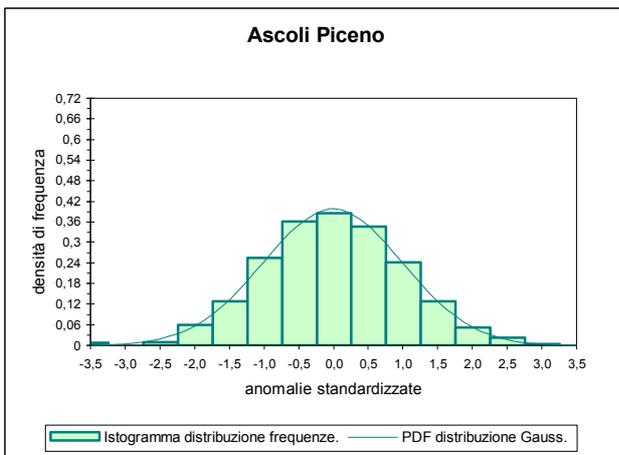
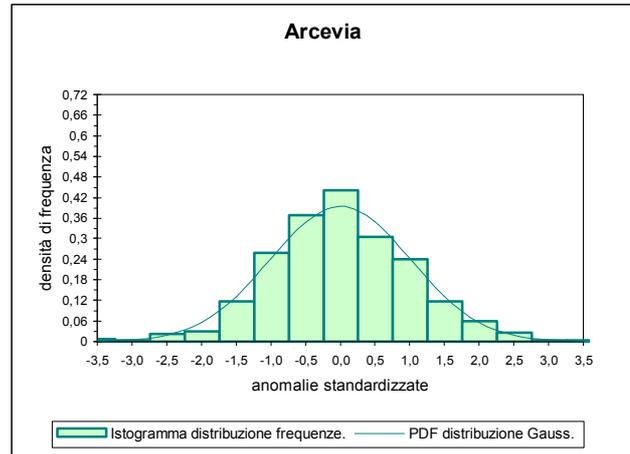
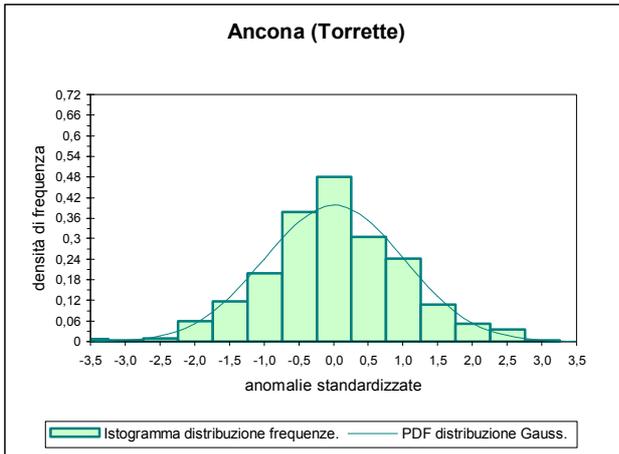
$$\chi^2 = \sum_{j=1}^n \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j},$$

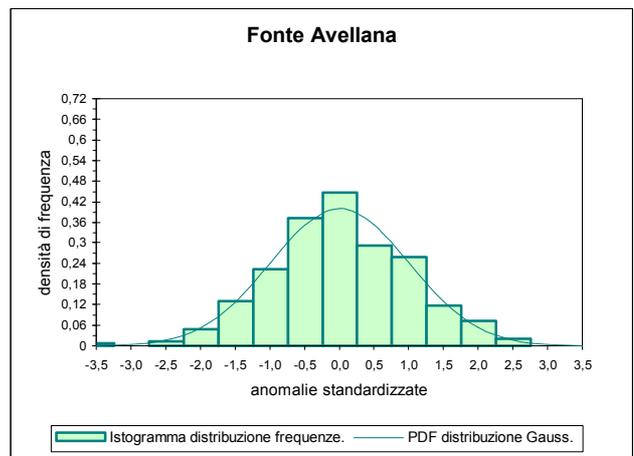
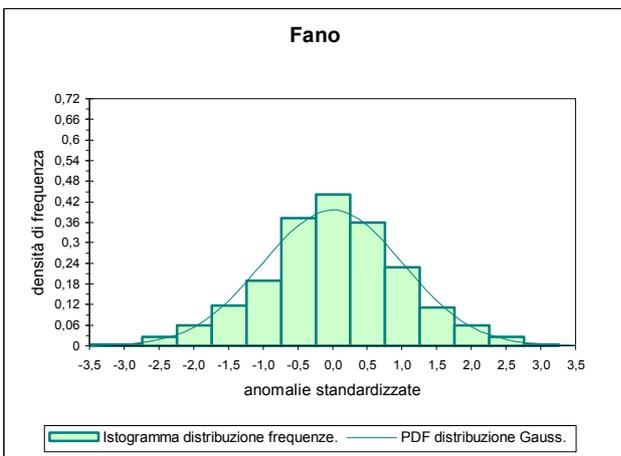
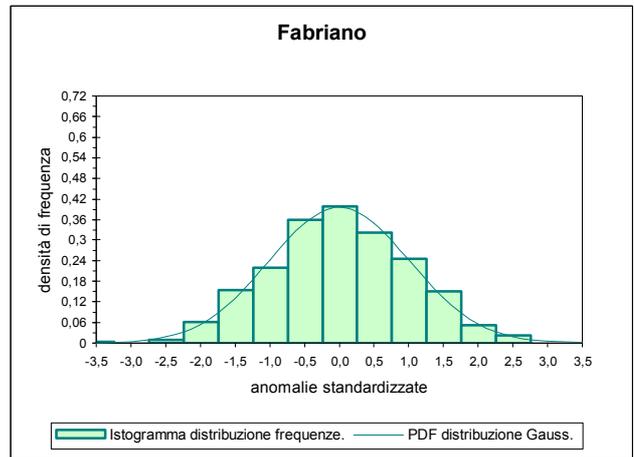
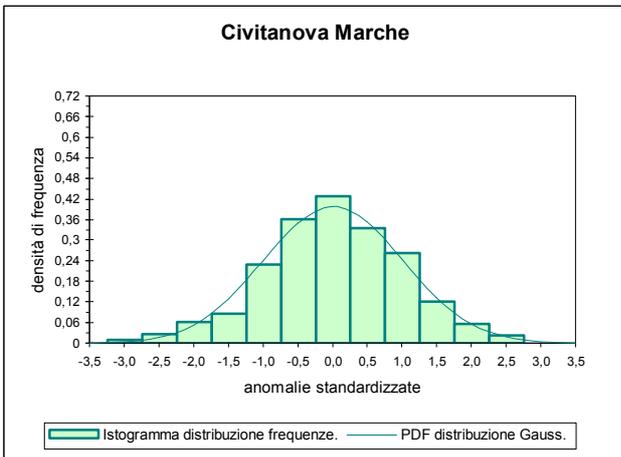
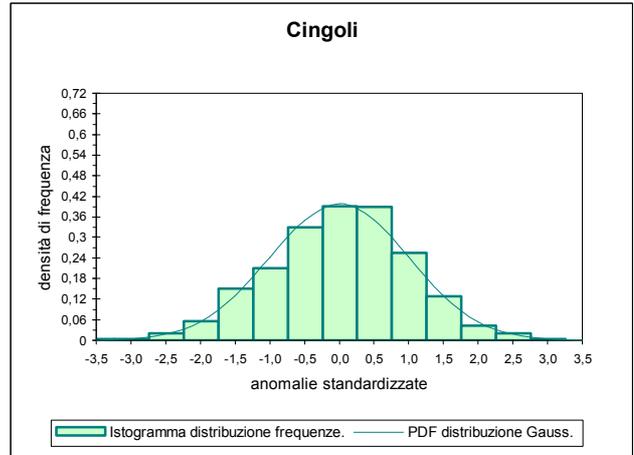
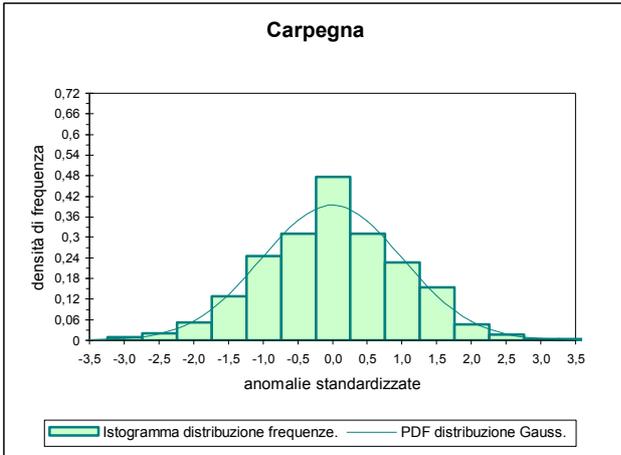
dove n è l'ampiezza del campione e la frequenza totale è: $\sum o_j = \sum e_j = n$.

Il valore di chi-quadrato calcolato, χ_o^2 per i relativi gradi di libertà, ν e la probabilità, p di trovare un chi-quadrato maggiore o uguale a quello ottenuto sono riportati nella Tab. 2.4.

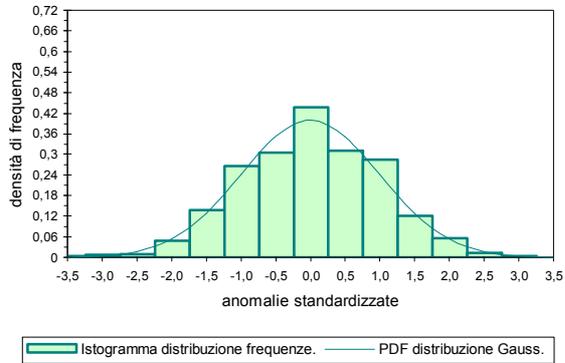
Usando l'Appendice II [Spiegel, 1976], si può effettuare il confronto tra il valore di χ^2 calcolato e quello critico ai vari livelli di significatività per diversi gradi di libertà.

Per la stima delle probabilità, p in Appendice III [Taylor, 1993] sono tabulate le probabilità, $P(\chi^2 \geq \chi_o^2)$ in funzione di ν e $\tilde{\chi}_o^2$, dove $\tilde{\chi}_o^2 = \chi_o^2/\nu$ indica il chi-quadrato ridotto.

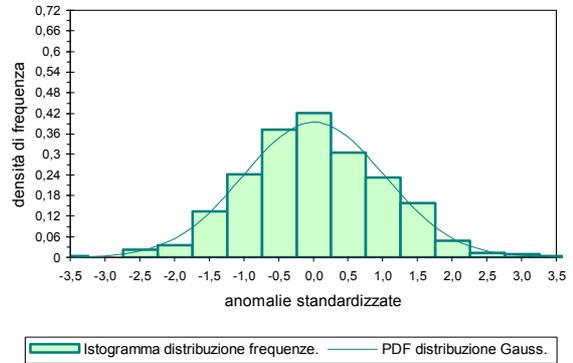




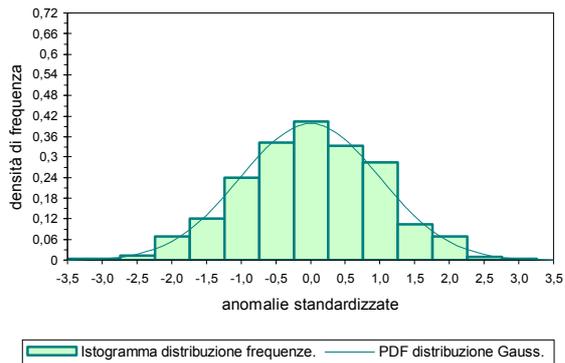
Jesi



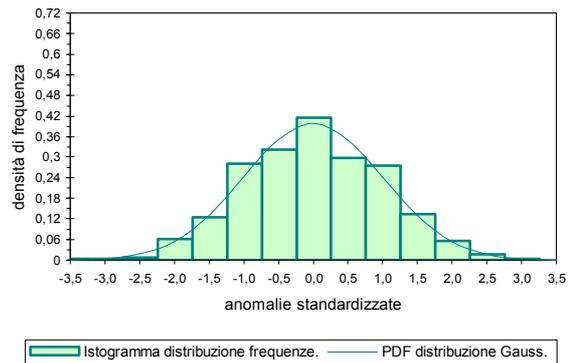
Lornano



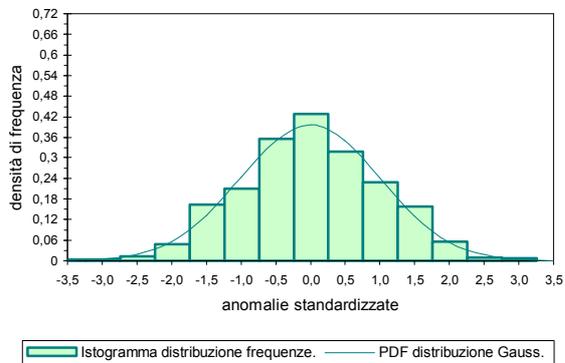
Macerata



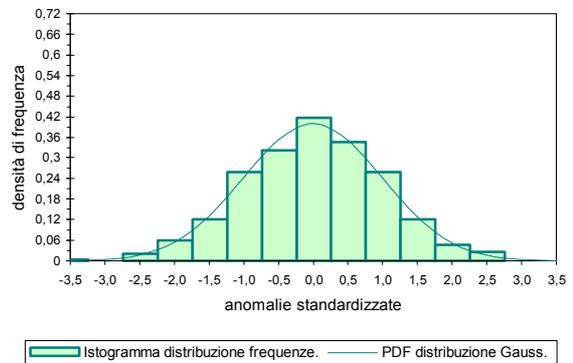
Mercatello



Montemonaco



Novafeltria



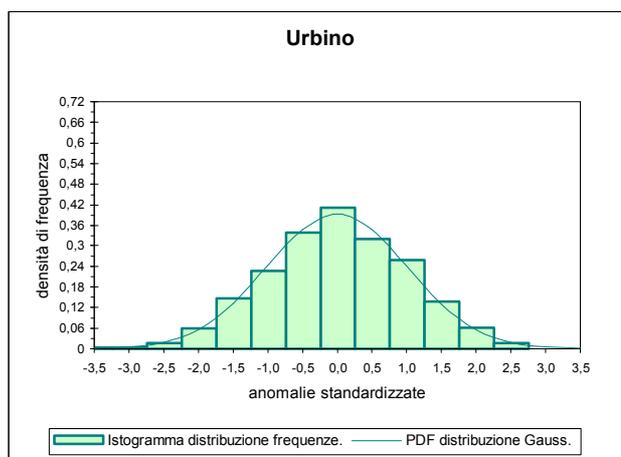
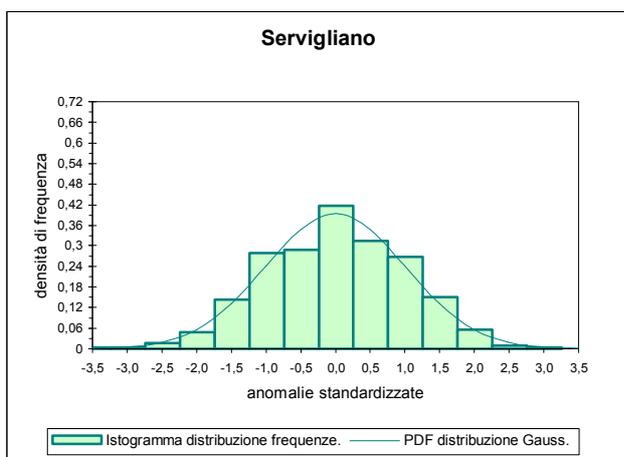
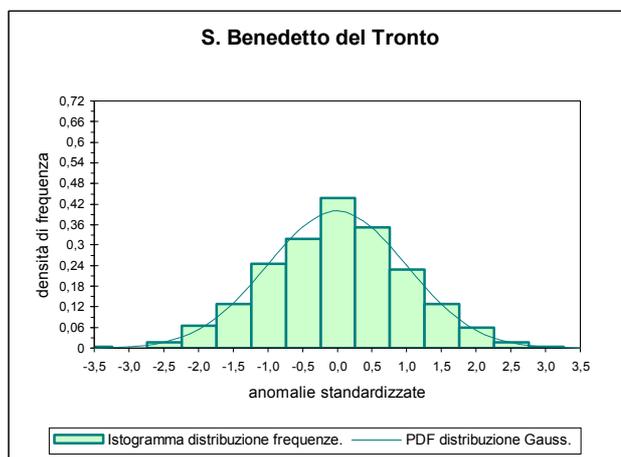
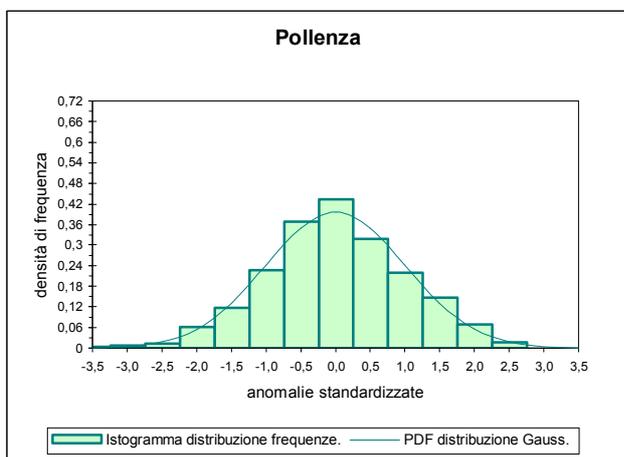
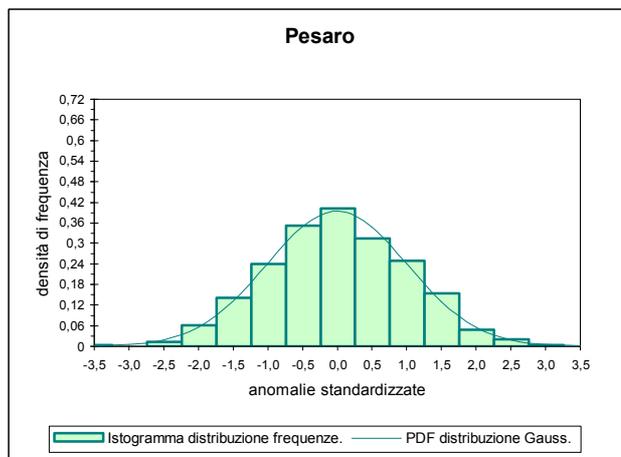
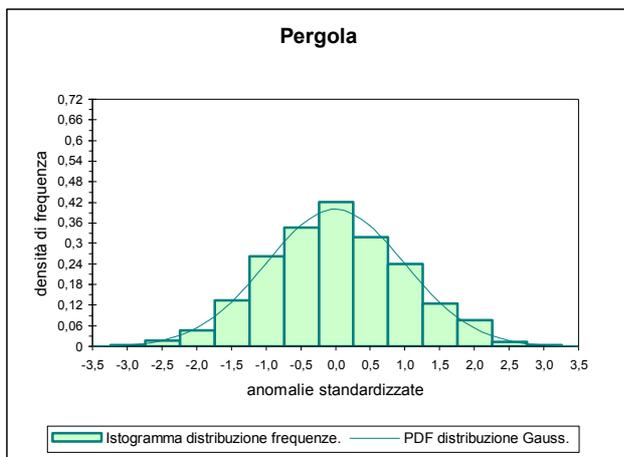


Fig. 2.1: Grafici rappresentanti gli istogrammi delle densità di frequenza dei dati di anomalie standardizzate di temperatura media mensile e andamento della *PDF*.

| Stazione | Asimmetria | Curtosi | Mediana | Moda | 25° Percentile | 75° Percentile |
|------------------------|-------------------|----------------|----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Ancona (Torrette) | 0,01 | 3,39 | -0,02 | -0,07 | -0,61 | 0,65 |
| Arcevia | 0,05 | 3,42 | -0,03 | -0,08 | -0,67 | 0,66 |
| Ascoli Piceno | -0,01 | 3,05 | -0,02 | -0,07 | -0,69 | 0,67 |
| Bargni | -0,25 | 2,99 | 0,06 | 0,09 | -0,69 | 0,72 |
| Bolognola (Pintura) | 0,03 | 2,83 | -0,04 | -0,39 | -0,68 | 0,69 |
| Camerino | -0,19 | 3,05 | 0,04 | 0,14 | -0,68 | 0,68 |
| Carpegna | -0,02 | 3,12 | 0,00 | 0,00 | -0,68 | 0,67 |
| Cingoli | -0,14 | 3,00 | 0,04 | 0,23 | -0,66 | 0,68 |
| Civitanova Marche | -0,14 | 3,11 | 0,01 | -0,04 | -0,63 | 0,69 |
| Fabriano | -0,01 | 2,76 | -0,01 | -0,08 | -0,68 | 0,70 |
| Fano | -0,08 | 3,25 | 0,01 | -0,02 | -0,61 | 0,65 |
| Fonte Avellana | -0,03 | 3,07 | -0,02 | -0,09 | -0,64 | 0,69 |
| Jesi | -0,08 | 2,95 | 0,01 | 0,01 | -0,70 | 0,71 |
| Lornano | 0,10 | 3,16 | -0,03 | -0,10 | -0,67 | 0,69 |
| Macerata | -0,10 | 2,94 | 0,01 | -0,02 | -0,67 | 0,71 |
| Mercatello | 0,00 | 2,84 | -0,01 | -0,03 | -0,72 | 0,72 |
| Montemonaco | -0,02 | 2,93 | -0,01 | -0,05 | -0,67 | 0,68 |
| Novafeltria | -0,06 | 2,95 | 0,01 | 0,03 | -0,69 | 0,68 |
| Pergola | 0,07 | 2,81 | -0,02 | -0,04 | -0,69 | 0,68 |
| Pesaro | 0,00 | 2,82 | -0,01 | -0,07 | -0,69 | 0,71 |
| Pollenza | -0,07 | 2,99 | -0,02 | -0,07 | -0,65 | 0,67 |
| S.Benedetto del Tronto | -0,04 | 2,95 | 0,01 | 0,04 | -0,68 | 0,66 |
| Servigliano | -0,08 | 2,79 | 0,01 | 0,03 | -0,74 | 0,68 |
| Urbino | -0,09 | 2,83 | 0,00 | -0,03 | -0,68 | 0,71 |

Tab. 2.1: Principali proprietà statistiche per ciascuna distribuzione di probabilità.

| Asimmetria | Curtosi | Mediana | Moda | 25° Percentile | 75° Percentile |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,00 | 3,00 | 0,00 | 0,00 | -0,67 | 0,67 |

Tab. 2.2: Proprietà della distribuzione normale standardizzata.

| Stazione/Mese | Gennaio | | Febbraio | | Marzo | | Aprile | | Maggio | | Giugno | |
|-------------------------|---------|----------|----------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ |
| Ancona (Torrette) | 6,0 | 1,5 | 7,3 | 2,0 | 10,0 | 1,7 | 13,6 | 1,2 | 17,7 | 1,3 | 22,1 | 1,1 |
| Arcevia | 3,7 | 1,7 | 4,7 | 2,6 | 7,2 | 2,2 | 10,8 | 1,6 | 15,5 | 1,7 | 20,0 | 1,4 |
| Ascoli Piceno | 6,2 | 1,5 | 7,1 | 2,3 | 9,3 | 1,6 | 12,5 | 1,8 | 17,5 | 1,8 | 22,4 | 1,3 |
| Bargni | 5,3 | 2,1 | 6,5 | 2,5 | 9,4 | 1,8 | 12,7 | 1,5 | 17,1 | 1,8 | 21,0 | 1,5 |
| Bolognola (Pintura) | -1,6 | 1,8 | -1,7 | 2,4 | 1,3 | 2,2 | 4,6 | 1,5 | 9,4 | 1,7 | 14,5 | 1,6 |
| Camerino | 3,5 | 1,7 | 4,2 | 2,3 | 6,5 | 2,0 | 10,2 | 1,4 | 14,2 | 1,6 | 18,7 | 1,2 |
| Carpegna | 4,6 | 1,7 | 5,3 | 2,3 | 7,6 | 2,0 | 11,0 | 1,2 | 15,3 | 1,3 | 18,8 | 1,4 |
| Cingoli | 4,3 | 1,6 | 4,8 | 2,4 | 7,5 | 2,1 | 10,8 | 1,4 | 15,3 | 1,6 | 19,2 | 1,3 |
| Civitanova Marche | 5,0 | 1,7 | 6,6 | 1,6 | 8,7 | 1,6 | 11,8 | 1,0 | 16,4 | 1,5 | 20,4 | 1,3 |
| Fabriano | 3,7 | 1,8 | 4,5 | 2,4 | 7,2 | 1,8 | 11,0 | 1,4 | 15,5 | 1,4 | 18,8 | 1,2 |
| Fano | 4,8 | 1,7 | 6,2 | 2,2 | 8,8 | 1,4 | 12,2 | 1,2 | 16,5 | 1,5 | 20,8 | 1,2 |
| Fonte Avellana | 3,6 | 1,6 | 4,4 | 2,4 | 6,9 | 2,0 | 10,1 | 1,5 | 14,3 | 1,4 | 18,2 | 1,3 |
| Jesi | 4,8 | 1,6 | 6,2 | 2,2 | 9,3 | 1,8 | 12,5 | 1,3 | 16,8 | 1,4 | 20,8 | 1,2 |
| Lornano | 5,7 | 1,5 | 6,6 | 2,3 | 9,3 | 1,9 | 12,8 | 1,5 | 17,2 | 1,5 | 21,2 | 1,4 |
| Macerata | 5,5 | 1,6 | 6,5 | 2,4 | 9,0 | 1,9 | 12,4 | 1,5 | 17,0 | 1,6 | 21,0 | 1,3 |
| Mercatello | 3,1 | 1,7 | 3,9 | 2,3 | 6,8 | 1,8 | 9,8 | 1,2 | 13,8 | 1,3 | 18,0 | 1,2 |
| Montemonaco | 2,7 | 1,8 | 3,4 | 2,4 | 5,9 | 2,2 | 9,1 | 1,8 | 13,9 | 1,8 | 17,6 | 1,4 |
| Novafeltria | 4,5 | 1,8 | 5,6 | 2,2 | 8,8 | 1,9 | 11,9 | 1,2 | 16,2 | 1,2 | 20,2 | 1,1 |
| Pergola | 5,3 | 1,4 | 5,9 | 2,4 | 8,1 | 1,9 | 11,5 | 1,5 | 15,6 | 1,6 | 19,7 | 1,3 |
| Pesaro | 4,2 | 1,6 | 5,6 | 2,1 | 8,7 | 1,6 | 12,4 | 1,2 | 16,9 | 1,2 | 20,8 | 1,0 |
| Pollenza | 4,3 | 1,7 | 5,2 | 2,2 | 7,9 | 1,8 | 11,6 | 1,5 | 15,8 | 1,3 | 19,7 | 1,2 |
| S. Benedetto del Tronto | 6,9 | 1,3 | 7,4 | 1,7 | 9,7 | 1,3 | 12,9 | 1,0 | 17,3 | 1,4 | 21,4 | 1,1 |
| Servigliano | 4,8 | 1,5 | 5,6 | 2,1 | 8,0 | 1,7 | 11,3 | 1,2 | 16,1 | 1,3 | 19,7 | 1,3 |
| Urbino | 3,8 | 1,6 | 4,7 | 2,5 | 7,7 | 2,0 | 10,9 | 1,7 | 15,5 | 1,9 | 20,5 | 1,3 |

Tab. 2.3: Media (μ , °C) e deviazione standard (σ , °C) delle serie dei dati di temperatura media mensile per il periodo 1950-2000.

(continua)

(continua)

| Stazione/Mese | Luglio | | Agosto | | Settembre | | Ottobre | | Novembre | | Dicembre | |
|-------------------------|--------|----------|--------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ | μ | σ |
| Ancona (Torrette) | 24,1 | 1,4 | 24,6 | 1,4 | 21,2 | 1,4 | 16,8 | 1,3 | 11,7 | 1,3 | 7,9 | 1,4 |
| Arcevia | 23,3 | 1,5 | 22,9 | 2,0 | 19,4 | 1,7 | 13,6 | 1,5 | 8,5 | 1,5 | 5,4 | 1,4 |
| Ascoli Piceno | 25,7 | 1,1 | 24,2 | 1,8 | 21,2 | 1,6 | 16,6 | 1,3 | 12,1 | 1,4 | 8,3 | 1,5 |
| Bargni | 23,9 | 1,5 | 24,0 | 1,9 | 20,3 | 1,7 | 15,2 | 1,3 | 10,4 | 1,5 | 6,7 | 1,7 |
| Bolognola (Pintura) | 17,7 | 1,6 | 17,5 | 1,8 | 12,9 | 2,0 | 8,6 | 1,4 | 3,0 | 1,7 | -0,4 | 1,9 |
| Camerino | 21,7 | 1,3 | 21,6 | 1,9 | 18,2 | 1,7 | 13,3 | 1,4 | 8,1 | 1,6 | 4,9 | 1,6 |
| Carpegna | 21,9 | 1,3 | 21,8 | 1,7 | 18,3 | 1,5 | 14,1 | 1,3 | 8,6 | 1,3 | 5,4 | 1,5 |
| Cingoli | 22,5 | 1,3 | 21,9 | 2,0 | 18,4 | 1,7 | 13,4 | 1,4 | 9,2 | 1,4 | 5,7 | 1,6 |
| Civitanova Marche | 23,2 | 1,2 | 23,1 | 1,4 | 19,9 | 1,5 | 15,6 | 1,3 | 10,2 | 1,4 | 7,0 | 1,4 |
| Fabriano | 22,1 | 1,2 | 22,3 | 1,7 | 18,3 | 1,5 | 13,5 | 1,4 | 9,0 | 1,5 | 4,9 | 1,6 |
| Fano | 23,5 | 1,2 | 23,5 | 1,5 | 20,6 | 1,3 | 16,0 | 1,3 | 10,9 | 1,3 | 6,8 | 1,3 |
| Fonte Avellana | 21,0 | 1,4 | 21,1 | 1,8 | 17,4 | 1,6 | 12,3 | 1,4 | 7,7 | 1,4 | 5,0 | 1,5 |
| Jesi | 23,6 | 1,2 | 23,4 | 1,7 | 19,9 | 1,5 | 15,3 | 1,3 | 10,1 | 1,3 | 6,2 | 1,5 |
| Lornano | 24,0 | 1,4 | 24,1 | 1,9 | 20,5 | 1,8 | 15,7 | 1,5 | 10,5 | 1,3 | 6,6 | 1,3 |
| Macerata | 23,9 | 1,3 | 23,7 | 1,8 | 20,1 | 1,6 | 15,6 | 1,3 | 10,1 | 1,5 | 6,7 | 1,4 |
| Mercatello | 20,2 | 1,2 | 20,2 | 1,5 | 16,7 | 1,4 | 12,2 | 1,3 | 7,7 | 1,4 | 4,4 | 1,5 |
| Montemonaco | 21,2 | 1,4 | 21,4 | 2,0 | 17,4 | 1,8 | 12,3 | 1,6 | 7,1 | 1,6 | 4,3 | 2,0 |
| Novafeltria | 22,5 | 1,0 | 22,5 | 1,6 | 19,6 | 1,5 | 14,3 | 1,3 | 9,4 | 1,4 | 5,6 | 1,4 |
| Pergola | 22,1 | 1,3 | 22,2 | 1,7 | 18,6 | 1,5 | 14,4 | 1,6 | 9,9 | 1,6 | 6,5 | 1,6 |
| Pesaro | 23,2 | 1,1 | 23,1 | 1,3 | 19,9 | 1,2 | 15,3 | 1,2 | 9,8 | 1,4 | 5,8 | 1,1 |
| Pollenza | 23,1 | 1,1 | 23,0 | 1,7 | 19,5 | 1,4 | 14,2 | 1,4 | 9,6 | 1,3 | 6,1 | 1,2 |
| S. Benedetto del Tronto | 24,3 | 1,0 | 24,2 | 1,4 | 21,1 | 1,2 | 16,9 | 1,2 | 12,1 | 1,1 | 8,6 | 1,0 |
| Servigliano | 22,4 | 1,2 | 22,3 | 1,6 | 19,4 | 1,3 | 14,3 | 1,2 | 10,0 | 1,2 | 5,8 | 1,2 |
| Urbino | 23,2 | 1,3 | 22,5 | 1,7 | 18,2 | 1,7 | 13,3 | 1,5 | 8,1 | 1,6 | 5,4 | 1,5 |

| Stazione | χ_0^2 | ν | p (%) |
|-------------------------|------------|-------|------------|
| Ancona (Torrette) | 15,24 | 8 | 5 |
| Arcevia | 10,74 | 8 | 22 |
| Ascoli Piceno | 1,49 | 8 | 99 |
| Bargni | 11,98 | 7 | 10 |
| Bolognola (Pintura) | 8,62 | 8 | 38 |
| Camerino | 7,92 | 8 | 44 |
| Carpegna | 10,61 | 8 | 22 |
| Cingoli | 5,22 | 8 | 73 |
| Civitanova Marche | 9,09 | 8 | 33 |
| Fabriano | 3,51 | 7 | 83 |
| Fano | 8,64 | 8 | 37 |
| Fonte Avellana | 8,84 | 8 | 36 |
| Jesi | 8,91 | 8 | 35 |
| Lornano | 7,13 | 8 | 52 |
| Macerata | 5,73 | 7 | 57 |
| Mercatello | 7,05 | 7 | 42 |
| Montemonaco | 8,74 | 8 | 36 |
| Novafeltria | 2,73 | 8 | 95 |
| Pergola | 5,73 | 8 | 68 |
| Pesaro | 3,92 | 8 | 86 |
| Pollenza | 6,55 | 8 | 59 |
| S. Benedetto del Tronto | 3,69 | 8 | 88 |
| Servigliano | 9,35 | 7 | 23 |
| Urbino | 3,51 | 8 | 90 |

Tab. 2.4: Valore di chi-quadrato calcolato (χ_0^2) per i rispettivi gradi di libertà (ν) e probabilità (p) di trovare un valore di chi-quadrato \geq a quello ottenuto.

3. Applicazione della *cluster analysis*.

La *cluster analysis* è il metodo con il quale è stato possibile suddividere il *data set*, relativo alle 24 stazioni in studio, in gruppi più piccoli con caratteristiche simili dal punto di vista termometrico.

Le procedure di *cluster analysis* usate sono quelle di tipo gerarchico agglomerativo, col fine di ottenere una divisione dei dati che minimizzi la differenza tra i membri di un dato *cluster* e massimizzi la differenza tra membri di *clusters* diversi.

Il parametro discriminante del *clustering* di dati osservati è la distanza. La misura di distanza, fra i casi, più intuitiva e comunemente usata è la distanza euclidea, che nello spazio K -dimensionale, tra due punti x_i e x_j , è data da:

$$d_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^K (x_{i,k} - x_{j,k})^2} .$$

Il criterio usato per calcolare la distanza tra *cluster* e *cluster* definisce essenzialmente il metodo di *clustering*. Quello qui utilizzato è il metodo del *complete-linkage* o *clustering* della massima distanza: la distanza tra i *clusters* G_1 e G_2 è la maggiore distanza euclidea tra un membro di G_1 ed uno di G_2 . Formalmente:

$$d_{G_1, G_2} = \max_{i \in G_1, j \in G_2} |d_{i,j}| \quad [\text{Wilks, 1995}].$$

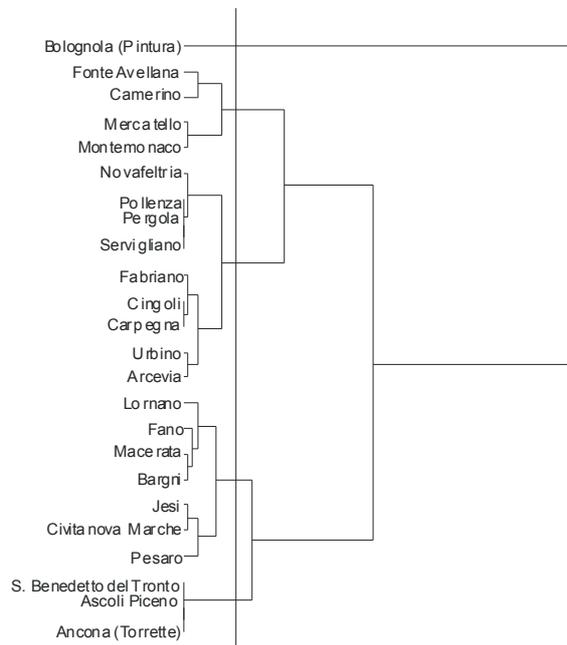
Sono stati sottoposti alla procedura di *clustering* il valor medio delle temperature medie annue e quello delle temperature medie stagionali di ogni stazione (Tab. 3.1).

Applicando la procedura descritta, si ottengono i grafici ad albero riportati nelle Fig. 3.1÷3.5. Per ciascuno di essi è indicato il punto di rottura scelto per la relativa suddivisione della regione in zone termometricamente affini.

Dai dendrogrammi delle Fig. 3.1÷3.5 si evince che nel territorio marchigiano si possono distinguere 5 aree con caratteri termometrici simili durante l'anno, in autunno e inverno, che si riducono a 4 nelle rimanenti stagioni. La stazione di Bolognola (Pintura), l'unica oltre i 1.000 m, manifesta un comportamento diverso dalle altre, costituendo sempre un gruppo a sé. Le restanti 23 stazioni si distribuiscono in 3 o 4 fasce, a seconda del periodo, che, seppur allargandosi e restringendosi, comprendono genericamente gli stessi elementi. Esse sono: una fascia altocollinare montana, una mediocollinare, una bassocollinare ed una costiera, laddove le ultime due tendono talvolta ad unificarsi.

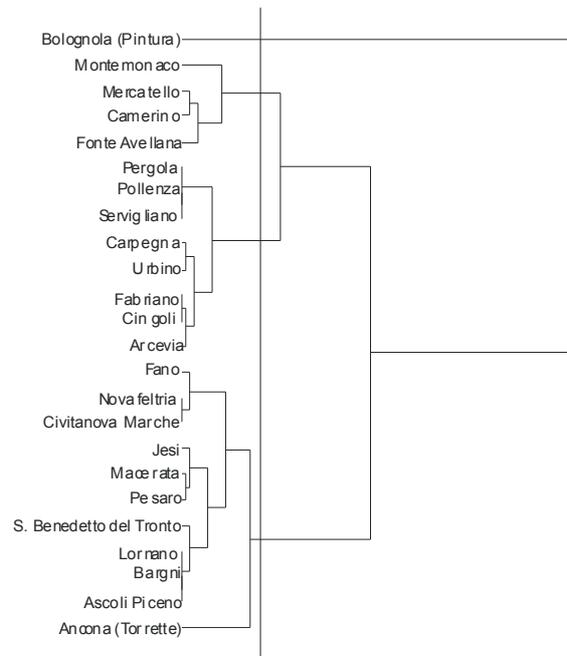
| Stazione | Anno (°C) | Primavera (°C) | Estate (°C) | Autunno (°C) | Inverno (°C) |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ancona (Torrette) | 15,2 | 13,8 | 23,6 | 16,6 | 7,1 |
| Arcevia | 12,9 | 11,1 | 22,1 | 13,8 | 4,6 |
| Ascoli Piceno | 15,5 | 13,1 | 24,1 | 16,6 | 7,2 |
| Bargni | 14,4 | 13,1 | 22,9 | 15,3 | 6,2 |
| Bolognola (Pintura) | 7,1 | 5,1 | 16,6 | 8,1 | -1,3 |
| Camerino | 12,1 | 10,3 | 20,6 | 13,2 | 4,2 |
| Carpegna | 12,7 | 11,3 | 20,9 | 13,7 | 5,1 |
| Cingoli | 12,7 | 11,2 | 21,2 | 13,7 | 4,9 |
| Civitanova Marche | 14,0 | 12,3 | 22,2 | 15,2 | 6,2 |
| Fabriano | 12,6 | 11,2 | 21,1 | 13,6 | 4,3 |
| Fano | 14,2 | 12,5 | 22,6 | 15,8 | 5,9 |
| Fonte Avellana | 11,8 | 10,5 | 20,1 | 12,5 | 4,3 |
| Jesi | 14,1 | 12,9 | 22,6 | 15,1 | 5,7 |
| Lornano | 14,5 | 13,1 | 23,1 | 15,6 | 6,3 |
| Macerata | 14,3 | 12,8 | 22,8 | 15,3 | 6,2 |
| Mercatello | 11,4 | 10,1 | 19,5 | 12,2 | 3,8 |
| Montemonaco | 11,3 | 9,6 | 20,0 | 12,3 | 3,4 |
| Novafeltria | 13,4 | 12,3 | 21,7 | 14,5 | 5,2 |
| Pergola | 13,3 | 11,8 | 21,3 | 14,3 | 5,9 |
| Pesaro | 13,8 | 12,7 | 22,4 | 15,0 | 5,2 |
| Pollenza | 13,3 | 11,8 | 21,9 | 14,4 | 5,2 |
| S. Benedetto del Tronto | 15,2 | 13,3 | 23,3 | 16,7 | 7,6 |
| Servigliano | 13,3 | 11,8 | 21,5 | 14,6 | 5,4 |
| Urbino | 12,8 | 11,4 | 22,1 | 13,2 | 4,6 |

Tab. 3.1: Valori medi annuali e stagionali di temperatura media per il periodo 1950-2000.



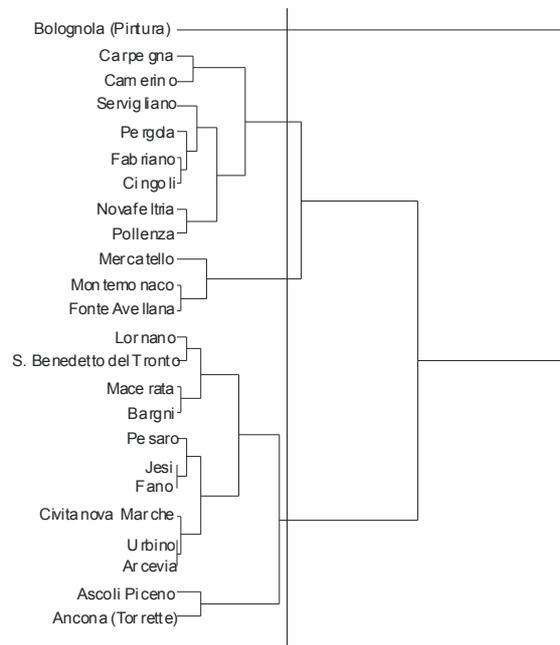
numero di *clusters*: 5.

Fig. 3.1: Dendrogramma della temperatura media annua.



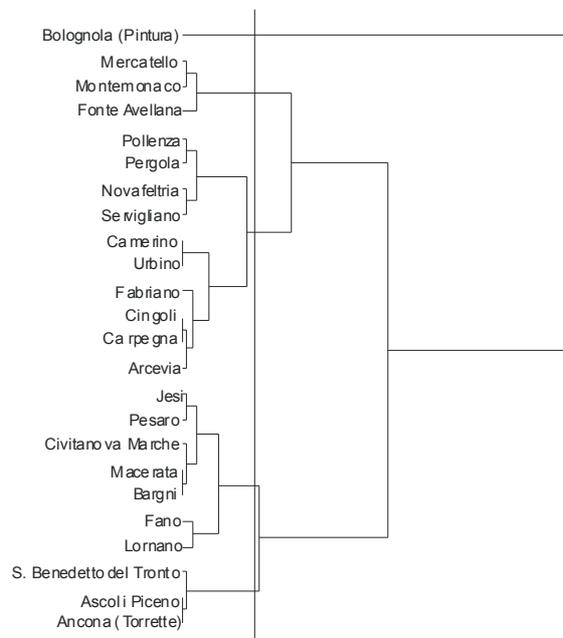
numero di *clusters*: 4.

Fig. 3.2: Dendrogramma della temperatura media primaverile.



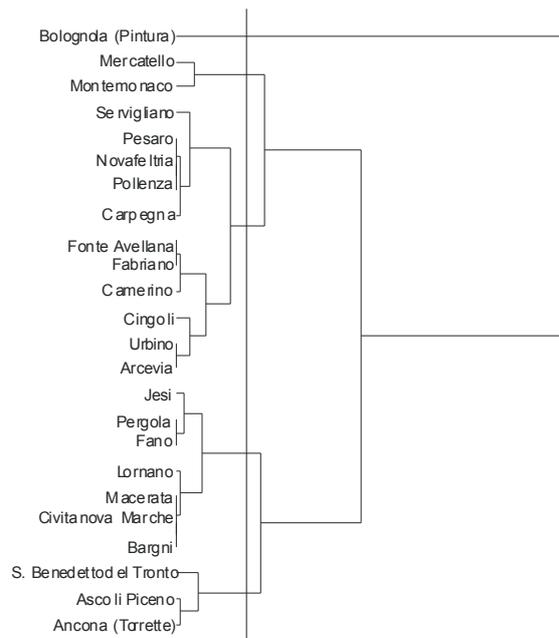
numero di *clusters*: 4.

Fig. 3.3: Dendrogramma della temperatura media estiva.



numero di *clusters*: 5.

Fig. 3.4: Dendrogramma della temperatura media autunnale.



numero di *clusters*: 5.

Fig. 3.5: Dendrogramma della temperatura media invernale.

4. Analisi della variabilità della temperatura mediante *empirical orthogonal functions*.

La variabilità della temperatura è stata investigata mediante una tecnica di analisi statistica multivariata, l'analisi in *empirical orthogonal functions* (*EOFs*) (Preisendorfer, 1988). Tale tecnica è stata applicata allo studio delle matrici di varianza-covarianza delle anomalie mensili di temperatura media, massima e minima, valutate rispetto alla propria climatologia mensile.

Lo scopo dell'utilizzo di questa indagine è quello di trasformare un *set* di dati, caratterizzato da un elevato numero di gradi di libertà, in un *set*, che ne contenga un numero ridotto, scelto però in modo tale da rappresentare una larga frazione di variabilità dei dati di partenza.

Il troncamento della scomposizione all'ordine desiderato, compatta l'informazione del campo originale, dato che le *EOFs*, costruite in modo tale da spiegare percentuali decrescenti di varianza, risultano via via sempre meno rappresentative.

Il significato statistico dei termini dominanti dello sviluppo in *EOFs* è stato accertato mediante lo *scree graph* ovvero il diagramma degli autovalori verso il numero cardinale degli stessi.

La procedura di calcolo ha previsto l'organizzazione dei dati in una matrice $[X]$ ($n \times k$), dove n sono le osservazioni e k i descrittori.

Gli elementi della matrice $[X]$ dei dati bruti sono stati quindi centrati sulle k colonne, in modo ad ottenere una matrice $[X']$ di eguale dimensione:

$$[X'] = [X] - \frac{1}{n}[1][X],$$

dove $[1]$ è una matrice ($n \times n$) i cui elementi sono tutti unitari.

Moltiplicando la matrice $[X']$ per la sua trasposta, $[X']^T$ e dividendo il prodotto per il numero di osservazioni, n si è ottenuta la matrice $[S]$, che è la matrice di varianza-covarianza dell'insieme dei dati originali contenuti nella matrice $[X]$:

$$[S] = \frac{1}{n-1} [X']^T [X'].$$

Si è proseguito dunque con l'estrazione degli autovalori, λ_K ($K = 1, 2, \dots, m$) e degli autovettori, $u_{j,K}$ ($j = 1, 2, \dots, k; K = 1, 2, \dots, m$) della matrice $[S]$ [Wilks, 1995].

Riguardo alle analisi in oggetto, dagli *scree graphs* di Fig. 4.1, $K = 2$ nei tre casi.

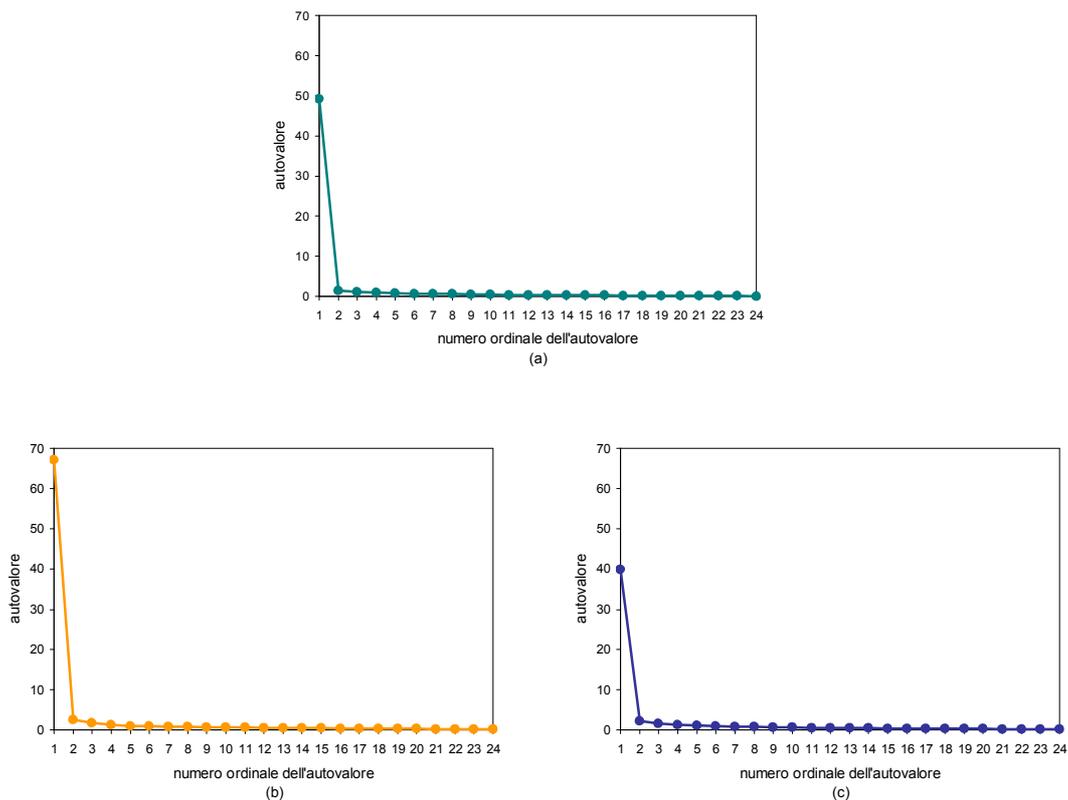


Fig. 4.1: Scree graphs anomalie: a) temperatura media mensile; b) temperatura massima media mensile; c) temperatura minima media mensile.

In seguito, sono riportate le percentuali delle varianze spiegate dagli autovalori relativi ad ogni variabili considerata (Tab. 4.1) e le prime due componenti degli *EOFs* (Tab. 4.2).

| Autovalore/ Varianza spiegata (%) | T media | T massima media | T minima media |
|--|----------------|------------------------|-----------------------|
| λ_1 | 82,6 | 81,5 | 74,0 |
| λ_2 | 2,5 | 3,1 | 4,1 |

Tab. 4.1: Varianze spiegate dai primi due autovalori.

| Stazione | T media | | T massima media | | T minima media | |
|-------------------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | EOF1 | EOF2 | EOF1 | EOF2 | EOF1 | EOF2 |
| Ancona (Torrette) | 0,17 | -0,4 | 0,16 | -0,3 | 0,17 | 0,1 |
| Arcevia | 0,23 | 0,1 | 0,23 | -0,1 | 0,22 | -0,3 |
| Ascoli Piceno | 0,19 | -0,1 | 0,21 | -0,2 | 0,17 | 0,0 |
| Bargni | 0,22 | 0,0 | 0,22 | 0,0 | 0,22 | -0,2 |
| Bolognola (Pintura) | 0,22 | 0,4 | 0,21 | 0,7 | 0,22 | 0,0 |
| Camerino | 0,22 | 0,2 | 0,21 | 0,2 | 0,22 | -0,2 |
| Carpegna | 0,20 | 0,2 | 0,20 | 0,2 | 0,20 | -0,2 |
| Cingoli | 0,22 | 0,1 | 0,22 | 0,1 | 0,22 | -0,2 |
| Civitanova Marche | 0,16 | -0,1 | 0,16 | -0,3 | 0,16 | 0,1 |
| Fabriano | 0,22 | 0,0 | 0,22 | 0,1 | 0,22 | 0,2 |
| Fano | 0,17 | -0,5 | 0,15 | -0,2 | 0,18 | 0,2 |
| Fonte Avellana | 0,22 | 0,2 | 0,22 | 0,1 | 0,21 | -0,2 |
| Jesi | 0,20 | -0,2 | 0,20 | -0,1 | 0,20 | 0,1 |
| Lornano | 0,22 | 0,0 | 0,21 | -0,1 | 0,21 | -0,1 |
| Macerata | 0,22 | 0,0 | 0,21 | 0,0 | 0,22 | -0,2 |
| Mercatello | 0,21 | 0,0 | 0,22 | 0,0 | 0,21 | 0,2 |
| Montemonaco | 0,23 | 0,3 | 0,23 | 0,1 | 0,23 | -0,2 |
| Novafeltria | 0,20 | 0,0 | 0,20 | 0,0 | 0,20 | 0,1 |
| Pergola | 0,21 | -0,1 | 0,23 | -0,1 | 0,21 | 0,4 |
| Pesaro | 0,17 | -0,3 | 0,16 | -0,2 | 0,19 | 0,2 |
| Pollenza | 0,19 | 0,0 | 0,20 | 0,2 | 0,18 | 0,3 |
| S. Benedetto del Tronto | 0,16 | -0,1 | 0,16 | -0,2 | 0,17 | 0,1 |
| Servigliano | 0,19 | -0,1 | 0,21 | 0,0 | 0,18 | 0,3 |
| Urbino | 0,22 | 0,0 | 0,21 | -0,1 | 0,23 | -0,3 |

Tab. 4.2: Componenti della prime due EOFs per ciascun parametro considerato.

Dall'esame dei dati di Tab. 4.2 si evidenzia che, per la temperatura media, la struttura spaziale della *EOF1* è caratterizzata da omogeneità sull'intero territorio regionale, con una forte connotazione orografica. I segnali di variabilità più intensi sono, infatti, evidenti lungo la catena appenninica. La *EOF2* mostra una struttura dipolare con aree positive e negative posizionate rispettivamente sul settore costiero (orientale) e quello collinare e montano (occidentale) della regione.

Questa variabilità è riprodotta anche dalle strutture spaziali delle prime due *EOFs* delle temperature massima e minima rispettivamente. Per quest'ultima, in particolare, la *EOF2* presenta segnali di variabilità più localizzati di difficile interpretazione.

5. Gradiente termico altimetrico.

Nella letteratura scientifica si evidenziano di sovente chiare relazioni tra temperatura e fattori geografici.

Per la regione Marche, sono diversi i parametri accreditabili in tal senso: quota, latitudine, longitudine e distanza dal mare. La conformazione territoriale e le ridotte distanze ci inducono a stabilire che il rapporto tra la temperatura e la longitudine e quello con la distanza dal mare possano essere inglobati nella dipendenza dall'altitudine. Si è dunque cercata un'eventuale correlazione tra la temperatura, la quota e la latitudine applicando un modello a regressione multipla lineare.

Secondo tale modello statistico il legame esistente tra la temperatura, T e le due variabili: quota, H e latitudine, L può essere espresso secondo la seguente formula:

$$T = aH + bL + c .$$

E' giusto ricordare che una siffatta relazione tra temperatura e fattori geografici è già stata esaminata, per il periodo 1958-1979, in uno studio del clima delle Marche, realizzato dal Dipartimento Fonti Alternative e Risparmio Energetico, in collaborazione con l'Osservatorio Geofisico di Macerata.

Data la necessità di stabilire se i due parametri suddetti (H e L) siano da includere entrambi nel modello, è stato necessario selezionare un criterio oggettivo di inserimento, la *forward selection*. Secondo tale criterio l'unica variabile esplicativa che entra in gioco è la quota. La mancata dipendenza, di tipo lineare, della temperatura dalla latitudine che ne deriva, può essere attribuita al fatto che la sua influenza viene inquinata da altri elementi geografici, che svolgono un ruolo simultaneo, talora sinergico, altre volte contrastante. Ad esempio, la vicinanza della Valle Padana, col suo clima dalle caratteristiche sub-

continentali, condiziona in modo rilevante i valori termici costieri del nord della regione, rendendoli meno caldi, a sostegno del naturale effetto negativo dovuto alla maggiore latitudine. Per le aree interne settentrionali, invece, è la loro minore altimetria rispetto a quelle meridionali, a determinare in complesso un incremento dei livelli termici, sovrastando l'azione dovuta alla latitudine. Tale sovrapposizione di fenomeni ostacola, nel caso specifico, il manifestarsi di una mera dipendenza lineare tra temperatura e latitudine geografica, senza poter altresì escludere una correlazione di altro genere tra le due variabili. La relazione finale diventa dunque:

$$T = aH + c .$$

L'analisi statistica è stata effettuata in primo luogo sui valori annui della temperatura media. Dato che il gradiente termico altimetrico risulta diverso, oltre che da luogo a luogo, da una stagione all'altra, si è svolta anche un'indagine mensile.

I risultati sono riassunti nella Tab. 5.1.

| | $a \pm e_a$ | c | r |
|-----------|----------------|-------|------|
| Anno | -0,0044±0,0005 | 14,82 | 0,89 |
| Gennaio | -0,0039±0,0006 | 5,80 | 0,82 |
| Febbraio | -0,0047±0,0006 | 7,00 | 0,87 |
| Marzo | -0,0046±0,0005 | 9,61 | 0,89 |
| Aprile | -0,0047±0,0005 | 13,00 | 0,89 |
| Maggio | -0,0045±0,0005 | 17,38 | 0,88 |
| Giugno | -0,0043±0,0005 | 21,41 | 0,87 |
| Luglio | -0,0037±0,0006 | 24,07 | 0,80 |
| Agosto | -0,0038±0,0005 | 23,94 | 0,84 |
| Settembre | -0,0046±0,0005 | 20,76 | 0,88 |
| Ottobre | -0,0048±0,0005 | 16,05 | 0,89 |
| Novembre | -0,0050±0,0005 | 11,18 | 0,90 |
| Dicembre | -0,0043±0,0006 | 7,41 | 0,85 |

Tab. 5.1: Coefficienti di regressione lineare.

Il coefficiente a ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) più basso compete al mese di luglio e quello più elevato a novembre. Si riscontrano poi un minimo secondario a gennaio e due massimi secondari nei mesi di febbraio ed aprile. In definitiva si hanno valori di a decrescenti da aprile a luglio e crescenti da agosto a novembre, mentre l'andamento si presenta più irregolare nel periodo dicembre-marzo, con alternanza di diminuzioni e incrementi del fattore in esame.

Volendo riportare tale variazione su 100 m si ha che il gradiente medio annuo della temperatura media, per la regione Marche, è:

$$\Delta T/\Delta H = (-0,44 \pm 0,05) ^{\circ}\text{C}/100\text{m} .$$

Un siffatto valore, che sia valido per tutta l'Europa, è calcolabile con la relazione proposta da Hann, secondo la formula:

$$\Delta T = 0,55^{\circ}\text{C} + 0,15^{\circ}\text{C} \text{sen}(m + 300^{\circ}) + 0,05^{\circ}\text{C} \text{sen}(2m + 260^{\circ}),$$

dove m indica il tempo, contato in angolo, a partire dal principio dell'anno, ossia dal 1° gennaio, in ragione di 360° per l'anno intero. Da questa espressione si ricava una decrescenza media per l'anno di $0,55^{\circ}\text{C}$ per 100 m d'altezza [Mennella, 1967].

I gradienti termici altimetrici ottenuti differiscono di poco da quelli riportati nel citato lavoro svolto dal Centro in collaborazione con l'ENEA ($-0,43 \pm 0,01^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, come gradiente medio mensile della temperatura media), seppur calcolati per un periodo di tempo diverso [Cerquetti e Cruciani, 1987].

6. Carte della temperatura media annua, di gennaio e di luglio nelle Marche per il periodo 1950-2000.

Al fine di rappresentare in quale modo la temperatura vari nell'intero territorio regionale, si sono costruite le carte della temperatura media su base annuale e mensile (due carte tematiche, per i mesi di gennaio e luglio), a partire dai dati rilevati in ogni stazione termometrica.

Per la realizzazione delle tre cartografie sopraindicate sono state georeferenziate le 24 stazioni di misura, secondo il sistema Gauss-Boaga, cui si sono assegnate le relative temperature medie per il periodo in studio, calcolate dai valori termici dell'intervallo 1950-2000. Le carte tematiche della temperatura, in scala 1:200.000, sono state poi ottenute tramite interpolazione con il metodo geostatistico *Universal Kriging*, implementato nell'applicativo *GIS Idrisi Kilimanjaro*.

Come fonte dell'informazione secondaria (quota), si è impiegato un modello digitale dell'altezza del terreno regionale. Il *DEM (Digital Elevation Model)*, una matrice regolare

di celle con dimensione 25 m x 25 m, è stato prodotto dalla Helix Srl di Macerata, a partire dai dati ricavati dalle Carte Tecniche Regionali. La ditta Helix ha collaborato sia alla concretizzazione che all'uso del *GIS* per le elaborazioni grafiche. Circa la cartografia di base, trattasi di un *raster* del territorio fornito dalla Regione Marche, che rappresenta province, comuni, rete stradale, ecc. ecc.

Nelle carte tematiche ottenute (tavole fuori testo) il territorio marchigiano è suddiviso in fasce di 1 °C di intervallo, delimitate da linee continue, che uniscono punti di ugual valore di temperatura.

Dall'analisi della cartografia dei valori medi annui, si evince che linee di punti aventi la stessa temperatura effettiva pari a 15, 14 e 13 °C corrono in senso longitudinale, quasi parallele alla costa, rispettivamente proseguendo da oriente verso occidente: quella dei 15 °C si porta sul mare presso Fano, lasciando il posto, più a settentrione, alla fascia dei 14 °C. E' da rimarcare poi che sul lato est, all'estremità meridionale, compare l'isolinea più elevata dei 16 °C. Complessivamente, tuttavia, lungo il litorale si riscontrano valori termici uniformi. La legge di dipendenza della temperatura dalla quota è, invece, particolarmente seguita lungo la fascia appenninica, specie in corrispondenza dei rilievi più alti dei Monti Sibillini, in cui si registrano rapide variazioni spaziali della temperatura. Ne è causa principale l'influenza esercitata dall'orografia, che modifica le condizioni termiche delle masse d'aria che investono la regione, con conseguenti differenze climatologiche, talora ben marcate. Un'annotazione speciale potrebbe riguardare il settore interno regionale, esteso dal Fabrianese al Vissano, racchiuso fra una catena preappenninica, a tratti discontinua, parallela a quella appenninica principale e quest'ultima; in tale porzione di territorio, le isolinee di temperatura subiscono una marcata piega, dovuta sia alle quote inferiori della concavità che ad un accentuato carattere di continentalità, per l'azione schermante delle barriere montane rispetto all'influenza dell'Adriatico.

In sintesi, la regione resta compresa tra il livello termico dei 16-17 °C e quello dei 4-5 °C.

La carta tematica poc'anzi descritta consente di individuare l'andamento generale della temperatura media annuale su tutto il territorio regionale. Per conoscere entro quali valori estremi varia la temperatura media su ogni singola località, sono state realizzate le mappe per gennaio e luglio, che, in genere, sono rispettivamente il mese più freddo e quello più caldo.

Con riferimento ai due mesi dell'anno raffigurati nelle pertinenti tavole, si può asserire, anzitutto, che la distribuzione effettiva della temperatura media mensile non differisce sensibilmente da quella annua.

In gennaio, mese rappresentativo della stagione invernale, alle quote maggiori dell'Appennino si hanno naturalmente delle temperature medie inferiori allo zero. Procedendo verso le zone ubicate più in basso e quelle litoranee si notano valori termici più alti. Le aree a temperature più elevate si rinvencono lungo la costa e procedendo verso il sud delle Marche, dove gli afflussi di aria fredda provenienti dai quadranti settentrionali giungono attenuati, a causa di fattori geografici. Fra essi, seppur con effetti contenuti, vanno annoverati l'ostacolo rappresentato dal Monte Conero, che, con i suoi 572 m, si affaccia direttamente sul mare e quello dei crinali medio-altocollinari meridionali, orientati in senso perpendicolare alla direzione delle suddette correnti. L'isolinea dei 5 °C si inoltra dal mare verso l'interno all'altezza di Marzocca di Senigallia, quindi leggermente più a sud rispetto ai valori termici medi annui e quella dei 4 °C compare nell'estremo nord della costa regionale. E' presumibile, pertanto, che le masse d'aria relativamente fredde, che, di norma, ristagnano nei mesi invernali sulla Pianura Padana vadano a deprimere i livelli termici delle Marche settentrionali, precipuamente in ambito costiero, per l'assenza di particolari condizionamenti orografici. Da notare poi come le isoterme seguano il profilo altimetrico del territorio. A tal proposito, ad esempio, si può distinguere il contorno orografico che va dal Catria al Monte Pennino; quello del S. Vicino, che si prolunga fino alla catena dei Sibillini; i contorni montani della zona del Montefeltro, con il Monte Carpegna.

Nel corso del mese di luglio, indicativo dell'estate, la zona più calda permane nel sud-est della regione. In generale, comunque, le temperature medie in luglio sono abbastanza uniformi nell'area costiera, segnata dalla fascia di temperature comprese tra i 24 ed i 25 °C, che corre lungo il litorale regionale, comparando nei pressi di Pesaro. Inoltre, anche in questa carta tematica, è ravvisabile la distribuzione peculiare della temperatura nel settore meridionale marchigiano, dove si ritrovano sia i valori termici più bassi, nell'area dei Sibillini, che la zona a temperature più elevate, situata attorno alla foce del fiume Tronto. Ciò determina un infittimento delle isolinee di temperatura e, quindi, un gradiente termico orizzontale mediamente più accentuato che nella parte nord.

Per la consultazione delle tavole fuori testo a livello informatico si rimanda all'apposito *CD-ROM* confezionato.

7. Analisi delle serie temporali di temperatura.

Per approfondire lo studio sugli eventuali cambiamenti della temperatura negli ultimi anni, si sono analizzate le serie temporali delle temperature massime e minime, con l'intento di rilevare possibili variazioni o movimenti caratteristici.

Riguardo alle serie oggetto dello studio, sono stati esaminati gli andamenti annuali e stagionali dal 1950 al 2000 di anomalie delle temperature massime e minime. Al fine di determinare la presenza di un eventuale *trend*, sono state calcolate le serie delle medie mobili a 5 anni e, sui dati ottenuti, è stato applicato il test non parametrico di Mann-Kendall al livello di confidenza del 95%.

In tale test, per ogni elemento x_i ($i = 1, \dots, n$) di una serie, si calcola il numero n_i di elementi x_j tali che $x_j < x_i$, per $j < i$, al quale è da aggiungere la metà del numero di relazioni $x_j = x_i$, per $j < i$, nel caso di serie contenenti termini uguali. La statistica t è data dalla relazione:

$$t = \sum_{i=1}^n n_i.$$

Sotto l'ipotesi nulla H_0 (assenza di qualsiasi *trend*), t segue asintoticamente una legge normale, indipendentemente dalla funzione distribuzione dei dati, e

$$u(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{Var(t)}}$$

ha una distribuzione normale standard con media $E(t)$ e varianza $Var(t)$ date da:

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad e \quad Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

[Sneyers, 1975].

I risultati del test per le serie in esame evidenziano l'esistenza di *trends* lineari positivi, sia su base annua che stagionale. In dettaglio, si ha che, su 24 stazioni analizzate su scala annuale, il 96% ha mostrato una significativa tendenza all'aumento, per la temperatura massima e il 100%, per la temperatura minima. Al fine di quantificare gli incrementi delle variabili d'interesse, sono stati altresì calcolati i coefficienti di regressione lineare con il metodo dei minimi quadrati e le corrispondenti variazioni in °C sui 50 anni in studio (Tab. 7.1÷7.10) [Brunetti, Buffoni, Maugeri and Nanni, 2000].

Di seguito sono presentati i grafici degli andamenti annuali delle medie mobili a 5 anni di anomalie delle temperature massima e minima (Fig. 7.1), approssimati attraverso la retta di regressione, per ciascuna stazione.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 0,8±0,2 | 0,44 | 2,29 |
| Arcevia | 0,8±0,3 | 0,36 | 2,44 |
| Ascoli Piceno | 0,8±0,3 | 0,35 | 1,99 |
| Bargni | 0,9±0,3 | 0,41 | 2,97* |
| Bolognola (Pintura) | 1,1±0,3 | 0,47 | 3,30* |
| Camerino | 0,9±0,2 | 0,53 | 3,11* |
| Carpegna | 1,0±0,2 | 0,53 | 4,00* |
| Cingoli | 1,0±0,2 | 0,68 | 4,74* |
| Civitanova Marche | 0,5±0,2 | 0,39 | 2,57 |
| Fabriano | 1,0±0,1 | 0,72 | 5,33* |
| Fano | 1,2±0,2 | 0,75 | 4,89* |
| Fonte Avellana | 1,0±0,2 | 0,58 | 3,25* |
| Jesi | 0,9±0,2 | 0,59 | 3,24* |
| Lornano | - | - | - |
| Macerata | 0,9±0,2 | 0,52 | 2,34 |
| Mercatello | 0,8±0,2 | 0,53 | 2,69* |
| Montemonaco | 0,9±0,3 | 0,46 | 2,33 |
| Novafeltria | 1,1±0,1 | 0,78 | 5,79* |
| Pergola | 0,7±0,2 | 0,40 | 2,16 |
| Pesaro | 1,0±0,2 | 0,65 | 4,10* |
| Pollenza | 1,3±0,2 | 0,64 | 3,90* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,0±0,2 | 0,59 | 3,24* |
| Servigliano | 1,1±0,2 | 0,64 | 4,34* |
| Urbino | 0,9±0,3 | 0,42 | 2,38 |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.1: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature massime medie annue.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 0,8±0,3 | 0,40 | 2,49 |
| Arcevia | - | - | - |
| Ascoli Piceno | - | - | - |
| Bargni | 0,8±0,3 | 0,40 | 2,89* |
| Bolognola (Pintura) | 1,8±0,3 | 0,67 | 4,15* |
| Camerino | 1,1±0,2 | 0,58 | 3,56* |
| Carpegna | 1,0±0,2 | 0,53 | 3,47* |
| Cingoli | 1,1±0,3 | 0,54 | 3,43* |
| Civitanova Marche | 0,8±0,3 | 0,38 | 2,31 |
| Fabriano | 1,2±0,2 | 0,71 | 4,81* |
| Fano | 1,5±0,2 | 0,70 | 5,03* |
| Fonte Avellana | 0,9±0,3 | 0,45 | 2,19 |
| Jesi | 0,8±0,3 | 0,41 | 2,49 |
| Lornano | - | - | - |
| Macerata | 1,0±0,3 | 0,51 | 2,50 |
| Mercatello | 0,9±0,3 | 0,47 | 2,73* |
| Montemonaco | - | - | - |
| Novafeltria | 1,3±0,2 | 0,67 | 4,66* |
| Pergola | 1,0±0,4 | 0,37 | 2,27 |
| Pesaro | 1,1±0,2 | 0,66 | 4,66* |
| Pollenza | 1,3±0,3 | 0,58 | 3,28* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,0±0,2 | 0,50 | 2,70* |
| Servigliano | 1,2±0,3 | 0,55 | 3,37* |
| Urbino | - | - | - |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.2: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature massime medie primaverili.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,0±0,4 | 0,38 | 2,23 |
| Arcevia | - | - | - |
| Ascoli Piceno | - | - | - |
| Bargni | 0,9±0,4 | 0,35 | 2,23 |
| Bolognola (Pintura) | - | - | - |
| Camerino | - | - | - |
| Carpegna | 1,5±0,4 | 0,45 | 3,49* |
| Cingoli | 1,0±0,3 | 0,40 | 3,34* |
| Civitanova Marche | - | - | - |
| Fabriano | 1,1±0,3 | 0,51 | 3,29* |
| Fano | 1,5±0,2 | 0,67 | 4,46* |
| Fonte Avellana | 1,1±0,3 | 0,43 | 2,12 |
| Jesi | 1,1±0,3 | 0,53 | 3,35* |
| Lornano | - | - | - |
| Macerata | 1,0±0,4 | 0,38 | 2,46 |
| Mercatello | - | - | - |
| Montemonaco | 0,7±0,4 | 0,28 | 2,14 |
| Novafeltria | 1,1±0,2 | 0,58 | 3,63* |
| Pergola | - | - | - |
| Pesaro | 1,3±0,3 | 0,57 | 3,63* |
| Pollenza | 1,3±0,4 | 0,48 | 2,87* |
| S. Benedetto del Tronto | - | - | - |
| Servigliano | 1,2±0,3 | 0,50 | 3,78* |
| Urbino | - | - | - |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.3: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature massime medie estive.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | - | - | - |
| Arcevia | 1,1±0,3 | 0,44 | 3,33* |
| Ascoli Piceno | - | - | - |
| Bargni | 0,6±0,3 | 0,34 | 2,23 |
| Bolognola (Pintura) | - | - | - |
| Camerino | - | - | - |
| Carpegna | - | - | - |
| Cingoli | - | - | - |
| Civitanova Marche | - | - | - |
| Fabriano | 0,4±0,2 | 0,28 | 2,20 |
| Fano | - | - | - |
| Fonte Avellana | 1,0±0,3 | 0,46 | 3,12* |
| Jesi | 0,7±0,3 | 0,36 | 2,60* |
| Lornano | - | - | - |
| Macerata | 0,7±0,3 | 0,32 | 2,16 |
| Mercatello | 0,5±0,3 | 0,31 | 2,50 |
| Montemonaco | - | - | - |
| Novafeltria | 0,8±0,2 | 0,45 | 3,19* |
| Pergola | - | - | - |
| Pesaro | - | - | - |
| Pollenza | 0,7±0,3 | 0,33 | 2,97* |
| S. Benedetto del Tronto | 0,7±0,2 | 0,39 | 2,40 |
| Servigliano | 0,6±0,2 | 0,38 | 2,51 |
| Urbino | 0,8±0,3 | 0,39 | 2,83* |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.4: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature massime medie autunnali.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | - | - | - |
| Arcevia | - | - | - |
| Ascoli Piceno | 1,2±0,4 | 0,38 | 2,76* |
| Bargni | 1,3±0,6 | 0,32 | 2,19 |
| Bolognola (Pintura) | 1,5±0,4 | 0,50 | 3,60* |
| Camerino | 1,1±0,3 | 0,50 | 3,42* |
| Carpegna | 1,0±0,3 | 0,39 | 2,56 |
| Cingoli | 1,4±0,3 | 0,56 | 3,93* |
| Civitanova Marche | - | - | - |
| Fabriano | 1,2±0,4 | 0,44 | 2,79* |
| Fano | 1,4±0,5 | 0,42 | 2,17 |
| Fonte Avellana | 1,0±0,3 | 0,40 | 2,49 |
| Jesi | 1,0±0,3 | 0,39 | 2,84* |
| Lornano | - | - | - |
| Macerata | 1,1±0,3 | 0,44 | 2,89* |
| Mercatello | 1,1±0,3 | 0,43 | 3,00* |
| Montemonaco | 1,5±0,5 | 0,41 | 2,87* |
| Novafeltria | 1,4±0,3 | 0,55 | 4,10* |
| Pergola | 0,9±0,4 | 0,36 | 2,56 |
| Pesaro | 0,9±0,3 | 0,42 | 3,34* |
| Pollenza | 1,9±0,3 | 0,68 | 4,75* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,1±0,3 | 0,46 | 3,21* |
| Servigliano | 1,3±0,4 | 0,46 | 3,13* |
| Urbino | 0,8±0,4 | 0,30 | 2,34 |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.5: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature massime medie invernali.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,6±0,2 | 0,74 | 5,05* |
| Arcevia | 1,2±0,2 | 0,71 | 4,59* |
| Ascoli Piceno | 1,0±0,2 | 0,52 | 3,22* |
| Bargni | 1,5±0,2 | 0,69 | 4,81* |
| Bolognola (Pintura) | 0,9±0,1 | 0,74 | 5,18* |
| Camerino | 1,2±0,1 | 0,80 | 5,53* |
| Carpegna | 1,4±0,1 | 0,84 | 6,25* |
| Cingoli | 1,5±0,1 | 0,87 | 6,75* |
| Civitanova Marche | 0,9±0,3 | 0,42 | 3,48* |
| Fabriano | 0,8±0,1 | 0,71 | 4,76* |
| Fano | 1,3±0,1 | 0,87 | 6,12* |
| Fonte Avellana | 0,9±0,1 | 0,77 | 5,16* |
| Jesi | 1,2±0,3 | 0,54 | 3,15* |
| Lornano | 1,7±0,2 | 0,79 | 5,99* |
| Macerata | 1,2±0,1 | 0,84 | 6,60* |
| Mercatello | 1,0±0,1 | 0,85 | 6,87* |
| Montemonaco | 1,4±0,1 | 0,83 | 5,86* |
| Novafeltria | 0,9±0,1 | 0,74 | 5,44* |
| Pergola | 0,9±0,2 | 0,61 | 4,17* |
| Pesaro | 1,2±0,1 | 0,85 | 6,43* |
| Pollenza | 1,1±0,1 | 0,83 | 6,04* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,2±0,1 | 0,83 | 5,96* |
| Servigliano | 1,3±0,1 | 0,79 | 5,47* |
| Urbino | 1,2±0,3 | 0,48 | 3,41* |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.6: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature minime medie annue.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,6±0,3 | 0,69 | 4,94* |
| Arcevia | 1,2±0,3 | 0,56 | 3,73* |
| Ascoli Piceno | 0,7±0,3 | 0,36 | 2,29 |
| Bargni | 1,2±0,2 | 0,75 | 5,50* |
| Bolognola (Pintura) | 0,9±0,2 | 0,62 | 4,12* |
| Camerino | 1,0±0,2 | 0,64 | 4,37* |
| Carpegna | 1,2±0,1 | 0,81 | 6,10* |
| Cingoli | 1,4±0,1 | 0,83 | 6,22* |
| Civitanova Marche | 0,6±0,3 | 0,26 | 2,68* |
| Fabriano | 0,8±0,2 | 0,57 | 4,02* |
| Fano | 1,5±0,1 | 0,87 | 6,70* |
| Fonte Avellana | 1,0±0,2 | 0,67 | 4,51* |
| Jesi | 1,0±0,3 | 0,48 | 2,59* |
| Lornano | 1,3±0,2 | 0,70 | 5,11* |
| Macerata | 1,2±0,2 | 0,75 | 5,69* |
| Mercatello | 0,9±0,1 | 0,69 | 4,83* |
| Montemonaco | 1,4±0,2 | 0,68 | 4,95* |
| Novafeltria | 0,7±0,2 | 0,50 | 3,20* |
| Pergola | 0,9±0,2 | 0,55 | 4,22* |
| Pesaro | 1,3±0,2 | 0,80 | 5,90* |
| Pollenza | 1,0±0,2 | 0,65 | 4,53* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,2±0,1 | 0,82 | 6,28* |
| Servigliano | 1,2±0,2 | 0,73 | 5,26* |
| Urbino | 1,2±0,4 | 0,41 | 2,82* |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.7: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).
Temperature minime medie primaverili.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,8±0,2 | 0,74 | 5,04* |
| Arcevia | 1,6±0,2 | 0,74 | 4,48* |
| Ascoli Piceno | 1,3±0,2 | 0,66 | 4,42* |
| Bargni | 1,6±0,3 | 0,67 | 4,54* |
| Bolognola (Pintura) | 0,7±0,3 | 0,40 | 2,57 |
| Camerino | 1,7±0,2 | 0,78 | 5,18* |
| Carpegna | 1,7±0,2 | 0,83 | 6,39* |
| Cingoli | 2,0±0,2 | 0,83 | 5,93* |
| Civitanova Marche | 1,4±0,3 | 0,53 | 4,24* |
| Fabriano | 1,0±0,2 | 0,63 | 3,60* |
| Fano | 1,7±0,1 | 0,88 | 6,94* |
| Fonte Avellana | 1,2±0,2 | 0,70 | 5,10* |
| Jesi | 1,4±0,3 | 0,59 | 3,73* |
| Lornano | 2,0±0,2 | 0,79 | 5,20* |
| Macerata | 1,6±0,2 | 0,77 | 5,96* |
| Mercatello | 1,1±0,1 | 0,77 | 5,59* |
| Montemonaco | 1,3±0,2 | 0,70 | 4,70* |
| Novafeltria | 1,0±0,2 | 0,62 | 3,64* |
| Pergola | 1,0±0,2 | 0,55 | 2,92* |
| Pesaro | 1,5±0,2 | 0,79 | 6,02* |
| Pollenza | 1,2±0,2 | 0,71 | 4,71* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,3±0,2 | 0,62 | 4,59* |
| Servigliano | 1,8±0,2 | 0,82 | 6,21* |
| Urbino | 1,3±0,3 | 0,58 | 3,80* |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.8: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).

Temperature minime medie estive.

| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,3±0,3 | 0,54 | 3,97* |
| Arcevia | 1,0±0,3 | 0,49 | 3,50* |
| Ascoli Piceno | 0,8±0,3 | 0,39 | 2,50 |
| Bargni | 1,0±0,2 | 0,61 | 3,99* |
| Bolognola (Pintura) | 0,8±0,3 | 0,36 | 2,57 |
| Camerino | 0,7±0,2 | 0,45 | 3,09* |
| Carpegna | 1,1±0,1 | 0,79 | 6,15* |
| Cingoli | 0,9±0,2 | 0,54 | 3,27* |
| Civitanova Marche | - | - | - |
| Fabriano | 0,7±0,3 | 0,39 | 2,77* |
| Fano | 1,0±0,2 | 0,59 | 4,06* |
| Fonte Avellana | 0,6±0,2 | 0,37 | 2,19 |
| Jesi | 1,1±0,3 | 0,47 | 2,58 |
| Lornano | 1,7±0,4 | 0,57 | 4,01* |
| Macerata | 0,9±0,2 | 0,50 | 3,07* |
| Mercatello | 0,8±0,2 | 0,47 | 3,23* |
| Montemonaco | 1,2±0,2 | 0,63 | 4,11* |
| Novafeltria | 0,9±0,2 | 0,48 | 3,44* |
| Pergola | 0,8±0,3 | 0,38 | 3,10* |
| Pesaro | 1,0±0,3 | 0,46 | 3,11* |
| Pollenza | 1,0±0,2 | 0,57 | 3,83* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,1±0,2 | 0,58 | 3,88* |
| Servigliano | 0,9±0,2 | 0,62 | 3,77* |
| Urbino | 1,2±0,5 | 0,33 | 2,36 |

*=livello di confidenza > 99%.

Tab. 7.9: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).

Temperature minime medie autunnali.

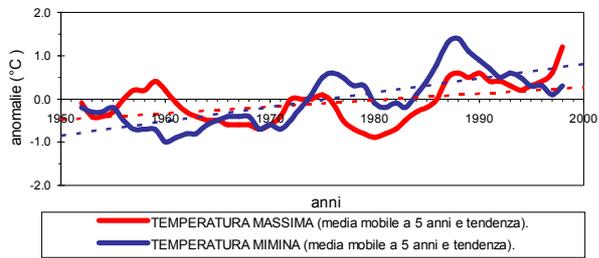
| Stazione | $b \pm e_b$ (°C su 50 anni) | r | $u(t)$ |
|-------------------------|--------------------------------|------|--------|
| Ancona (Torrette) | 1,9±0,3 | 0,64 | 4,36* |
| Arcevia | 0,7±0,3 | 0,31 | 2,08 |
| Ascoli Piceno | 0,9±0,3 | 0,38 | 2,40 |
| Bargni | 1,9±0,6 | 0,44 | 2,85* |
| Bolognola (Pintura) | 1,1±0,3 | 0,54 | 3,45* |
| Camerino | 1,2±0,3 | 0,55 | 3,45* |
| Carpegna | 1,3±0,4 | 0,46 | 3,14* |
| Cingoli | 1,7±0,3 | 0,64 | 4,56* |
| Civitanova Marche | - | - | - |
| Fabriano | 0,7±0,3 | 0,30 | 2,12 |
| Fano | 1,3±0,4 | 0,44 | 2,69* |
| Fonte Avellana | 0,7±0,3 | 0,35 | 2,20 |
| Jesi | 1,4±0,4 | 0,46 | 3,26* |
| Lornano | 1,7±0,3 | 0,68 | 4,85* |
| Macerata | 1,3±0,3 | 0,58 | 4,07* |
| Mercatello | 1,0±0,3 | 0,47 | 3,14* |
| Montemonaco | 1,8±0,4 | 0,60 | 3,94* |
| Novafeltria | 1,0±0,3 | 0,47 | 3,43* |
| Pergola | - | - | - |
| Pesaro | 1,0±0,3 | 0,51 | 3,39* |
| Pollenza | 1,5±0,3 | 0,64 | 4,26* |
| S. Benedetto del Tronto | 1,3±0,2 | 0,68 | 4,87* |
| Servigliano | 1,3±0,3 | 0,55 | 3,85* |
| Urbino | 1,1±0,4 | 0,39 | 3,06* |

*=livello di confidenza > 99%.

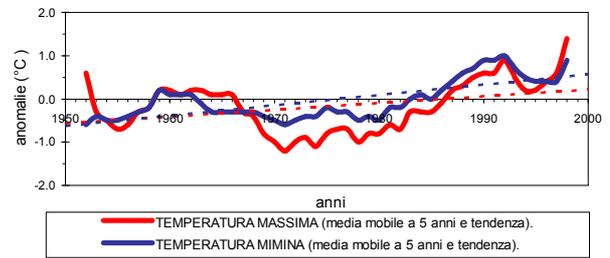
Tab. 7.10: Coefficiente di regressione lineare (b), errore associato (e_b), coefficiente di correlazione lineare (r) e valore del test di Mann-Kendall ($u(t)$).

Temperature minime medie invernali.

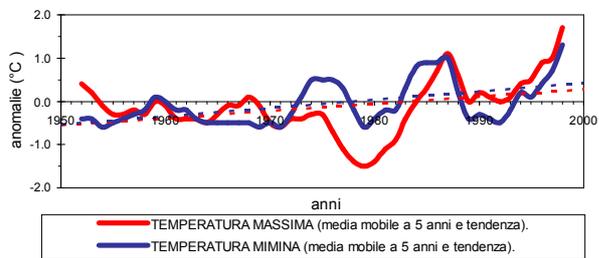
Ancona (Torrette)



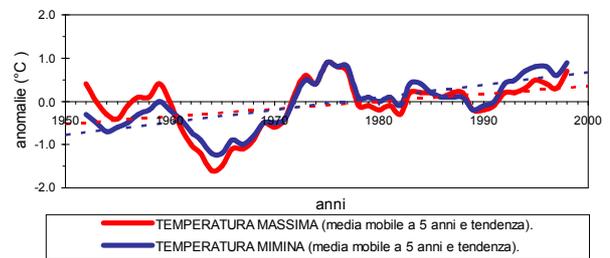
Arcevia



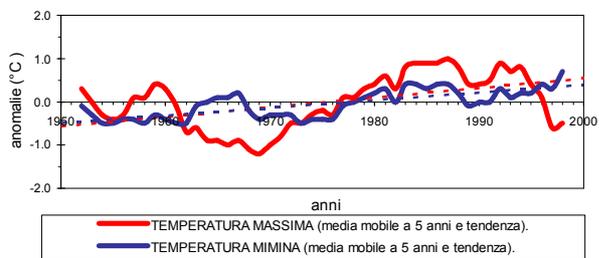
Ascoli Piceno



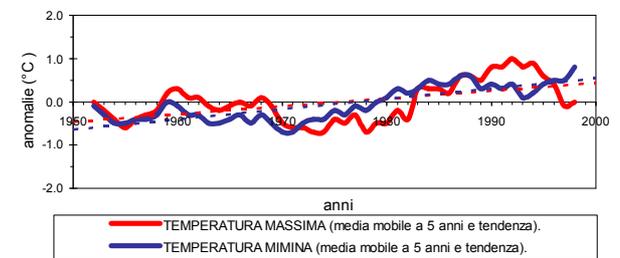
Bargni



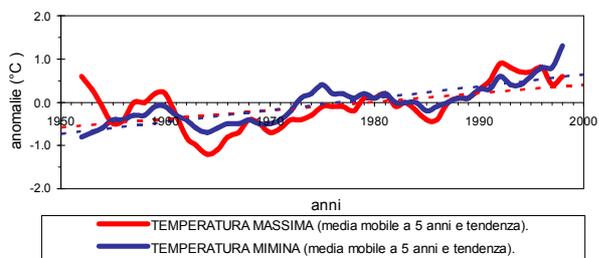
Bologna (Pintura)



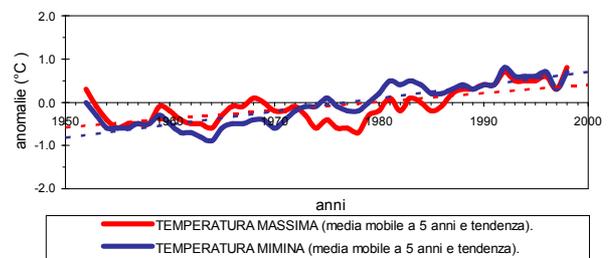
Camerino



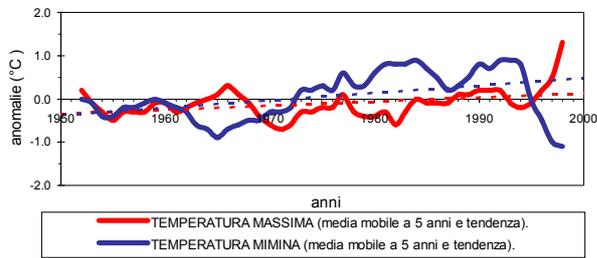
Carpegna



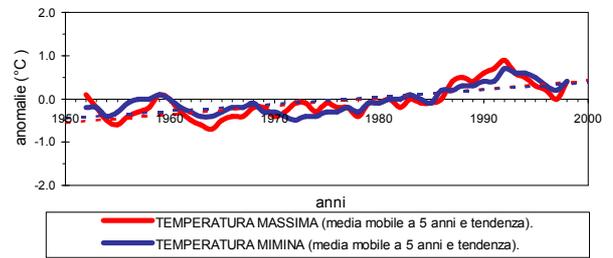
Cingoli



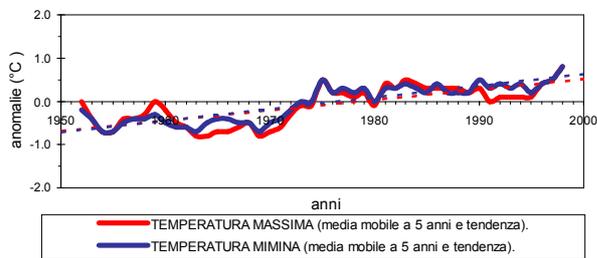
Civitanova Marche



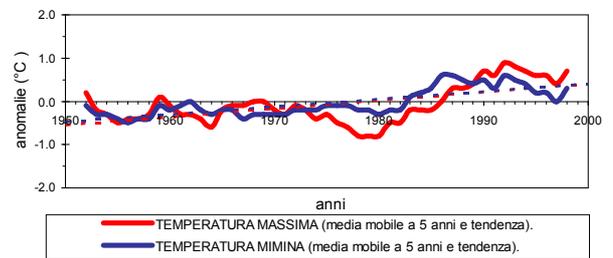
Fabriano



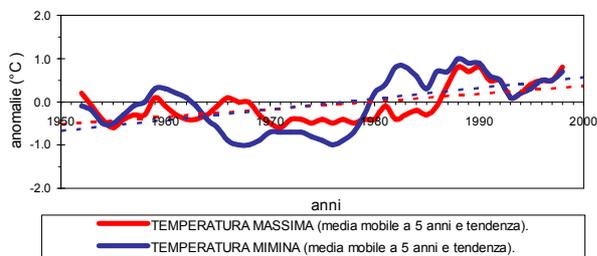
Fano



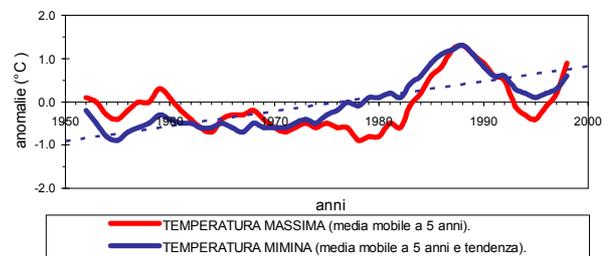
Fonte Avellana



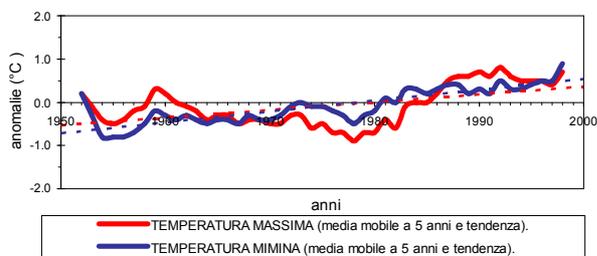
Jesi



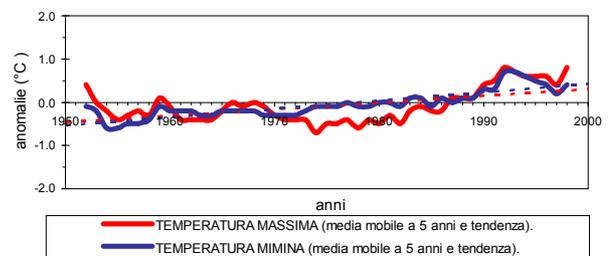
Lornano



Macerata



Mercatello



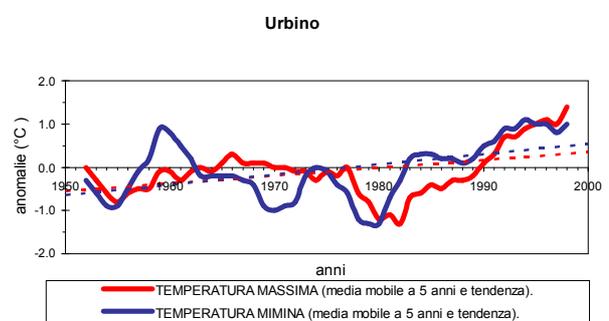
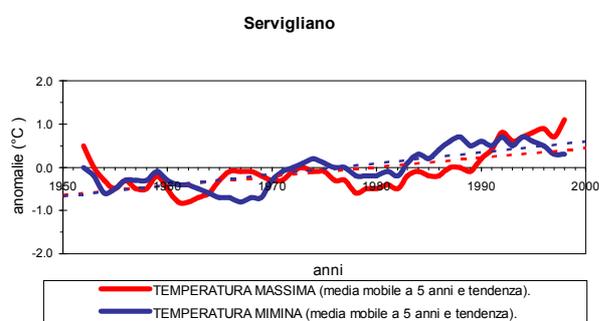
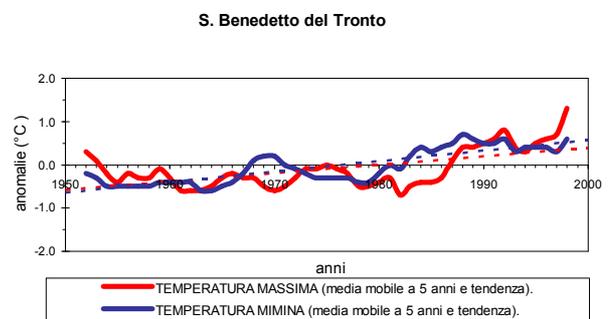
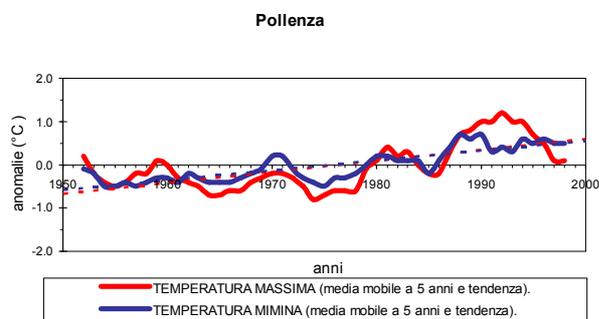
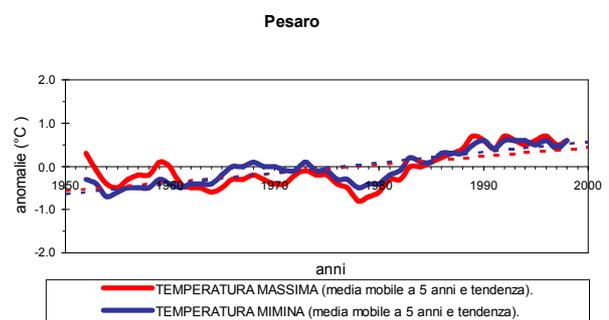
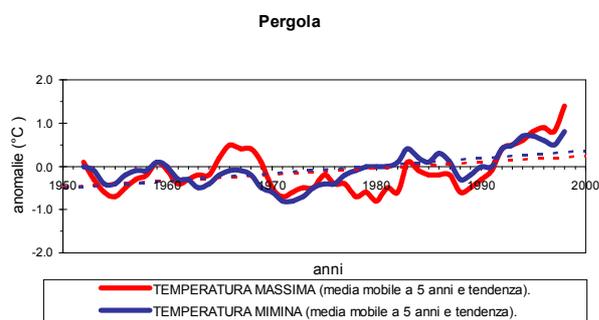
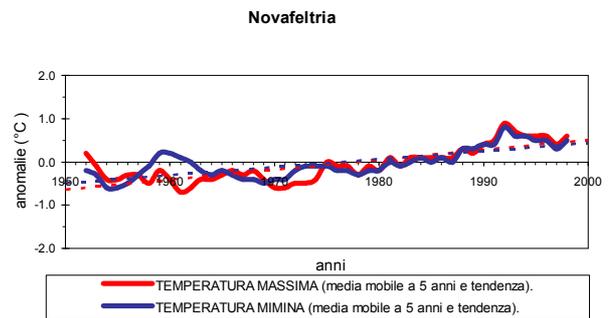
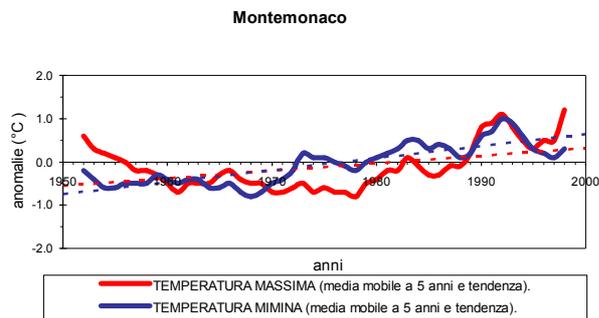
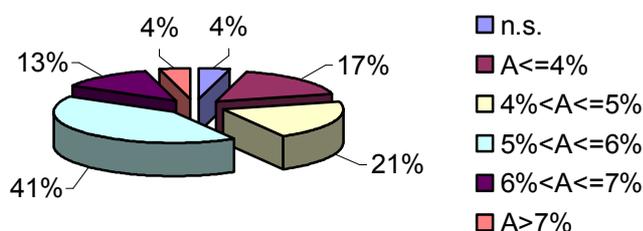


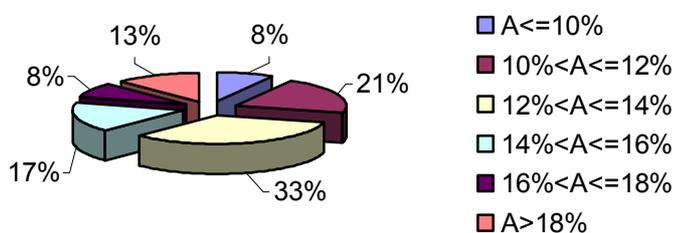
Fig. 7.1: Andamenti temporali annui delle temperature massima media e minima media.

Dall'esame dei dati riportati nelle Tab. 7.1÷7.10 emerge chiaro il segnale di aumento delle temperature nelle Marche. In particolare, il riscaldamento è stato caratterizzato da incrementi variabili tra 0,5 e 1,3 °C ogni 50 anni per le serie delle temperature massime annuali, durante il periodo 1950-2000. Per le serie delle temperature minime, il *trend* annuo è apparso simile, sebbene più elevato (tra 0,8 e 1,7 °C/50 anni). Anche dall'analisi dei grafici soprariportati, si nota che la temperatura minima annua ha presentato, nella maggior parte dei casi, un andamento crescente più spiccato rispetto alla temperatura massima annua. Per meglio quantificare tale fenomeno, sono stati calcolati gli aumenti percentuali rispetto ai corrispondenti valori medi per il periodo in studio [Buffoni, Maugeri and Nanni, 1999]. I risultati ottenuti sono rappresentati nelle Fig. 7.2-7.3.



A=aumento %, rispetto alla media, sul periodo 1950-2000; n.s.=non significativo.

Fig. 7.2: Rappresentazione grafica degli aumenti termici percentuali per le stazioni esaminate. Temperatura massima media annua.



A=aumento %, rispetto alla media, sul periodo 1950-2000.

Fig. 7.3: Rappresentazione grafica degli aumenti termici percentuali per le stazioni esaminate. Temperatura minima media annua.

Riguardo all'indagine stagionale, dalle Tab. 7.2÷7.5 e 7.7÷7.10 è possibile stabilire quale stagione abbia dato maggior contributo all'incremento termico annuale. A tal proposito, per la temperatura massima, la crescita è stata registrata principalmente in primavera ed inverno, rispettivamente con 19 e 20 casi significativi su 24, mentre per la temperatura minima in ogni periodo dell'anno, con un'incidenza percentuale sul totale delle stazioni considerate pari a 100 in primavera ed estate, 96 in autunno e 92 in inverno.

8. Sintesi dei risultati ottenuti e considerazioni conclusive.

Questo *report* è stato realizzato usando i seguenti parametri termometrici mensili:

- media delle temperature massime assolute giornaliere;
- media delle temperature minime assolute giornaliere;
- temperatura media (media aritmetica delle relative variabili sopraindicate).

Il *data set* completo si riferisce a 51 anni (1950-2000) di 24 stazioni di misura marchigiane.

In sintesi, i risultati del lavoro svolto sono i seguenti:

- rappresentazione grafica dei dati mensili della temperatura media delle 24 stazioni per mezzo del diagramma a *boxplots* (Pag. 8), che fornisce un quadro informativo sintetico riguardante le distribuzioni delle variabili in uso. Ciò ha permesso una suddivisione, del tutto preliminare, del territorio regionale in quattro principali fasce, che si sviluppano nel senso longitudinale:
 - 1- Bolognola (Pintura), unica stazione tra quelle considerate collocata al di sopra dei 1.000 m, con una mediana di 6,8 °C, si distingue nettamente dalle altre, che presentano valori maggiori o uguali a 11 °C;
 - 2- le stazioni di media montagna (Carpegna, Fonte Avellana e Montemonaco) e quelle altocollinari e di bassa montagna (Arcevia, Camerino, Cingoli, Mercatello ed Urbino) hanno mediane (circa 11-12 °C) e distribuzione dei dati confrontabili tra loro;
 - 3- un altro raggruppamento, più o meno corrispondente alla parte di territorio medio e bassocollinare dell'interno, incorpora le stazioni di: Fabriano, Novafeltria, Pergola, Pollenza e Servigliano (mediana intorno a 13 °C);
 - 4- le località del settore costiero e zone prospicienti o limitrofe, qui di seguito riportate: Ancona (Torrette), Ascoli Piceno, Bargni, Civitanova Marche, Fano,

Jesi, Lornano, Macerata, Pesaro e S. Benedetto del Tronto presentano valori termici superiori a quelli propri degli altri gruppi, con mediana fino a 15 °C;

- determinazione per ciascuna stazione della distribuzione di probabilità delle anomalie standardizzate di temperatura media mensile, che è governata dalla distribuzione di Gauss. L'accordo fra i dati osservati e la loro distribuzione attesa è stato quantificato attraverso il test del chi-quadrato. Sotto l'ipotesi che le nostre misure seguano la distribuzione gaussiana, è stata calcolata la probabilità di ottenere un valore della statistica, χ^2 grande quanto o maggiore a quello realmente ottenuto, per il corrispondente numero di gradi di libertà. Le probabilità risultano essere tali per cui non sono da ritenersi irragionevoli valori di χ^2 grandi quanto quelli trovati per le stazioni in uso, che vuol dire che non è 'ragionevolmente probabile', al livello significativo del 5 per cento, rigettare l'ipotesi di partenza.

A questo punto, noti il valor medio e la deviazione standard della distribuzione dei dati termici medi mensili per la località di interesse, è possibile calcolare la probabilità che si verifichi una temperatura minore o uguale, ovvero maggiore, ad una determinata soglia di criticità;

- identificazione di aree con regimi termometrici affini attraverso la *cluster analysis* sui valori medi annuali e stagionali delle temperature medie delle 24 stazioni, per l'intervallo temporale considerato. Dai dendrogrammi presentati (Pag. da 22 a 24), si deduce una suddivisione della regione in 5 fasce, con riguardo alle indagini annua (vedasi in basso), autunnale ed invernale, e 4 gruppi, nel caso delle restanti stagioni;

| Insieme | Numerosità | Elementi |
|---------|------------|---|
| 1 | 9 | Arcevia, Carpegna, Cingoli, Fabriano, Novafeltria, Pergola, Pollenza, Servigliano, Urbino |
| 2 | 7 | Bargni, Civitanova Marche, Fano, Jesi, Lornano, Macerata, Pesaro |
| 3 | 4 | Camerino, Fonte Avellana, Mercatello, Montemonaco |
| 4 | 3 | Ancona (Torrette), Ascoli Piceno, S. Benedetto del Tronto |
| 5 | 1 | Bolognola (Pintura) |

Clustering della temperatura media annua (1950-2000).

- individuazione della variabilità spaziale di ciascun parametro analizzato, attraverso l'analisi in *empirical orthogonal functions*. Lo scopo di tale tipo di scomposizione è quello di isolare le principali strutture di variabilità del campo di indagine. La struttura spaziale della *EOF1*, contraddistinta da omogeneità di segno sull'intera area in esame, evidenzia una variabilità riconducibile all'orografia. La seconda *EOF* descrive un segnale di variabilità ovest-est, riferibile in parte ai contrasti terra-mare, con una struttura dipolare, con le aree positive e negative posizionate sul settore orientale ed in quello occidentale, rispettivamente. A tal proposito, in particolare, la *EOF2* di anomalie di temperatura minima media mostra segnali di variabilità più localizzata. Queste due *EOFs* spiegano, reciprocamente, l'82,6% e il 2,5% della varianza totale sulla regione Marche, per la temperatura media, contro l'81,5 ed il 3,1%, per la temperatura massima media. Infine, le percentuali delle varianze spiegate dai primi due autovalori, relativi alla temperatura minima media, valgono, nell'ordine, 74 e 4,1;
- identificazione di relazioni di tipo lineare che uniscono la temperatura media e l'altitudine, nei diversi periodi, per le Marche. Dalla relativa espressione, è stata ricavata una variazione media, per l'anno, pari a $-0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ogni 100 m di dislivello. Sono stati, inoltre, calcolati i valori mensili di decrescenza termica media per 100 m di altezza;

| G | F | M | A | M | G | L | A | S | O | N | D |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,39 | 0,47 | 0,46 | 0,47 | 0,45 | 0,43 | 0,37 | 0,38 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | 0,43 |

Decremento termico medio ($^{\circ}\text{C}$) per 100 metri di altezza, per le Marche, nei vari mesi.

- realizzazione delle carte della temperatura media annua, di gennaio e di luglio nelle Marche per il periodo 1950-2000, che definiscono gli aspetti quantitativi della variabilità spaziale dei valori di ciascun attributo termometrico nella regione. Per passare dalle serie di dati puntuali ad una distribuzione continua nello spazio, che ha consentito la rappresentazione cartografica dell'andamento delle grandezze in uso, è stato utilizzato il *software* Idrisi Kilimanjaro. Si è impiegato il metodo geostatistico *Universal Kriging*, con l'ausilio del *DEM* regionale, considerata la correlazione tra i parametri e l'altimetria. Dalle rappresentazioni ottenute per l'anno ed i mesi di gennaio e luglio si rileva come, in generale, le linee di ugual temperatura diminuiscano di valore procedendo dal mare verso l'interno, ove i livelli termici si

fanno pressoché conformi al rilievo orografico. Le carte tematiche sono state realizzate alla scala 1:200.000 e sono consultabili nella tavole fuori testo o direttamente da *CD-ROM*;

- determinazione di un *trend* crescente (test di Mann-Kendall, livello di significatività del 5%) delle temperature massima e minima. A livello annuo, ciò è stato individuato su 23 stazioni delle 24 analizzate, per la temperatura massima, e su tutte quante, per la temperatura minima (statistiche: Pag. da 33 a 42; grafici: Pag. da 43 a 45). Più precisamente, dall'analisi della temperatura massima annuale si evidenzia un netto segno positivo dell'ordine di $0,5 \div 1,3$ °C ogni 50 anni, contro il *trend* annuale di $0,8 \div 1,7$ °C/50 anni per la minima, riferiti all'intervallo 1950-2000. Per quantificare tale crescita, sono stati calcolati gli incrementi percentuali rispetto ai corrispondenti valori medi relativi all'arco temporale in studio. I risultati ottenuti, per le stazioni con *trend* significativo, sono riportati in tabella:

| Stazione | T massima media | T minima media |
|-------------------------|-----------------|----------------|
| Ancona (Torrette) | 4 | 14 |
| Arcevia | 5 | 13 |
| Ascoli Piceno | 4 | 11 |
| Bargni | 5 | 14 |
| Bolognola | 10 | 31 |
| Camerino | 6 | 16 |
| Carpegna | 6 | 18 |
| Cingoli | 6 | 16 |
| Civitanova Marche | 3 | 9 |
| Fabriano | 6 | 11 |
| Fano | 7 | 13 |
| Fonte Avellana | 7 | 11 |
| Jesi | 5 | 13 |
| Lornano | - | 17 |
| Macerata | 5 | 13 |
| Mercatello | 5 | 16 |
| Montemonaco | 6 | 20 |
| Novafeltria | 6 | 11 |
| Pergola | 4 | 12 |
| Pesaro | 6 | 13 |
| Pollenza | 7 | 15 |
| S. Benedetto del Tronto | 6 | 9 |
| Servigliano | 6 | 19 |
| Urbino | 6 | 13 |

Aumento annuo (%), nell'intervallo 1950-2000, in rapporto alla media del periodo.

Per la maggior parte, si è avuto un aumento annuo, su tutto il periodo, intorno al 5-6% per la temperatura massima (41% dei casi) e del 12-14% per la minima (33% dei casi). Il segnale di incremento è risultato visibile in tutte le stagioni per la temperatura minima (valori medi regionali di crescita ogni 50 anni pari a: 1,1 °C in primavera; 1,4 °C in estate; 1,0 °C in autunno; 1,3 °C in inverno, nel corso del periodo considerato), mentre la temperatura massima ha presentato una tendenza positiva significativa soprattutto in primavera ed inverno (dati medi di aumento di 1,1 e 1,2 °C/50 anni, rispettivamente). Uno *screening* per fasce altimetriche, sembra suggerire che la temperatura stia aumentando con maggiore intensità nelle zone montane e altocollinari, piuttosto che nei settori bassocollinare e costiero.

APPENDICE I

Aree sotto la curva normale standardizzata da 0 a z .

| z | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | 0,0000 | 0,0040 | 0,0080 | 0,0120 | 0,0160 | 0,0199 | 0,0239 | 0,0279 | 0,0319 | 0,0359 |
| 0,1 | 0,0398 | 0,0438 | 0,0478 | 0,0517 | 0,0557 | 0,0596 | 0,0636 | 0,0675 | 0,0714 | 0,0754 |
| 0,2 | 0,0793 | 0,0832 | 0,0871 | 0,0910 | 0,0948 | 0,0987 | 0,1026 | 0,1064 | 0,1103 | 0,1141 |
| 0,3 | 0,1179 | 0,1217 | 0,1255 | 0,1293 | 0,1331 | 0,1368 | 0,1406 | 0,1443 | 0,1480 | 0,1517 |
| 0,4 | 0,1554 | 0,1591 | 0,1628 | 0,1664 | 0,1700 | 0,1736 | 0,1772 | 0,1808 | 0,1844 | 0,1879 |
| 0,5 | 0,1915 | 0,1950 | 0,1985 | 0,2019 | 0,2054 | 0,2088 | 0,2123 | 0,2157 | 0,2190 | 0,2224 |
| 0,6 | 0,2258 | 0,2291 | 0,2324 | 0,2357 | 0,2389 | 0,2422 | 0,2454 | 0,2486 | 0,2518 | 0,2549 |
| 0,7 | 0,2580 | 0,2612 | 0,2642 | 0,2673 | 0,2704 | 0,2734 | 0,2764 | 0,2794 | 0,2823 | 0,2852 |
| 0,8 | 0,2881 | 0,2910 | 0,2939 | 0,2967 | 0,2996 | 0,3023 | 0,3051 | 0,3078 | 0,3106 | 0,3133 |
| 0,9 | 0,3159 | 0,3186 | 0,3212 | 0,3238 | 0,3264 | 0,3289 | 0,3315 | 0,3340 | 0,3365 | 0,3389 |
| 1,0 | 0,3413 | 0,3438 | 0,3461 | 0,3485 | 0,3508 | 0,3531 | 0,3554 | 0,3577 | 0,3599 | 0,3621 |
| 1,1 | 0,3643 | 0,3665 | 0,3686 | 0,3708 | 0,3729 | 0,3749 | 0,3770 | 0,3790 | 0,3810 | 0,3830 |
| 1,2 | 0,3849 | 0,3869 | 0,3888 | 0,3907 | 0,3925 | 0,3944 | 0,3962 | 0,3980 | 0,3997 | 0,4015 |
| 1,3 | 0,4032 | 0,4049 | 0,4066 | 0,4082 | 0,4099 | 0,4115 | 0,4131 | 0,4147 | 0,4162 | 0,4177 |
| 1,4 | 0,4192 | 0,4207 | 0,4222 | 0,4236 | 0,4251 | 0,4265 | 0,4279 | 0,4292 | 0,4306 | 0,4319 |
| 1,5 | 0,4332 | 0,4345 | 0,4357 | 0,4370 | 0,4382 | 0,4394 | 0,4406 | 0,4418 | 0,4429 | 0,4441 |
| 1,6 | 0,4452 | 0,4463 | 0,4474 | 0,4484 | 0,4495 | 0,4505 | 0,4515 | 0,4525 | 0,4535 | 0,4545 |
| 1,7 | 0,4554 | 0,4564 | 0,4573 | 0,4582 | 0,4591 | 0,4599 | 0,4608 | 0,4616 | 0,4625 | 0,4633 |
| 1,8 | 0,4641 | 0,4649 | 0,4656 | 0,4664 | 0,4671 | 0,4678 | 0,4686 | 0,4693 | 0,4699 | 0,4706 |
| 1,9 | 0,4713 | 0,4719 | 0,4726 | 0,4732 | 0,4738 | 0,4744 | 0,4750 | 0,4756 | 0,4761 | 0,4767 |
| 2,0 | 0,4772 | 0,4778 | 0,4783 | 0,4788 | 0,4793 | 0,4798 | 0,4803 | 0,4808 | 0,4812 | 0,4817 |
| 2,1 | 0,4821 | 0,4826 | 0,4830 | 0,4834 | 0,4838 | 0,4842 | 0,4846 | 0,4850 | 0,4854 | 0,4857 |
| 2,2 | 0,4861 | 0,4864 | 0,4868 | 0,4871 | 0,4875 | 0,4878 | 0,4881 | 0,4884 | 0,4887 | 0,4890 |
| 2,3 | 0,4893 | 0,4896 | 0,4898 | 0,4901 | 0,4904 | 0,4906 | 0,4909 | 0,4911 | 0,4913 | 0,4916 |
| 2,4 | 0,4918 | 0,4920 | 0,4922 | 0,4925 | 0,4927 | 0,4929 | 0,4931 | 0,4932 | 0,4934 | 0,4936 |
| 2,5 | 0,4938 | 0,4940 | 0,4941 | 0,4943 | 0,4945 | 0,4946 | 0,4948 | 0,4949 | 0,4951 | 0,4952 |
| 2,6 | 0,4953 | 0,4955 | 0,4956 | 0,4957 | 0,4959 | 0,4960 | 0,4961 | 0,4962 | 0,4963 | 0,4964 |
| 2,7 | 0,4965 | 0,4966 | 0,4967 | 0,4968 | 0,4969 | 0,4970 | 0,4971 | 0,4972 | 0,4973 | 0,4974 |
| 2,8 | 0,4974 | 0,4975 | 0,4976 | 0,4977 | 0,4977 | 0,4978 | 0,4979 | 0,4979 | 0,4980 | 0,4981 |
| 2,9 | 0,4981 | 0,4982 | 0,4982 | 0,4983 | 0,4984 | 0,4984 | 0,4985 | 0,4985 | 0,4986 | 0,4986 |
| 3,0 | 0,4987 | 0,4987 | 0,4987 | 0,4988 | 0,4988 | 0,4989 | 0,4989 | 0,4989 | 0,4990 | 0,4990 |
| 3,1 | 0,4990 | 0,4991 | 0,4991 | 0,4991 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4993 | 0,4993 |
| 3,2 | 0,4993 | 0,4993 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4995 |
| 3,3 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4997 |
| 3,4 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4998 |
| 3,5 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 |
| 3,6 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3,7 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3,8 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3,9 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 |

Fonte: Spiegel M. R., *Statistica*; collana Schaum teoria e problemi, 4, Etas Libri, Milano 1976.

APPENDICE II

Valori dei percentili per la distribuzione della variabile casuale chi-quadrato con v gradi di libertà.

| v | $\chi^2_{0,995}$ | $\chi^2_{0,99}$ | $\chi^2_{0,975}$ | $\chi^2_{0,95}$ | $\chi^2_{0,90}$ | $\chi^2_{0,75}$ | $\chi^2_{0,50}$ | $\chi^2_{0,25}$ | $\chi^2_{0,10}$ | $\chi^2_{0,05}$ | $\chi^2_{0,025}$ | $\chi^2_{0,01}$ | $\chi^2_{0,005}$ |
|-----|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 7,88 | 6,63 | 5,02 | 3,84 | 2,71 | 1,32 | 0,455 | 0,102 | 0,0158 | 0,0039 | 0,0010 | 0,0002 | 0,0000 |
| 2 | 10,6 | 9,21 | 7,38 | 5,99 | 4,61 | 2,77 | 1,39 | 0,575 | 0,211 | 0,103 | 0,0506 | 0,0201 | 0,0100 |
| 3 | 12,8 | 11,3 | 9,35 | 7,81 | 6,25 | 4,11 | 2,37 | 1,21 | 0,584 | 0,352 | 0,216 | 0,115 | 0,072 |
| 4 | 14,9 | 13,3 | 11,1 | 9,49 | 7,78 | 5,39 | 3,36 | 1,92 | 1,06 | 0,711 | 0,484 | 0,297 | 0,207 |
| 5 | 16,7 | 15,1 | 12,8 | 11,1 | 9,24 | 6,63 | 4,35 | 2,67 | 1,61 | 1,15 | 0,831 | 0,554 | 0,412 |
| 6 | 18,5 | 16,8 | 14,4 | 12,6 | 10,6 | 7,34 | 5,35 | 3,45 | 2,20 | 1,64 | 1,24 | 0,872 | 0,676 |
| 7 | 20,3 | 18,5 | 16,0 | 14,1 | 12,0 | 9,04 | 6,35 | 4,25 | 2,83 | 2,17 | 1,69 | 1,24 | 0,989 |
| 8 | 22,0 | 20,1 | 17,5 | 15,5 | 13,4 | 10,2 | 7,34 | 5,07 | 3,49 | 2,73 | 2,18 | 1,65 | 1,34 |
| 9 | 23,6 | 21,7 | 19,0 | 16,9 | 14,7 | 11,4 | 8,34 | 5,90 | 4,17 | 3,33 | 2,70 | 2,09 | 1,73 |
| 10 | 25,2 | 23,2 | 20,5 | 18,3 | 16,0 | 12,5 | 9,34 | 6,74 | 4,87 | 3,94 | 3,25 | 2,56 | 2,16 |
| 11 | 26,8 | 24,7 | 21,9 | 19,7 | 17,3 | 13,7 | 10,3 | 7,58 | 5,58 | 4,57 | 3,82 | 3,05 | 2,60 |
| 12 | 28,3 | 26,2 | 23,3 | 21,0 | 18,5 | 14,8 | 11,3 | 8,44 | 6,30 | 5,23 | 4,40 | 3,57 | 3,07 |
| 13 | 29,8 | 27,7 | 24,7 | 22,4 | 19,8 | 16,0 | 12,3 | 9,30 | 7,04 | 5,89 | 5,01 | 4,11 | 3,57 |
| 14 | 31,3 | 29,1 | 26,1 | 23,7 | 21,1 | 17,1 | 13,3 | 10,2 | 7,79 | 6,57 | 5,63 | 4,66 | 4,07 |
| 15 | 32,8 | 30,6 | 27,5 | 25,0 | 22,3 | 18,2 | 14,3 | 11,0 | 8,55 | 7,26 | 6,26 | 5,23 | 4,60 |
| 16 | 34,3 | 32,0 | 28,8 | 26,3 | 23,5 | 19,4 | 15,3 | 11,9 | 9,31 | 7,96 | 6,91 | 5,81 | 5,14 |
| 17 | 35,7 | 33,4 | 30,2 | 27,6 | 24,8 | 20,5 | 16,3 | 12,8 | 10,1 | 8,67 | 7,56 | 6,41 | 5,70 |
| 18 | 37,2 | 34,8 | 31,5 | 28,9 | 26,0 | 21,6 | 17,3 | 13,7 | 10,9 | 9,39 | 8,23 | 7,01 | 6,26 |
| 19 | 38,6 | 36,2 | 32,9 | 30,1 | 27,2 | 22,7 | 18,3 | 14,6 | 11,7 | 10,1 | 8,91 | 7,63 | 6,84 |
| 20 | 40,0 | 37,6 | 34,2 | 31,4 | 28,4 | 23,8 | 19,3 | 15,5 | 12,4 | 10,9 | 9,59 | 8,26 | 7,43 |
| 21 | 41,4 | 38,9 | 35,5 | 32,7 | 29,6 | 24,9 | 20,3 | 16,3 | 13,2 | 11,6 | 10,3 | 8,90 | 8,03 |
| 22 | 42,8 | 40,3 | 36,8 | 33,9 | 30,8 | 26,0 | 21,3 | 17,2 | 14,0 | 12,3 | 11,0 | 9,54 | 8,64 |
| 23 | 44,2 | 41,6 | 38,1 | 35,2 | 32,0 | 27,1 | 22,3 | 18,1 | 14,8 | 13,1 | 11,7 | 10,2 | 9,26 |
| 24 | 45,6 | 43,0 | 39,4 | 36,4 | 33,2 | 28,2 | 23,3 | 19,0 | 15,7 | 13,8 | 12,4 | 10,9 | 9,89 |
| 25 | 46,9 | 44,3 | 40,6 | 37,7 | 34,4 | 29,3 | 24,3 | 19,9 | 16,5 | 14,6 | 13,1 | 11,5 | 10,5 |
| 26 | 48,3 | 45,6 | 41,9 | 38,9 | 35,6 | 30,4 | 25,3 | 20,8 | 17,3 | 15,4 | 13,8 | 12,2 | 11,2 |
| 27 | 49,6 | 47,0 | 43,2 | 40,1 | 36,7 | 31,5 | 26,3 | 21,7 | 18,1 | 16,2 | 14,6 | 12,9 | 11,8 |
| 28 | 51,0 | 48,3 | 44,5 | 41,3 | 37,9 | 32,6 | 27,3 | 22,7 | 18,9 | 16,9 | 15,3 | 13,6 | 12,5 |
| 29 | 52,3 | 49,6 | 45,7 | 42,6 | 39,1 | 33,7 | 28,3 | 23,6 | 19,8 | 17,7 | 16,0 | 14,3 | 13,1 |
| 30 | 53,7 | 50,9 | 47,0 | 43,8 | 40,3 | 34,8 | 29,3 | 24,5 | 20,6 | 18,5 | 16,8 | 15,0 | 13,8 |
| 40 | 66,8 | 63,7 | 59,3 | 55,8 | 51,8 | 45,6 | 39,3 | 33,7 | 29,1 | 26,5 | 24,4 | 22,2 | 20,7 |
| 50 | 79,5 | 76,2 | 71,4 | 67,5 | 63,2 | 56,3 | 49,3 | 42,9 | 37,7 | 34,8 | 32,4 | 29,7 | 28,0 |
| 60 | 92,0 | 88,4 | 83,3 | 79,1 | 74,4 | 67,0 | 59,3 | 52,3 | 46,5 | 43,2 | 40,5 | 37,5 | 35,5 |
| 70 | 104,2 | 100,4 | 95,0 | 90,5 | 85,5 | 77,6 | 69,3 | 61,7 | 55,3 | 51,7 | 48,8 | 45,4 | 43,3 |
| 80 | 166,3 | 112,3 | 106,6 | 101,9 | 96,6 | 88,1 | 79,3 | 71,1 | 64,3 | 60,4 | 57,2 | 53,5 | 51,2 |
| 90 | 128,3 | 124,1 | 118,1 | 113,1 | 107,6 | 98,6 | 89,3 | 80,6 | 73,3 | 69,1 | 65,6 | 61,8 | 59,2 |
| 100 | 140,2 | 135,8 | 129,6 | 124,3 | 118,5 | 109,1 | 99,3 | 90,1 | 82,4 | 77,9 | 74,2 | 70,1 | 67,3 |

Fonte: Spiegel M. R., *Statistica*; collana Schaum teoria e problemi, 4, Etas Libri, Milano 1976.

APPENDICE III

Probabilità percentuale, $P(\chi^2 \geq \chi_o^2)$ di trovare un valore di $\chi^2 \geq \chi_o^2$ in un'esperienza con ν gradi di libertà, in funzione di ν e $\tilde{\chi}_o^2$, con $\tilde{\chi}_o^2 = \chi_o^2/\nu$.

| ν | $\tilde{\chi}_o^2$ | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | |
| 1 | 100 | 48 | 32 | 22 | 16 | 11 | 8,3 | 6,1 | 4,6 | 3,4 | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | |
| 2 | 100 | 61 | 37 | 22 | 14 | 8,2 | 5,0 | 3,0 | 1,8 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | - | - | |
| 3 | 100 | 68 | 39 | 21 | 11 | 5,8 | 2,9 | 1,5 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | - | - | - | |
| 4 | 100 | 74 | 41 | 20 | 9,2 | 4,0 | 1,7 | 0,7 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | - | - | - | - | |
| 5 | 100 | 78 | 42 | 19 | 7,5 | 2,9 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | - | - | - | - | - | - | |
| | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
| 1 | 100 | 65 | 53 | 44 | 37 | 32 | 27 | 24 | 21 | 18 | 16 | 14 | 12 | 11 | 9,4 | 8,3 |
| 2 | 100 | 82 | 67 | 55 | 45 | 37 | 30 | 25 | 20 | 17 | 14 | 11 | 9,1 | 7,4 | 6,1 | 5,0 |
| 3 | 100 | 90 | 75 | 61 | 49 | 39 | 31 | 24 | 19 | 14 | 11 | 8,6 | 6,6 | 5,0 | 3,8 | 2,9 |
| 4 | 100 | 94 | 81 | 66 | 52 | 41 | 31 | 23 | 17 | 13 | 9,2 | 6,6 | 4,8 | 3,4 | 2,4 | 1,7 |
| 5 | 100 | 96 | 85 | 70 | 55 | 42 | 31 | 22 | 16 | 11 | 7,5 | 5,1 | 3,5 | 2,3 | 1,6 | 1,0 |
| 6 | 100 | 98 | 88 | 73 | 57 | 42 | 30 | 21 | 14 | 9,5 | 6,2 | 4,0 | 2,5 | 1,6 | 1,0 | 0,6 |
| 7 | 100 | 99 | 90 | 76 | 59 | 43 | 30 | 20 | 13 | 8,2 | 5,1 | 3,1 | 1,9 | 1,1 | 0,7 | 0,4 |
| 8 | 100 | 99 | 92 | 78 | 60 | 43 | 29 | 19 | 12 | 7,2 | 4,2 | 2,4 | 1,4 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| 9 | 100 | 99 | 94 | 80 | 62 | 44 | 29 | 18 | 11 | 6,3 | 3,5 | 1,9 | 1,0 | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| 10 | 100 | 100 | 95 | 82 | 63 | 44 | 29 | 17 | 10 | 5,5 | 2,9 | 1,5 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| 11 | 100 | 100 | 96 | 83 | 64 | 44 | 28 | 16 | 9,1 | 4,8 | 2,4 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,1 |
| 12 | 100 | 100 | 96 | 84 | 65 | 45 | 28 | 16 | 8,4 | 4,2 | 2,0 | 0,9 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | - |
| 13 | 100 | 100 | 97 | 86 | 66 | 45 | 27 | 15 | 7,7 | 3,7 | 1,7 | 0,7 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | - |
| 14 | 100 | 100 | 98 | 87 | 67 | 45 | 27 | 14 | 7,1 | 3,3 | 1,4 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | - | - |
| 15 | 100 | 100 | 98 | 88 | 68 | 45 | 26 | 14 | 6,5 | 2,9 | 1,2 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | - | - |
| 16 | 100 | 100 | 98 | 89 | 69 | 45 | 26 | 13 | 6,0 | 2,5 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | - | - | - |
| 17 | 100 | 100 | 99 | 90 | 70 | 45 | 25 | 12 | 5,5 | 2,2 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | - | - | - |
| 18 | 100 | 100 | 99 | 90 | 70 | 46 | 25 | 12 | 5,1 | 2,0 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | - | - | - |
| 19 | 100 | 100 | 99 | 91 | 71 | 46 | 25 | 11 | 4,7 | 1,7 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | - | - | - |
| 20 | 100 | 100 | 99 | 92 | 72 | 46 | 24 | 11 | 4,3 | 1,5 | 0,5 | 0,1 | - | - | - | - |
| 22 | 100 | 100 | 99 | 93 | 73 | 46 | 23 | 10 | 3,7 | 1,2 | 0,4 | 0,1 | - | - | - | - |
| 24 | 100 | 100 | 100 | 94 | 74 | 46 | 23 | 9,2 | 3,2 | 0,9 | 0,3 | 0,1 | - | - | - | - |
| 26 | 100 | 100 | 100 | 95 | 75 | 46 | 22 | 8,5 | 2,7 | 0,7 | 0,2 | - | - | - | - | - |
| 28 | 100 | 100 | 100 | 95 | 76 | 46 | 21 | 7,8 | 2,3 | 0,6 | 0,1 | - | - | - | - | - |
| 30 | 100 | 100 | 100 | 96 | 77 | 47 | 21 | 7,2 | 2,0 | 0,5 | 0,1 | - | - | - | - | - |

Fonte: Taylor J. R., *Introduzione all'analisi degli errori. Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche*; Zanichelli, Bologna 1993.

Ringraziamenti.

Si ringraziano il Dott. Carlo Cacciamani e la Dott.ssa Rodica Tomozeiu del Servizio IdroMeteorologico di ARPA Emilia-Romagna, per la grande disponibilità dimostrata ed il prezioso contributo alla realizzazione di questo lavoro.

Bibliografia.

Abramowitz M. and Stegun I. A., *Handbook of mathematical functions*; Dover, 1965.

Alexandersson H. and Moberg A., *Homogenization of swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends*; International Journal of Climatology, **17**, 25-34, 1997.

Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., *Precipitation in Italy from 1833 to 1996*; Theoretical and Applied Climatology, **63**, 33-40, 1999.

Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., *Precipitation intensity trends in northern Italy*; International Journal of Climatology, **20**, 1017-1031, 2000.

Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., *Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996*; Theoretical and Applied Climatology, **66**, 49-60, 2000.

Cacciamani C., Lazzeri M., Quadrelli R., Tibaldi S., *Regimi pluviometrici nel bacino padano-adriatico e collegamento con la circolazione atmosferica a scala europea*; Quaderno Tecnico ARPA-SMR n°12/2003.

Cacciamani C., Lazzeri M., Selvini A., Tomozeiu R., Zuccherelli A., *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni*; Quaderno Tecnico ARPA-SMR n°04/2001.

Cacciamani C., Nanni S., Tibaldi S., *Mesoclimatology of winter temperature and precipitation in the Po valley of northern Italy*; International Journal of Climatology, **14**, 777-814, 1994.

Cerquetti F., Cruciani G., Mosiello R., Murri A., *Caratterizzazione climatologica del territorio marchigiano. Un'analisi dei parametri climatici della Regione*; ENEA, Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata 1987.

Galliani G. and Filippini F., *Climatic clusters in a small area*; Journal of Climatology, **5**, 487-501, 1985.

Moberg A. and Alexandersson H., *Homogenization of swedish temperature data. Part II: homogenized gridded air temperature compared with a subset of global gridded air temperature since 1861*; International Journal of Climatology, **17**, 35-54, 1997.

Mennella C., *Il clima d'Italia*, Vol. I; F.lli Conte Editori S.p.A., Napoli 1967.

Niglio M., *Ricostruzione dei dati mancanti in serie storiche climatiche*; Working Paper 3.116, Università degli Studi di Salerno, 2001.

Peterson T. C. and Easterling D. R., *Creation of homogeneous composite climatological reference series*; International Journal of Climatology, **14**, 671-679, 1994.

Pinna M., *Climatologia*; UTET, Torino 1977.

Sadocchi S., *Manuale di analisi statistica multivariata*; Franco Angeli, Milano 1987.

Sneyers R., *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*; OMM, Note Technique N°143, Genève 1975.

Spiegel M. R., *Statistica*; collana Schaum teoria e problemi, **4**, Etas Libri, Milano 1976.

Taylor J. R., *Introduzione all'analisi degli errori. Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche*; Zanichelli, Bologna 1993.

Wilks D. S., *Statistical methods in the atmospheric sciences*; Academic Press, San Diego 1995.