CINQUANTA ANNI (1953-2002) DI OSSERVAZIONI METEO A TERNI

*di*Daniela Meloni
Franco Carpine



Ideazione Franco Carpine

Ricerche ed elaborazione dati Daniela Meloni Franco Carpine

Coordinamento tecnico e amministrativo Franco Carpine

Referente Servizio Ambiente della Provincia di Terni

In copertina
Rappresentazione grafica delle
temperature del mese di luglio;
sul retro alcuni fenomeni metereologici
a Terni e nel Ternano (dall'alto verso
il basso, foto di: Iole Matteucci, Carlo
Angeletti, Silvano Ciribuco, Evimero
Crisostomi, Alessandro Degli Esposti
e Mauro Attili)

Progetto grafico e realizzazione



Stampa
Arti Grafiche Celori Snc, Terni

Gli autori

Daniela Meloni, laureata in Fisica (Università degli Studi "La Sapienza", Roma)

Franco Carpine, Servizio Ambiente della Provincia di Terni

© 2004 Provincia di Terni Eventuali duplicazioni di parti della pubblicazione sono autorizzate a condizione che venga citata la fonte.

Presentazione

Questa importante pubblicazione è finalizzata ad un obiettivo preciso, ben circoscritto e di utilità per tutti gli operatori di un settore, come quello ambientale, inteso in senso ampio, sul quale la Provincia di Terni sta investendo in maniera determinante ormai da anni. Studiare e capire l'andamento del fenomeno meteorologico nel territorio della Conca Ternana equivale a creare uno strumento nuovo di lavoro fondamentale per interpretare i processi in atto, decodificarli e calibrare così le scelte della politica in maniera nuova, maggiormente rispondente alle sensibilità territoriali e sociali e più idonea ad uno sviluppo ecosostenibile per il quale questa Amministrazione si impegna da tempo. Questo volume, che prende in esame cinquant'anni di osservazioni meteorologiche, è un ulteriore passo in avanti verso una conoscenza sempre più capillare del nostro territorio e sempre più vicina anche ai cittadini. È una tappa di un percorso intrapreso con una serie di attività messe in atto dalla Provincia di Terni, che vertono sull'utilizzo delle centraline di rilevamento atmosferico, sui laboratori mobili e su un aumentato livello di controllo sulle realtà produttive, sulle loro emissioni in atmosfera e sulla compatibilità tra sviluppo e ambiente, calando il tutto all'interno di un quadro di riferimento di grande valore come quello rappresentato dall'indagine epidemiologica recentemente eseguita dall'Università degli Studi di Perugia e riferita alle situazioni relative allo sullo stato della salute degli abitanti della Conca Ternana e ai bacini idrici del territorio.

Fabio Paparelli Assessore provinciale all'Ambiente

INDICE

7	1. Premessa
9	2. L'Osservatorio "Federico Cesi"
10	3. Gli strumenti dell'Osservatorio
11	3.1. Termometri
12	3.2. Barometri
13	3.3. Pluviometri
14	3.4. Igrometri
16	3.5. Anemometri
17	4. I dati dell'Osservatorio
17	4.1. Presentazione dei dati
18	4.2. Analisi dei dati
18	4.3. Stima del trend
19	4.4. Serie delle precipitazioni (pioggia e neve)
19	4.4.1. Precipitazioni
24	4.4.2. Giorni di pioggia
28	4.4.3. Intensità media
32	4.4.4. Giorni consecutivi di pioggia e di siccità
35	4.4.5. Neve
36	4.4.6. Trend
40	4.5. Serie delle temperature
40	4.5.1. Temperature medie, minime e massime
46	4.5.2. Escursione termica
46	4.5.3. Trend

53	4.6. Serie della pressione atmosferica
53	4.6.1. Pressione
58	4.6.2. Trend
59	4.7. Serie delle misure di vento
59	4.7.1. Direzione di provenienza del vento
61	4.7.2. Velocità del vento
59	5. Conclusioni
72	6. Il meteo a Terni in pillole
74	7. Appendici
74	7.1. Appendice A
76	7.2. Appendice B
78	Bibliografia

1. Premessa

L'osservazione dei fenomeni atmosferici ha sempre attirato l'attenzione dell'uomo; fin dai primordi tali fenomeni hanno suscitato un senso di ammirazione e paura. Solo poco alla volta, superando l'istintivo timore e stupore, l'uomo ha scoperto che alcuni fenomeni sono soggetti a relazioni costanti, altri sono vincolati da periodicità, altri sono causali e, con la sua intelligenza, ha cercato di razionalizzare con leggi le cause dei fenomeni atmosferici. Questa premessa giustifica le iniziative che si sono moltiplicate nel corso della storia dell'uomo, il quale, quando non possedeva strumenti che potessero fornire misure, cercò di dare una descrizione di quanto si manifestava.

Attraverso l'analisi dei dati meteorologici rilevati presso l'Osservatorio "Federico Cesi" dal 1953 al 2002 si cercherà di effettuare la caratterizzazione climatica e meteorologica della città di Terni. Un lavoro di questo tipo riveste un'importanza fondamentale in tutti gli studi ambientali che considerano la componente atmosferica, come ad esempio l'analisi dell'inquinamento dell'aria.

L'evoluzione temporale su una lunga scala dei parametri meteorologici è necessaria a quantificare i cambiamenti climatici, i cui effetti si ripercuotono sia sugli ecosistemi sia in diversi settori economici, a scala globale e, maggiormente, a scala locale. L'aumento della temperatura media superficiale della Terra che si osserva a partire dalla fine del 1800, ovvero quando lo sviluppo industriale ha portato all'immissione massiccia in atmosfera di gas ad effetto serra (principalmente anidride carbonica e metano), rappresenta la manifestazione più nota dei cambiamenti climatici. Tra le principali conseguenze del riscaldamento globale viene comunemente indicato l'aumento della frequenza dei fenomeni estremi quali precipitazioni intense, siccità e tempeste, che hanno un forte impatto sulla produzione agricola, sulla stabilità del territorio (l'Italia è particolarmente sensibile dal punto di vista del rischio idro-geologico) e, più in generale, su vari settori dell'economia (ad esempio nel settore bancario, assicurativo, energetico).

Va però chiarito che una climatologia a finalità multiple è un'opera ambiziosa e complessa, poiché le esigenze di conoscenza del clima di varie attività umane (come l'agricoltura, il commercio, i trasporti, l'inquinamento, le attività sportive, il riscaldamento domestico, ecc.) richiedono elaborazioni statistiche del tutto diversificate. Questo rapporto e le procedure di organizzazione ed elaborazione dei dati sono state ispirate soprattutto dalla necessità di rendere semplice la fruizione da parte di chiunque, anche non esperto di meteorologia, dei risultati ottenuti.

Crediamo che cinquant'anni di dati siano sufficienti per caratterizzare la città di Terni da un punto di vista meteo-climatico. Siamo altresì sicuri che cinquant'anni siano un periodo molto lungo nella scala temporale della memoria umana. Spesso sentiamo dire: "Un'estate così non si è mai vista", oppure "Non è mai stato tanto freddo". Ma sarà il clima che cambia o siamo noi? Forse il tempo "cronologico" che passa modifica la nostra percezione del tempo "meteorologico"?

Speriamo che questo lavoro possa aiutare chiunque sia interessato a capire i tratti principali del clima a Terni e le sue modificazioni durante gli ultimi 50 anni.

2. L'Osservatorio "Federico Cesi"

L'Osservatorio "Federico Cesi" è tra i più antichi osservatori del centro Italia. Già nell'agosto del 1952, l'ingegnere Carmine Agneta (preside) e il professor Salvatore Pignataro, docente di fisica dell'Istituto Commerciale e per Geometri "Federico Cesi", iniziavano, in questa sede, regolari osservazioni atmosferiche, prima a carattere didattico come laboratorio sperimentale di fisica e poi fondando il primo Osservatorio Meteorologico Ternano.

Il primo osservatore è stato il professor Gailito Broussard, che si è occupato dell'Osservatorio dalla data di fondazione al 1972, avvalendosi della collaborazione di Gildo Mirimao e Primo Giardinieri; quest'ultimo, dal 1972 al 1994, gestirà l'Osservatorio connesso alle attività scolastiche.

Dal 1995, per opera dell'ingegnere Alessandro Canali, l'Osservatorio viene gestito dall'Amministrazione Provinciale di Terni, che ne fa elemento essenziale della rete di monitoraggio ambientale, e affida la gestione e le osservazioni meteo a Franco Carpine.

Terni vista dall'Osservatorio: in primo piano sulla destra il campanile della chiesa di San Francesco e, sullo sfondo, Collescipoli.



3. Gli strumenti dell'Osservatorio

L'Osservatorio "Federico Cesi" è situato in via I Maggio a Terni.

All'Osservatorio si accede salendo sulla terrazza del liceo scientifico "Galileo Galilei", ad un'altezza di 148,58 metri s.l.m. Le sue coordinate geografiche sono: 42° 33′ 56" latitudine Nord e 12° 38′ 50" longitudine Est da Greenwich.

L'attuale Osservatorio è dotato sia di una strumentazione elettronica. L'architettura della parte meccanica della stazione è la seguente. Una capannina in legno dipinto di colore bianco (per riparare gli strumenti dalla radiazione solare diretta), dotata di fessure per assicurare la circolazione dell'aria e posta al di sopra di una superficie erbosa, contiene un termoigrografo, un termometro a minima e un termometro a massima; a due metri dalla capannina è situato il pluviografo; all'interno di una stanza in prossimità della capannina sono posti il barometro di Fortin, il barografo ed il termografo. I dati registrati dagli strumenti fin qui descritti vengono rilevati da un osservatore tre volte al giorno (alle ore 8, 14 e 19) e riportati su un apposito registro.

La strumentazione elettronica è composta da otto sensori che misurano: direzione del vento, velocità del vento, temperatura, umidità, precipitazione, radiazione globale, calcolo logico della durata delle ore sole e pressione atmosferica. La suddetta strumentazione è collegata ad una stazione automatica di acquisizione dati che trasmette i valori registrati al centro di ricezione, dove i dati vengono validati ed elaborati.

L'acquisizione da parte degli strumenti elettronici è cominciata a metà del 1996. Da qualche anno i dati raccolti vengono registrati su un computer, in modo da poter effettuare rapide elaborazioni ed essere facilmente consultabili.

All'interno di una Stazione Meteorologica si trovano tutti gli strumenti necessari ed indispensabili per poter osservare il tempo ed elaborare statistiche e previsioni, ovvero termometri, barometri, pluviometri, igrometri ed anemometri, di cui di seguito si dà una breve descrizione.

3.1. TERMOMETRI

I termometri sono gli strumenti più comuni in circolazione: quasi tutti, infatti, possediamo in casa un misuratore di temperatura. Nella maggior parte dei casi esso consiste in un tubo trasparente, dotato di una scala graduata, che finisce in un piccolo bulbo dove è raccolto il liquido sensibile alle variazioni di temperatura, che può essere mercurio o alcool; il liquido sale e scende all'interno del tubo a seconda dell'aumento o della diminuzione della temperatura.

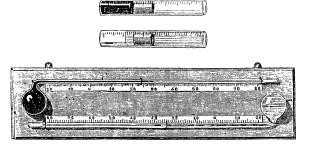
I termometri in dotazione alla stazione sono tre: il termometro a minima, il termometro a massima ed il termografo a tubo di Bourdon, alloggiati nella capannina.

Il *termometro a minima* è un termometro ad alcool, formato da un capillare al cui interno si trova un indice che serve per l'indicazione della temperatura minima. Quando la temperatura sale, il liquido oltrepassa l'indice senza spostarlo. Se invece la temperatura diminuisce l'indice viene spinto verso il bulbo dalla depressione che si crea nel capillare e si arresta nel punto di minima.

Il termometro a massima è un termometro a mercurio, costituito da un capillare che termina in fondo con un bulbo che contiene il metallo; in vicinanza del bulbo il capillare ha una strozzatura. Quando la temperatura aumenta, il mercurio passa attraverso la strozzatura, mentre quando la temperatura diminuisce il liquido non

riesce più a passare ed in questo punto si interrompe il mercurio. In questo modo l'estremità della colonna indica la temperatura massima raggiunta.

Il termografo a tubo di Bourdon è un termografo meccanico, che registra l'andamento nel tempo della tempeTermometro a massimi ed a minini (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).



ratura mediante un pennino. Il sensore della temperatura è un tubo metallico curvo con sezione ellissoidale molto appiattita, riempito di alcool; un sistema di leve, che amplifica i cambiamenti di volume del sensore, muove il pennino che registra l'andamento su un'apposita carta diagrammale.

3.2. BAROMETRI

I barometri sono strumenti che servono per misurare la pressione atmosferica. Si distinguono tre tipi di barometro: quello a mercurio, quello metallico o aneroide e quello aneroide di precisione.

Il barometro a mercurio è stato ideato da Evangelista Torricelli nel 1643; in esso la pressione atmosferica è equilibrata dalla pressione idrostatica di una colonna di mercurio contenuta in una canna di vetro con l'estremità superiore chiusa e quella inferiore immersa in un recipiente, anch'esso riempito di mercurio, in cui il pelo libero è a contatto con l'aria. Il valore della pressione è espresso in base al peso del mercurio.

Il barometro metallico o aneroide sfrutta il principio della deformazione elastica di particolari capsule metalliche vuote di forma tubolare alle quali è fissata una molla collegata a una lancetta che si sposta su un quadrante avente una scala graduata. Con l'aumento della pressione, aumenta lo schiacciamento, mentre con la diminuzione della pressione lo schiacciamento diminuisce, e le superfici della scatola tendono a riprendere la forma primitiva.

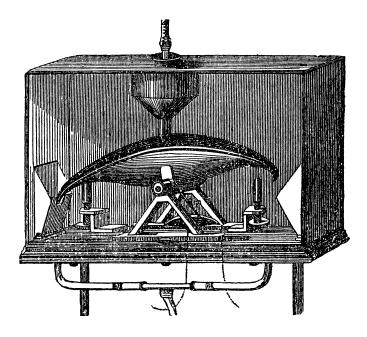
Quando occorre seguire con continuità le variazioni della pressione atmosferica, si fa invece ricorso ai barografi, dei particolari barometri metallici. Nel modello in uso presso le stazioni meteorologiche l'elemento sensibile è formato da una serie di dieci o dodici capsule barometriche, per aumentare l'effetto delle variazioni di pressione; le contrazioni e le espansioni dovute alla pressione atmosferica sono trasmesse, anziché ad una lancetta, ad una punta scrivente, sotto la quale scorre una striscia di carta graduata.

La pressione atmosferica diminuisce al crescere dell'altitudine; per poter confrontare valori di pressione rilevati in stazioni che si trovano a quote diverse, è necessario ridurre tali valori alla "quota zero", ovvero al livello del mare. Il *barometro aneroide di precisione* è un barometro aneroide molto preciso, che permette di ricavare la pressione riferita alla quota zero.

I barometri in dotazione alla stazione sono due: il barometro a mercurio ed il barografo.

3.3. PLUVIOMETRI

Le precipitazioni sono, per definizione, i prodotti, solidi o liquidi, che derivano dalla condensazione del vapore d'acqua e che cadono al suolo, su cui si depositano. Esse comprendono la pioggia, la neve, la grandine,
la rugiada, la brina e la galaverna (o brina gelata).
Gli strumenti utilizzati per la misura delle precipitazioni sono i *pluviometri* o i *pluviografi*, in grado di registrare le misure della quantità delle precipitazioni.
Essi sono costituiti da un imbuto ricevitore che convoglia le precipitazioni raccolte in un sistema ad altalena composto da due vaschette che alternativamente
si riempiono e scaricano il loro contenuto in un recipiente sottostante; attraverso un meccanismo simile
a quello degli orologi, viene mossa una leva che con-



Pluviometro (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).

trolla il movimento di un pennino che registra la misura.

Il pluviografo serve anche per la misura delle precipitazioni nevose che fondono a seguito del riscaldamento dell'imbuto mediante resistenze elettriche controllate da un termostato, necessario ad evitare l'evaporazione dell'acqua di fusione.

La stazione meteo di Terni è dotata di un pluviografo.

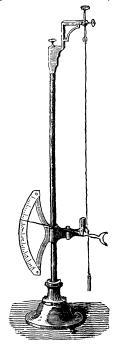
3.4. IGROMETRI

La quantità di vapore acqueo contenuta nell'atmosfera determina il grado di umidità dell'aria. L'umidità può essere espressa in valore assoluto, ovvero con il numero di grammi di vapore d'acqua contenuto in un metro cubo d'aria (umidità assoluta) o in un chilogrammo d'aria (umidità specifica), oppure in percentuale, con il rapporto tra il contenuto effettivo di vapore e quello che si richiederebbe per la saturazione (umidità relativa).

Tra gli strumenti che misurano l'umidità relativa dell'aria troviamo l'igrometro a capello, il cui funzionamento è basato sulla proprietà che hanno i capelli di allungarsi all'aumentare dell'umidità relativa e di accorciarsi quando essa diminuisce. Un piccolo fascio di capelli (solitamente un misto di campioni di vario tipo) viene teso tra un punto fisso e uno mobile, tenuto da una molla. A seconda dell'umidità relativa dei capelli in esame, il punto mobile si sposta e muove, attraverso un sistema di ingranaggi e leve, una lancetta indicatrice davanti ad un quadrante graduato in percentuale di umidità.

Uno strumento molto più preciso è lo *psicrometro* o *igrometro di Assman*. Esso si compone di due termometri, uno detto a "bulbo asciutto" e l'altro detto a "bulbo bagnato". Il termometro a bulbo asciutto è un normale termometro. Quello a bulbo bagnato, invece, è così definito perché il bulbo è avvolto da una garza. L'operazione di lettura della temperatura di rugiada si chiama operazione psicrometrica e consiste nelle seguenti azioni: l'osservatore inumidisce la garza con dell'acqua distillata (priva di impurità). Attraverso una

Igrometro a capello (G. Milani, *Corso elementare di fisica*, Milano 1867-74).



ventola, azionata da una molla o da un motorino elettrico, viene forzata la ventilazione attorno al bulbo bagnato. Lo scopo della ventilazione forzata consiste nel sollecitare l'evaporazione dell'acqua di cui è imbevuta la garza. L'acqua comincia ad evaporare: questo processo comporta un consumo di energia che in questo caso si compie a spese dell'aria che circonda il termometro, che pertanto si raffredda: la colonnina di mercurio comincia a scendere fino a che il processo di evaporazione non termina. A questo punto l'osservatore può leggere due valori di temperatura: uno sul termometro "asciutto", e l'altro sul termometro "bagnato". La temperatura di quest'ultimo fornisce il valore del punto di rugiada. Il "punto di rugiada" indica la temperatura alla quale l'aria raggiunge la saturazione, ovvero un'umidità relativa del 100%. Attraverso il diagramma psicrometrico fornito a corredo dello strumento è possibile ricavare il valore dell'umidità relativa partendo dalle due temperature.

La stazione meteo di Terni è dotata di un *termoigrografo*, che registra simultaneamente la temperatura e l'umidità relativa. Questo strumento è utilizzato in campo meteorologico e in ambienti dove vi sono sistemi di trattamento dell'aria che devono mantenere condizioni costanti (musei, biblioteche). Esso è costituito da una cassetta metallica provvista di una finestrella che permette l'entrata dell'umidità e da una parte trasparente in cui è situato un tamburo girevole avvolto da un foglio di carta millimetrata (che va sostituto ogni giorno o una volta a settimana), sul quale un pennino lascia una traccia.

3.5. ANEMOMETRI

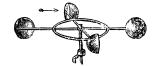
La velocità del vento si misura con l'anemometro a coppe, un dispositivo simile ad un mulinello, composto da tre o quattro bracci, ciascuno portante all'estremità una coppa semisferica. I bracci sono attaccati ad un asse verticale rotante collegato ad un contagiri sul cui quadrante si legge direttamente il numero di giri. Dal momento che la velocità di rotazione del mulinello è proporzionale alla velocità del vento, dal numero

di giri compiuti nell'unità di tempo si risale alla velocità del vento.

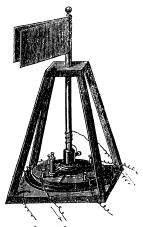
L'anemometro può essere integrato con un dispositivo indicatore della direzione del vento chiamato *anemoscopio*, formato da una semplice banderuola mobile ruotante intorno ad un asse verticale; la posizione assunta dalla stessa per azione del vento è riportata da un indice su un quadrante con la rosa dei venti. Oggi gli strumenti elettronici hanno semplificato la misura del vento, che avviene in continua e registra anche le massime raffiche.

Per problemi causati dall'attrito, la velocità del vento varia sensibilmente entro le prime decine di metri al di sopra del terreno. Per questo motivo si è definita un'altezza standard per i sensori eolici. Per un anemometro su terreno aperto, ovvero lontano da ostacoli, l'altezza standard è di 10 m dal suolo. Misure eseguite ad altezze diverse devono essere corrette per convertire tali dati all'altezza standard.

L'anemometro e l'anemoscopio sono parte integrante della strumentazione con cui è equipaggiata la stazione meteo di Terni.



Anemometro a coppe (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).



Banderuola (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).

4. I DATI DELL'OSSERVATORIO

4.1. Presentazione dei dati

Le osservazioni si riferiscono alle misure di temperatura, precipitazioni (pioggia e neve), pressione atmosferica, direzione ed intensità del vento, disponibili a partire dal 1953; la serie delle misure di vento si riferisce alle osservazioni registrate a partire dal 1997 dalla stazione meteo automatica, installata nella metà del 1996. La nostra analisi termina con l'anno 2002.

La serie storica delle precipitazioni include la quantità di pioggia caduta complessivamente in ciascun mese, espressa in mm (per la definizione vedere l'Appendice A), il numero di giorni di pioggia registrati in ogni mese, la quantità massima di pioggia caduta in un'ora ed in 24 ore (in mm) per ogni anno, il periodo più lungo di giorni di pioggia e di siccità in ogni anno. Le serie storica delle temperature comprende i valori medi mensili della temperatura media, minima e massima, i valori medi mensili delle temperature minima e massima assolute, i valori estremi delle temperature minima e massima assolute. Tutte le temperature sono espresse in °C.

La serie storica della pressione atmosferica è costituita dai valori medi mensili della pressione media, minima e massima, espressi in hPa (per la definizione di hPa si veda l'Appendice A).

Il numero di osservazioni per ciascun parametro meteorologico delle serie suddette è 600, ovvero 12 valori l'anno per 50 anni.

La serie delle misure del vento è formata dai valori istantanei mediati su 15 minuti dell'intensità del vento (espressa in metri al secondo) e della direzione di provenienza, espressa in gradi, a partire dallo zero che coincide con il Nord. Il numero totale di osservazioni di intensità e direzione del vento è 208.989, ovvero 4 valori l'ora per un numero di ore pari a circa 52.247 nei 6 anni!

4.2. ANALISI DEI DATI

Le serie dei parametri meteorologici sono state analizzate esaminando il loro comportamento nei cinquanta anni e calcolando le medie mensili e stagionali. Ad ogni valore della media è associata la sua deviazione standard (per la definizione vedere l'Appendice A). In alcuni casi si è ritenuto necessario introdurre nuove grandezze a partire dai parametri misurati. Al fine di evidenziare eventuali variazioni dei suddetti parametri nel tempo, sono stati elaborati i calcoli dei trend, illustrati nel paragrafo successivo.

Le analisi delle serie di dati meteorologici verranno presentate secondo il seguente ordine: 1) serie delle precipitazioni; 2) serie delle temperature; 3) serie della pressione; 4) serie delle misure di vento.

4.3. STIMA DEI TREND

Con il termine "trend" ci si riferisce ad una tendenza, ovvero ad una variazione che si manifesta a lungo termine in un dato intervallo di tempo; questa variazione nel tempo può corrispondere ad un aumento (trend positivo) o ad una diminuzione (trend negativo). Quando si applica il concetto di tendenza alla serie storica di un parametro meteorologico, come la temperatura o la precipitazione, innanzi tutto si deve verificare che la serie sia sufficientemente lunga e che essa sia omogenea. Nel caso delle serie storiche di dati meteo di Terni la condizione di lunghezza è pienamente soddisfatta, trattandosi di 50 anni di valori medi mensili, senza salti, per un totale di 600 dati.

L'omogeneità di una serie storica riguarda la presenza di valori che si discostano per un certo intervallo di tempo da quelli che li precedono o li seguono: la disomogeneità di una serie può essere causata, ad esempio, dalla rilocalizzazione, dalla calibrazione o dalla sostituzione di uno strumento, che non ha necessariamente la stessa risposta del precedente, da diverse metodologie di osservazione, da modificazioni ambientali. L'omogeneità delle serie dei parametri meteo di Terni e l'eventuale presenza di un trend è stata verifi-

cata attraverso un apposito test, detto di Mann-Kendall. Nel caso in cui il test di Mann-Kendall abbia dato un esito positivo (esistenza del trend), il metodo di Sen è stato applicato, per una stima quantitativa del trend (per una descrizione del test di Mann-Kendall e del metodo di Sen si veda l'Appendice B).

I trend mensili e stagionali verranno presentati in tabelle che hanno la struttura delle tabelle 4.3.1a e 4.3.1b, in cui saranno riportati la miglior stima del trend (con segno) e la variabilità entro il limite inferiore e superiore. Ad esempio, il trend della temperatura media in estate è di $+(0.41\pm0.18)$ °C/decennio: questo vuol dire che il trend "reale" è compreso tra +0.23 (ovvero 0.41-0.18) e +0.59 (ovvero 0.41+0.18) °C/decennio, essendo +0.41 °C/decennio la stima migliore.

Per ogni stagione nella Tabella 4.3.1a sono indicati i tre mesi corrispondenti, raggruppati in base alle similitudini nel comportamento climatico.

È da notare la corrispondenza del colore delle celle dei mesi (ad esempio celeste per i tre mesi invernali di dicembre, gennaio e febbraio) e delle stagioni (celeste per l'inverno). In tutti i casi i test sono stati applicati fissando il livello di significatività al 95%.

4.4. SERIE DELLE PRECIPITAZIONI (PIOGGIA E NEVE)

4.4.1. Precipitazioni

In questo paragrafo con la parola "precipitazioni" si indicheranno le precipitazioni di gocce d'acqua, ovvero le piogge, per distinguerle dalla neve, precipitazio-

Tabella 4.3.1a – Schema tipo di presentazione dei trend mensili

Mese				Trend	
Dicembre	Gennaio	Febbraio	valore	valore	valore
Marzo	Aprile	Maggio	valore	valore	valore
Giugno	Luglio	Agosto	valore	valore	valore
Settembre	Ottobre	Novembre	valore	valore	valore

Tabella 4.3.1b – Schema tipo di presentazione dei trend stagionali

Stagione	Trend
Inverno	valore
Primavera	valore
Estate	valore
Autunno	valore

ne di cristalli di ghiaccio, che verrà trattata nel paragrafo 4.4.5.

Il valore medio e la deviazione standard delle precipitazioni totali mensili a Terni sul cinquantennio 1953-2002 sono 76±56 mm. Il valore medio delle precipitazioni totali annuali è di 907±184 mm.

La Figura 4.4.1 rappresenta l'andamento delle precipitazioni totali annuali, ovvero l'ammontare della quantità di pioggia accumulata ogni anno. In essa si possono individuare due periodi in cui le precipitazioni annuali sono state generalmente più scarse rispetto alle media sui cinquanta anni: dal 1967 al 1975 e dal 1988 al 2002.

L'anno con le precipitazioni più abbondanti è stato il 1960 con 1.479,6 mm di pioggia, seguito dal 1965 con 1.265,6 mm. Nel 1960 in tutti i mesi, tranne ad agosto, in cui non è piovuto, si sono avute precipitazioni molto superiori rispetto alla media. L'anno meno piovoso è stato il 1973 con 570 mm, seguito dal 2001 con 583,6 mm.

Nella Tabella 4.4.1 sono riportate le precipitazioni totali mensili mediate su cinquanta anni per ogni mese; inoltre, vengono mostrati i valori delle precipitazioni massime e minime osservate su tutto il periodo per ciascun mese, insieme all'anno (o agli anni) in cui sono state registrate.

Il mese più piovoso sui cinquanta anni studiati è sta-

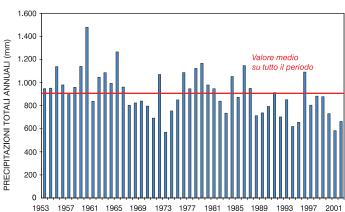


Figura 4.4.1 – Andamento delle precipitazioni totali annuali nel cinquantennio 1953-2002

Tabella 4.4.1 – Precipitazioni medie mensili con deviazione standard, precipitazione massima e minima

Precipita- zioni (mm)	Media	Massima		Minima	
	Valore	Valore	Anno	Valore	Anno
Gennaio	62,1±39,3	149,4	1970	2,4	1993
Febbraio	70,8±45,9	182,0	1955	5,6	1993
Marzo	67,4±45,0	184,6	1960	0,0	1953 1994
Aprile	83,1±45,1	189,8	1956	17,4	1955 1985
Maggio	73,8±40,5	200,4	1957	0,6	1979
Giugno	66,4±42,8	178,4	1986	10,4	1962
Luglio	34,4±34,3	197,0	1986	0,0	1965 1984 1985
Agosto	53,5±44,2	189,0	1953	0,0	1956 1957 1960 1971
Settembre	88,4±77,0	431,2	1965	0,0	1980
Ottobre	100,2±65,1	245,8	1964	0,0	1965
Novembre	116,8±69,6	313,4	1962	8,6	1981
Dicembre	90,1±55,0	217,6	1959	6,2	1974

to il settembre 1965 con 431,2 mm, seguito dal novembre 1962 con 313,4 mm.

La deviazione standard delle medie ci dà informazioni sulla variabilità dei singoli valori intorno alla media. La deviazione standard maggiore si ha nei mesi caratterizzati da una precipitazione più abbondante, cioè settembre, ottobre, novembre e dicembre, come si può vedere nella Tabella 4.4.2. Se però si guarda alla deviazione standard come alla variazione percentuale rispetto al valore medio si vede che essa è maggiore nei mesi estivi. Ad esempio, a luglio la deviazione percentuale è del 100%, mentre è del 65% a novembre e del 54% ad aprile. Se ne può quindi concludere che

Tabella 4.4.2 – Precipitazione media mensile e relativa deviazione standard

Mese	Media (mm)	Deviazione standard (mm)	Deviazione standard (%)
Gennaio	62,1	39,3	63
Febbraio	70,8	45,9	65
Marzo	67,4	45,0	67
Aprile	83,1	45,1	54
Maggio	73,8	40,5	55
Giugno	66,4	42,8	64
Luglio	34,4	34,3	100
Agosto	53,5	44,2	83
Settembre	88,4	77,0	87
Ottobre	100,2	65,1	65
Novembre	116,8	69,6	60
Dicembre	90,1	55,0	61

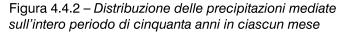
questa grandezza percentuale può essere un indicatore della variabilità del fenomeno.

La Figura 4.4.2 riporta la distribuzione mensile delle precipitazioni medie ricavata dalla Tabella 4.4.1. Si osserva che il mese mediamente più piovoso è novembre (116,8 \pm 69,6 mm/anno), seguito da ottobre (100,2 \pm 65,1 mm/anno), mentre il mese meno piovoso è luglio (34,4 \pm 34,3 mm/anno), seguito da agosto (53,5 \pm 44,2 mm/anno).

Un'analisi simile alla precedente è stata elaborata anche su base stagionale.

La Tabella 4.4.3 mostra le precipitazioni medie, massime e minime stagionali, con gli anni in cui sono state registrate. I dati evidenziano che in media le precipitazioni invernali si equivalgono a quelle primaverili, che l'estate è la stagione più secca e l'autunno quella più piovosa.

La Figura 4.4.3 mostra la distribuzione stagionale delle precipitazioni medie annuali ricavata dalla Tabella 4.4.3. Dai grafici delle distribuzioni mensili e stagionali si può concludere che il regime pluviometrico os-



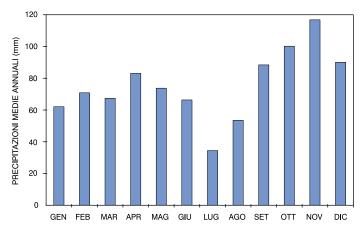


Tabella 4.4.3 – Precipitazioni medie, massime e minime stagionali

Precipita- zioni (mm)	Media	Massima		Minima	
	Valore	Valore	Anno	Valore	Anno
Inverno	223,0±90,5	69,0	1974	451,4	1963
Primavera	224,5±72,0	88,4	1973	418,4	1960
Estate	154,3±78,8	20,6	1962	392,8	1953
Autunno	305,4±121,0	101,6	1970	624,6	1965

Figura 4.4.3 – Distribuzione stagionale delle precipitazioni totali

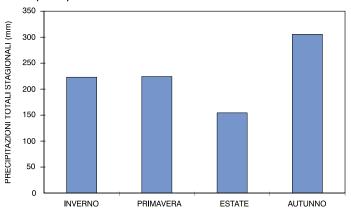


Tabella 4.4.4a –
Distribuzione mensile
del numero di casi
in cui si registrano le
precipitazioni minima
e massima

Precipita- zioni (mm)	Mini- ma	Mas- sima
Gennaio	8	2
Febbraio	3	2
Marzo	5	0
Aprile	1	4
Maggio	3	2
Giugno	2	1
Luglio	8	1
Agosto	9	2
Settembre	4	9
Ottobre	2	5
Novembre	3	14
Dicembre	2	8

Tabella 4.4.4b –
Distribuzione stagionale
del numero di casi
in cui si registrano le
precipitazioni minima
e massima

Precipita- zioni (mm)	Mini- ma	Mas- sima
Inverno	13	12
Primavera	9	6
Estate	19	4
Autunno	9	28

servato è tipico della regione del mar Mediterraneo, con precipitazioni più abbondanti nei mesi autunnali è minime nei mesi estivi.

La stagione più piovosa è stata l'autunno 1965, con precipitazioni totali (624,6 mm) più che doppie rispetto alla media sui 50 anni (305,4 mm). La stagione meno piovosa è stata l'estate 1963, con una precipitazione totale di 20,6 mm, a fronte di una media di 154,3 mm. La Tabella 4.4.4 mostra il numero di casi in cinquanta anni in cui si sono registrate le precipitazioni minime e massime in ogni mese (Tabella 4.4.4a) e in ogni stagione (Tabella 4.4.4b): le precipitazioni minime si sono avute nella maggior parte dei casi ad agosto (9 volte), a luglio e a gennaio (8 volte); invece, la distribuzione mensile delle precipitazioni più abbondanti ha un massimo a novembre (14 casi) e un minimo a marzo (0 casi).

Se si prendono in considerazioni le stagioni, l'autunno presenta il maggior numero di casi in cui le precipitazioni accumulate sono massime, mentre l'estate è la stagione in cui più volte si verificano le precipitazioni minime.

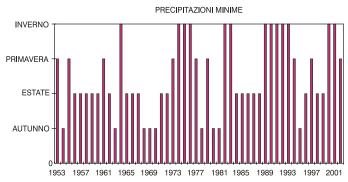
I grafici in Figura 4.4.4 mostrano la stagione in cui si è registrata la precipitazione minima e massima in ogni anno. Si è contato il numero di casi in cui la precipitazione minima e massima si è verificata in ciascuna stagione, dividendo i cinquanta anni in due intervalli temporali di venticinque anni: quello 1953-1977 e quello 1978-2002 (Tab. 4.4.5).

I dati mostrano che mentre nel primo periodo le precipitazioni minime si verificavano maggiormente nei mesi estivi (11 casi), nel secondo periodo la stagione in cui più spesso si ha il minimo delle precipitazioni è l'inverno (9 casi, ovvero 5 volte in più rispetto al periodo 1953-1977). Questo potrebbe suggerire che il clima della città sta andando verso inverni più secchi. Nonostante questa variazione l'autunno è per entrambi i periodi la stagione in cui si verifica la massima precipitazione.

4.4.2. Giorni di pioggia

Per giorno di pioggia si intende un giorno in cui la precipitazione registrata è superiore a 0,2 mm.

Figura 4.4.4 – Stagioni nelle quali si registra la precipitazione minima (grafico in alto) e la precipitazione massima (grafico in basso) in ogni anno



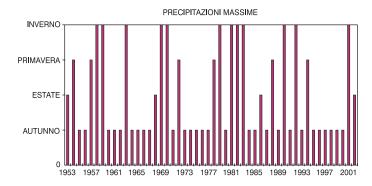


Tabella 4.4.5 – Distribuzione del numero di casi in cui si registrano le precipitazioni minima e massima in ciascuna stagione nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Precipitazioni (mm)	Minima		Massima	
	1953- 1977	1978- 2002	1953- 1977	1978- 2002
Inverno	4	9	5	7
Primavera	5	4	3	3
Estate	11	8	2	2
Autunno	5	4	15	13

Tabella 4.4.6a – Distribuzione mensile del numero di giorni di pioggia (media e deviazione standard)

Mese	Giorni di pioggia
Gennaio	8,8±4,1
Febbraio	8,4±3,9
Marzo	8,9±4,3
Aprile	11,1±3,9
Maggio	9,1±4,4
Giugno	7,1±3,0
Luglio	4,3±2,7
Agosto	4,9±3,3
Settembre	6,7±3,5
Ottobre	8,2±4,2
Novembre	10,7±4,4
Dicembre	9,6±4,4

Nel periodo 1953-2002 il numero medio di giorni di pioggia in un mese è di $8,2\pm4,3$, mentre in un anno è di $97,8\pm15,3$.

La Figura 4.4.5 riporta l'andamento del numero di giorni di pioggia in ogni anno durante i cinquanta anni: l'anno con il numero più alto di giorni di pioggia è il 1976 (130 giorni), seguito dal 1978 (127 giorni); gli anni con il numero minore di giorni di pioggia sono il 1953 e 1956 (67 giorni).

La Tabella 4.4.6 contiene la distribuzione mensile (Tab. 4.4.6a) e stagionale (Tab. 4.4.6b) dei giorni di pioggia, riportate rispettivamente nelle Figure 4.4.6 e 4.4.7: i dati rappresentano le medie e le deviazioni standard sul cinquantennio.

Aprile risulta essere il mese con il maggior numero di giorni di pioggia (11,1 giorni/anno), seguito da novembre (10,7 giorni/anno). I mesi con il numero minore di giorni di pioggia sono luglio (4,3 giorni/anno) ed agosto (4,9 giorni/anno).

Nella Figura 4.4.8 il numero di giorni di pioggia viene messo in relazione al valore della precipitazione per tutti i mesi del periodo 1953-2002. Come si può notare, il comportamento medio (individuato dalla linea blu) indica un aumento delle precipitazioni al crescere del numero di giorni di pioggia, come ci si aspetta. Inoltre, ci sono casi che si discostano dal comportamento medio: in alcuni mesi si sono registrati pochi giorni di precipitazione con una quantità totale di pre-

Tabella 4.4.6b – Distribuzione stagionale del numero di giorni di pioggia (media e deviazione standard)

Stagione	Giorni di pioggia		
Inverno	8,9±4,1		
Primavera	9,7±4,3		
Estate	5,4±3,2		
Autunno	8,6±4,4		

Figura 4.4.5 – Andamento del numero di giorni di pioggia in ogni anno nel cinquantennio 1953-2002

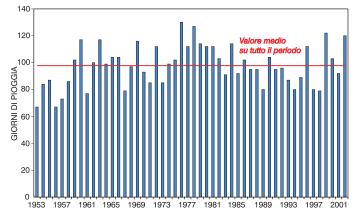


Figura 4.4.6 – Distribuzione mensile del numero di giorni di pioggia

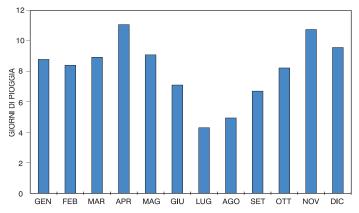


Figura 4.4.7 – Distribuzione stagionale del numero di giorni di pioggia

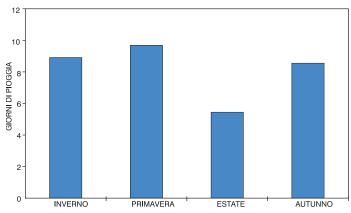
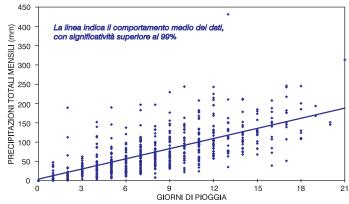


Figura 4.4.8 – Precipitazioni totali mensili in funzione del numero di giorni di pioggia



cipitazione; questi casi sono caratterizzati, come verrà spiegato meglio nel paragrafo successivo, da un'alta intensità di precipitazione.

4.4.3. Intensità media

Per ogni mese è stata definita l'intensità media (ovvero la quantità media di precipitazione al giorno) come rapporto tra la precipitazione totale mensile e il numero di giorni di pioggia.

La Figura 4.4.9 mostra l'andamento nel periodo 1953-2002 dell'intensità mensile mediata su ogni anno. Dal grafico appare chiaro come l'intensità sia diminuita dal 1953 fino al 1973; nel periodo successivo, invece, non si evidenzia una crescita o una diminuzione, come verrà discusso in maggiore dettaglio nel paragrafo relativo ai trend.

I valori mensili dell'intensità media, con le deviazioni standard, sono riportati nella Tabella 4.4.7 e nella Figura 4.4.10, insieme ai valori più alti registrati in ciascun mese.

La distribuzione mensile dell'intensità media ha un massimo a settembre (12,3 mm/giorno), seguito da agosto (11,9 mm/giorno). Questo si può spiegare considerando l'intensità dei fenomeni estivi: i temporali che si verificano soprattutto ad agosto e settembre, con lo sviluppo di nubi di origine convettiva, sono fenomeni limitati temporalmente, ma danno luogo a in-

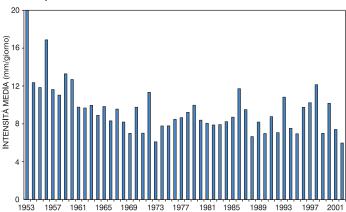
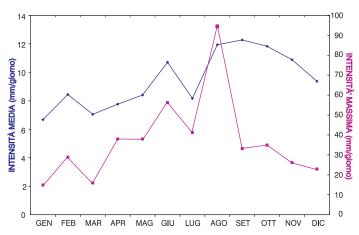


Figura 4.4.9 – Andamento dell'intensità media annuale nel cinquantennio 1953-2002

Tabella 4.4.7 – Intensità media (con deviazione standard) e valore più alto per ciascun mese

Intensità (mm/giorno)	Media	Valore più alto
Gennaio	6,7±0,5	14,9
Febbraio	8,4±0,6	28,9
Marzo	7,1±0,5	16,0
Aprile	7,8±0,7	38,0
Maggio	8,4±0,8	38,0
Giugno	10,7±1,3	56,2
Luglio	8,2±1,1	41,2
Agosto	11,9±2,1	94,5
Settembre	12,3±0,9	33,2
Ottobre	11,8±0,9	34,9
Novembre	10,9±0,7	26,1
Dicembre	9,4±0,6	22,9

Figura 4.4.10 – Distribuzione mensile dell'intensità media e del valore più alto del periodo 1953-2002



tense precipitazioni. Una simile distribuzione mensile è tipica del regime pluviometrico del Mediterraneo. Il picco più alto dell'intensità corrisponde all'agosto 1953 (94,5 mm/giorno), seguito dal giugno 1956 (56,2 mm/giorno) e dal luglio 1953 (41,2 mm/giorno); nell'agosto 1953, infatti, in due giorni caddero ben 189 mm di pioggia e 112 mm nel giugno 1956.

Le precipitazioni massime registrate in 24 ore (ovvero l'intensità massima) per ogni singolo anno possono raggiungere dei valori di molto superiori alle medie. La Tabella 4.4.8 mostra i valori registrati delle precipitazioni massime in un'ora e in 24 ore per ogni anno del periodo 1953-2002, insieme al giorno e al mese corrispondenti. L'ultima colonna riporta l'intensità media del mese in cui si ha l'intensità massima.

Nel cinquantennio ci sono stati 13 casi in cui la precipitazione massima registrata in 24 ore è stata superiore a 70 mm (che, per fare un paragone, è il valore della precipitazione media di febbraio) e 5 casi in cui la precipitazione è stata superiore a 100 mm (la precipitazione media di ottobre).

La precipitazione massima in un'ora si registra principalmente nei mesi di agosto e settembre, ovvero

Tabella 4.4.8 – Precipitazione massima registrata in un'ora e giorno corrispondente. Precipitazione massima registrata in 24 ore, giorno corrispondente e intensità media del mese corrispondente

Anno	Massima in un'ora	Giorno / mese	Massima in 24 ore	Giorno / mese	Intensità media
1953	50,0	27/8	108,2	27/8	94,5
1954	37,0	3/3	104,8	1/3	16,0
1955	43,4	6/8	46,0	6/8	16,3
1956	40,0	2/11	71,8	2/11	18,9
1957	43,0	2/10	104,5	2/10	28,1
1958	16,0	5/4	45,0	12/11	14,4
1959	36,0	27/6	76,0	28/10	34,9
1960	48,4	17/9	85,6	17/9	24,4
1961	20,3	3/2	64,8	7/10	20,3
1962	20,0	17/9	88,2	15/11	14,9
1963	44,8	7/8	46,0	18/8	23,9
1964	20,0	18/6	65,2	28/6	16,1

(segue)

segue Tabella 4.4.8 – Precipitazione massima registrata in un'ora e giorno corrispondente. Precipitazione massima registrata in 24 ore, giorno corrispondente e intensità media del mese corrispondente

1965	66,2	28/9	138,3	28/9	33,2
1966	34,8	16/6	36,8	25/10	18,7
1967	27,0	4/9	46,8	9/11	16,4
1968	34,0	18/1	51,8	18/12	10,6
1969	22,4	24/8	47,0	24/8	12,3
1970	32,2	9/8	42,6	15/1	11,5
1971	19,6	13/9	37,6	10/11	14,1
1972	18,0	9/9	71,8	9/9	10,3
1973	37,0	22/9	41,0	14/10	9,0
1974	24,0	24/9	59,8	24/9	16,3
1975	30,0	17/11	103,4	17/11	16,3
1976	48,6	1/9	73,4	1/9	16,4
1977	26,0	8/8	50,6	21/7	7,6
1978	17,6	25/8	66,2	3/10	20,5
1979	24,4	5/6	63,4	24/9	16,6
1980	30,0	9/10	51,9	9/10	15,3
1981	22,0	4/9	47,0	4/9	14,7
1982	21,4	29/8	73,0	22/12	17,9
1983	19,0	19/8	36,0	10/2	10,3
1984	30,0	22/9	69,8	26/1	5,3
1985	30,8	26/8	61,4	31/10	14,6
1986	30,0	19/7	58,4	13/6	12,7
1987	19,2	25/8	56,2	24/11	14,3
1988	28,0	13/10	45,0	13/10	12,4
1989	25,0	4/11	52,0	4/11	16,3
1990	51,6	21/6	51,6	21/6	8,7
1991	30,0	26/9	76,6	26/9	15,3
1992	24,0	4/12	52,0	5/12	17,7
1993	33,0	24/6	38,8	22/10	10,2
1994	21,0	25/8	41,6	25/8	12,6
1995	31,0	20/9	35,4	20/9	8,7
1996	29,4	1/9	52,2	20/11	15,0
1997	56,6	14/9	74,8	2/6	15,3
1998	26,2	6/10	63,8	6/10	25,5
1999	33,8	28/9	60,0	28/9	7,9
2000	34,0	31/8	46,6	31/8	47,6
2001	23,6	31/8	31,2	30/1	8,7
2002	39,0	27/9	49,8	27/8	14,0

quando si verificano i temporali "di calore", fenomeni locali innescati da un'intensa radiazione solare che riscalda la superficie e quindi tipici della stagione estiva. L'aria caldo-umida sale verso l'alto, favorita dalle correnti ascensionali dovute al riscaldamento delle pendici dei monti; a quote elevate l'aria si raffredda e il vapore acqueo condensa formando la nube e dando luogo alla pioggia o alla grandine, a seconda della temperatura della nube. Le conseguenze di questi fenomeni temporaleschi possono essere danni per l'agricoltura e, spesso, allagamenti.

Si definisce "nubifragio" un fenomeno piovoso con intensità superiore a 60 mm/ora. Il 28 settembre 1965 a Terni si verificò un nubifragio: in un'ora caddero 66,2 mm di pioggia e nell'intera giornata 138,3 (i valori più alti registrati in 50 anni), ovvero più di quanto piove mediamente nel mese di novembre. Le cronache del tempo riferiscono di allagamenti e dell'esondazione del torrente Serra ai danni dei terreni circostanti.

Per fare un confronto con episodi di precipitazioni particolarmente intense che, per le devastazioni apportate, sono rimasti nella storia, ricordiamo che durante l'alluvione di Firenze tra il 3 e 4 novembre 1966 caddero tra gli 180 e i 200 mm di pioggia in 24 ore, mentre a causare la tragedia del Sarno furono circa 150 mm di pioggia che caddero tra il 4 e il 5 maggio 1998.

4.4.4. Giorni consecutivi di pioggia e di siccità

La serie più lunga di giorni consecutivi di pioggia si è avuta tra il 22 aprile e il 7 maggio 1974 (16 giorni) con una precipitazione totale di 160 mm, che equivale a 10 mm/giorno.

La Tabella 4.4.9 mostra il numero di casi in cui si è osservato il periodo più lungo di giorni consecutivi di pioggia per ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. La primavera è la stagione in cui si sono verificati più casi.

La serie più lunga di giorni consecutivi di pioggia in cui si è avuta la precipitazione massima si è registrata dal 22 aprile al 7 maggio 1974 (16 giorni).

Tabella 4.4.9 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di pioggia in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	13	5	8
Primavera	19	8	11
Estate	5	4	1
Autunno	13	6	7

La Tabella 4.4.10 riporta il numero di casi osservati di giorni consecutivi di pioggia con la massima precipitazione in ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. La stagione con il maggior numero di casi in tutti i periodi considerati è l'autunno.

Dall'esame delle Tabelle 4.4.9 e 4.4.10 si può osservare che in ciascuna stagione il numero di casi nei due periodi 1953-1977 e 1978-2002 non è molto diverso.

La serie più lunga di giorni di siccità (assenza di precipitazioni) si è avuta dal 12 luglio al 21 settembre 1956 (71 giorni).

Il 1956 risulta un anno caratterizzato da un numero tra i più bassi di giorni di pioggia, dal numero più alto di giorni di neve e dal numero più alto di giorni consecutivi di siccità.

Tabella 4.4.10 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di pioggia con la precipitazione massima in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	14	5	9
Primavera	7	4	3
Estate	8	5	3
Autunno	21	9	12

La Figura 4.4.11 mostra le stagioni in cui si è registrato il periodo più lungo di giorni di siccità in ogni anno. Come si può notare, la stagione in cui si verifica il più alto caso di periodi più lunghi di siccità è l'estate.

La Tabella 4.4.11 riporta il numero di casi in cui si verifica il periodo più lungo di giorni consecutivi di siccità per ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. In estate si ha il maggior numero di casi in tutti gli intervalli di tempo esaminati.

I risultati mostrano che, mentre in estate e in autunno il numero di casi nei due periodi è praticamente costante, il periodo più lungo di giorni consecutivi di siccità è passato dalla primavera nel 1953-1977 (6 casi contro 1 nel periodo 1978-2002) all'inverno nel 1978-2002 (6 casi contro 1 nel periodo 1953-1977). Queste considerazioni sono in linea con le tendenze

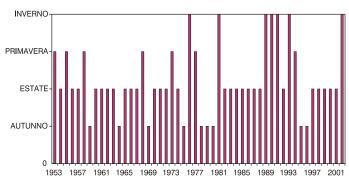


Figura 4.4.11 – Stagioni nelle quali si registra il periodo più lungo di siccità in ciascun anno

Tabella 4.4.11 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di siccità in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	7	1	6
Primavera	7	6	1
Estate	27	14	13
Autunno	9	4	5

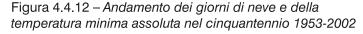
delle precipitazioni minime, che si verificano maggiormente in inverno, determinando quindi inverni complessivamente più secchi.

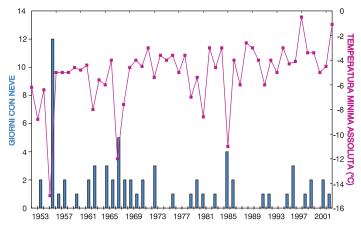
4.4.5. Neve

Le precipitazioni nevose a Terni nel cinquantennio 1953-2002 sono rare: il numero totale di giorni di neve, cioè i giorni in cui si è osservata la caduta della neve, è 65. In base a questa statistica, solo nell'1,4% dei giorni d'inverno si è verificata una nevicata. Su 50 anni, 20 anni non è nevicato.

Nel febbraio 1956 si è verificata un'intensa e prolungata nevicata che ha interessato tutta l'Italia. In quel mese a Terni i giorni con neve sono stati 11. Nel 1967 si sono avuti 5 giorni di neve e nel 1985 4 giorni.

Il confronto tra il numero di giorni di neve e la temperatura minima assoluta, riportato in Figura 4.4.12, mostra che i valori più bassi della temperatura minima si registrano in corrispondenza del numero più elevato di giorni di neve. Dagli appunti dell'osservatore riportati nei registri si è visto che nei periodi di giorni di neve consecutivi si è avuto un accumulo di neve sulla superficie. Infatti, le temperature al suolo molto basse fanno sì che la neve, caduta per alcuni giorni di seguito, non si sciolga ma si congeli, ricoprendo il terreno. Questo fenomeno è favorito da con-





dizioni notturne di cielo sereno, che facilita il raffreddamento del suolo. Inoltre, l'alta capacità del manto nevoso di riflettere la radiazione solare fa sì che durante il giorno il terreno si scaldi in misura minore, favorendo la permanenza della neve.

Riportiamo alcuni esempi. Nel febbraio 1956 la temperatura minima assoluta (-15 °C) si è registrata il giorno 16, dopo 8 giorni consecutivi di neve. Il 10 gennaio 1967 il termometro ha registrato la temperatura minima assoluta di -12 °C, dopo 3 giorni di neve, mentre il 12 gennaio 1985 la temperatura minima di -1 °C si è misurata dopo 4 giorni di neve.

4.4.6. Trend

PRECIPITAZIONI MEDIE

La serie delle precipitazioni totali annuali mostra un trend negativo statisticamente significativo con pendenza -(57,8±31,0) mm/decennio.

La precipitazione totale nei primi 25 anni (1953-1977) è stata di 24.653,6 mm, quella negli ultimi 25 anni (1978-2002) è stata di 21.432,1 mm: la diminuzione è stata quindi di 3.221,5 mm, ovvero del 13%.

Trend negativi significativi si trovano nei mesi di febbraio, marzo e giugno (Tab. 4.4.12a).

La serie delle precipitazioni invernali (Tab. 4.4.12b) mostra un trend negativo significativo con pendenza $-(26,6\pm15,0)$ mm/decennio.

Le serie delle precipitazioni primaverili, estive ed autunnali non mostrano un trend significativo.

Questi risultati sono in accordo con quanto trovato in precedenti lavori che hanno esaminato la situazione relativa al bacino del Mediterraneo e all'Italia.

Piervitali et al. [1998] riportano un trend delle preci-

<i>F F</i>					
Mese		Trend (mm/decennio)		io)	
Dicembre	Gennaio	Febbraio			-(10,1±9,0)
Marzo	Aprile	Maggio	-(11,1±10,8)		
Giugno	Luglio	Agosto	-(12,7±7,7)		
Settembre	Ottobre	Novembre			

Tabella 4.4.12a – Trend mensili delle precipitazioni medie

Tabella 4.4.12b – Trend stagionali delle precipitazioni medie

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(26,6±15,0)
Primavera	
Estate	
Autunno	

pitazioni annuali nel periodo 1951-1995 di -32 mm/ decennio sul bacino del Mediterraneo centro-occidentale. Brunetti *et al.* [2001] hanno considerato 67 siti italiani, sedi di stazioni di rilevamento dell'Aeronautica Militare, del Servizio Idrografico o dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA), e hanno analizzato i trend delle precipitazioni giornaliere nel periodo 1951-1996, dividendo le stazioni in 6 regioni climatiche. I risultati per il Centro Italia mostrano un trend significativo al 95% in inverno pari a -23,3 mm/ decennio.

I valori dei trend delle precipitazioni invernali in Emilia Romagna nel periodo 1960-1995 sono stati stimati da Tomozeiu *et al.* [2002] e sono di -34 mm/decennio a Imola, -31 mm/decennio a Perino e -27 mm/decennio a Ligonchio (dati del Servizio Idrografico).

Il rapporto Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia (di V. Ferrara [2003] dell'ENEA, Progetto Speciale Clima Globale), basandosi su quanto osservato dalle serie delle precipitazioni nel periodo 1951-1996 riporta una generale diminuzione delle precipitazioni, una riduzione del numero di giorni di pioggia (maggiormente in inverno), un aumento dell'intensità delle precipitazioni e una diminuzione della loro durata.

I trend rilevati in Italia nel periodo 1833-1996 da Buffoni *et al.* [1999] indicano un trend negativo delle precipitazioni annue in tutta la penisola, anche se solo al Sud si ha un livello di significatività del 95%, con un trend di - $(3,7\pm1,8)$ mm/decennio.

Come si può notare, i trend stimati, considerando un periodo più lungo dei cinquanta anni da noi analizzato, risultano sensibilmente inferiori.

PRECIPITAZIONI MASSIME

La serie delle precipitazioni massime annue mostra un trend negativo significativo con pendenza - $(12,7\pm8,4)$ mm/decennio.

La serie delle precipitazioni massime invernali mostra un trend negativo significativo con pendenza - $(11,0\pm8,6)$ mm/decennio (Tab. 4.4.13).

La serie delle precipitazioni massime primaverili non mostra un trend negativo significativo.

La serie delle precipitazioni massime estive mostra un trend negativo significativo con pendenza - (9.6 ± 6.7) mm/decennio.

La serie delle precipitazioni massime autunnali non mostra un trend negativo significativo.

PRECIPITAZIONI MINIME

La serie delle precipitazioni minime annue non mostra un trend significativo.

La serie delle precipitazioni minime invernali mostra un trend negativo significativo con pendenza -(5,9±4,9) mm/decennio (Tab. 4.4.14).

Le serie delle precipitazioni minime primaverili, esti-

Tabella 4.4.13 – Trend stagionali delle precipitazioni massime

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(11,0 ±8,6)
Primavera	
Estate	-(9,6 ±6,7)
Autunno	

Tabella 4.4.14 – Trend stagionali delle precipitazioni minime

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(5,9 ±4,9)
Primavera	
Estate	
Autunno	

ve e autunnali non mostrano un trend negativo significativo.

GIORNI DI PIOGGIA

La serie dei giorni di pioggia non mostra un trend significativo, se non nel mese di aprile, con un trend positivo di 0,83 giorni di pioggia/decennio. Questo spiega anche che la diminuzione delle precipitazioni totali non è dovuta a una diminuzione del numero di giorni di pioggia, ma a una diminuzione dell'intensità media dei fenomeni.

Brunetti *et al.* [2001] hanno rilevato dei trend negativi significativi per il numero di giorni di pioggia su tutta l'Italia nel periodo 1951-1996, con valori tra - 2,7 giorni /decennio al Nord e -2,3 giorni /decennio al Sud, e trend positivi dell'intensità media tra +0,16 mm/giorno per decennio al Nord e +0,12 mm/giorno per decennio al Sud.

INTENSITÀ MEDIA

La serie dell'intensità media mensile è stata divisa in due periodi, come si è detto all'inizio del paragrafo 4.4.3: dal 1953 al 1973 e dal 1974 al 2002. La prima serie mostra un trend negativo significativo di -(3,12±1,24) mm/giorno per decennio, mentre la seconda serie non mostra un trend significativo.

La serie che si riferisce al periodo 1953-1973 presenta dei trend negativi significativi nei mesi di febbraio, marzo e novembre (Tab. 4.4.15a).

La serie dell'intensità media invernale (Tab. 4.4.15b) mostra un trend negativo significativo di - $(2,13\pm1,68)$ mm/giorno per decennio.

La serie dell'intensità media primaverile non mostra un trend significativo.

Tabella 4.4.15a – Trend mensili dell'intensità media

	Mese		Trend (n	nm/giorno per de	ecennio)
Dicembre	Gennaio	Febbraio			-(3,86±2,51)
Marzo	Aprile	Maggio	-(3,61±2,55)		
Giugno	Luglio	Agosto			
Settembre	Ottobre	Novembre			-(6,99±2,92)

Stagione Trend (mm/decennio)
Inverno -(2,13 \pm 1,68)
Primavera
Estate -(5,78 \pm 3,68)
Autunno -(4,00 \pm 2,22)

Tabella 4.4.15b – Trend stagionali dell'intensità media

La serie dell'intensità media estiva mostra un trend negativo significativo di -(5,78±3,68) mm/giorno per decennio.

La serie dell'intensità media autunnale mostra un trend negativo significativo di -(4,00±2,22) mm/giorno per decennio.

Questi risultati possono essere spiegati osservando gli andamenti delle precipitazioni e dei giorni di pioggia nel periodo 1953-1973 (Figg. 4.4.1 e 4.4.5). Nei ventuno anni considerati le precipitazioni sono diminuite, mentre il numero di giorni di pioggia è aumentato, portando quindi a una diminuzione dell'intensità media dei fenomeni piovosi.

NEVE

La serie del numero di giorni di neve non mostra un trend significativo.

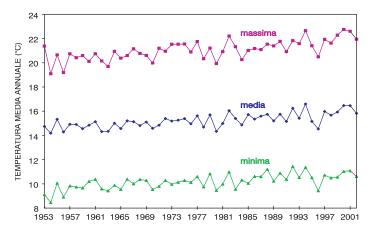
4.5. SERIE DELLE TEMPERATURE

4.5.1. Temperature medie, minime e massime

Il valore medio (con deviazione standard) della temperatura media a Terni nel cinquantennio 1953-2002 è di $+(15,2\pm0,6)$ °C.

La Figura 4.5.1 presenta l'andamento sul cinquantennio delle temperature medie, minime e massime annuali; è evidente una crescita di tutte e tre le grandezze. Un'analisi delle tendenze nel periodo considerato verrà affrontata dettagliatamente nel seguito.

Figura 4.5.1 – Andamento delle temperature massima, media e minima nel cinquantennio 1953-2002



L'anno mediamente più caldo su tutto il periodo 1953-2002 è il 1994, con una temperatura media annuale di 16,6 °C (1,4 °C in più rispetto al valor medio sui cinquanta anni), mentre l'anno più freddo è il 1954, con 14,2 °C (1 °C in meno rispetto al valor medio). Le temperature medie mensili e stagionali su tutto il

periodo sono presentate nelle Tabelle 4.5.1a e 4.5.1b rispettivamente.

La Tabella 4.5.2a riporta i valori medi mensili della temperatura minima e della temperatura minima assoluta; inoltre, sono mostrati i valori più bassi per ciascun mese della temperatura minima assoluta e l'anno (o gli anni) corrispondente. La Tabella 4.5.2b mostra i valori medi stagionali della temperatura minima, il valore più basso e l'anno corrispondente; inoltre, vengono riportati i valori medi stagionali della temperatura minima assoluta.

Analogamente, la Tabella 4.5.3a presenta i valori medi mensili della temperatura massima e della temperatura massima assoluta; inoltre, sono mostrati i valori più alti per ciascun mese della temperatura massima assoluta e l'anno (o gli anni) corrispondente. La Tabella 4.5.3b mostra i valori medi stagionali della temperatura massima, il valore più alto e l'anno corrispondente; inoltre vengono riportati i valori medi stagionali della temperatura massima assoluta.

La distribuzione mensile delle temperature medie,

Tabella 4.5.1a – Temperature medie mensili con deviazione standard

Mese	Temperatura media (°C)
Gennaio	5,9±1,7
Febbraio	7,6±1,6
Marzo	10,2±1,7
Aprile	13,4±1,2
Maggio	18,3±1,6
Giugno	22,5±1,2
Luglio	25,6±1,3
Agosto	25,2±1,6
Settembre	21,0±1,5
Ottobre	15,8±1,5
Novembre	10,4±1,5
Dicembre	6,9±1,4

Tabella 4.5.1b – Temperature medie stagionali con deviazione standard

Mese	Temperatura media (°C)
Inverno	6,8±1,7
Primavera	14,0±3,7
Estate	24,4±1,9
Autunno	15,7±4,6

Tabella 4.5.2a – Temperature minime: medie mensili. Temperature minime assolute: medie mensili, valori minimi assoluti registrati e anno corrispondente

Temperatura (°C)	Minima	Minima assoluta		
	Media	Media	Estremo	Anno
Gennaio	2,5±1,8	-4,2±2,5	-12,0	1967
Febbraio	3,6±1,8	-2,7±2,6	-15,0	1956
Marzo	5,6±1,7	-0,6±2,4	-6,0	1987
Aprile	8,1±1,2	2,9±2,2	-2,8	1956
Maggio	12,2±1,6	7,0±2,8	0,4	1957 1970
Giugno	15,8±1,7	11,3±2,1	6,5	1965
Luglio	18,5±1,3	14,0±2,1	9,8	1954
Agosto	18,5±1,5	13,8±2,2	7,6	1954
Settembre	15,2±1,9	10,2±2,6	4,0	1972 1973
Ottobre	11,2±1,9	4,9±2,3	0,0	1970
Novembre	7,0±1,6	0,0±2,6	-5,0	1955
Dicembre	3,9±1,7	-2,4±2,1	-7,2	1956

Tabella 4.5.2b – Temperature minime: medie stagionali, valori minimi e anno corrispondente. Temperature minime assolute: medie stagionali

Temperatura (°C)	Minima			Minima assoluta
	Media	Estremo	Anno	Media
Inverno	3,3±1,9	1,3	1953	-5,0±2,6
Primavera	8,6±3,1	5,8	1987	-0,7±2,3
Estate	17,6±2,0	14,8	1985	11,1±2,0
Autunno	11,1±3,8	7,7	1983	0,0±2,6

Tabella 4.5.3a – Temperature massime: medie mensili. Temperature massime assolute: medie mensili, valori massimi assoluti registrati e anno corrispondente

Temperatura (°C)	Massima	Massima assoluta		
	Media	Media	Estremo	Anno
Gennaio	5,9±1,7	16,5±2,4	27,0	1971
Febbraio	7,6±1,6	18,6±2,6	26,0	1961
Marzo	10,2±1,7	22,0±3,1	30,0	1981
Aprile	13,4±1,2	25,8±2,3	30,4	1977
Maggio	18,3±1,6	30,7±2,4	35,0	1977
Giugno	22,5±1,2	34,8±1,7	39,0	1982
Luglio	25,6±1,3	37,5±2,0	42,0	1983
Agosto	25,2±1,6	37,7±2,3	42,0	1971 1981
Settembre	21,0±1,5	32,6±2,7	40,0	1982
Ottobre	15,8±1,5	27,7±2,4	34,6	1953
Novembre	10,4±1,5	20,6±3,6	27,0	1968
Dicembre	6,9±1,4	16,7±2,5	22,0	1989

Tabella 4.5.3b – Tempera ture massime: medie stagionali, valori massimi e anno corrispondente. Temperature massime assolute: medie stagionali

Temperatura (°C)	Massima			Massima assoluta
	Media	Estremo	Anno	Media
Inverno	11,4±2,1	14,1	1977	19,4±2,4
Primavera	20,0±4,1	21,9	1953	30,8±2,3
Estate	31,3±2,3	34,2	1994	38,6±1,8
Autunno	21,5±5,3	23,6	1987	32,6±2,8

massime e minime è presentata nella Figura 4.5.2: essa mostra un massimo in estate (luglio ed agosto) ed un minimo in inverno (dicembre e gennaio). Le temperature minime e massime assolute mostrano una distribuzione mensile simile.

La Figura 4.5.3 mostra l'andamento delle temperature minime e massime assolute durante il periodo 1953-2002.

La media delle temperature minime varia da un minimo di 2,5 °C a gennaio a un massimo di 18,5 °C a luglio e agosto.

Le temperature minime assolute si registrano a gennaio, con una media di -4,2 °C.

Le temperature minime assolute più alte si sono avute nel gennaio 1997 con -0,5 °C, seguito dal gennaio 2002 con -1,1 °C.

Le temperature minime assolute più basse si sono avute nel febbraio 1956 con -15,0 °C, seguito dal gennaio 1967 con -12,0 °C. Gli inverni del 1956 e 1967 hanno registrato delle punte di temperature molto basse: nel 1956 il termometro è andato sotto lo zero 40 volte, nel 1967 23 volte.

La media delle temperature massime varia da un minimo di 10,5 °C a gennaio a un massimo di 32,5 °C a luglio.

Le temperature massime assolute si registrano ad agosto, con una media di 37,7 °C.

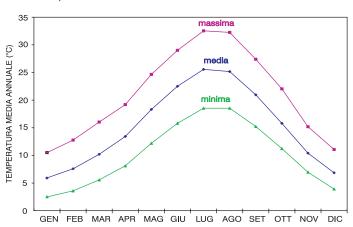


Figura 4.5.2 – Distribuzione mensile delle temperature massime, medie e minime

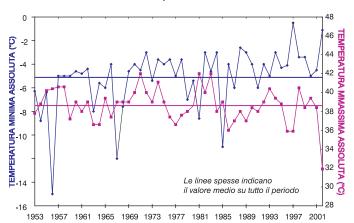


Figura 4.5.3 – Andamento delle temperature massime e minime assolute nel cinquantennio 1953-2002

Le temperature massime assolute hanno raggiunto il valore di 42 °C nell'agosto 1971 e 1981 e nel luglio 1983.

Le temperature massime assolute più basse si sono avute nel luglio 2002 con 31,9 °C, seguito dal giugno 1996 e dall'agosto 1997 con 35,9 °C.

4.5.2. Escursione termica

L'escursione termica media su ogni mese è la differenza tra la temperatura massima e la temperatura minima medie mensili.

La distribuzione mensile dell'escursione media ha un massimo nei mesi estivi di luglio e agosto e un minimo nei mesi invernali di dicembre e gennaio (Fig. 4.5.4).

4.5.3. Trend

TEMPERATURA MEDIA

La serie delle temperature medie annuali mostra un trend positivo significativo con pendenza +(0,28±0,08) °C/decennio.

Trend positivi significativi si riscontrano a marzo, maggio, giugno, luglio, agosto, ottobre (Tab. 4.5.4a). La serie delle temperature medie invernali (Tab. 4.5.4b) non presenta un trend significativo.

La serie delle temperature medie primaverili mostra

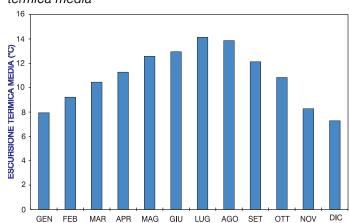


Figura 4.5.4 – Distribuzione mensile dell'escursione termica media

Tabella 4.5.4a – Trend mensili della temperatura media

	Mese		Tro	end (°C/decennic	o)
Dicembre	Gennaio	Febbraio			
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,36±0,34)		+(0,42±0,32)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,38±0,15)	+(0,30±0,28)	+(0,51±0,34)
Settembre	Ottobre	Novembre		+ (0,52±0,27)	

Tabella 4.5.4b - Trend stagionali della temperatura media

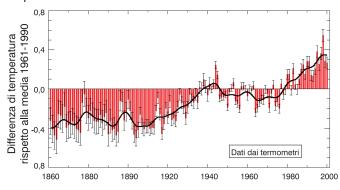
Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	
Primavera	+(0,26±0,18)
Estate	+(0,41±0,18)
Autunno	+ (0,30±0,18)

un trend positivo con pendenza $+(0,26\pm0,18)$ °C/decennio.

La serie delle temperature medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.41\pm0.18)$ °C/decennio. La serie delle temperature medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.30\pm0.18)$ °C/decennio.

I valori assoluti dei trend ricavati devono essere considerati con attenzione. Infatti, l'aumento della temperatura registrata dalla stazione di rilevamento può essere imputato a molteplici cause: prima di tutto al cosiddetto global warming, ovvero la crescita della temperatura media globale dovuta all'immissione in atmosfera di gas serra (come l'anidride carbonica e il metano), in conseguenza del forte impulso dello sviluppo industriale cominciato alla fine del XIX secolo; in base alle stime dell'Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC, 2001], tale crescita è compresa tra +0,2 e +0,6 °C dalla fine del 1800. La stessa fonte riporta che la crescita maggiore si è avuta nel periodo 1910-1945 e dal 1976 a oggi, con un tasso di circa +0,14 °C/decennio nel periodo 1910-1945 e di +0,17 °C/decennio dal 1976. È stato stimato che il tasso è ancora maggiore sulle terre emerse alle medie latitudini. La Figura 4.5.5, tratta dal rapporto dell'IPCC [2001], mostra la differenza tra la temperatura media globale negli anni dal 1860-2000, rispetto al valore medio del periodo 1961-1991: i dati si riferiscono alle misure effettuate con termometri su tutto il globo. Per poter confrontare i trend determinati a Terni con quelli riportati dell'IPCC, si è calcolato il trend della temperatura media a Terni in due periodi, dal 1953 fino al 1975 e dal 1975 al 2002: i risultati risultano

Figura 4.5.5 – Andamento della differenza di temperatura media globale rispetto alla media nel periodo 1961-1991



Fonte: IPCC, 2001.

essere di $+(0.25\pm0.25)$ °C/decennio nel primo periodo e di $+(0.36\pm0.21)$ °C/decennio nel secondo.

Un altro fattore importante da tenere in considerazione è l'urbanizzazione.

A partire dagli anni '60 questa a Terni ha avuto un forte impulso e ha causato l'effetto dell'"isola di calore" sulla città, ovvero un riscaldamento della zona cittadine rispetto a quelle circostanti dovuto a un maggiore assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali che costituiscono gli edifici e il manto stradale (cemento, mattoni, asfalto); l'energia accumulata durante il giorno viene rilasciata sotto forma di calore, determinando così un surriscaldamento dell'aria che sovrasta la città. Brunetti *et al.* [2000a] hanno stimato in 0,1 °C l'effetto dell'isola di calore sulle temperature medie in Italia nel periodo 1951-1996, ovvero un aumento di 0,02 °C/decennio sul trend stimato usando solo stazioni di rilevamento che non si trovano in città.

Sommando i contributi dovuti al *global warming* e all'isola di calore per il periodo 1976-2002 si ottiene un trend di +0.19 °C/decennio; questo valore ricade all'interno dell'intervallo di variabilità del trend stimato dai dati sulle temperature medie di Terni nello stesso periodo, ovvero tra +0.15 e +0.57 °C/decennio.

Maugeri e Nanni [1998] riportano i trend della temperatura media mensile di 27 stazioni italiane nel periodo 1867-1993. I valori sono di 0,03±0,01 °C al Nord e 0,050±0,006 °C al Sud: i trend in autunno-inverno sono maggiori di quelli in primavera-estate.

Secondo il rapporto dell'IPCC [2001] in Europa la variabilità climatica nell'ultimo secolo mostra delle differenze tra nord (Artico) e sud (Mediterraneo) e tra est (continentale) e ovest (marittimo). In gran parte del continente si registra un aumento della temperatura media annuale durante il XX secolo di circa 0,8 °C: il riscaldamento risulta maggiore in inverno.

TEMPERATURA MINIMA MEDIA

La serie delle temperature minime medie annuali mostra un trend positivo significativo al 95%, con pendenza $+(0.29\pm0.09)$ °C/decennio.

Trend positivi significativi sono stati trovati a mag-

gio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre, come mostrato in Tabella 4.5.5a.

La serie delle temperature minime medie invernali (Tab. 4.5.5b) non presenta un trend significativo.

La serie delle temperature minime medie primaverili mostra un trend positivo con pendenza $+(0.31\pm0.19)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.52\pm0.14)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.31\pm0.21)$ °C/decennio.

Si conclude che l'estate è la stagione in cui la temperatura minima media registra il trend maggiore.

Mese			Tr	end (°C/decenni	0)
Dicembre	Gennaio	Febbraio			
Marzo	Aprile	Maggio			+(0,56±0,25)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,40±0,20)	+ (0,53±0,22)	+(0,65±0,21)
Settembre	Ottobre	Novembre	$+(0.33\pm0.25)$	$+(0.58\pm0.36)$	

Tabella 4.5.5a – Trend mensili della temperatura minima media

Tabella 4.5.5b – Trend stagionali della temperatura minima media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	
Primavera	+(0,31±0,19)
Estate	+(0,52±0,14)
Autunno	+(0,31±0,21)

TEMPERATURA MASSIMA MEDIA

La serie delle temperature massime medie annuali mostra un trend positivo significativo al 95%, con pendenza $+(0.39\pm0.13)$ °C/decennio.

Trend positivi significativi si trovano per i mesi di gennaio, marzo, giugno, luglio, agosto, ottobre, novembre e dicembre (Tab. 4.5.6a).

Tabella 4.5.6a – Trend mensili della temperatura massima media

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,35±0,26)	+(0,52±0,28)	
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,41±0,41)		
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,33±0,28)	+(0,25±0,25)	$+(0,71\pm0,43)$
Settembre	Ottobre	Novembre		+(0,35±0,32)	+(0,35±0,26)

Tabella 4.5.6b – Trend stagionali della temperatura massima media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+ (0,46±0,20)
Primavera	+ (0,28±0,19)
Estate	+ (0,41±0,17)
Autunno	+(0,43±0,20)

La serie delle temperature massime medie invernali (Tab. 4.5.6b)mostra un trend positivo con pendenza $+(0.46\pm0.20)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie primaverili mostra un trend positivo con pendenza $+(0.28\pm0.19)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.41\pm0.17)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.43\pm0.20)$ °C/decennio.

Quindi l'inverno risulta essere la stagione con il trend maggiore per la temperatura massima.

Il rapporto *Evoluzione del clima ed impatti dei cambia-menti climatici in Italia* dell'ENEA, Progetto Speciale Clima Globale (Ferrara, 2003), riporta la tendenza generale delle temperature in Italia, ottenuta dalle serie storiche (1865-2000) delle stazioni dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) e del Servizio Idrografico. Le analisi mostrano un aumento delle temperature massime di 0,8 °C nel periodo 1865-1996 (pari a un

trend di 0,06 °C/decennio) e delle temperature minime di 0,7 °C (pari ad un trend di 0,053 °C/decennio) nel centro-sud. L'inverno risulta essere la stagione in cui l'aumento è maggiore in tutte le regioni italiane.

Come si può notare, i trend stimati, mediando le tendenze di più stazioni italiane e considerando un periodo più lungo dei cinquanta anni da noi esaminati, risultano sensibilmente inferiori. Questo si può spiegare con la dinamicità del sistema climatico: il riscaldamento è sì un fenomeno globale, ma non è uniforme né nello spazio né nel tempo.

TEMPERATURA MINIMA ASSOLUTA

La serie delle temperature minime assolute annuali mostra un trend positivo significativo, con pendenza $+(0.62\pm0.33)$ °C/decennio.

Tutti i mesi tranne aprile mostrano un trend positivo (Tab. 4.5.7a).

La serie delle temperature minime assolute invernali (Tab. 4.5.7b) mostra un trend positivo con pendenza $+(0.61\pm0.35)$ °C/decennio.

Tabella 4.5.7a – Trend mensili della temperatura minima assoluta

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,44±0,44)	+(0,67±0,40)	+(0,38±0,38)
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,93±0,43)		+(0,91±0,51)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,54±0,44)	+(0,62±0,38)	+(0,67±0,44)
Settembre	Ottobre	Novembre	+(0,54±0,49)	+(0,80±0,44)	+(0,83±0,43)

Tabella 4.5.7b – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+(0,61±0,35)
Primavera	+(0,88±0,41)
Estate	+(0,65±0,35)
Autunno	+(0,83±0,42)

La serie delle temperature minime assolute primaverili mostra un trend positivo con pendenza +(0,88±0,41) °C/decennio.

La serie delle temperature minime assolute estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0,65\pm0,35)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime assolute autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.83\pm0.42)$ °C/decennio.

Quindi la primavera è la stagione in cui la temperatura minima assoluta registra il trend maggiore.

TEMPERATURA MASSIMA ASSOLUTA

Le serie delle temperature massime assolute annuali e stagionali non mostrano trend significativi.

ESCURSIONE TERMICA

La serie dell'escursione termica media non mostra un trend significativo a scala annuale.

Trend positivi significativi al 95% si trovano nei mesi invernali di gennaio, febbraio e dicembre (Tab. 4.5.8a). La serie dell'escursione termica invernale (Tab. 4.5.8b) mostra un trend positivo significativo di $+(0.42\pm0.20)$ °C/decennio.

Tabella 4.5.8a – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,27±0,27)	+(0,50±0,23)	+(0,65±0,32)
Marzo	Aprile	Maggio			
Giugno	Luglio	Agosto			
Settembre	Ottobre	Novembre			

Tabella 4.5.8b – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+(0,42±0,20)
Primavera	
Estate	+(0,16±0,11)
Autunno	

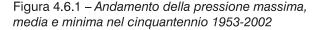
La serie dell'escursione termica estiva mostra un trend negativo significativo di -(0,16±0,11) °C/decennio. Le serie dell'escursione termica primaverile ed autunnale non mostrano trend significativi.

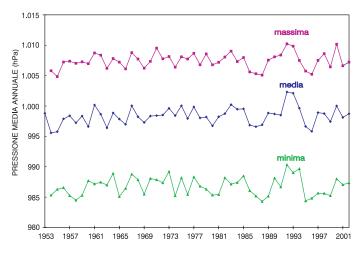
Il confronto tra i trend delle temperature minime e massime medie mostra che le seconde sono cresciute più delle prime, in accordo con quanto osservato da Brunetti *et al.* [2000b], prendendo in esame 27 stazioni italiane per il periodo 1865-1996. Il trend positivo dell'escursione termica a Terni in inverno conferma questo risultato, mentre in estate il valore negativo del trend dice che in questa stagione le temperature minime si sono innalzate più delle massime.

4.6. SERIE DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA

4.6.1. Pressione

Il valore medio e la deviazione standard della pressione atmosferica a Terni nel cinquantennio 1953-2002 sono (998,4±3,5) hPa. La Figura 4.6.1 mostra l'andamento dei valori medi annuali della pressione massima, media e minima nel periodo 1953-2002. La serie relativa alla pressione minima e massima comincia nel 1954.





La Tabella 4.6.1 mostra i valori medi mensili (Tab. 4.6.1a) e stagionali (Tab. 4.6.1b) della pressione media, massima e minima e l'escursione barica (differenza tra pressione massima e minima).

L'autunno e l'inverno sono le stagioni con l'escursione barica maggiore, che si può associare a una maggiore variabilità dovuta al passaggio delle perturbazioni. In estate l'escursione è minima perché le situazioni di stabilità sono favorite. Questo si vede anche nella distribuzione mensile delle deviazioni standard della media, che nei mesi invernali è doppia rispetto a quella nei mesi estivi.

La Figura 4.6.2 riporta le distribuzioni mensili della pressione massime, media e minima, e dell'escursione barica.

L'andamento durante l'anno della pressione media presenta un massimo a ottobre e un minimo ad aprile.

La pressione massima ha un andamento con un massimo a dicembre e gennaio e un minimo a luglio e

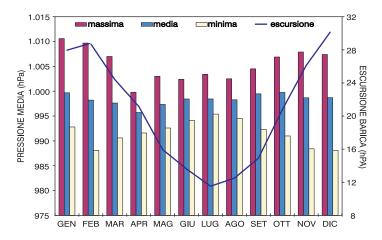
Tabella 4.6.1a – Medie mensili della pressione media, massima e minima e dell'escursione barica

Mese	Pressione media	Pressione minima	Pressione massima	Escursione barica
Gennaio	999,7±5,0	983,7±6,9	1.011,7±3,8	28,0
Febbraio	998,2±5,2	981,8±6,2	1.010,5±4,8	28,7
Marzo	997,6±3,9	983,9±5,1	1.008,3±4,3	24,4
Aprile	995,7±2,0	984,3±4,6	1.005,4±2,9	21,2
Maggio	997,3±2,4	988,7±4,8	1.004,7±2,6	15,9
Giugno	998,4±2,0	990,9±3,4	1.004,5±2,1	13,6
Luglio	998,4±1,9	992,2±2,6	1.003,7±2,4	11,5
Agosto	998,3±1,9	991,2±2,8	1.003,7±2,1	12,5
Settembre	999,5±2,2	991,4±3,9	1.006,3±2,1	14,9
Ottobre	999,8±3,5	987,6±5,4	1.008,4±3,2	20,8
Novembre	998,7±3,5	984,2±4,0	1.010,3±3,3	26,1
Dicembre	998,7±4,0	981,5±6,1	1.011,6±4,0	30,1

Tabella 4.6.1b – Medie stagionali della pressione media, massima
e minima e dell'escursione barica

Stagione	Pressione media	Pressione minima	Pressione massima	Escursione barica
Inverno	998,9±4,8	982,4±6,4	1.011,3±4,2	28,9
Primavera	996,9±3,0	985,6±5,3	1.006,1±3,7	20,5
Estate	998,4±1,9	991,4±3,0	1.004,0±2,2	12,5
Autunno	999,3±3,1	987,7±5,3	1.008,3±3,3	20,6

Figura 4.6.2 – Distribuzione mensile della pressione massima, media e minima e dell'escursione barica



agosto. Al contrario, la pressione minima ha un massimo a luglio e un minimo a dicembre.

La Tabella 4.6.2 mostra il numero di casi in cui si registrano la pressione minima e massima in ciascun mese (Tab. 4.6.2a) e in ciascuna stagione (Tab. 4.6.2b) in tutto il periodo dei cinquanta anni osservati. Come si può notare, la pressione minima e massima si riscontrano entrambe principalmente a dicembre e a febbraio: a causa dell'alternarsi di situazioni di bassa e alta pressione l'escursione barica è massima in questi mesi.

La Figura 4.6.3 mostra la stagione in cui si è registrata la pressione minima e massima in ogni anno. Si è contato il numero di casi in cui la pressione minima e massima si è registrata in ciascuna stagione, individuando due periodi, quello dal 1954 al 1977 e quello dal 1978 al 2002 (Tab. 4.6.3).

Dai dati si può concludere che l'inverno è rimasto in tutti i cinquanta anni la stagione in cui si registrano la pressione minima e massima.

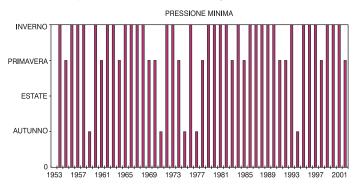
Tabella 4.6.2a – Distribuzione mensile del numero di casi in cui si registra la pressione minima e massima

Mese	Pressione minima	Pressione massima
Gennaio	8	9
Febbraio	10	10
Marzo	7	4
Aprile	5	0
Maggio	1	0
Giugno	0	0
Luglio	0	0
Agosto	0	0
Settembre	0	0
Ottobre	1	3
Novembre	4	9
Dicembre	13	14

Tabella 4.6.2b – Distribuzione stagionale del numero di casi in cui si registra la pressione minima e massima

Stagione	Pressione minima	Pressione massima
Inverno	31	34
Primavera	13	4
Estate	0	0
Autunno	5	11

Figura 4.6.3 – Stagioni nelle quali si registra la pressione minima e la pressione massima in ogni anno



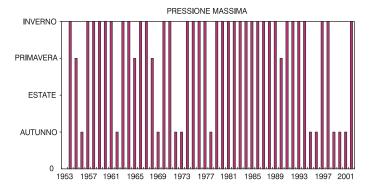


Tabella 4.6.3 – Distribuzione stagionale del numero di casi in cui si registrano la pressione minima e massima nei periodi 1954-1977 e 1978-2002

Precipitazioni (mm)	Min	ima	Massima		
	1954-1977	1978-2002	1954-1977	1978-2002	
Inverno	14	17	16	18	
Primavera	6	7	3	1	
Estate	0	0	0	0	
Autunno	4	1	5	6	

4.6.2. Trend

Le serie della pressione media, minima e massima annuali non mostrano un trend significativo al 95%. La serie della pressione media invernale (Tab. 4.6.4) mostra un trend positivo significativo di $+(0.88\pm0.67)$ hPa/decennio.

Nelle altre stagioni non si rilevano trend significativi. La tendenza generale su tutto il bacino del Mediterraneo è di un aumento della pressione atmosferica nel periodo 1951-1995, che si manifesta principalmente nella stagione invernale, con valori dei trend che raggiungono gli 1,2 hPa/decennio. I nostri risultati sono in accordo con questa tendenza. Brunetti *et al.* [2002] hanno messo in relazione l'aumento della pressione invernale con delle variazioni nella circolazione atmosferica che determinano una maggiore frequenza di anticicloni nella parte centro-occidentale del bacino del Mediterraneo.

Tabella 4.6.4 – Trend stagionali della pressione media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+(0,88±0,67)
Primavera	
Estate	
Autunno	

4.7. SERIE DELLE MISURE DI VENTO

4.7.1. Direzione di provenienza del vento

I dati misurati dalla stazione automatica a partire dalla metà del 1996 rappresentano delle medie su 15 minuti della velocità e della direzione di provenienza del vento.

Le osservazioni dal 1997 al 2002 mostrano che le principali direzioni di provenienza del vento a Terni sono Sud-Ovest (S-O) con il 19,5% di casi e Nord-Est (N-E) con il 16,5% di casi. Le calme di vento (intensità mi-

nore o uguale a 1 km/ora o 0,2 m/s) rappresentano il 10,3% dei casi.

La Tabella 4.7.1 riassume le statistiche con il numero di casi di provenienza per ciascun settore e per le calme e le percentuali corrispondenti.

La rosa dei venti in Figura 4.7.1 rappresenta i dati della Tabella 4.7.1: essa mostra che i venti tendono a orientarsi lungo l'asse NE-SO, che identifica il corso del fiume Nera.

Poiché Terni è situata nella parte nord-orientale della conca ternana, il regime di venti è influenzato dalla presenza di pendii che circondano la conca. Questa influenza si manifesta in due modi: per prima cosa le barriere rappresentate dalle catene montuose a Nord, disposte lungo la direzione Est-Ovest, fanno sì che i venti provenienti da N e N-O siano poco frequenti; in secondo luogo i rilievi possono influenzare la circolazione a carattere locale, come le brezze di valle e di monte, caratterizzate da un ciclo giornaliero legato al riscaldamento e al raffreddamento del terreno.

Per esaminare questo secondo aspetto, oltre alle elaborazioni effettuate su tutti i dati validi, sono state realizzate delle rose dei venti differenziando il periodo diurno e notturno. Questa analisi è stata fatta su base stagionale, poiché il regime dei venti locali deve

Tabella 4.7.1 – Numero totale di casi registrati per ciascuna direzione di provenienza del vento e numero di casi di calma di vento nel periodo 1997-2002

Settore di provenienza	Numero di casi	Percentuale di casi (%)
N	12.527	6,0
N-E	34.539	16,5
Е	28.932	13,8
S-E	8.558	4,1
S	18.728	9,0
S-O	40.721	19,5
0	30.567	14,6
NO	12.830	6,1
Calme	21.587	10,3

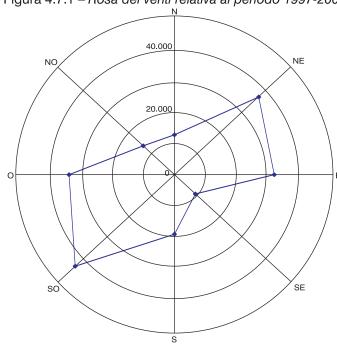


Figura 4.7.1 – Rosa dei venti relativa al periodo 1997-2002

essere distinto dal vento sinottico (ovvero il vento dovuto alla situazione meteorologica generale in superficie, legato al passaggio delle perturbazioni, che sono più frequenti in inverno e meno in estate); inoltre, in estate l'irraggiamento del suolo, responsabile del riscaldamento del terreno con conseguente moto dell'aria circostante, è massimo, per cui questa stagione si presta bene a uno studio di questo tipo.

A questo punto è necessario richiamare la definizione di "brezza di valle", "brezza di monte" e "brezza di pendio".

Al mattino la radiazione solare comincia a scaldare il terreno e l'aria a contatto con esso, a partire dalla cime dei pendii. L'aria più calda tende ad avere una minore densità e a salire verso l'alto, richiamando quindi aria dalla valle che comincia a risalire i pendii: è questa la "brezza di pendio", che raggiunge il suo massimo nel primo pomeriggio, dopo il massimo irraggiamento solare e quando si registra la temperatura più alta nella giornata. Ad essa si somma la "brezza di valle", dovuta all'effetto topografico dei monti che circondano la valle o la conca, i quali costituisco-

no un imbuto per l'aria che tende a espandersi verso l'alto risalendo i pendii. Queste brezze cessano la loro azione nella sera, per poi invertire la loro direzione durante la notte. Infatti, l'aria a contatto con i versanti si raffredda molto velocemente e tende a scendere verso il basso lungo i pendii: in questo modo si instaurano le "brezze di monte", che raggiungono il loro massimo poco prima dell'alba, quando si registra la temperatura minima.

4.7.2. Velocità del vento

Nella Tabella 4.7.2 si possono trovare le velocità del vento associate alle brezze. La classificazione delle velocità (o intensità o forza) del vento segue la scala Beaufort, dal nome dell'ammiraglio della Marina Britannica che la introdusse nel 1805.

Le brezze, quindi, sono dei venti generalmente di intensità debole, compresa tra 1,6 e 5,4 m/s, ovvero tra 6 e 19 km/h.

Sono state considerate le direzioni della brezza in due fasce orarie, che definiamo "diurna" e "notturna", cen-

T 1 11 4 - 0			, ,,		, ,	
Tabella 4.7.2 -	50010	RASHITAR	MAIIA	VALACITA	$\alpha \alpha I$	VANTA
	- ocaia	Deauloit	uena	veibbila	ucı	VELILU

Gradi	Descrizione	Velocità (m/s)	Velocità (km/h)
0	Calma	0 – 0,2	< 1
1	Bava di vento	0,3 – 1,5	1 – 5
2	Brezza leggera	1,6 – 3,3	6 – 11
3	Brezza tesa	3,4 - 5,4	12 –19
4	Vento moderato	5,5 – 7,9	20 – 28
5	Vento teso	8,0 – 10,7	29 – 38
6	Vento fresco	10,8 – 13,8	39 – 49
7	Vento forte	13,9 – 17,1	50 – 61
8	Burrasca	17,2 – 20,7	62 – 74
9	Burrasca forte	20,8 – 24,4	75 – 88
10	Tempesta	24,5 – 28,4	89 – 102
11	Tempesta violenta	28,5 – 32,6	103 – 117
12	Uragano	>= 32,7	>= 118

trate intorno all'ora in cui si raggiunge la temperatura massima e minima rispettivamente. Tenendo conto dell'andamento giornaliero della temperatura e della durata delle ore di soleggiamento durante l'anno, la fascia diurna in inverno va dalle 6 alle 8 e in estate dalle 4 alle 6; invece, la temperatura massima si registra durante l'anno sempre tra le 14 e le 16.

Dalla Figura 4.7.2 si vede chiaramente che in estate, quando il regime delle brezze è più facilmente distinguibile, durante la notte il vento prevalente è da N-E (ovvero dalla Valnerina), mentre durante il giorno è da S-O. In inverno, come ci si aspetta, questa caratteristica non può essere evidenziata, poiché lo scarso irraggiamento giornaliero e il raffreddamento del terreno durante la notte ostacolano la formazione delle brezze.

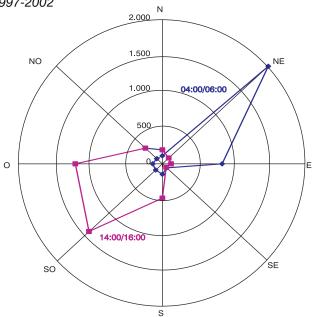
Gli stessi meccanismi di riscaldamento e raffreddamento che causano l'instaurarsi delle brezze sono responsabili della variazione diurna dell'intensità del vento.

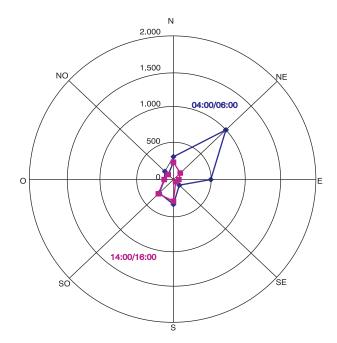
In condizioni di tempo stabile (assenza di perturbazioni, cioè minime variazioni di pressione e cielo sereno) l'andamento della velocità del vento presenta un massimo nelle prime ore del pomeriggio e un minimo all'alba. Il massimo è determinato principalmente dalla circolazione locale a seguito del riscaldamento del terreno e dal rimescolamento tra gli strati inferiori e quelli superiori legato ai moti convettivi, mentre il minimo notturno si forma poiché l'irraggiamento che avviene durante la notte porta a un raffreddamento del terreno e ostacola il movimento dell'aria.

La Figura 4.7.3 presenta l'andamento dell'intensità del vento per un "giorno tipo" in ciascuna stagione. Il "giorno tipo" è stato definito mediando i valori rilevati ogni 15 minuti per tutti i giorni dei tre mesi corrispondenti a ciascuna stagione, per tutti gli anni dal 1997 al 2002.

Il grafico evidenzia il picco massimo qualche ora dopo mezzogiorno in tutte le stagioni, con i valori più alti in estate e in primavera; un massimo secondario tra le 4 e le 7 nella stagione estiva rappresenta l'azione della brezza notturna che, come si è detto, agisce soprattutto in questa stagione. In inverno i moti

Figura 4.7.2 – Rosa dei venti relativa alle direzioni registrate nelle fasce orarie 4-6 e 14-16 in estate e nelle fasce orarie 6-8 e 14-16 in inverno nel periodo 1997-2002





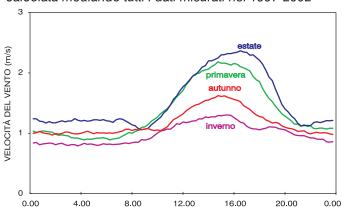


Figura 4.7.3 – Andamento giornaliero della velocità del vento per un giorno tipo di ogni stagione, calcolata mediando tutti i dati misurati nel 1997-2002

convettivi risultano scarsamente attivi sulla terraferma, per cui il massimo diurno è poco pronunciato e l'escursione giornaliera della velocità del vento è piccola. In primavera e in autunno si osservano delle situazioni intermedie tra quella estiva e quella invernale.

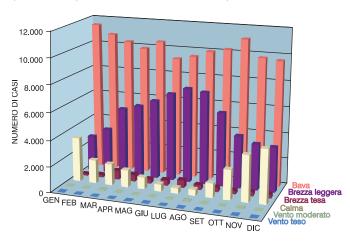
Per stabilire come le intensità del vento si distribuiscono nei vari mesi dell'anno si è calcolato il numero di casi in cui l'intensità rilevata corrisponde a un certo grado della scala Beaufort nel periodo 1997-2002. La Tabella 4.7.3 riporta i risultati per ciascun mese. Come si può notare, le velocità osservate non superano il 5° grado della scala Beaufort, essendo 8,6 m/s il valore massimo assoluto (misurato il 19 novembre 1999): ricordiamo che i dati misurati dalla stazione automatica sono delle medie relative ai 15 minuti precedenti il momento della registrazione, per cui i valori istantanei possono anche essere superiori a quello medio.

La Figura 4.7.4 mostra con maggiore chiarezza i dati riportati nella Tabella 4.7.3. Le calme sono più frequenti nei mesi di novembre e dicembre, e meno in estate, come ci si aspetta, dal momento che in questa stagione si ha un maggiore movimento dell'aria dovuto al riscaldamento da parte dell'intensa radiazione solare.

Tabella 4.7.3 – Distribuzione mensile del numero di casi di vento con velocità da 0 a 5 gradi della scala Beaufort per il periodo 1997-2002

Gradi	0	1	2	3	4	5
Vento	Calma	Bava	Brezza leggera	Brezza tesa	Vento moderato	Vento teso
Gennaio	3.394	11.428	2.769	122	0	0
Febbraio	1.791	10.757	3.475	198	1	0
Marzo	1.621	10.274	5.256	687	18	0
Aprile	1.327	9.827	5.589	532	2	0
Maggio	916	10.401	6.112	328	0	0
Giugno	541	9.202	6.765	427	2	0
Luglio	406	9.471	7.285	567	5	0
Agosto	462	9.926	7.099	365	4	0
Settembre	1.108	10.175	5.660	332	3	0
Ottobre	2.315	11.048	4.018	255	1	0
Novembre	3.557	9.732	3.554	309	32	3
Dicembre	4.149	9.616	3.450	305	14	0

Figura 4.7.4 – Distribuzione mensile del numero di casi vento di intensità compresa tra 0 gradi (calma) e 5 gradi (vento teso) della scala Beaufort nel periodo 1997-2002



Le situazioni di bava di vento sono lungamente le più frequenti, senza un chiaro andamento stagionale. Le brezze, come detto in precedenza, hanno un massimo di frequenza in estate e un minimo in inverno. I casi di vento con velocità superiore a 5,4 m/s (o 19 km/h) hanno una bassa frequenza, e si verificano principalmente a novembre.

Per il periodo 1997- 2002 sono state calcolate le velocità medie mensili. La Figura 4.7.5 mostra la distribuzione mensile della velocità del vento calcolata su tutto il periodo considerato: la distribuzione presenta un massimo nei mesi estivi e un minimo in quelli invernali.

Il valore più alto della velocità registrato ogni giorno è stato estrapolato dalle misure, insieme alla direzione di provenienza. Si è esaminata qual è la direzione di provenienza per i venti di intensità maggiore, ovvero quelli con intensità superiore a 4,9 m/s (18 km/h): il numero di casi trovato è 48. La Figura 4.7.6 mostra che i venti più intensi provengono generalmente dal settore meridionale, con il 35% dei casi di provenienza da S-O e il 33% da S.

I dati rilevati dalla stazione meccanica dal 1954 al 2002 sono stati utilizzati per fornire le osservazioni della massima intensità registrata in ciascun anno: negli anni dal 1957 al 1965 tali osservazioni non sono state rilevate. La Tabella 4.7.4 mostra la raffica di

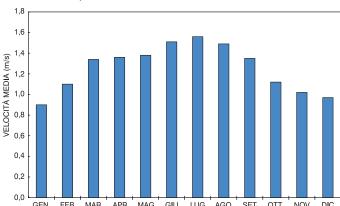


Figura 4.7.5 – Distribuzione mensile delle velocità del vento nel periodo 1997-2002

Tabella 4.7.4 – Intensità massima registrata in ogni anno dal 1954 al 2002: sono anche riportati il giorno e l'ora della registrazione

Data	Ora	Velocità (km/h)
16/11/1954	9:00	36
06/07/1955	17:30	50
14/09/1956	15:30	27
22/04/1966	20:00	65
14/03/1967	14:00	36
12/01/1968	13:10	32
17/04/1969	16:00	34
28/12/1970	13:00	34
09/12/1971	14:00	42
13/07/1972	17:00	44
04/04/1973	23:59	40
31/12/1974	23:00	180
27/02/1975	22:00	56
07/12/1976	14:00	94
25/11/1977	6:00	70
06/01/1978	2:00	116
31/12/1979	14:00	78
11/04/1980	16:00	54
21/01/1981	10:00	64
11/12/1982	23:00	36
27/12/1983	12:00	64
03/04/1984	23:59	34
16/04/1985	13:00	26
25/12/1986	8:00	28
10/03/1987	15:00	24
21/11/1988	14:00	22
26/02/1989	14:00	24
11/02/1990	22:00	36
28/06/1991	17:00	26
21/10/1992	18:00	22
27/03/1993	17:00	32
22/12/1994	19:00	25
18/02/1995	15:00	26
02/03/1996	14:00	19
11/03/1997	14:00	21
12/09/1998	7:46	62
19/11/1999	6:32	73
02/02/2000	12:56	46
24/11/2001	20:17	51
16/11/2002	13:56	64

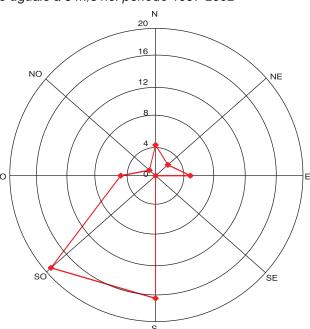


Figura 4.7.6 – Rosa dei venti relativa alle direzioni di provenienza del vento con intensità maggiore o uguale a 5 m/s nel periodo 1997-2002

vento più intensa registrata in un anno, con il giorno e l'ora corrispondenti.

Il 31 dicembre 1974 alle ore 23 gli strumenti hanno registrato la velocità massima: un vento proveniente da N-NE che soffiava a 180-200 km/h; questi valori estremamente alti potrebbero però essere dovuti a un'imprecisione dell'anemografo imputabile proprio alla velocità. Gli effetti di questa raffica, secondo gli appunti dell'osservatore, sono stati i seguenti: alberi sradicati, tetti scoperchiati, cartelloni pubblicitari divelti e trascinati per decine di metri. Il 6 gennaio 1978 l'osservatore ha registrato un "fortissimo vento da N".

5. Conclusioni

L'analisi delle serie temporali di parametri meteorologici quali precipitazioni, temperature, pressione, direzione e velocità del vento, raccolti presso l'Osservatorio "Federico Cesi" di Terni dal 1953 al 2002, ha permesso la caratterizzazione meteo-climatica della città.

Le caratteristiche salienti che si possono delineare dallo studio delle temperature e delle precipitazioni sono tipiche delle località a bassa quota alle medie latitudini che risentono dell'influenza del bacino del Mediterraneo; inoltre, la posizione geografica all'interno di una conca conferisce alla città di Terni una peculiare impronta per quanto riguarda il regime del vento.

Dal punto di vista della temperatura, il clima di Terni è contraddistinto da estati calde, con temperature massime che oscillano intorno a 31,3 °C (ma che hanno raggiunto anche i 42 °C), e inverni non particolarmente freddi, con temperature minime intorno a 3,3 °C (gli episodi di temperature inferiori a -10 °C sono scarsi), in cui raramente si assiste al fenomeno delle nevicate (solo nell'1,4% dei giorni invernali è nevicato); la primavera e l'autunno sono caratterizzati da situazioni intermedie, con temperature autunnali leggermente superiori a quelle primaverili, a causa del lento rilascio, nei mesi autunnali, del calore accumulato dalla superficie terrestre durante l'estate.

Le misure continuative su cinquanta anni hanno permesso di individuare un aumento della temperatura media, fenomeno che si riscontra non solo in tutta l'Italia, ma a livello globale, dalla fine del 1800, e che la comunità scientifica internazionale è concorde nell'imputare all'immissione in atmosfera di gas serra prodotti dalle attività umane. A ciò si aggiunge il contributo dell'espansione edilizia della città e il sorgere di nuovi edifici, che assorbono e rilasciano il calore proveniente dal sole. L'aumento della temperatura media annuale dal 1953 al 2002 è avvenuto con un tas-

so stimato compreso tra +0,20 e + 0,36 °C/decennio. La crescita della temperatura massima e della temperatura minima non è uniforme: in inverno la prima è cresciuta più della seconda, mentre in estate questa relazione si inverte.

Il regime pluviometrico della città di Terni è tipico del Mediterraneo: nei mesi autunnali si concentrano le precipitazioni più abbondanti e più frequenti. Novembre è infatti il mese più piovoso (116 mm di pioggia) e, insieme ad aprile, quello con il maggior numero di giorni di pioggia (valore medio 10,7). I mesi estivi sono i più secchi, con una quantità media di precipitazione che è circa la metà di quella dell'autunno: luglio è il mese con la minore precipitazione (34,4 mm) e con il numero più basso di giorni di pioggia (4,3). Nei mesi di agosto e settembre si riscontrano le intensità di precipitazione maggiori, ovvero grandi quantità di pioggia concentrate in breve tempo: questa caratteristica è tipica dei fenomeni temporaleschi che si verificano in estate e che sono innescati dal riscaldamento della superficie terrestre da parte dell'intensa radiazione solare.

L'andamento delle precipitazioni totali annuali mostra una diminuzione nei cinquanta anni considerati: le precipitazioni invernali presentano un trend negativo di -($26,6\pm15,0$) mm/decennio, in linea con i risultati di studi condotti su tutta l'Italia.

Il regime di vento a bassa quota della città di Terni è fortemente influenzato dalla conformazione della conca ternana: i venti tendono a orientarsi lungo l'asse NE-SO, ovvero lungo il corso del fiume Nera. La presenza di pendii che circondano la conca incide sulla direzione di provenienza del vento in diversi modi: innanzi tutto le barriere rappresentate dalle catene montuose a N, disposte lungo la direzione E-O, fanno sì che i venti provenienti da N e N-O siano poco frequenti; in secondo luogo i rilievi possono influenzare la circolazione a carattere locale, come le brezze, caratterizzate da un ciclo giornaliero legato al riscaldamento e al raffreddamento del terreno. Dai dati analizzati, infatti, si è visto come in estate, stagione favorevole all'instaurarsi delle brezze, di giorno il vento proviene da S-O, mentre di notte la direzione prevalente è da N-E, ovvero dalla Valnerina, che rappresenta una sorta di imbuto per il vento.

Le velocità del vento più frequenti sono le bave di vento (da 1 a 5 km/h), mentre i casi di vento più intenso sono rari e si verificano principalmente a novembre: la provenienza di questi venti è generalmente dal settore meridionale (S e S-O).

Da quanto visto precedentemente si può concludere che il clima della città di Terni sta andando verso inverni più secchi e più caldi. A questa tendenza si aggiunge quella della pressione atmosferica, che presenta un trend positivo nei mesi invernali, che può essere associato a una maggiore frequenza di anticicloni nella parte centro-occidentale del bacino del Mediterraneo, come conseguenza delle variazioni climatiche. Queste conclusioni sono in accordo con le tendenze del clima riscontrate sia nel Mediterraneo sia a scala globale.

6. Il meteo a Terni in pillole

In questo paragrafo si riportano alcuni dati record riguardanti le temperature e le precipitazioni a Terni, nei cinquanta anni analizzati, a scala giornaliera, mensile, stagionale e annuale:

Il giorno più freddo 16 febbraio 1956

(temperatura minima -15,0 °C)

Il giorno più caldo 7 agosto 1971, 4 agosto 1981,

27 luglio 1983

(temperatura massima 42,0 °C)

II giorno più piovoso 28 settembre 1965

(138,3 mm di pioggia)

Il mese più freddo gennaio 1964

(media delle temperature

minime -1,2 °C)

Il mese più caldo agosto 1994

(media delle temperature

massime 36,2 °C)

Il mese più piovoso settembre 1965

(431,2 mm di pioggia)

La stagione più fredda inverno 1953

(media delle temperature

minime 1,3 °C)

La stagione più calda estate 1994

(media delle temperature

massime 34,2 °C)

La stagione più piovosa autunno 1965

(624,6 mm di pioggia)

La stagione meno piovosa estate 1963

(20,6 mm di pioggia)

L'anno più freddo 1954

(media delle temperature

minime 8,5 °C)

L'anno più caldo 2000

(media delle temperature

massime 22,8 °C)

L'anno più piovoso 1960

(1.479,6 mm di pioggia)

L'anno meno piovoso 1973

(570,0 mm di pioggia)

Il periodo più lungo di siccità 71 giorni

(dal 12 luglio

al 21 settembre 1956)

Il periodo più lungo di pioggia 16 giorni

(dal 22 aprile al 7 maggio 1974)

Appendice A "Definizioni"

mm di pioggia

Un millimetro di pioggia equivale a un litro di acqua per metro quadrato di superficie.

hPa

Il peso della colonna atmosferica di aria esercitato su una superficie di 1 metro quadrato è definito come 1 atmosfera (atm) ed è equivalente a 1.013 hectoPascal (hPa) (1 hectoPascal corrisponde a 100 Pascal).

Vale quindi la seguente uguaglianza:

1 atm = 1.013 hPa.

Le altre unità di misura della pressione sono i millimetri di mercurio (mm Hg) e i millibar (mb).

Valgono le seguenti uguaglianze:

1 atm = 760 mm Hg = 1013 mb.

media

Si definisce media o valor medio di un campione di N elementi:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

dove il simbolo

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i}$$

indica la somma di tutti i singoli elementi x_i , con i che varia da 1 ad N:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i} = x_{0} + x_{1} + x_{2} + ... + x_{N-2} + x_{N-1} + x_{N}$$

deviazione standard

La deviazione standard delle medie è definita come:

dev.st =
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

dove:

x, è il singolo valore,

 $\stackrel{-}{x}$ è il valore medio di tutti gli x_i N è il numero totale di valori.

Appendice B

Il test stagionale di Mann-Kendall

Il test stagionale di Mann-Kendall (sviluppato da Mann negli anni '40 e ripreso da Kendall negli anni '70) è un test di ipotesi che permette di evidenziare l'omogeneità e la presenza o meno di un trend statisticamente significativo in una serie storica. Questo test è detto non parametrico e si applica in modo particolare ai dati meteo per i quali l'andamento nel tempo non può essere espresso facilmente in funzione di parametri e che presentano diverse componenti temporali, prima tra tutte quella stagionale. La peculiarità di tale strumento di analisi è quella di evidenziare eventuali trend tenendo conto delle varie componenti temporali della serie. Per fare un esempio consideriamo la serie storica delle temperature medie mensili (Fig. B.1).

La serie mostra una periodicità annuale e il test stagionale di Mann-Kendall permette di evidenziare la presenza di un trend su tutta la serie, su ogni stagione e su ogni mese.

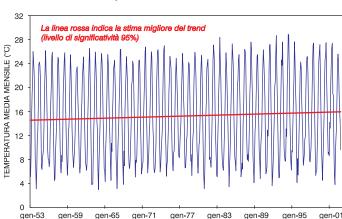


Figura B.1 – Serie storica della temperatura media mensile a Terni nel periodo 1953-2002

Un concetto importante legato alla stima di un trend di una serie di dati è quello del "livello di significatività", espresso in percentuale. I trend vanno sempre espressi facendo riferimento alla significatività statistica, che non può mai essere intesa come certezza. Maggiore il livello di significatività, maggiore la probabilità che il risultato ottenuto sia quello "reale". Ad esempio, se il test di Mann-Kendall fornisce un trend positivo al 95% di significatività per una certa serie, questo vuol dire che c'è il 5% di probabilità che il trend reale sia negativo o assente. Nella maggior parte dei casi si stabilisce come livello di significatività il 95%.

La stima quantitativa della variazione di una grandezza nel tempo è data dal metodo di Sen.

Il metodo di Sen

Il trend (positivo o negativo) di un dato parametro meteorologico viene espresso da una retta, la cui pendenza indica la variazione di questo parametro nel tempo. Il metodo di Sen (dal nome di P.K. Sen che lo ha messo a punto negli anni '60) consente di trovare la pendenza di tale retta con la sua incertezza, con un livello di significatività stabilito, fornendo il limite inferiore, il limite superiore e la stima migliore del trend. Ad esempio, la linea spessa della Figura B.1 riporta la stima migliore del trend della temperatura media, ottenuta applicando il metodo di Sen (livello di significatività 95%).

Ulteriori informazioni sui metodi statistici applicati alle stime dei trend si possono trovare in Gilbert [1987].

8. Bibliografia

Brunetti M., Mangianti F., Maugeri M., Nanni T., Urban heat island bias in Italian air temperature series, *Il Nuovo Cimento*, 23, 423-431, 2000a.

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, 2000b.

Brunetti M., Colacino M., Maugeri M., Nanni T., Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996, *International Journal of Climatology*, 21, 299-316, 2001.

Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years, *International Journal of Climatology*, 22, 1455-1471, 2002.

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

Ferrara V., Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia, sito web ENEA (www.enea.it), 2003.

Gilbert R.O., Statistical methods for environmental pollution monitoring, van Nostrand rienhold Company Inc., New York 1987.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001, The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel of Climate Change, edito da J.T. Houghton et al., Cambridge University Press, New York 2001.

Maugeri M., Nanni T., Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1993, *Theoretical and Applied Climatology*, 61, 191-196, 1998.

Piervitali E., Colacino M., Conte M., Rainfall over the Central-Western Mediterranean basin in the period 1951-1995. Part I: precipitation trends, *Il Nuovo Cimento*, 21, 331-344, 1998.

Tomozeiu R., Lazzeri M., Cacciamani C., Precipitation fluctuations during the winter season fro 1960 to 1995 over Emilia-Romagna, Italy, *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 221-229, 2002.

*Ideazione*Franco Carpine

Ricerche ed elaborazione dati Daniela Meloni Franco Carpine

Coordinamento tecnico e amministrativo Franco Carpine

Referente Servizio Ambiente della Provincia di Terni

In copertina
Rappresentazione grafica delle
temperature del mese di luglio;
sul retro alcuni fenomeni metereologici
a Terni e nel Ternano (dall'alto verso
il basso, foto di: Iole Matteucci, Carlo
Angeletti, Silvano Ciribuco, Evimero
Crisostomi, Alessandro Degli Esposti
e Mauro Attili)

Progetto grafico e realizzazione



Stampa
Arti Grafiche Celori Snc, Terni

Gli autori

Daniela Meloni, laureata in Fisica (Università degli Studi "La Sapienza", Roma)

Franco Carpine, Servizio Ambiente della Provincia di Terni

© 2004 Provincia di Terni Eventuali duplicazioni di parti della pubblicazione sono autorizzate a condizione che venga citata la fonte.

Presentazione

Questa importante pubblicazione è finalizzata ad un obiettivo preciso, ben circoscritto e di utilità per tutti gli operatori di un settore, come quello ambientale, inteso in senso ampio, sul quale la Provincia di Terni sta investendo in maniera determinante ormai da anni. Studiare e capire l'andamento del fenomeno meteorologico nel territorio della Conca Ternana equivale a creare uno strumento nuovo di lavoro fondamentale per interpretare i processi in atto, decodificarli e calibrare così le scelte della politica in maniera nuova, maggiormente rispondente alle sensibilità territoriali e sociali e più idonea ad uno sviluppo ecosostenibile per il quale questa Amministrazione si impegna da tempo. Questo volume, che prende in esame cinquant'anni di osservazioni meteorologiche, è un ulteriore passo in avanti verso una conoscenza sempre più capillare del nostro territorio e sempre più vicina anche ai cittadini. È una tappa di un percorso intrapreso con una serie di attività messe in atto dalla Provincia di Terni, che vertono sull'utilizzo delle centraline di rilevamento atmosferico, sui laboratori mobili e su un aumentato livello di controllo sulle realtà produttive, sulle loro emissioni in atmosfera e sulla compatibilità tra sviluppo e ambiente, calando il tutto all'interno di un quadro di riferimento di grande valore come quello rappresentato dall'indagine epidemiologica recentemente eseguita dall'Università degli Studi di Perugia e riferita alle situazioni relative allo sullo stato della salute degli abitanti della Conca Ternana e ai bacini idrici del territorio.

Fabio Paparelli Assessore provinciale all'Ambiente

	INDICE	53	
		53	
		58	
		59	
		59	
		61	
7	1. Premessa	59	5
9	2. L'Osservatorio "Federico Cesi"	72	
10	3. Gli strumenti dell'Osservatorio	74	7
11	3.1. Termometri	74	
12	3.2. Barometri	76	
13	3.3. Pluviometri		
14	3.4. Igrometri	78	8
16	3.5. Anemometri		
17	4. I dati dell'Osservatorio		
17	4.1. Presentazione dei dati		
18	4.2. Analisi dei dati		
18	4.3. Stima del trend		
19	4.4. Serie delle precipitazioni (pioggia e neve)		
19	4.4.1. Precipitazioni		
24	4.4.2. Giorni di pioggia		
28	4.4.3. Intensità media		
32	4.4.4. Giorni consecutivi di pioggia e di siccità		
35	4.4.5. Neve		
36	4.4.6. Trend		
40	4.5. Serie delle temperature		
40	4.5.1. Temperature medie, minime e massime		
46	4.5.2. Escursione termica		
46	4.5.3. Trend		

- 4.6. Serie della pressione atmosferica
 4.6.1. Pressione
 4.6.2. Trend
 4.7. Serie delle misure di vento
 4.7.1. Direzione di provenienza del vento
 4.7.2. Velocità del vento
- 5. Conclusioni
- 6. Il meteo a Terni in pillole
- 7. Appendici 7.1. Appendice A 7.2. Appendice B
 - 8. Bibliografia

1. Premessa

L'osservazione dei fenomeni atmosferici ha sempre attirato l'attenzione dell'uomo; fin dai primordi tali fenomeni hanno suscitato un senso di ammirazione e paura. Solo poco alla volta, superando l'istintivo timore e stupore, l'uomo ha scoperto che alcuni fenomeni sono soggetti a relazioni costanti, altri sono vincolati da periodicità, altri sono causali e, con la sua intelligenza, ha cercato di razionalizzare con leggi le cause dei fenomeni atmosferici. Questa premessa giustifica le iniziative che si sono moltiplicate nel corso della storia dell'uomo, il quale, quando non possedeva strumenti che potessero fornire misure, cercò di dare una descrizione di quanto si manifestava.

Attraverso l'analisi dei dati meteorologici rilevati presso l'Osservatorio "Federico Cesi" dal 1953 al 2002 si cercherà di effettuare la caratterizzazione climatica e meteorologica della città di Terni. Un lavoro di questo tipo riveste un'importanza fondamentale in tutti gli studi ambientali che considerano la componente atmosferica, come ad esempio l'analisi dell'inquinamento dell'aria.

L'evoluzione temporale su una lunga scala dei parametri meteorologici è necessaria a quantificare i cambiamenti climatici, i cui effetti si ripercuotono sia sugli ecosistemi sia in diversi settori economici, a scala globale e, maggiormente, a scala locale. L'aumento della temperatura media superficiale della Terra che si osserva a partire dalla fine del 1800, ovvero quando lo sviluppo industriale ha portato all'immissione massiccia in atmosfera di gas ad effetto serra (principalmente anidride carbonica e metano), rappresenta la manifestazione più nota dei cambiamenti climatici. Tra le principali conseguenze del riscaldamento globale viene comunemente indicato l'aumento della frequenza dei fenomeni estremi quali precipitazioni intense, siccità e tempeste, che hanno un forte impatto sulla produzione agricola, sulla stabilità del territorio (l'Italia è particolarmente sensibile dal punto di vista del rischio idro-geologico) e, più in generale, su vari settori dell'economia (ad esempio nel settore bancario, assicurativo, energetico).

Va però chiarito che una climatologia a finalità multiple è un'opera ambiziosa e complessa, poiché le esigenze di conoscenza del clima di varie attività umane (come l'agricoltura, il commercio, i trasporti, l'inquinamento, le attività sportive, il riscaldamento domestico, ecc.) richiedono elaborazioni statistiche del tutto diversificate. Questo rapporto e le procedure di organizzazione ed elaborazione dei dati sono state ispirate soprattutto dalla necessità di rendere semplice la fruizione da parte di chiunque, anche non esperto di meteorologia, dei risultati ottenuti.

Crediamo che cinquant'anni di dati siano sufficienti per caratterizzare la città di Terni da un punto di vista meteo-climatico. Siamo altresì sicuri che cinquant'anni siano un periodo molto lungo nella scala temporale della memoria umana. Spesso sentiamo dire: "Un'estate così non si è mai vista", oppure "Non è mai stato tanto freddo". Ma sarà il clima che cambia o siamo noi? Forse il tempo "cronologico" che passa modifica la nostra percezione del tempo "meteorologico"?

Speriamo che questo lavoro possa aiutare chiunque sia interessato a capire i tratti principali del clima a Terni e le sue modificazioni durante gli ultimi 50 anni.

2. L'Osservatorio "Federico Cesi"

L'Osservatorio "Federico Cesi" è tra i più antichi osservatori del centro Italia. Già nell'agosto del 1952, l'ingegnere Carmine Agneta (preside) e il professor Salvatore Pignataro, docente di fisica dell'Istituto Commerciale e per Geometri "Federico Cesi", iniziavano, in questa sede, regolari osservazioni atmosferiche, prima a carattere didattico come laboratorio sperimentale di fisica e poi fondando il primo Osservatorio Meteorologico Ternano.

Il primo osservatore è stato il professor Gailito Broussard, che si è occupato dell'Osservatorio dalla data di fondazione al 1972, avvalendosi della collaborazione di Gildo Mirimao e Primo Giardinieri; quest'ultimo, dal 1972 al 1994, gestirà l'Osservatorio connesso alle attività scolastiche.

Dal 1995, per opera dell'ingegnere Alessandro Canali, l'Osservatorio viene gestito dall'Amministrazione Provinciale di Terni, che ne fa elemento essenziale della rete di monitoraggio ambientale, e affida la gestione e le osservazioni meteo a Franco Carpine.

Terni vista dall'Osservatorio: in primo piano sulla destra il campanile della chiesa di San Francesco e, sullo sfondo, Collescipoli.



3. Gli strumenti dell'Osservatorio

L'Osservatorio "Federico Cesi" è situato in via I Maggio a Terni.

All'Osservatorio si accede salendo sulla terrazza del liceo scientifico "Galileo Galilei", ad un'altezza di 148,58 metri s.l.m. Le sue coordinate geografiche sono: 42° 33′ 56" latitudine Nord e 12° 38′ 50" longitudine Est da Greenwich.

L'attuale Osservatorio è dotato sia di una strumentazione elettronica. L'architettura della parte meccanica della stazione è la seguente. Una capannina in legno dipinto di colore bianco (per riparare gli strumenti dalla radiazione solare diretta), dotata di fessure per assicurare la circolazione dell'aria e posta al di sopra di una superficie erbosa, contiene un termoigrografo, un termometro a minima e un termometro a massima; a due metri dalla capannina è situato il pluviografo; all'interno di una stanza in prossimità della capannina sono posti il barometro di Fortin, il barografo ed il termografo. I dati registrati dagli strumenti fin qui descritti vengono rilevati da un osservatore tre volte al giorno (alle ore 8, 14 e 19) e riportati su un apposito registro.

La strumentazione elettronica è composta da otto sensori che misurano: direzione del vento, velocità del vento, temperatura, umidità, precipitazione, radiazione globale, calcolo logico della durata delle ore sole e pressione atmosferica. La suddetta strumentazione è collegata ad una stazione automatica di acquisizione dati che trasmette i valori registrati al centro di ricezione, dove i dati vengono validati ed elaborati.

L'acquisizione da parte degli strumenti elettronici è cominciata a metà del 1996. Da qualche anno i dati raccolti vengono registrati su un computer, in modo da poter effettuare rapide elaborazioni ed essere facilmente consultabili.

All'interno di una Stazione Meteorologica si trovano tutti gli strumenti necessari ed indispensabili per poter osservare il tempo ed elaborare statistiche e previsioni, ovvero termometri, barometri, pluviometri, igrometri ed anemometri, di cui di seguito si dà una breve descrizione.

3.1. TERMOMETRI

I termometri sono gli strumenti più comuni in circolazione: quasi tutti, infatti, possediamo in casa un misuratore di temperatura. Nella maggior parte dei casi esso consiste in un tubo trasparente, dotato di una scala graduata, che finisce in un piccolo bulbo dove è raccolto il liquido sensibile alle variazioni di temperatura, che può essere mercurio o alcool; il liquido sale e scende all'interno del tubo a seconda dell'aumento o della diminuzione della temperatura.

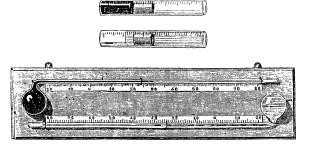
I termometri in dotazione alla stazione sono tre: il termometro a minima, il termometro a massima ed il termografo a tubo di Bourdon, alloggiati nella capannina.

Il *termometro a minima* è un termometro ad alcool, formato da un capillare al cui interno si trova un indice che serve per l'indicazione della temperatura minima. Quando la temperatura sale, il liquido oltrepassa l'indice senza spostarlo. Se invece la temperatura diminuisce l'indice viene spinto verso il bulbo dalla depressione che si crea nel capillare e si arresta nel punto di minima.

Il termometro a massima è un termometro a mercurio, costituito da un capillare che termina in fondo con un bulbo che contiene il metallo; in vicinanza del bulbo il capillare ha una strozzatura. Quando la temperatura aumenta, il mercurio passa attraverso la strozzatura, mentre quando la temperatura diminuisce il liquido non

riesce più a passare ed in questo punto si interrompe il mercurio. In questo modo l'estremità della colonna indica la temperatura massima raggiunta.

Il termografo a tubo di Bourdon è un termografo meccanico, che registra l'andamento nel tempo della tempeTermometro a massimi ed a minini (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).



ratura mediante un pennino. Il sensore della temperatura è un tubo metallico curvo con sezione ellissoidale molto appiattita, riempito di alcool; un sistema di leve, che amplifica i cambiamenti di volume del sensore, muove il pennino che registra l'andamento su un'apposita carta diagrammale.

3.2. BAROMETRI

I barometri sono strumenti che servono per misurare la pressione atmosferica. Si distinguono tre tipi di barometro: quello a mercurio, quello metallico o aneroide e quello aneroide di precisione.

Il barometro a mercurio è stato ideato da Evangelista Torricelli nel 1643; in esso la pressione atmosferica è equilibrata dalla pressione idrostatica di una colonna di mercurio contenuta in una canna di vetro con l'estremità superiore chiusa e quella inferiore immersa in un recipiente, anch'esso riempito di mercurio, in cui il pelo libero è a contatto con l'aria. Il valore della pressione è espresso in base al peso del mercurio.

Il barometro metallico o aneroide sfrutta il principio della deformazione elastica di particolari capsule metalliche vuote di forma tubolare alle quali è fissata una molla collegata a una lancetta che si sposta su un quadrante avente una scala graduata. Con l'aumento della pressione, aumenta lo schiacciamento, mentre con la diminuzione della pressione lo schiacciamento diminuisce, e le superfici della scatola tendono a riprendere la forma primitiva.

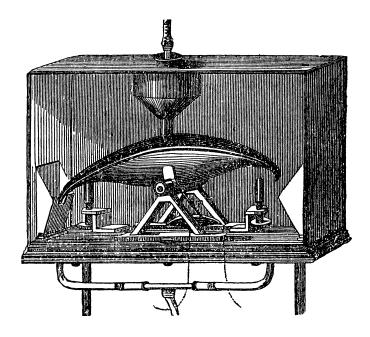
Quando occorre seguire con continuità le variazioni della pressione atmosferica, si fa invece ricorso ai barografi, dei particolari barometri metallici. Nel modello in uso presso le stazioni meteorologiche l'elemento sensibile è formato da una serie di dieci o dodici capsule barometriche, per aumentare l'effetto delle variazioni di pressione; le contrazioni e le espansioni dovute alla pressione atmosferica sono trasmesse, anziché ad una lancetta, ad una punta scrivente, sotto la quale scorre una striscia di carta graduata.

La pressione atmosferica diminuisce al crescere dell'altitudine; per poter confrontare valori di pressione rilevati in stazioni che si trovano a quote diverse, è necessario ridurre tali valori alla "quota zero", ovvero al livello del mare. Il *barometro aneroide di precisione* è un barometro aneroide molto preciso, che permette di ricavare la pressione riferita alla quota zero.

I barometri in dotazione alla stazione sono due: il barometro a mercurio ed il barografo.

3.3. PLUVIOMETRI

Le precipitazioni sono, per definizione, i prodotti, solidi o liquidi, che derivano dalla condensazione del vapore d'acqua e che cadono al suolo, su cui si depositano. Esse comprendono la pioggia, la neve, la grandine,
la rugiada, la brina e la galaverna (o brina gelata).
Gli strumenti utilizzati per la misura delle precipitazioni sono i *pluviometri* o i *pluviografi*, in grado di registrare le misure della quantità delle precipitazioni.
Essi sono costituiti da un imbuto ricevitore che convoglia le precipitazioni raccolte in un sistema ad altalena composto da due vaschette che alternativamente
si riempiono e scaricano il loro contenuto in un recipiente sottostante; attraverso un meccanismo simile
a quello degli orologi, viene mossa una leva che con-



Pluviometro (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).

trolla il movimento di un pennino che registra la misura.

Il pluviografo serve anche per la misura delle precipitazioni nevose che fondono a seguito del riscaldamento dell'imbuto mediante resistenze elettriche controllate da un termostato, necessario ad evitare l'evaporazione dell'acqua di fusione.

La stazione meteo di Terni è dotata di un pluviografo.

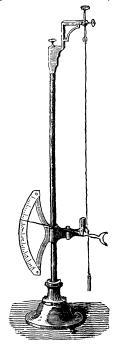
3.4. IGROMETRI

La quantità di vapore acqueo contenuta nell'atmosfera determina il grado di umidità dell'aria. L'umidità può essere espressa in valore assoluto, ovvero con il numero di grammi di vapore d'acqua contenuto in un metro cubo d'aria (umidità assoluta) o in un chilogrammo d'aria (umidità specifica), oppure in percentuale, con il rapporto tra il contenuto effettivo di vapore e quello che si richiederebbe per la saturazione (umidità relativa).

Tra gli strumenti che misurano l'umidità relativa dell'aria troviamo l'igrometro a capello, il cui funzionamento è basato sulla proprietà che hanno i capelli di allungarsi all'aumentare dell'umidità relativa e di accorciarsi quando essa diminuisce. Un piccolo fascio di capelli (solitamente un misto di campioni di vario tipo) viene teso tra un punto fisso e uno mobile, tenuto da una molla. A seconda dell'umidità relativa dei capelli in esame, il punto mobile si sposta e muove, attraverso un sistema di ingranaggi e leve, una lancetta indicatrice davanti ad un quadrante graduato in percentuale di umidità.

Uno strumento molto più preciso è lo *psicrometro* o *igrometro di Assman*. Esso si compone di due termometri, uno detto a "bulbo asciutto" e l'altro detto a "bulbo bagnato". Il termometro a bulbo asciutto è un normale termometro. Quello a bulbo bagnato, invece, è così definito perché il bulbo è avvolto da una garza. L'operazione di lettura della temperatura di rugiada si chiama operazione psicrometrica e consiste nelle seguenti azioni: l'osservatore inumidisce la garza con dell'acqua distillata (priva di impurità). Attraverso una

Igrometro a capello (G. Milani, *Corso elementare di fisica*, Milano 1867-74).



ventola, azionata da una molla o da un motorino elettrico, viene forzata la ventilazione attorno al bulbo bagnato. Lo scopo della ventilazione forzata consiste nel sollecitare l'evaporazione dell'acqua di cui è imbevuta la garza. L'acqua comincia ad evaporare: questo processo comporta un consumo di energia che in questo caso si compie a spese dell'aria che circonda il termometro, che pertanto si raffredda: la colonnina di mercurio comincia a scendere fino a che il processo di evaporazione non termina. A questo punto l'osservatore può leggere due valori di temperatura: uno sul termometro "asciutto", e l'altro sul termometro "bagnato". La temperatura di quest'ultimo fornisce il valore del punto di rugiada. Il "punto di rugiada" indica la temperatura alla quale l'aria raggiunge la saturazione, ovvero un'umidità relativa del 100%. Attraverso il diagramma psicrometrico fornito a corredo dello strumento è possibile ricavare il valore dell'umidità relativa partendo dalle due temperature.

La stazione meteo di Terni è dotata di un *termoigrografo*, che registra simultaneamente la temperatura e l'umidità relativa. Questo strumento è utilizzato in campo meteorologico e in ambienti dove vi sono sistemi di trattamento dell'aria che devono mantenere condizioni costanti (musei, biblioteche). Esso è costituito da una cassetta metallica provvista di una finestrella che permette l'entrata dell'umidità e da una parte trasparente in cui è situato un tamburo girevole avvolto da un foglio di carta millimetrata (che va sostituto ogni giorno o una volta a settimana), sul quale un pennino lascia una traccia.

3.5. ANEMOMETRI

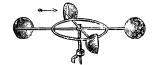
La velocità del vento si misura con l'anemometro a coppe, un dispositivo simile ad un mulinello, composto da tre o quattro bracci, ciascuno portante all'estremità una coppa semisferica. I bracci sono attaccati ad un asse verticale rotante collegato ad un contagiri sul cui quadrante si legge direttamente il numero di giri. Dal momento che la velocità di rotazione del mulinello è proporzionale alla velocità del vento, dal numero

di giri compiuti nell'unità di tempo si risale alla velocità del vento.

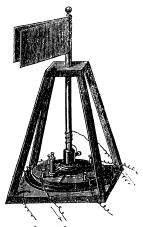
L'anemometro può essere integrato con un dispositivo indicatore della direzione del vento chiamato *anemoscopio*, formato da una semplice banderuola mobile ruotante intorno ad un asse verticale; la posizione assunta dalla stessa per azione del vento è riportata da un indice su un quadrante con la rosa dei venti. Oggi gli strumenti elettronici hanno semplificato la misura del vento, che avviene in continua e registra anche le massime raffiche.

Per problemi causati dall'attrito, la velocità del vento varia sensibilmente entro le prime decine di metri al di sopra del terreno. Per questo motivo si è definita un'altezza standard per i sensori eolici. Per un anemometro su terreno aperto, ovvero lontano da ostacoli, l'altezza standard è di 10 m dal suolo. Misure eseguite ad altezze diverse devono essere corrette per convertire tali dati all'altezza standard.

L'anemometro e l'anemoscopio sono parte integrante della strumentazione con cui è equipaggiata la stazione meteo di Terni.



Anemometro a coppe (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).



Banderuola (G. Milani, Corso elementare di fisica, Milano 1867-74).

4. I DATI DELL'OSSERVATORIO

4.1. Presentazione dei dati

Le osservazioni si riferiscono alle misure di temperatura, precipitazioni (pioggia e neve), pressione atmosferica, direzione ed intensità del vento, disponibili a partire dal 1953; la serie delle misure di vento si riferisce alle osservazioni registrate a partire dal 1997 dalla stazione meteo automatica, installata nella metà del 1996. La nostra analisi termina con l'anno 2002.

La serie storica delle precipitazioni include la quantità di pioggia caduta complessivamente in ciascun mese, espressa in mm (per la definizione vedere l'Appendice A), il numero di giorni di pioggia registrati in ogni mese, la quantità massima di pioggia caduta in un'ora ed in 24 ore (in mm) per ogni anno, il periodo più lungo di giorni di pioggia e di siccità in ogni anno. Le serie storica delle temperature comprende i valori medi mensili della temperatura media, minima e massima, i valori medi mensili delle temperature minima e massima assolute, i valori estremi delle temperature minima e massima assolute. Tutte le temperature sono espresse in °C.

La serie storica della pressione atmosferica è costituita dai valori medi mensili della pressione media, minima e massima, espressi in hPa (per la definizione di hPa si veda l'Appendice A).

Il numero di osservazioni per ciascun parametro meteorologico delle serie suddette è 600, ovvero 12 valori l'anno per 50 anni.

La serie delle misure del vento è formata dai valori istantanei mediati su 15 minuti dell'intensità del vento (espressa in metri al secondo) e della direzione di provenienza, espressa in gradi, a partire dallo zero che coincide con il Nord. Il numero totale di osservazioni di intensità e direzione del vento è 208.989, ovvero 4 valori l'ora per un numero di ore pari a circa 52.247 nei 6 anni!

4.2. ANALISI DEI DATI

Le serie dei parametri meteorologici sono state analizzate esaminando il loro comportamento nei cinquanta anni e calcolando le medie mensili e stagionali. Ad ogni valore della media è associata la sua deviazione standard (per la definizione vedere l'Appendice A). In alcuni casi si è ritenuto necessario introdurre nuove grandezze a partire dai parametri misurati. Al fine di evidenziare eventuali variazioni dei suddetti parametri nel tempo, sono stati elaborati i calcoli dei trend, illustrati nel paragrafo successivo.

Le analisi delle serie di dati meteorologici verranno presentate secondo il seguente ordine: 1) serie delle precipitazioni; 2) serie delle temperature; 3) serie della pressione; 4) serie delle misure di vento.

4.3. STIMA DEI TREND

Con il termine "trend" ci si riferisce ad una tendenza, ovvero ad una variazione che si manifesta a lungo termine in un dato intervallo di tempo; questa variazione nel tempo può corrispondere ad un aumento (trend positivo) o ad una diminuzione (trend negativo). Quando si applica il concetto di tendenza alla serie storica di un parametro meteorologico, come la temperatura o la precipitazione, innanzi tutto si deve verificare che la serie sia sufficientemente lunga e che essa sia omogenea. Nel caso delle serie storiche di dati meteo di Terni la condizione di lunghezza è pienamente soddisfatta, trattandosi di 50 anni di valori medi mensili, senza salti, per un totale di 600 dati.

L'omogeneità di una serie storica riguarda la presenza di valori che si discostano per un certo intervallo di tempo da quelli che li precedono o li seguono: la disomogeneità di una serie può essere causata, ad esempio, dalla rilocalizzazione, dalla calibrazione o dalla sostituzione di uno strumento, che non ha necessariamente la stessa risposta del precedente, da diverse metodologie di osservazione, da modificazioni ambientali. L'omogeneità delle serie dei parametri meteo di Terni e l'eventuale presenza di un trend è stata verifi-

cata attraverso un apposito test, detto di Mann-Kendall. Nel caso in cui il test di Mann-Kendall abbia dato un esito positivo (esistenza del trend), il metodo di Sen è stato applicato, per una stima quantitativa del trend (per una descrizione del test di Mann-Kendall e del metodo di Sen si veda l'Appendice B).

I trend mensili e stagionali verranno presentati in tabelle che hanno la struttura delle tabelle 4.3.1a e 4.3.1b, in cui saranno riportati la miglior stima del trend (con segno) e la variabilità entro il limite inferiore e superiore. Ad esempio, il trend della temperatura media in estate è di $+(0.41\pm0.18)$ °C/decennio: questo vuol dire che il trend "reale" è compreso tra +0.23 (ovvero 0.41-0.18) e +0.59 (ovvero 0.41+0.18) °C/decennio, essendo +0.41 °C/decennio la stima migliore.

Per ogni stagione nella Tabella 4.3.1a sono indicati i tre mesi corrispondenti, raggruppati in base alle similitudini nel comportamento climatico.

È da notare la corrispondenza del colore delle celle dei mesi (ad esempio celeste per i tre mesi invernali di dicembre, gennaio e febbraio) e delle stagioni (celeste per l'inverno). In tutti i casi i test sono stati applicati fissando il livello di significatività al 95%.

4.4. SERIE DELLE PRECIPITAZIONI (PIOGGIA E NEVE)

4.4.1. Precipitazioni

In questo paragrafo con la parola "precipitazioni" si indicheranno le precipitazioni di gocce d'acqua, ovvero le piogge, per distinguerle dalla neve, precipitazio-

Tabella 4.3.1a – Schema tipo di presentazione dei trend mensili

Mese				Trend	
Dicembre	Gennaio	Febbraio	valore	valore	valore
Marzo	Aprile	Maggio	valore	valore	valore
Giugno	Luglio	Agosto	valore	valore	valore
Settembre	Ottobre	Novembre	valore	valore	valore

Tabella 4.3.1b – Schema tipo di presentazione dei trend stagionali

Stagione	Trend
Inverno	valore
Primavera	valore
Estate	valore
Autunno	valore

ne di cristalli di ghiaccio, che verrà trattata nel paragrafo 4.4.5.

Il valore medio e la deviazione standard delle precipitazioni totali mensili a Terni sul cinquantennio 1953-2002 sono 76±56 mm. Il valore medio delle precipitazioni totali annuali è di 907±184 mm.

La Figura 4.4.1 rappresenta l'andamento delle precipitazioni totali annuali, ovvero l'ammontare della quantità di pioggia accumulata ogni anno. In essa si possono individuare due periodi in cui le precipitazioni annuali sono state generalmente più scarse rispetto alle media sui cinquanta anni: dal 1967 al 1975 e dal 1988 al 2002.

L'anno con le precipitazioni più abbondanti è stato il 1960 con 1.479,6 mm di pioggia, seguito dal 1965 con 1.265,6 mm. Nel 1960 in tutti i mesi, tranne ad agosto, in cui non è piovuto, si sono avute precipitazioni molto superiori rispetto alla media. L'anno meno piovoso è stato il 1973 con 570 mm, seguito dal 2001 con 583,6 mm.

Nella Tabella 4.4.1 sono riportate le precipitazioni totali mensili mediate su cinquanta anni per ogni mese; inoltre, vengono mostrati i valori delle precipitazioni massime e minime osservate su tutto il periodo per ciascun mese, insieme all'anno (o agli anni) in cui sono state registrate.

Il mese più piovoso sui cinquanta anni studiati è sta-

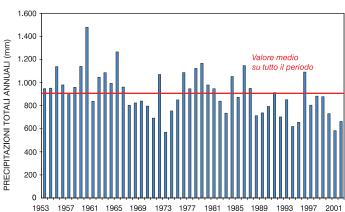


Figura 4.4.1 – Andamento delle precipitazioni totali annuali nel cinquantennio 1953-2002

Tabella 4.4.1 – Precipitazioni medie mensili con deviazione standard, precipitazione massima e minima

Precipita- zioni (mm)	Media	Massima		Min	Minima	
	Valore	Valore	Anno	Valore	Anno	
Gennaio	62,1±39,3	149,4	1970	2,4	1993	
Febbraio	70,8±45,9	182,0	1955	5,6	1993	
Marzo	67,4±45,0	184,6	1960	0,0	1953 1994	
Aprile	83,1±45,1	189,8	1956	17,4	1955 1985	
Maggio	73,8±40,5	200,4	1957	0,6	1979	
Giugno	66,4±42,8	178,4	1986	10,4	1962	
Luglio	34,4±34,3	197,0	1986	0,0	1965 1984 1985	
Agosto	53,5±44,2	189,0	1953	0,0	1956 1957 1960 1971	
Settembre	88,4±77,0	431,2	1965	0,0	1980	
Ottobre	100,2±65,1	245,8	1964	0,0	1965	
Novembre	116,8±69,6	313,4	1962	8,6	1981	
Dicembre	90,1±55,0	217,6	1959	6,2	1974	

to il settembre 1965 con 431,2 mm, seguito dal novembre 1962 con 313,4 mm.

La deviazione standard delle medie ci dà informazioni sulla variabilità dei singoli valori intorno alla media. La deviazione standard maggiore si ha nei mesi caratterizzati da una precipitazione più abbondante, cioè settembre, ottobre, novembre e dicembre, come si può vedere nella Tabella 4.4.2. Se però si guarda alla deviazione standard come alla variazione percentuale rispetto al valore medio si vede che essa è maggiore nei mesi estivi. Ad esempio, a luglio la deviazione percentuale è del 100%, mentre è del 65% a novembre e del 54% ad aprile. Se ne può quindi concludere che

Tabella 4.4.2 – Precipitazione media mensile e relativa deviazione standard

Mese	Media (mm)	Deviazione standard (mm)	Deviazione standard (%)
Gennaio	62,1	39,3	63
Febbraio	70,8	45,9	65
Marzo	67,4	45,0	67
Aprile	83,1	45,1	54
Maggio	73,8	40,5	55
Giugno	66,4	42,8	64
Luglio	34,4	34,3	100
Agosto	53,5	44,2	83
Settembre	88,4	77,0	87
Ottobre	100,2	65,1	65
Novembre	116,8	69,6	60
Dicembre	90,1	55,0	61

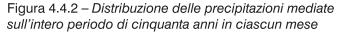
questa grandezza percentuale può essere un indicatore della variabilità del fenomeno.

La Figura 4.4.2 riporta la distribuzione mensile delle precipitazioni medie ricavata dalla Tabella 4.4.1. Si osserva che il mese mediamente più piovoso è novembre (116,8 \pm 69,6 mm/anno), seguito da ottobre (100,2 \pm 65,1 mm/anno), mentre il mese meno piovoso è luglio (34,4 \pm 34,3 mm/anno), seguito da agosto (53,5 \pm 44,2 mm/anno).

Un'analisi simile alla precedente è stata elaborata anche su base stagionale.

La Tabella 4.4.3 mostra le precipitazioni medie, massime e minime stagionali, con gli anni in cui sono state registrate. I dati evidenziano che in media le precipitazioni invernali si equivalgono a quelle primaverili, che l'estate è la stagione più secca e l'autunno quella più piovosa.

La Figura 4.4.3 mostra la distribuzione stagionale delle precipitazioni medie annuali ricavata dalla Tabella 4.4.3. Dai grafici delle distribuzioni mensili e stagionali si può concludere che il regime pluviometrico os-



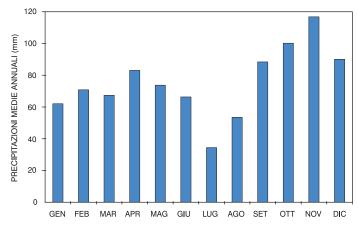


Tabella 4.4.3 – Precipitazioni medie, massime e minime stagionali

Precipita- zioni (mm)	Media	Massima		Minima	
	Valore	Valore	Anno	Valore	Anno
Inverno	223,0±90,5	69,0	1974	451,4	1963
Primavera	224,5±72,0	88,4	1973	418,4	1960
Estate	154,3±78,8	20,6	1962	392,8	1953
Autunno	305,4±121,0	101,6	1970	624,6	1965

Figura 4.4.3 – Distribuzione stagionale delle precipitazioni totali

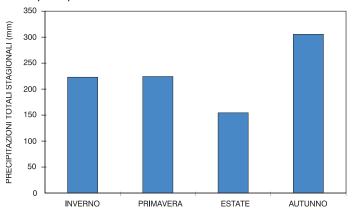


Tabella 4.4.4a –
Distribuzione mensile
del numero di casi
in cui si registrano le
precipitazioni minima
e massima

Precipita- zioni (mm)	Mini- ma	Mas- sima
Gennaio	8	2
Febbraio	3	2
Marzo	5	0
Aprile	1	4
Maggio	3	2
Giugno	2	1
Luglio	8	1
Agosto	9	2
Settembre	4	9
Ottobre	2	5
Novembre	3	14
Dicembre	2	8

Tabella 4.4.4b –
Distribuzione stagionale
del numero di casi
in cui si registrano le
precipitazioni minima
e massima

Precipita- zioni (mm)	Mini- ma	Mas- sima
Inverno	13	12
Primavera	9	6
Estate	19	4
Autunno	9	28

servato è tipico della regione del mar Mediterraneo, con precipitazioni più abbondanti nei mesi autunnali è minime nei mesi estivi.

La stagione più piovosa è stata l'autunno 1965, con precipitazioni totali (624,6 mm) più che doppie rispetto alla media sui 50 anni (305,4 mm). La stagione meno piovosa è stata l'estate 1963, con una precipitazione totale di 20,6 mm, a fronte di una media di 154,3 mm. La Tabella 4.4.4 mostra il numero di casi in cinquanta anni in cui si sono registrate le precipitazioni minime e massime in ogni mese (Tabella 4.4.4a) e in ogni stagione (Tabella 4.4.4b): le precipitazioni minime si sono avute nella maggior parte dei casi ad agosto (9 volte), a luglio e a gennaio (8 volte); invece, la distribuzione mensile delle precipitazioni più abbondanti ha un massimo a novembre (14 casi) e un minimo a marzo (0 casi).

Se si prendono in considerazioni le stagioni, l'autunno presenta il maggior numero di casi in cui le precipitazioni accumulate sono massime, mentre l'estate è la stagione in cui più volte si verificano le precipitazioni minime.

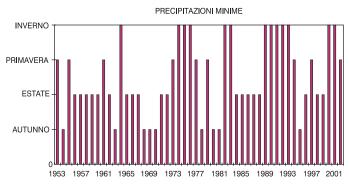
I grafici in Figura 4.4.4 mostrano la stagione in cui si è registrata la precipitazione minima e massima in ogni anno. Si è contato il numero di casi in cui la precipitazione minima e massima si è verificata in ciascuna stagione, dividendo i cinquanta anni in due intervalli temporali di venticinque anni: quello 1953-1977 e quello 1978-2002 (Tab. 4.4.5).

I dati mostrano che mentre nel primo periodo le precipitazioni minime si verificavano maggiormente nei mesi estivi (11 casi), nel secondo periodo la stagione in cui più spesso si ha il minimo delle precipitazioni è l'inverno (9 casi, ovvero 5 volte in più rispetto al periodo 1953-1977). Questo potrebbe suggerire che il clima della città sta andando verso inverni più secchi. Nonostante questa variazione l'autunno è per entrambi i periodi la stagione in cui si verifica la massima precipitazione.

4.4.2. Giorni di pioggia

Per giorno di pioggia si intende un giorno in cui la precipitazione registrata è superiore a 0,2 mm.

Figura 4.4.4 – Stagioni nelle quali si registra la precipitazione minima (grafico in alto) e la precipitazione massima (grafico in basso) in ogni anno



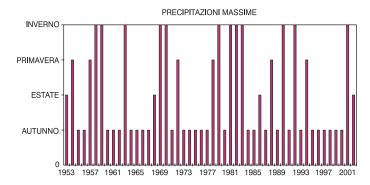


Tabella 4.4.5 – Distribuzione del numero di casi in cui si registrano le precipitazioni minima e massima in ciascuna stagione nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Precipitazioni (mm)	Minima		Mass	sima
	1953- 1977	1978- 2002	1953- 1977	1978- 2002
Inverno	4	9	5	7
Primavera	5	4	3	3
Estate	11	8	2	2
Autunno	5	4	15	13

Tabella 4.4.6a – Distribuzione mensile del numero di giorni di pioggia (media e deviazione standard)

Mese	Giorni di pioggia
Gennaio	8,8±4,1
Febbraio	8,4±3,9
Marzo	8,9±4,3
Aprile	11,1±3,9
Maggio	9,1±4,4
Giugno	7,1±3,0
Luglio	4,3±2,7
Agosto	4,9±3,3
Settembre	6,7±3,5
Ottobre	8,2±4,2
Novembre	10,7±4,4
Dicembre	9,6±4,4

Nel periodo 1953-2002 il numero medio di giorni di pioggia in un mese è di $8,2\pm4,3$, mentre in un anno è di $97,8\pm15,3$.

La Figura 4.4.5 riporta l'andamento del numero di giorni di pioggia in ogni anno durante i cinquanta anni: l'anno con il numero più alto di giorni di pioggia è il 1976 (130 giorni), seguito dal 1978 (127 giorni); gli anni con il numero minore di giorni di pioggia sono il 1953 e 1956 (67 giorni).

La Tabella 4.4.6 contiene la distribuzione mensile (Tab. 4.4.6a) e stagionale (Tab. 4.4.6b) dei giorni di pioggia, riportate rispettivamente nelle Figure 4.4.6 e 4.4.7: i dati rappresentano le medie e le deviazioni standard sul cinquantennio.

Aprile risulta essere il mese con il maggior numero di giorni di pioggia (11,1 giorni/anno), seguito da novembre (10,7 giorni/anno). I mesi con il numero minore di giorni di pioggia sono luglio (4,3 giorni/anno) ed agosto (4,9 giorni/anno).

Nella Figura 4.4.8 il numero di giorni di pioggia viene messo in relazione al valore della precipitazione per tutti i mesi del periodo 1953-2002. Come si può notare, il comportamento medio (individuato dalla linea blu) indica un aumento delle precipitazioni al crescere del numero di giorni di pioggia, come ci si aspetta. Inoltre, ci sono casi che si discostano dal comportamento medio: in alcuni mesi si sono registrati pochi giorni di precipitazione con una quantità totale di pre-

Tabella 4.4.6b – Distribuzione stagionale del numero di giorni di pioggia (media e deviazione standard)

Stagione	Giorni di pioggia
Inverno	8,9±4,1
Primavera	9,7±4,3
Estate	5,4±3,2
Autunno	8,6±4,4

Figura 4.4.5 – Andamento del numero di giorni di pioggia in ogni anno nel cinquantennio 1953-2002

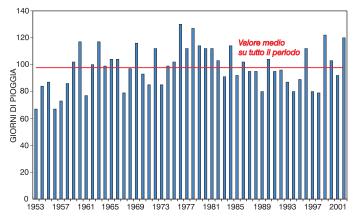


Figura 4.4.6 – Distribuzione mensile del numero di giorni di pioggia

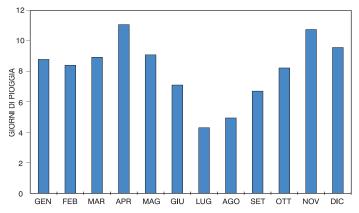


Figura 4.4.7 – Distribuzione stagionale del numero di giorni di pioggia

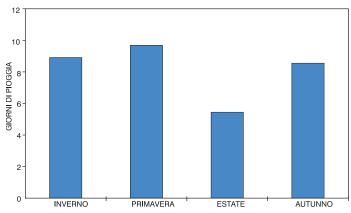
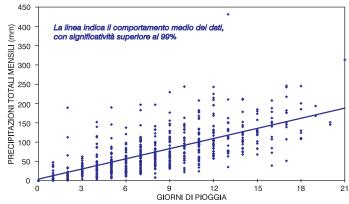


Figura 4.4.8 – Precipitazioni totali mensili in funzione del numero di giorni di pioggia



cipitazione; questi casi sono caratterizzati, come verrà spiegato meglio nel paragrafo successivo, da un'alta intensità di precipitazione.

4.4.3. Intensità media

Per ogni mese è stata definita l'intensità media (ovvero la quantità media di precipitazione al giorno) come rapporto tra la precipitazione totale mensile e il numero di giorni di pioggia.

La Figura 4.4.9 mostra l'andamento nel periodo 1953-2002 dell'intensità mensile mediata su ogni anno. Dal grafico appare chiaro come l'intensità sia diminuita dal 1953 fino al 1973; nel periodo successivo, invece, non si evidenzia una crescita o una diminuzione, come verrà discusso in maggiore dettaglio nel paragrafo relativo ai trend.

I valori mensili dell'intensità media, con le deviazioni standard, sono riportati nella Tabella 4.4.7 e nella Figura 4.4.10, insieme ai valori più alti registrati in ciascun mese.

La distribuzione mensile dell'intensità media ha un massimo a settembre (12,3 mm/giorno), seguito da agosto (11,9 mm/giorno). Questo si può spiegare considerando l'intensità dei fenomeni estivi: i temporali che si verificano soprattutto ad agosto e settembre, con lo sviluppo di nubi di origine convettiva, sono fenomeni limitati temporalmente, ma danno luogo a in-

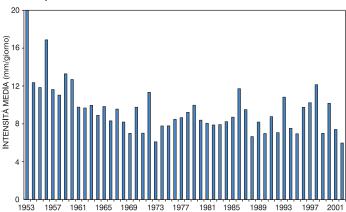
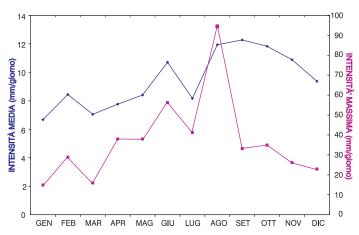


Figura 4.4.9 – Andamento dell'intensità media annuale nel cinquantennio 1953-2002

Tabella 4.4.7 – Intensità media (con deviazione standard) e valore più alto per ciascun mese

Intensità (mm/giorno)	Media	Valore più alto
Gennaio	6,7±0,5	14,9
Febbraio	8,4±0,6	28,9
Marzo	7,1±0,5	16,0
Aprile	7,8±0,7	38,0
Maggio	8,4±0,8	38,0
Giugno	10,7±1,3	56,2
Luglio	8,2±1,1	41,2
Agosto	11,9±2,1	94,5
Settembre	12,3±0,9	33,2
Ottobre	11,8±0,9	34,9
Novembre	10,9±0,7	26,1
Dicembre	9,4±0,6	22,9

Figura 4.4.10 – Distribuzione mensile dell'intensità media e del valore più alto del periodo 1953-2002



tense precipitazioni. Una simile distribuzione mensile è tipica del regime pluviometrico del Mediterraneo. Il picco più alto dell'intensità corrisponde all'agosto 1953 (94,5 mm/giorno), seguito dal giugno 1956 (56,2 mm/giorno) e dal luglio 1953 (41,2 mm/giorno); nell'agosto 1953, infatti, in due giorni caddero ben 189 mm di pioggia e 112 mm nel giugno 1956.

Le precipitazioni massime registrate in 24 ore (ovvero l'intensità massima) per ogni singolo anno possono raggiungere dei valori di molto superiori alle medie. La Tabella 4.4.8 mostra i valori registrati delle precipitazioni massime in un'ora e in 24 ore per ogni anno del periodo 1953-2002, insieme al giorno e al mese corrispondenti. L'ultima colonna riporta l'intensità media del mese in cui si ha l'intensità massima.

Nel cinquantennio ci sono stati 13 casi in cui la precipitazione massima registrata in 24 ore è stata superiore a 70 mm (che, per fare un paragone, è il valore della precipitazione media di febbraio) e 5 casi in cui la precipitazione è stata superiore a 100 mm (la precipitazione media di ottobre).

La precipitazione massima in un'ora si registra principalmente nei mesi di agosto e settembre, ovvero

Tabella 4.4.8 – Precipitazione massima registrata in un'ora e giorno corrispondente. Precipitazione massima registrata in 24 ore, giorno corrispondente e intensità media del mese corrispondente

Anno	Massima in un'ora	Giorno / mese	Massima in 24 ore	Giorno / mese	Intensità media
1953	50,0	27/8	108,2	27/8	94,5
1954	37,0	3/3	104,8	1/3	16,0
1955	43,4	6/8	46,0	6/8	16,3
1956	40,0	2/11	71,8	2/11	18,9
1957	43,0	2/10	104,5	2/10	28,1
1958	16,0	5/4	45,0	12/11	14,4
1959	36,0	27/6	76,0	28/10	34,9
1960	48,4	17/9	85,6	17/9	24,4
1961	20,3	3/2	64,8	7/10	20,3
1962	20,0	17/9	88,2	15/11	14,9
1963	44,8	7/8	46,0	18/8	23,9
1964	20,0	18/6	65,2	28/6	16,1

(segue)

segue Tabella 4.4.8 – Precipitazione massima registrata in un'ora e giorno corrispondente. Precipitazione massima registrata in 24 ore, giorno corrispondente e intensità media del mese corrispondente

1965	66,2	28/9	138,3	28/9	33,2
1966	34,8	16/6	36,8	25/10	18,7
1967	27,0	4/9	46,8	9/11	16,4
1968	34,0	18/1	51,8	18/12	10,6
1969	22,4	24/8	47,0	24/8	12,3
1970	32,2	9/8	42,6	15/1	11,5
1971	19,6	13/9	37,6	10/11	14,1
1972	18,0	9/9	71,8	9/9	10,3
1973	37,0	22/9	41,0	14/10	9,0
1974	24,0	24/9	59,8	24/9	16,3
1975	30,0	17/11	103,4	17/11	16,3
1976	48,6	1/9	73,4	1/9	16,4
1977	26,0	8/8	50,6	21/7	7,6
1978	17,6	25/8	66,2	3/10	20,5
1979	24,4	5/6	63,4	24/9	16,6
1980	30,0	9/10	51,9	9/10	15,3
1981	22,0	4/9	47,0	4/9	14,7
1982	21,4	29/8	73,0	22/12	17,9
1983	19,0	19/8	36,0	10/2	10,3
1984	30,0	22/9	69,8	26/1	5,3
1985	30,8	26/8	61,4	31/10	14,6
1986	30,0	19/7	58,4	13/6	12,7
1987	19,2	25/8	56,2	24/11	14,3
1988	28,0	13/10	45,0	13/10	12,4
1989	25,0	4/11	52,0	4/11	16,3
1990	51,6	21/6	51,6	21/6	8,7
1991	30,0	26/9	76,6	26/9	15,3
1992	24,0	4/12	52,0	5/12	17,7
1993	33,0	24/6	38,8	22/10	10,2
1994	21,0	25/8	41,6	25/8	12,6
1995	31,0	20/9	35,4	20/9	8,7
1996	29,4	1/9	52,2	20/11	15,0
1997	56,6	14/9	74,8	2/6	15,3
1998	26,2	6/10	63,8	6/10	25,5
1999	33,8	28/9	60,0	28/9	7,9
2000	34,0	31/8	46,6	31/8	47,6
2001	23,6	31/8	31,2	30/1	8,7
2002	39,0	27/9	49,8	27/8	14,0

quando si verificano i temporali "di calore", fenomeni locali innescati da un'intensa radiazione solare che riscalda la superficie e quindi tipici della stagione estiva. L'aria caldo-umida sale verso l'alto, favorita dalle correnti ascensionali dovute al riscaldamento delle pendici dei monti; a quote elevate l'aria si raffredda e il vapore acqueo condensa formando la nube e dando luogo alla pioggia o alla grandine, a seconda della temperatura della nube. Le conseguenze di questi fenomeni temporaleschi possono essere danni per l'agricoltura e, spesso, allagamenti.

Si definisce "nubifragio" un fenomeno piovoso con intensità superiore a 60 mm/ora. Il 28 settembre 1965 a Terni si verificò un nubifragio: in un'ora caddero 66,2 mm di pioggia e nell'intera giornata 138,3 (i valori più alti registrati in 50 anni), ovvero più di quanto piove mediamente nel mese di novembre. Le cronache del tempo riferiscono di allagamenti e dell'esondazione del torrente Serra ai danni dei terreni circostanti.

Per fare un confronto con episodi di precipitazioni particolarmente intense che, per le devastazioni apportate, sono rimasti nella storia, ricordiamo che durante l'alluvione di Firenze tra il 3 e 4 novembre 1966 caddero tra gli 180 e i 200 mm di pioggia in 24 ore, mentre a causare la tragedia del Sarno furono circa 150 mm di pioggia che caddero tra il 4 e il 5 maggio 1998.

4.4.4. Giorni consecutivi di pioggia e di siccità

La serie più lunga di giorni consecutivi di pioggia si è avuta tra il 22 aprile e il 7 maggio 1974 (16 giorni) con una precipitazione totale di 160 mm, che equivale a 10 mm/giorno.

La Tabella 4.4.9 mostra il numero di casi in cui si è osservato il periodo più lungo di giorni consecutivi di pioggia per ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. La primavera è la stagione in cui si sono verificati più casi.

La serie più lunga di giorni consecutivi di pioggia in cui si è avuta la precipitazione massima si è registrata dal 22 aprile al 7 maggio 1974 (16 giorni).

Tabella 4.4.9 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di pioggia in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	13	5	8
Primavera	19	8	11
Estate	5	4	1
Autunno	13	6	7

La Tabella 4.4.10 riporta il numero di casi osservati di giorni consecutivi di pioggia con la massima precipitazione in ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. La stagione con il maggior numero di casi in tutti i periodi considerati è l'autunno.

Dall'esame delle Tabelle 4.4.9 e 4.4.10 si può osservare che in ciascuna stagione il numero di casi nei due periodi 1953-1977 e 1978-2002 non è molto diverso.

La serie più lunga di giorni di siccità (assenza di precipitazioni) si è avuta dal 12 luglio al 21 settembre 1956 (71 giorni).

Il 1956 risulta un anno caratterizzato da un numero tra i più bassi di giorni di pioggia, dal numero più alto di giorni di neve e dal numero più alto di giorni consecutivi di siccità.

Tabella 4.4.10 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di pioggia con la precipitazione massima in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	14	5	9
Primavera	7	4	3
Estate	8	5	3
Autunno	21	9	12

La Figura 4.4.11 mostra le stagioni in cui si è registrato il periodo più lungo di giorni di siccità in ogni anno. Come si può notare, la stagione in cui si verifica il più alto caso di periodi più lunghi di siccità è l'estate.

La Tabella 4.4.11 riporta il numero di casi in cui si verifica il periodo più lungo di giorni consecutivi di siccità per ogni stagione sull'intero periodo 1953-2002 e in due periodi di 25 anni, quello 1953-1977 e quello 1978-2002. In estate si ha il maggior numero di casi in tutti gli intervalli di tempo esaminati.

I risultati mostrano che, mentre in estate e in autunno il numero di casi nei due periodi è praticamente costante, il periodo più lungo di giorni consecutivi di siccità è passato dalla primavera nel 1953-1977 (6 casi contro 1 nel periodo 1978-2002) all'inverno nel 1978-2002 (6 casi contro 1 nel periodo 1953-1977). Queste considerazioni sono in linea con le tendenze

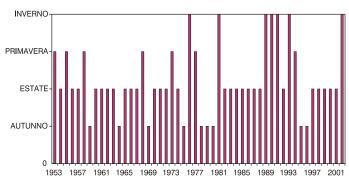


Figura 4.4.11 – Stagioni nelle quali si registra il periodo più lungo di siccità in ciascun anno

Tabella 4.4.11 – Casi in cui si registra il periodo più lungo di giorni di siccità in ciascuna stagione nel cinquantennio 1953-2002 e nei periodi 1953-1977 e 1978-2002

Stagione	1953-2002	1953-1977	1978-2002
Inverno	7	1	6
Primavera	7	6	1
Estate	27	14	13
Autunno	9	4	5

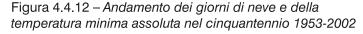
delle precipitazioni minime, che si verificano maggiormente in inverno, determinando quindi inverni complessivamente più secchi.

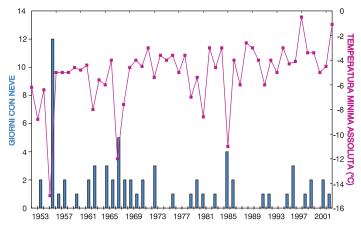
4.4.5. Neve

Le precipitazioni nevose a Terni nel cinquantennio 1953-2002 sono rare: il numero totale di giorni di neve, cioè i giorni in cui si è osservata la caduta della neve, è 65. In base a questa statistica, solo nell'1,4% dei giorni d'inverno si è verificata una nevicata. Su 50 anni, 20 anni non è nevicato.

Nel febbraio 1956 si è verificata un'intensa e prolungata nevicata che ha interessato tutta l'Italia. In quel mese a Terni i giorni con neve sono stati 11. Nel 1967 si sono avuti 5 giorni di neve e nel 1985 4 giorni.

Il confronto tra il numero di giorni di neve e la temperatura minima assoluta, riportato in Figura 4.4.12, mostra che i valori più bassi della temperatura minima si registrano in corrispondenza del numero più elevato di giorni di neve. Dagli appunti dell'osservatore riportati nei registri si è visto che nei periodi di giorni di neve consecutivi si è avuto un accumulo di neve sulla superficie. Infatti, le temperature al suolo molto basse fanno sì che la neve, caduta per alcuni giorni di seguito, non si sciolga ma si congeli, ricoprendo il terreno. Questo fenomeno è favorito da con-





dizioni notturne di cielo sereno, che facilita il raffreddamento del suolo. Inoltre, l'alta capacità del manto nevoso di riflettere la radiazione solare fa sì che durante il giorno il terreno si scaldi in misura minore, favorendo la permanenza della neve.

Riportiamo alcuni esempi. Nel febbraio 1956 la temperatura minima assoluta (-15 °C) si è registrata il giorno 16, dopo 8 giorni consecutivi di neve. Il 10 gennaio 1967 il termometro ha registrato la temperatura minima assoluta di -12 °C, dopo 3 giorni di neve, mentre il 12 gennaio 1985 la temperatura minima di -1 °C si è misurata dopo 4 giorni di neve.

4.4.6. Trend

PRECIPITAZIONI MEDIE

La serie delle precipitazioni totali annuali mostra un trend negativo statisticamente significativo con pendenza $-(57.8\pm31.0)$ mm/decennio.

La precipitazione totale nei primi 25 anni (1953-1977) è stata di 24.653,6 mm, quella negli ultimi 25 anni (1978-2002) è stata di 21.432,1 mm: la diminuzione è stata quindi di 3.221,5 mm, ovvero del 13%.

Trend negativi significativi si trovano nei mesi di febbraio, marzo e giugno (Tab. 4.4.12a).

La serie delle precipitazioni invernali (Tab. 4.4.12b) mostra un trend negativo significativo con pendenza $-(26,6\pm15,0)$ mm/decennio.

Le serie delle precipitazioni primaverili, estive ed autunnali non mostrano un trend significativo.

Questi risultati sono in accordo con quanto trovato in precedenti lavori che hanno esaminato la situazione relativa al bacino del Mediterraneo e all'Italia.

Piervitali et al. [1998] riportano un trend delle preci-

Mese		Trend (mm/decennio)			
Dicembre	Gennaio	Febbraio			-(10,1±9,0)
Marzo	Aprile	Maggio	-(11,1±10,8)		
Giugno	Luglio	Agosto	-(12,7±7,7)		
Settembre	Ottobre	Novembre			

Tabella 4.4.12a – Trend mensili delle precipitazioni medie

Tabella 4.4.12b – Trend stagionali delle precipitazioni medie

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(26,6±15,0)
Primavera	
Estate	
Autunno	

pitazioni annuali nel periodo 1951-1995 di -32 mm/ decennio sul bacino del Mediterraneo centro-occidentale. Brunetti *et al.* [2001] hanno considerato 67 siti italiani, sedi di stazioni di rilevamento dell'Aeronautica Militare, del Servizio Idrografico o dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA), e hanno analizzato i trend delle precipitazioni giornaliere nel periodo 1951-1996, dividendo le stazioni in 6 regioni climatiche. I risultati per il Centro Italia mostrano un trend significativo al 95% in inverno pari a -23,3 mm/ decennio.

I valori dei trend delle precipitazioni invernali in Emilia Romagna nel periodo 1960-1995 sono stati stimati da Tomozeiu *et al.* [2002] e sono di -34 mm/decennio a Imola, -31 mm/decennio a Perino e -27 mm/decennio a Ligonchio (dati del Servizio Idrografico).

Il rapporto Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia (di V. Ferrara [2003] dell'ENEA, Progetto Speciale Clima Globale), basandosi su quanto osservato dalle serie delle precipitazioni nel periodo 1951-1996 riporta una generale diminuzione delle precipitazioni, una riduzione del numero di giorni di pioggia (maggiormente in inverno), un aumento dell'intensità delle precipitazioni e una diminuzione della loro durata.

I trend rilevati in Italia nel periodo 1833-1996 da Buffoni *et al.* [1999] indicano un trend negativo delle precipitazioni annue in tutta la penisola, anche se solo al Sud si ha un livello di significatività del 95%, con un trend di - $(3,7\pm1,8)$ mm/decennio.

Come si può notare, i trend stimati, considerando un periodo più lungo dei cinquanta anni da noi analizzato, risultano sensibilmente inferiori.

PRECIPITAZIONI MASSIME

La serie delle precipitazioni massime annue mostra un trend negativo significativo con pendenza - $(12,7\pm8,4)$ mm/decennio.

La serie delle precipitazioni massime invernali mostra un trend negativo significativo con pendenza - $(11,0\pm8,6)$ mm/decennio (Tab. 4.4.13).

La serie delle precipitazioni massime primaverili non mostra un trend negativo significativo.

La serie delle precipitazioni massime estive mostra un trend negativo significativo con pendenza - (9.6 ± 6.7) mm/decennio.

La serie delle precipitazioni massime autunnali non mostra un trend negativo significativo.

PRECIPITAZIONI MINIME

La serie delle precipitazioni minime annue non mostra un trend significativo.

La serie delle precipitazioni minime invernali mostra un trend negativo significativo con pendenza -(5,9±4,9) mm/decennio (Tab. 4.4.14).

Le serie delle precipitazioni minime primaverili, esti-

Tabella 4.4.13 – Trend stagionali delle precipitazioni massime

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(11,0 ±8,6)
Primavera	
Estate	-(9,6 ±6,7)
Autunno	

Tabella 4.4.14 – Trend stagionali delle precipitazioni minime

Stagione	Trend (mm/decennio)
Inverno	-(5,9 ±4,9)
Primavera	
Estate	
Autunno	

ve e autunnali non mostrano un trend negativo significativo.

GIORNI DI PIOGGIA

La serie dei giorni di pioggia non mostra un trend significativo, se non nel mese di aprile, con un trend positivo di 0,83 giorni di pioggia/decennio. Questo spiega anche che la diminuzione delle precipitazioni totali non è dovuta a una diminuzione del numero di giorni di pioggia, ma a una diminuzione dell'intensità media dei fenomeni.

Brunetti *et al.* [2001] hanno rilevato dei trend negativi significativi per il numero di giorni di pioggia su tutta l'Italia nel periodo 1951-1996, con valori tra - 2,7 giorni /decennio al Nord e -2,3 giorni /decennio al Sud, e trend positivi dell'intensità media tra +0,16 mm/giorno per decennio al Nord e +0,12 mm/giorno per decennio al Sud.

INTENSITÀ MEDIA

Giugno

Settembre

La serie dell'intensità media mensile è stata divisa in due periodi, come si è detto all'inizio del paragrafo 4.4.3: dal 1953 al 1973 e dal 1974 al 2002. La prima serie mostra un trend negativo significativo di - (3,12±1,24) mm/giorno per decennio, mentre la seconda serie non mostra un trend significativo.

La serie che si riferisce al periodo 1953-1973 presenta dei trend negativi significativi nei mesi di febbraio, marzo e novembre (Tab. 4.4.15a).

La serie dell'intensità media invernale (Tab. 4.4.15b) mostra un trend negativo significativo di - $(2,13\pm1,68)$ mm/giorno per decennio.

La serie dell'intensità media primaverile non mostra un trend significativo.

> Agosto Novembre

MeseTrend (mm/giorno per decennio)DicembreGennaioFebbraio-(3,86±2,51)MarzoAprileMaggio-(3,61±2,55)

Tabella 4.4.15a – Trend mensili dell'intensità media

Luglio

Ottobre

 $-(6,99\pm2,92)$

Autunno

 Stagione
 Trend (mm/decennio)

 Inverno
 -(2,13 ±1,68)

 Primavera
 -(5,78 ±3,68)

Tabella 4.4.15b – Trend stagionali dell'intensità media

La serie dell'intensità media estiva mostra un trend negativo significativo di -(5,78±3,68) mm/giorno per decennio.

 $-(4,00 \pm 2,22)$

La serie dell'intensità media autunnale mostra un trend negativo significativo di -(4,00±2,22) mm/giorno per decennio.

Questi risultati possono essere spiegati osservando gli andamenti delle precipitazioni e dei giorni di pioggia nel periodo 1953-1973 (Figg. 4.4.1 e 4.4.5). Nei ventuno anni considerati le precipitazioni sono diminuite, mentre il numero di giorni di pioggia è aumentato, portando quindi a una diminuzione dell'intensità media dei fenomeni piovosi.

NEVE

La serie del numero di giorni di neve non mostra un trend significativo.

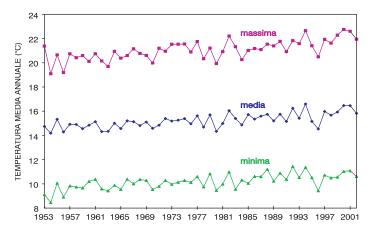
4.5. SERIE DELLE TEMPERATURE

4.5.1. Temperature medie, minime e massime

Il valore medio (con deviazione standard) della temperatura media a Terni nel cinquantennio 1953-2002 è di $+(15,2\pm0,6)$ °C.

La Figura 4.5.1 presenta l'andamento sul cinquantennio delle temperature medie, minime e massime annuali; è evidente una crescita di tutte e tre le grandezze. Un'analisi delle tendenze nel periodo considerato verrà affrontata dettagliatamente nel seguito.

Figura 4.5.1 – Andamento delle temperature massima, media e minima nel cinquantennio 1953-2002



L'anno mediamente più caldo su tutto il periodo 1953-2002 è il 1994, con una temperatura media annuale di 16,6 °C (1,4 °C in più rispetto al valor medio sui cinquanta anni), mentre l'anno più freddo è il 1954, con 14,2 °C (1 °C in meno rispetto al valor medio). Le temperature medie mensili e stagionali su tutto il

periodo sono presentate nelle Tabelle 4.5.1a e 4.5.1b rispettivamente.

La Tabella 4.5.2a riporta i valori medi mensili della temperatura minima e della temperatura minima assoluta; inoltre, sono mostrati i valori più bassi per ciascun mese della temperatura minima assoluta e l'anno (o gli anni) corrispondente. La Tabella 4.5.2b mostra i valori medi stagionali della temperatura minima, il valore più basso e l'anno corrispondente; inoltre, vengono riportati i valori medi stagionali della temperatura minima assoluta.

Analogamente, la Tabella 4.5.3a presenta i valori medi mensili della temperatura massima e della temperatura massima assoluta; inoltre, sono mostrati i valori più alti per ciascun mese della temperatura massima assoluta e l'anno (o gli anni) corrispondente. La Tabella 4.5.3b mostra i valori medi stagionali della temperatura massima, il valore più alto e l'anno corrispondente; inoltre vengono riportati i valori medi stagionali della temperatura massima assoluta.

La distribuzione mensile delle temperature medie,

Tabella 4.5.1a – Temperature medie mensili con deviazione standard

Mese	Temperatura media (°C)
Gennaio	5,9±1,7
Febbraio	7,6±1,6
Marzo	10,2±1,7
Aprile	13,4±1,2
Maggio	18,3±1,6
Giugno	22,5±1,2
Luglio	25,6±1,3
Agosto	25,2±1,6
Settembre	21,0±1,5
Ottobre	15,8±1,5
Novembre	10,4±1,5
Dicembre	6,9±1,4

Tabella 4.5.1b – Temperature medie stagionali con deviazione standard

Mese	Temperatura media (°C)
Inverno	6,8±1,7
Primavera	14,0±3,7
Estate	24,4±1,9
Autunno	15,7±4,6

Tabella 4.5.2a – Temperature minime: medie mensili. Temperature minime assolute: medie mensili, valori minimi assoluti registrati e anno corrispondente

Temperatura (°C)	Minima	Minima assoluta		
	Media	Media	Estremo	Anno
Gennaio	2,5±1,8	-4,2±2,5	-12,0	1967
Febbraio	3,6±1,8	-2,7±2,6	-15,0	1956
Marzo	5,6±1,7	-0,6±2,4	-6,0	1987
Aprile	8,1±1,2	2,9±2,2	-2,8	1956
Maggio	12,2±1,6	7,0±2,8	0,4	1957 1970
Giugno	15,8±1,7	11,3±2,1	6,5	1965
Luglio	18,5±1,3	14,0±2,1	9,8	1954
Agosto	18,5±1,5	13,8±2,2	7,6	1954
Settembre	15,2±1,9	10,2±2,6	4,0	1972 1973
Ottobre	11,2±1,9	4,9±2,3	0,0	1970
Novembre	7,0±1,6	0,0±2,6	-5,0	1955
Dicembre	3,9±1,7	-2,4±2,1	-7,2	1956

Tabella 4.5.2b – Temperature minime: medie stagionali, valori minimi e anno corrispondente. Temperature minime assolute: medie stagionali

Temperatura (°C)	Minima			Minima assoluta
	Media	Estremo	Anno	Media
Inverno	3,3±1,9	1,3	1953	-5,0±2,6
Primavera	8,6±3,1	5,8	1987	-0,7±2,3
Estate	17,6±2,0	14,8	1985	11,1±2,0
Autunno	11,1±3,8	7,7	1983	0,0±2,6

Tabella 4.5.3a – Temperature massime: medie mensili. Temperature massime assolute: medie mensili, valori massimi assoluti registrati e anno corrispondente

Temperatura (°C)	Massima	Massima assoluta		
	Media	Media	Estremo	Anno
Gennaio	5,9±1,7	16,5±2,4	27,0	1971
Febbraio	7,6±1,6	18,6±2,6	26,0	1961
Marzo	10,2±1,7	22,0±3,1	30,0	1981
Aprile	13,4±1,2	25,8±2,3	30,4	1977
Maggio	18,3±1,6	30,7±2,4	35,0	1977
Giugno	22,5±1,2	34,8±1,7	39,0	1982
Luglio	25,6±1,3	37,5±2,0	42,0	1983
Agosto	25,2±1,6	37,7±2,3	42,0	1971 1981
Settembre	21,0±1,5	32,6±2,7	40,0	1982
Ottobre	15,8±1,5	27,7±2,4	34,6	1953
Novembre	10,4±1,5	20,6±3,6	27,0	1968
Dicembre	6,9±1,4	16,7±2,5	22,0	1989

Tabella 4.5.3b – Tempera ture massime: medie stagionali, valori massimi e anno corrispondente. Temperature massime assolute: medie stagionali

Temperatura (°C)		Massima assoluta		
	Media	Estremo	Anno	Media
Inverno	11,4±2,1	14,1	1977	19,4±2,4
Primavera	20,0±4,1	21,9	1953	30,8±2,3
Estate	31,3±2,3	34,2	1994	38,6±1,8
Autunno	21,5±5,3	23,6	1987	32,6±2,8

massime e minime è presentata nella Figura 4.5.2: essa mostra un massimo in estate (luglio ed agosto) ed un minimo in inverno (dicembre e gennaio). Le temperature minime e massime assolute mostrano una distribuzione mensile simile.

La Figura 4.5.3 mostra l'andamento delle temperature minime e massime assolute durante il periodo 1953-2002.

La media delle temperature minime varia da un minimo di 2,5 °C a gennaio a un massimo di 18,5 °C a luglio e agosto.

Le temperature minime assolute si registrano a gennaio, con una media di -4,2 °C.

Le temperature minime assolute più alte si sono avute nel gennaio 1997 con -0,5 °C, seguito dal gennaio 2002 con -1,1 °C.

Le temperature minime assolute più basse si sono avute nel febbraio 1956 con -15,0 °C, seguito dal gennaio 1967 con -12,0 °C. Gli inverni del 1956 e 1967 hanno registrato delle punte di temperature molto basse: nel 1956 il termometro è andato sotto lo zero 40 volte, nel 1967 23 volte.

La media delle temperature massime varia da un minimo di 10,5 °C a gennaio a un massimo di 32,5 °C a luglio.

Le temperature massime assolute si registrano ad agosto, con una media di 37,7 °C.

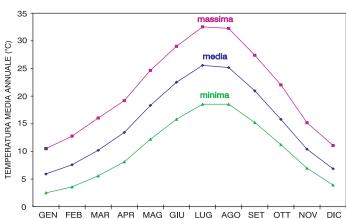


Figura 4.5.2 – Distribuzione mensile delle temperature massime, medie e minime

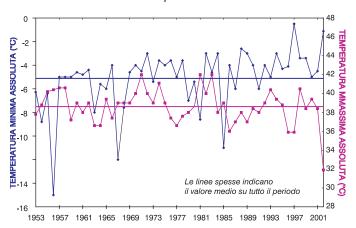


Figura 4.5.3 – Andamento delle temperature massime e minime assolute nel cinquantennio 1953-2002

Le temperature massime assolute hanno raggiunto il valore di 42 °C nell'agosto 1971 e 1981 e nel luglio 1983.

Le temperature massime assolute più basse si sono avute nel luglio 2002 con 31,9 °C, seguito dal giugno 1996 e dall'agosto 1997 con 35,9 °C.

4.5.2. Escursione termica

L'escursione termica media su ogni mese è la differenza tra la temperatura massima e la temperatura minima medie mensili.

La distribuzione mensile dell'escursione media ha un massimo nei mesi estivi di luglio e agosto e un minimo nei mesi invernali di dicembre e gennaio (Fig. 4.5.4).

4.5.3. Trend

TEMPERATURA MEDIA

La serie delle temperature medie annuali mostra un trend positivo significativo con pendenza +(0,28±0,08) °C/decennio.

Trend positivi significativi si riscontrano a marzo, maggio, giugno, luglio, agosto, ottobre (Tab. 4.5.4a). La serie delle temperature medie invernali (Tab. 4.5.4b) non presenta un trend significativo.

La serie delle temperature medie primaverili mostra

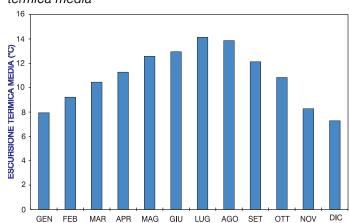


Figura 4.5.4 – Distribuzione mensile dell'escursione termica media

Tabella 4.5.4a – Trend mensili della temperatura media

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio			
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,36±0,34)		+(0,42±0,32)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,38±0,15)	+(0,30±0,28)	+(0,51±0,34)
Settembre	Ottobre	Novembre		+ (0,52±0,27)	

Tabella 4.5.4b - Trend stagionali della temperatura media

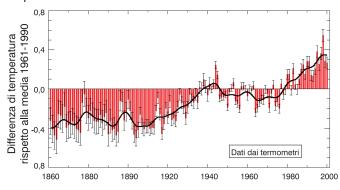
Stagione	Trend (°C/decennic	
Inverno		
Primavera	+(0,26±0,18)	
Estate	+(0,41±0,18)	
Autunno	+ (0,30±0,18)	

un trend positivo con pendenza $+(0,26\pm0,18)$ °C/decennio.

La serie delle temperature medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.41\pm0.18)$ °C/decennio. La serie delle temperature medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.30\pm0.18)$ °C/decennio.

I valori assoluti dei trend ricavati devono essere considerati con attenzione. Infatti, l'aumento della temperatura registrata dalla stazione di rilevamento può essere imputato a molteplici cause: prima di tutto al cosiddetto global warming, ovvero la crescita della temperatura media globale dovuta all'immissione in atmosfera di gas serra (come l'anidride carbonica e il metano), in conseguenza del forte impulso dello sviluppo industriale cominciato alla fine del XIX secolo; in base alle stime dell'Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC, 2001], tale crescita è compresa tra +0,2 e +0,6 °C dalla fine del 1800. La stessa fonte riporta che la crescita maggiore si è avuta nel periodo 1910-1945 e dal 1976 a oggi, con un tasso di circa +0,14 °C/decennio nel periodo 1910-1945 e di +0,17 °C/decennio dal 1976. È stato stimato che il tasso è ancora maggiore sulle terre emerse alle medie latitudini. La Figura 4.5.5, tratta dal rapporto dell'IPCC [2001], mostra la differenza tra la temperatura media globale negli anni dal 1860-2000, rispetto al valore medio del periodo 1961-1991: i dati si riferiscono alle misure effettuate con termometri su tutto il globo. Per poter confrontare i trend determinati a Terni con quelli riportati dell'IPCC, si è calcolato il trend della temperatura media a Terni in due periodi, dal 1953 fino al 1975 e dal 1975 al 2002: i risultati risultano

Figura 4.5.5 – Andamento della differenza di temperatura media globale rispetto alla media nel periodo 1961-1991



Fonte: IPCC, 2001.

essere di $+(0.25\pm0.25)$ °C/decennio nel primo periodo e di $+(0.36\pm0.21)$ °C/decennio nel secondo.

Un altro fattore importante da tenere in considerazione è l'urbanizzazione.

A partire dagli anni '60 questa a Terni ha avuto un forte impulso e ha causato l'effetto dell'"isola di calore" sulla città, ovvero un riscaldamento della zona cittadine rispetto a quelle circostanti dovuto a un maggiore assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali che costituiscono gli edifici e il manto stradale (cemento, mattoni, asfalto); l'energia accumulata durante il giorno viene rilasciata sotto forma di calore, determinando così un surriscaldamento dell'aria che sovrasta la città. Brunetti *et al.* [2000a] hanno stimato in 0,1 °C l'effetto dell'isola di calore sulle temperature medie in Italia nel periodo 1951-1996, ovvero un aumento di 0,02 °C/decennio sul trend stimato usando solo stazioni di rilevamento che non si trovano in città.

Sommando i contributi dovuti al *global warming* e all'isola di calore per il periodo 1976-2002 si ottiene un trend di +0.19 °C/decennio; questo valore ricade all'interno dell'intervallo di variabilità del trend stimato dai dati sulle temperature medie di Terni nello stesso periodo, ovvero tra +0.15 e +0.57 °C/decennio.

Maugeri e Nanni [1998] riportano i trend della temperatura media mensile di 27 stazioni italiane nel periodo 1867-1993. I valori sono di 0,03±0,01 °C al Nord e 0,050±0,006 °C al Sud: i trend in autunno-inverno sono maggiori di quelli in primavera-estate.

Secondo il rapporto dell'IPCC [2001] in Europa la variabilità climatica nell'ultimo secolo mostra delle differenze tra nord (Artico) e sud (Mediterraneo) e tra est (continentale) e ovest (marittimo). In gran parte del continente si registra un aumento della temperatura media annuale durante il XX secolo di circa 0,8 °C: il riscaldamento risulta maggiore in inverno.

TEMPERATURA MINIMA MEDIA

La serie delle temperature minime medie annuali mostra un trend positivo significativo al 95%, con pendenza $+(0.29\pm0.09)$ °C/decennio.

Trend positivi significativi sono stati trovati a mag-

gio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre, come mostrato in Tabella 4.5.5a.

La serie delle temperature minime medie invernali (Tab. 4.5.5b) non presenta un trend significativo.

La serie delle temperature minime medie primaverili mostra un trend positivo con pendenza $+(0,31\pm0,19)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.52\pm0.14)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.31\pm0.21)$ °C/decennio.

Si conclude che l'estate è la stagione in cui la temperatura minima media registra il trend maggiore.

Mese		Tr	end (°C/decenni	0)	
Dicembre	Gennaio	Febbraio			
Marzo	Aprile	Maggio			+(0,56±0,25)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,40±0,20)	+ (0,53±0,22)	+(0,65±0,21)
Settembre	Ottobre	Novembre	$+(0.33\pm0.25)$	$+(0.58\pm0.36)$	

Tabella 4.5.5a – Trend mensili della temperatura minima media

Tabella 4.5.5b – Trend stagionali della temperatura minima media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	
Primavera	+(0,31±0,19)
Estate	+(0,52±0,14)
Autunno	+(0,31±0,21)

TEMPERATURA MASSIMA MEDIA

La serie delle temperature massime medie annuali mostra un trend positivo significativo al 95%, con pendenza $+(0.39\pm0.13)$ °C/decennio.

Trend positivi significativi si trovano per i mesi di gennaio, marzo, giugno, luglio, agosto, ottobre, novembre e dicembre (Tab. 4.5.6a).

Tabella 4.5.6a – Trend mensili della temperatura massima media

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,35±0,26)	+(0,52±0,28)	
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,41±0,41)		
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,33±0,28)	+(0,25±0,25)	$+(0,71\pm0,43)$
Settembre	Ottobre	Novembre		+(0,35±0,32)	+(0,35±0,26)

Tabella 4.5.6b – Trend stagionali della temperatura massima media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+ (0,46±0,20)
Primavera	+ (0,28±0,19)
Estate	+ (0,41±0,17)
Autunno	+(0,43±0,20)

La serie delle temperature massime medie invernali (Tab. 4.5.6b)mostra un trend positivo con pendenza $+(0.46\pm0.20)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie primaverili mostra un trend positivo con pendenza $+(0.28\pm0.19)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0.41\pm0.17)$ °C/decennio.

La serie delle temperature massime medie autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.43\pm0.20)$ °C/decennio.

Quindi l'inverno risulta essere la stagione con il trend maggiore per la temperatura massima.

Il rapporto *Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia* dell'ENEA, Progetto Speciale Clima Globale (Ferrara, 2003), riporta la tendenza generale delle temperature in Italia, ottenuta dalle serie storiche (1865-2000) delle stazioni dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) e del Servizio Idrografico. Le analisi mostrano un aumento delle temperature massime di 0,8 °C nel periodo 1865-1996 (pari a un

trend di 0,06 °C/decennio) e delle temperature minime di 0,7 °C (pari ad un trend di 0,053 °C/decennio) nel centro-sud. L'inverno risulta essere la stagione in cui l'aumento è maggiore in tutte le regioni italiane.

Come si può notare, i trend stimati, mediando le tendenze di più stazioni italiane e considerando un periodo più lungo dei cinquanta anni da noi esaminati, risultano sensibilmente inferiori. Questo si può spiegare con la dinamicità del sistema climatico: il riscaldamento è sì un fenomeno globale, ma non è uniforme né nello spazio né nel tempo.

TEMPERATURA MINIMA ASSOLUTA

La serie delle temperature minime assolute annuali mostra un trend positivo significativo, con pendenza $+(0.62\pm0.33)$ °C/decennio.

Tutti i mesi tranne aprile mostrano un trend positivo (Tab. 4.5.7a).

La serie delle temperature minime assolute invernali (Tab. 4.5.7b) mostra un trend positivo con pendenza $+(0.61\pm0.35)$ °C/decennio.

Tabella 4.5.7a – Trend mensili della temperatura minima assoluta

Mese			Trend (°C/decennio)		
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,44±0,44)	+(0,67±0,40)	+(0,38±0,38)
Marzo	Aprile	Maggio	+(0,93±0,43)		+(0,91±0,51)
Giugno	Luglio	Agosto	+(0,54±0,44)	+(0,62±0,38)	+(0,67±0,44)
Settembre	Ottobre	Novembre	+(0,54±0,49)	+(0,80±0,44)	$+(0.83\pm0.43)$

Tabella 4.5.7b – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+ (0,61±0,35)
Primavera	+(0,88±0,41)
Estate	+(0,65±0,35)
Autunno	+(0,83±0,42)

La serie delle temperature minime assolute primaverili mostra un trend positivo con pendenza +(0,88±0,41) °C/decennio.

La serie delle temperature minime assolute estive mostra un trend positivo con pendenza $+(0,65\pm0,35)$ °C/decennio.

La serie delle temperature minime assolute autunnali mostra un trend positivo con pendenza $+(0.83\pm0.42)$ °C/decennio.

Quindi la primavera è la stagione in cui la temperatura minima assoluta registra il trend maggiore.

TEMPERATURA MASSIMA ASSOLUTA

Le serie delle temperature massime assolute annuali e stagionali non mostrano trend significativi.

ESCURSIONE TERMICA

La serie dell'escursione termica media non mostra un trend significativo a scala annuale.

Trend positivi significativi al 95% si trovano nei mesi invernali di gennaio, febbraio e dicembre (Tab. 4.5.8a). La serie dell'escursione termica invernale (Tab. 4.5.8b) mostra un trend positivo significativo di $+(0.42\pm0.20)$ °C/decennio.

Tabella 4.5.8a – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Mese			Tr	end (°C/decenni	0)
Dicembre	Gennaio	Febbraio	+(0,27±0,27)	+(0,50±0,23)	+ (0,65±0,32)
Marzo	Aprile	Maggio			
Giugno	Luglio	Agosto			
Settembre	Ottobre	Novembre			

Tabella 4.5.8b – Trend stagionali della temperatura minima assoluta

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+(0,42±0,20)
Primavera	
Estate	+(0,16±0,11)
Autunno	

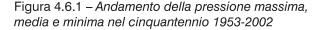
La serie dell'escursione termica estiva mostra un trend negativo significativo di -(0,16±0,11) °C/decennio. Le serie dell'escursione termica primaverile ed autunnale non mostrano trend significativi.

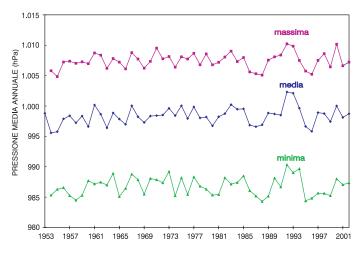
Il confronto tra i trend delle temperature minime e massime medie mostra che le seconde sono cresciute più delle prime, in accordo con quanto osservato da Brunetti *et al.* [2000b], prendendo in esame 27 stazioni italiane per il periodo 1865-1996. Il trend positivo dell'escursione termica a Terni in inverno conferma questo risultato, mentre in estate il valore negativo del trend dice che in questa stagione le temperature minime si sono innalzate più delle massime.

4.6. SERIE DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA

4.6.1. Pressione

Il valore medio e la deviazione standard della pressione atmosferica a Terni nel cinquantennio 1953-2002 sono (998,4±3,5) hPa. La Figura 4.6.1 mostra l'andamento dei valori medi annuali della pressione massima, media e minima nel periodo 1953-2002. La serie relativa alla pressione minima e massima comincia nel 1954.





La Tabella 4.6.1 mostra i valori medi mensili (Tab. 4.6.1a) e stagionali (Tab. 4.6.1b) della pressione media, massima e minima e l'escursione barica (differenza tra pressione massima e minima).

L'autunno e l'inverno sono le stagioni con l'escursione barica maggiore, che si può associare a una maggiore variabilità dovuta al passaggio delle perturbazioni. In estate l'escursione è minima perché le situazioni di stabilità sono favorite. Questo si vede anche nella distribuzione mensile delle deviazioni standard della media, che nei mesi invernali è doppia rispetto a quella nei mesi estivi.

La Figura 4.6.2 riporta le distribuzioni mensili della pressione massime, media e minima, e dell'escursione barica.

L'andamento durante l'anno della pressione media presenta un massimo a ottobre e un minimo ad aprile.

La pressione massima ha un andamento con un massimo a dicembre e gennaio e un minimo a luglio e

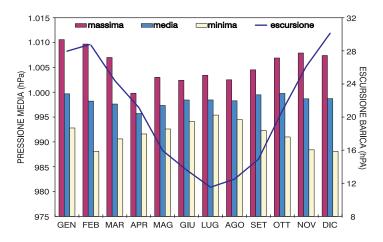
Tabella 4.6.1a – Medie mensili della pressione media, massima e minima e dell'escursione barica

Mese	Pressione media	Pressione minima	Pressione massima	Escursione barica
Gennaio	999,7±5,0	983,7±6,9	1.011,7±3,8	28,0
Febbraio	998,2±5,2	981,8±6,2	1.010,5±4,8	28,7
Marzo	997,6±3,9	983,9±5,1	1.008,3±4,3	24,4
Aprile	995,7±2,0	984,3±4,6	1.005,4±2,9	21,2
Maggio	997,3±2,4	988,7±4,8	1.004,7±2,6	15,9
Giugno	998,4±2,0	990,9±3,4	1.004,5±2,1	13,6
Luglio	998,4±1,9	992,2±2,6	1.003,7±2,4	11,5
Agosto	998,3±1,9	991,2±2,8	1.003,7±2,1	12,5
Settembre	999,5±2,2	991,4±3,9	1.006,3±2,1	14,9
Ottobre	999,8±3,5	987,6±5,4	1.008,4±3,2	20,8
Novembre	998,7±3,5	984,2±4,0	1.010,3±3,3	26,1
Dicembre	998,7±4,0	981,5±6,1	1.011,6±4,0	30,1

Tabella 4.6.1b - Medie stagionali della pressione media, m	assima
e minima e dell'escursione barica	

Stagione	Pressione media	Pressione minima	Pressione massima	Escursione barica
Inverno	998,9±4,8	982,4±6,4	1.011,3±4,2	28,9
Primavera	996,9±3,0	985,6±5,3	1.006,1±3,7	20,5
Estate	998,4±1,9	991,4±3,0	1.004,0±2,2	12,5
Autunno	999,3±3,1	987,7±5,3	1.008,3±3,3	20,6

Figura 4.6.2 – Distribuzione mensile della pressione massima, media e minima e dell'escursione barica



agosto. Al contrario, la pressione minima ha un massimo a luglio e un minimo a dicembre.

La Tabella 4.6.2 mostra il numero di casi in cui si registrano la pressione minima e massima in ciascun mese (Tab. 4.6.2a) e in ciascuna stagione (Tab. 4.6.2b) in tutto il periodo dei cinquanta anni osservati. Come si può notare, la pressione minima e massima si riscontrano entrambe principalmente a dicembre e a febbraio: a causa dell'alternarsi di situazioni di bassa e alta pressione l'escursione barica è massima in questi mesi.

La Figura 4.6.3 mostra la stagione in cui si è registrata la pressione minima e massima in ogni anno. Si è contato il numero di casi in cui la pressione minima e massima si è registrata in ciascuna stagione, individuando due periodi, quello dal 1954 al 1977 e quello dal 1978 al 2002 (Tab. 4.6.3).

Dai dati si può concludere che l'inverno è rimasto in tutti i cinquanta anni la stagione in cui si registrano la pressione minima e massima.

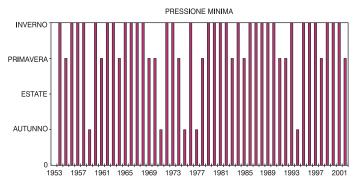
Tabella 4.6.2a – Distribuzione mensile del numero di casi in cui si registra la pressione minima e massima

Mese	Pressione minima	Pressione massima
Gennaio	8	9
Febbraio	10	10
Marzo	7	4
Aprile	5	0
Maggio	1	0
Giugno	0	0
Luglio	0	0
Agosto	0	0
Settembre	0	0
Ottobre	1	3
Novembre	4	9
Dicembre	13	14

Tabella 4.6.2b – Distribuzione stagionale del numero di casi in cui si registra la pressione minima e massima

Stagione	Pressione minima	Pressione massima
Inverno	31	34
Primavera	13	4
Estate	0	0
Autunno	5	11

Figura 4.6.3 – Stagioni nelle quali si registra la pressione minima e la pressione massima in ogni anno



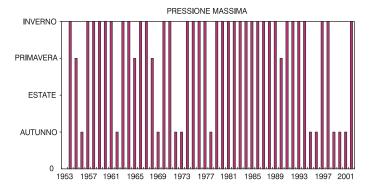


Tabella 4.6.3 – Distribuzione stagionale del numero di casi in cui si registrano la pressione minima e massima nei periodi 1954-1977 e 1978-2002

Precipitazioni (mm)	Minima		Mas	sima
	1954-1977 1978-2002 1		1954-1977	1978-2002
Inverno	14	17	16	18
Primavera	6	7	3	1
Estate	0	0	0	0
Autunno	4	1	5	6

4.6.2. Trend

Le serie della pressione media, minima e massima annuali non mostrano un trend significativo al 95%. La serie della pressione media invernale (Tab. 4.6.4) mostra un trend positivo significativo di $+(0.88\pm0.67)$ hPa/decennio.

Nelle altre stagioni non si rilevano trend significativi. La tendenza generale su tutto il bacino del Mediterraneo è di un aumento della pressione atmosferica nel periodo 1951-1995, che si manifesta principalmente nella stagione invernale, con valori dei trend che raggiungono gli 1,2 hPa/decennio. I nostri risultati sono in accordo con questa tendenza. Brunetti *et al.* [2002] hanno messo in relazione l'aumento della pressione invernale con delle variazioni nella circolazione atmosferica che determinano una maggiore frequenza di anticicloni nella parte centro-occidentale del bacino del Mediterraneo.

Tabella 4.6.4 – Trend stagionali della pressione media

Stagione	Trend (°C/decennio)
Inverno	+(0,88±0,67)
Primavera	
Estate	
Autunno	

4.7. SERIE DELLE MISURE DI VENTO

4.7.1. Direzione di provenienza del vento

I dati misurati dalla stazione automatica a partire dalla metà del 1996 rappresentano delle medie su 15 minuti della velocità e della direzione di provenienza del vento.

Le osservazioni dal 1997 al 2002 mostrano che le principali direzioni di provenienza del vento a Terni sono Sud-Ovest (S-O) con il 19,5% di casi e Nord-Est (N-E) con il 16,5% di casi. Le calme di vento (intensità mi-

nore o uguale a 1 km/ora o 0,2 m/s) rappresentano il 10,3% dei casi.

La Tabella 4.7.1 riassume le statistiche con il numero di casi di provenienza per ciascun settore e per le calme e le percentuali corrispondenti.

La rosa dei venti in Figura 4.7.1 rappresenta i dati della Tabella 4.7.1: essa mostra che i venti tendono a orientarsi lungo l'asse NE-SO, che identifica il corso del fiume Nera.

Poiché Terni è situata nella parte nord-orientale della conca ternana, il regime di venti è influenzato dalla presenza di pendii che circondano la conca. Questa influenza si manifesta in due modi: per prima cosa le barriere rappresentate dalle catene montuose a Nord, disposte lungo la direzione Est-Ovest, fanno sì che i venti provenienti da N e N-O siano poco frequenti; in secondo luogo i rilievi possono influenzare la circolazione a carattere locale, come le brezze di valle e di monte, caratterizzate da un ciclo giornaliero legato al riscaldamento e al raffreddamento del terreno.

Per esaminare questo secondo aspetto, oltre alle elaborazioni effettuate su tutti i dati validi, sono state realizzate delle rose dei venti differenziando il periodo diurno e notturno. Questa analisi è stata fatta su base stagionale, poiché il regime dei venti locali deve

Tabella 4.7.1 – Numero totale di casi registrati per ciascuna direzione di provenienza del vento e numero di casi di calma di vento nel periodo 1997-2002

Settore di provenienza	Numero di casi	Percentuale di casi (%)
N	12.527	6,0
N-E	34.539	16,5
E	28.932	13,8
S-E	8.558	4,1
S	18.728	9,0
S-O	40.721	19,5
0	30.567	14,6
NO	12.830	6,1
Calme	21.587	10,3

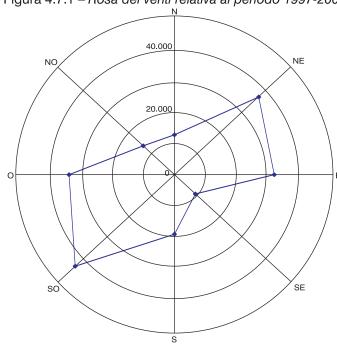


Figura 4.7.1 – Rosa dei venti relativa al periodo 1997-2002

essere distinto dal vento sinottico (ovvero il vento dovuto alla situazione meteorologica generale in superficie, legato al passaggio delle perturbazioni, che sono più frequenti in inverno e meno in estate); inoltre, in estate l'irraggiamento del suolo, responsabile del riscaldamento del terreno con conseguente moto dell'aria circostante, è massimo, per cui questa stagione si presta bene a uno studio di questo tipo.

A questo punto è necessario richiamare la definizione di "brezza di valle", "brezza di monte" e "brezza di pendio".

Al mattino la radiazione solare comincia a scaldare il terreno e l'aria a contatto con esso, a partire dalla cime dei pendii. L'aria più calda tende ad avere una minore densità e a salire verso l'alto, richiamando quindi aria dalla valle che comincia a risalire i pendii: è questa la "brezza di pendio", che raggiunge il suo massimo nel primo pomeriggio, dopo il massimo irraggiamento solare e quando si registra la temperatura più alta nella giornata. Ad essa si somma la "brezza di valle", dovuta all'effetto topografico dei monti che circondano la valle o la conca, i quali costituisco-

no un imbuto per l'aria che tende a espandersi verso l'alto risalendo i pendii. Queste brezze cessano la loro azione nella sera, per poi invertire la loro direzione durante la notte. Infatti, l'aria a contatto con i versanti si raffredda molto velocemente e tende a scendere verso il basso lungo i pendii: in questo modo si instaurano le "brezze di monte", che raggiungono il loro massimo poco prima dell'alba, quando si registra la temperatura minima.

4.7.2. Velocità del vento

Nella Tabella 4.7.2 si possono trovare le velocità del vento associate alle brezze. La classificazione delle velocità (o intensità o forza) del vento segue la scala Beaufort, dal nome dell'ammiraglio della Marina Britannica che la introdusse nel 1805.

Le brezze, quindi, sono dei venti generalmente di intensità debole, compresa tra 1,6 e 5,4 m/s, ovvero tra 6 e 19 km/h.

Sono state considerate le direzioni della brezza in due fasce orarie, che definiamo "diurna" e "notturna", cen-

T 1 11 4 - 0			, ,,		, ,	
Tabella 4.7.2 -	50010	RASHITAR	MAIIA	VALACITA	$\alpha \alpha I$	VANTA
	- ocaia	Deauloit	uella	veibbila	ucı	VELILU

Gradi	Descrizione	Velocità (m/s)	Velocità (km/h)
0	Calma	0 – 0,2	< 1
1	Bava di vento	0,3 – 1,5	1 – 5
2	Brezza leggera	1,6 – 3,3	6 – 11
3	Brezza tesa	3,4 - 5,4	12 –19
4	Vento moderato	5,5 – 7,9	20 – 28
5	Vento teso	8,0 – 10,7	29 – 38
6	Vento fresco	10,8 – 13,8	39 – 49
7	Vento forte	13,9 – 17,1	50 – 61
8	Burrasca	17,2 – 20,7	62 – 74
9	Burrasca forte	20,8 – 24,4	75 – 88
10	Tempesta	24,5 – 28,4	89 – 102
11	Tempesta violenta	28,5 – 32,6	103 – 117
12	Uragano	>= 32,7	>= 118

trate intorno all'ora in cui si raggiunge la temperatura massima e minima rispettivamente. Tenendo conto dell'andamento giornaliero della temperatura e della durata delle ore di soleggiamento durante l'anno, la fascia diurna in inverno va dalle 6 alle 8 e in estate dalle 4 alle 6; invece, la temperatura massima si registra durante l'anno sempre tra le 14 e le 16.

Dalla Figura 4.7.2 si vede chiaramente che in estate, quando il regime delle brezze è più facilmente distinguibile, durante la notte il vento prevalente è da N-E (ovvero dalla Valnerina), mentre durante il giorno è da S-O. In inverno, come ci si aspetta, questa caratteristica non può essere evidenziata, poiché lo scarso irraggiamento giornaliero e il raffreddamento del terreno durante la notte ostacolano la formazione delle brezze.

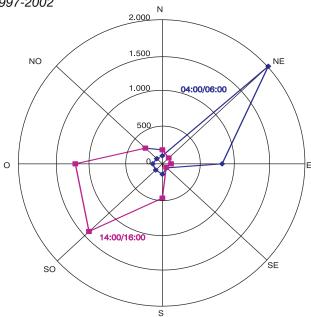
Gli stessi meccanismi di riscaldamento e raffreddamento che causano l'instaurarsi delle brezze sono responsabili della variazione diurna dell'intensità del vento.

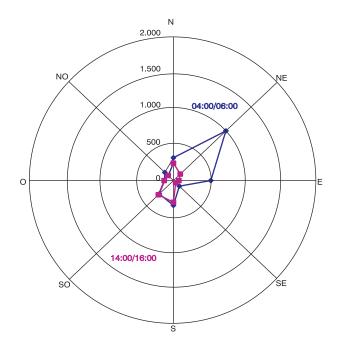
In condizioni di tempo stabile (assenza di perturbazioni, cioè minime variazioni di pressione e cielo sereno) l'andamento della velocità del vento presenta un massimo nelle prime ore del pomeriggio e un minimo all'alba. Il massimo è determinato principalmente dalla circolazione locale a seguito del riscaldamento del terreno e dal rimescolamento tra gli strati inferiori e quelli superiori legato ai moti convettivi, mentre il minimo notturno si forma poiché l'irraggiamento che avviene durante la notte porta a un raffreddamento del terreno e ostacola il movimento dell'aria.

La Figura 4.7.3 presenta l'andamento dell'intensità del vento per un "giorno tipo" in ciascuna stagione. Il "giorno tipo" è stato definito mediando i valori rilevati ogni 15 minuti per tutti i giorni dei tre mesi corrispondenti a ciascuna stagione, per tutti gli anni dal 1997 al 2002.

Il grafico evidenzia il picco massimo qualche ora dopo mezzogiorno in tutte le stagioni, con i valori più alti in estate e in primavera; un massimo secondario tra le 4 e le 7 nella stagione estiva rappresenta l'azione della brezza notturna che, come si è detto, agisce soprattutto in questa stagione. In inverno i moti

Figura 4.7.2 – Rosa dei venti relativa alle direzioni registrate nelle fasce orarie 4-6 e 14-16 in estate e nelle fasce orarie 6-8 e 14-16 in inverno nel periodo 1997-2002





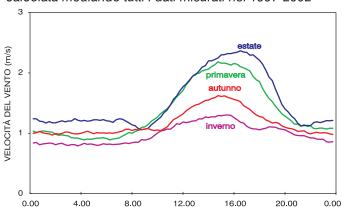


Figura 4.7.3 – Andamento giornaliero della velocità del vento per un giorno tipo di ogni stagione, calcolata mediando tutti i dati misurati nel 1997-2002

convettivi risultano scarsamente attivi sulla terraferma, per cui il massimo diurno è poco pronunciato e l'escursione giornaliera della velocità del vento è piccola. In primavera e in autunno si osservano delle situazioni intermedie tra quella estiva e quella invernale.

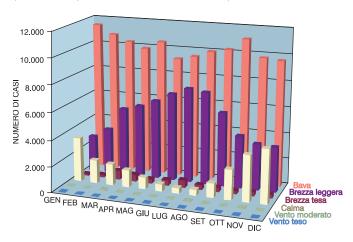
Per stabilire come le intensità del vento si distribuiscono nei vari mesi dell'anno si è calcolato il numero di casi in cui l'intensità rilevata corrisponde a un certo grado della scala Beaufort nel periodo 1997-2002. La Tabella 4.7.3 riporta i risultati per ciascun mese. Come si può notare, le velocità osservate non superano il 5° grado della scala Beaufort, essendo 8,6 m/s il valore massimo assoluto (misurato il 19 novembre 1999): ricordiamo che i dati misurati dalla stazione automatica sono delle medie relative ai 15 minuti precedenti il momento della registrazione, per cui i valori istantanei possono anche essere superiori a quello medio.

La Figura 4.7.4 mostra con maggiore chiarezza i dati riportati nella Tabella 4.7.3. Le calme sono più frequenti nei mesi di novembre e dicembre, e meno in estate, come ci si aspetta, dal momento che in questa stagione si ha un maggiore movimento dell'aria dovuto al riscaldamento da parte dell'intensa radiazione solare.

Tabella 4.7.3 – Distribuzione mensile del numero di casi di vento con velocità da 0 a 5 gradi della scala Beaufort per il periodo 1997-2002

Gradi	0	1	2	3	4	5
Vento	Calma	Bava	Brezza leggera	Brezza tesa	Vento moderato	Vento teso
Gennaio	3.394	11.428	2.769	122	0	0
Febbraio	1.791	10.757	3.475	198	1	0
Marzo	1.621	10.274	5.256	687	18	0
Aprile	1.327	9.827	5.589	532	2	0
Maggio	916	10.401	6.112	328	0	0
Giugno	541	9.202	6.765	427	2	0
Luglio	406	9.471	7.285	567	5	0
Agosto	462	9.926	7.099	365	4	0
Settembre	1.108	10.175	5.660	332	3	0
Ottobre	2.315	11.048	4.018	255	1	0
Novembre	3.557	9.732	3.554	309	32	3
Dicembre	4.149	9.616	3.450	305	14	0

Figura 4.7.4 – Distribuzione mensile del numero di casi vento di intensità compresa tra 0 gradi (calma) e 5 gradi (vento teso) della scala Beaufort nel periodo 1997-2002



Le situazioni di bava di vento sono lungamente le più frequenti, senza un chiaro andamento stagionale. Le brezze, come detto in precedenza, hanno un massimo di frequenza in estate e un minimo in inverno. I casi di vento con velocità superiore a 5,4 m/s (o 19 km/h) hanno una bassa frequenza, e si verificano principalmente a novembre.

Per il periodo 1997- 2002 sono state calcolate le velocità medie mensili. La Figura 4.7.5 mostra la distribuzione mensile della velocità del vento calcolata su tutto il periodo considerato: la distribuzione presenta un massimo nei mesi estivi e un minimo in quelli invernali.

Il valore più alto della velocità registrato ogni giorno è stato estrapolato dalle misure, insieme alla direzione di provenienza. Si è esaminata qual è la direzione di provenienza per i venti di intensità maggiore, ovvero quelli con intensità superiore a 4,9 m/s (18 km/h): il numero di casi trovato è 48. La Figura 4.7.6 mostra che i venti più intensi provengono generalmente dal settore meridionale, con il 35% dei casi di provenienza da S-O e il 33% da S.

I dati rilevati dalla stazione meccanica dal 1954 al 2002 sono stati utilizzati per fornire le osservazioni della massima intensità registrata in ciascun anno: negli anni dal 1957 al 1965 tali osservazioni non sono state rilevate. La Tabella 4.7.4 mostra la raffica di

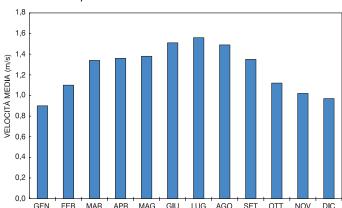


Figura 4.7.5 – Distribuzione mensile delle velocità del vento nel periodo 1997-2002

Tabella 4.7.4 – Intensità massima registrata in ogni anno dal 1954 al 2002: sono anche riportati il giorno e l'ora della registrazione

Data	Ora	Velocità (km/h)
16/11/1954	9:00	36
06/07/1955	17:30	50
14/09/1956	15:30	27
22/04/1966	20:00	65
14/03/1967	14:00	36
12/01/1968	13:10	32
17/04/1969	16:00	34
28/12/1970	13:00	34
09/12/1971	14:00	42
13/07/1972	17:00	44
04/04/1973	23:59	40
31/12/1974	23:00	180
27/02/1975	22:00	56
07/12/1976	14:00	94
25/11/1977	6:00	70
06/01/1978	2:00	116
31/12/1979	14:00	78
11/04/1980	16:00	54
21/01/1981	10:00	64
11/12/1982	23:00	36
27/12/1983	12:00	64
03/04/1984	23:59	34
16/04/1985	13:00	26
25/12/1986	8:00	28
10/03/1987	15:00	24
21/11/1988	14:00	22
26/02/1989	14:00	24
11/02/1990	22:00	36
28/06/1991	17:00	26
21/10/1992	18:00	22
27/03/1993	17:00	32
22/12/1994	19:00	25
18/02/1995	15:00	26
02/03/1996	14:00	19
11/03/1997	14:00	21
12/09/1998	7:46	62
19/11/1999	6:32	73
02/02/2000	12:56	46
24/11/2001	20:17	51
16/11/2002	13:56	64

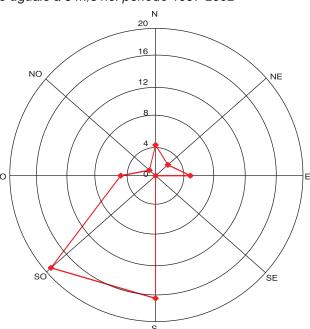


Figura 4.7.6 – Rosa dei venti relativa alle direzioni di provenienza del vento con intensità maggiore o uguale a 5 m/s nel periodo 1997-2002

vento più intensa registrata in un anno, con il giorno e l'ora corrispondenti.

Il 31 dicembre 1974 alle ore 23 gli strumenti hanno registrato la velocità massima: un vento proveniente da N-NE che soffiava a 180-200 km/h; questi valori estremamente alti potrebbero però essere dovuti a un'imprecisione dell'anemografo imputabile proprio alla velocità. Gli effetti di questa raffica, secondo gli appunti dell'osservatore, sono stati i seguenti: alberi sradicati, tetti scoperchiati, cartelloni pubblicitari divelti e trascinati per decine di metri. Il 6 gennaio 1978 l'osservatore ha registrato un "fortissimo vento da N".

5. Conclusioni

L'analisi delle serie temporali di parametri meteorologici quali precipitazioni, temperature, pressione, direzione e velocità del vento, raccolti presso l'Osservatorio "Federico Cesi" di Terni dal 1953 al 2002, ha permesso la caratterizzazione meteo-climatica della città.

Le caratteristiche salienti che si possono delineare dallo studio delle temperature e delle precipitazioni sono tipiche delle località a bassa quota alle medie latitudini che risentono dell'influenza del bacino del Mediterraneo; inoltre, la posizione geografica all'interno di una conca conferisce alla città di Terni una peculiare impronta per quanto riguarda il regime del vento.

Dal punto di vista della temperatura, il clima di Terni è contraddistinto da estati calde, con temperature massime che oscillano intorno a 31,3 °C (ma che hanno raggiunto anche i 42 °C), e inverni non particolarmente freddi, con temperature minime intorno a 3,3 °C (gli episodi di temperature inferiori a -10 °C sono scarsi), in cui raramente si assiste al fenomeno delle nevicate (solo nell'1,4% dei giorni invernali è nevicato); la primavera e l'autunno sono caratterizzati da situazioni intermedie, con temperature autunnali leggermente superiori a quelle primaverili, a causa del lento rilascio, nei mesi autunnali, del calore accumulato dalla superficie terrestre durante l'estate.

Le misure continuative su cinquanta anni hanno permesso di individuare un aumento della temperatura media, fenomeno che si riscontra non solo in tutta l'Italia, ma a livello globale, dalla fine del 1800, e che la comunità scientifica internazionale è concorde nell'imputare all'immissione in atmosfera di gas serra prodotti dalle attività umane. A ciò si aggiunge il contributo dell'espansione edilizia della città e il sorgere di nuovi edifici, che assorbono e rilasciano il calore proveniente dal sole. L'aumento della temperatura media annuale dal 1953 al 2002 è avvenuto con un tas-

so stimato compreso tra +0,20 e + 0,36 °C/decennio. La crescita della temperatura massima e della temperatura minima non è uniforme: in inverno la prima è cresciuta più della seconda, mentre in estate questa relazione si inverte.

Il regime pluviometrico della città di Terni è tipico del Mediterraneo: nei mesi autunnali si concentrano le precipitazioni più abbondanti e più frequenti. Novembre è infatti il mese più piovoso (116 mm di pioggia) e, insieme ad aprile, quello con il maggior numero di giorni di pioggia (valore medio 10,7). I mesi estivi sono i più secchi, con una quantità media di precipitazione che è circa la metà di quella dell'autunno: luglio è il mese con la minore precipitazione (34,4 mm) e con il numero più basso di giorni di pioggia (4,3). Nei mesi di agosto e settembre si riscontrano le intensità di precipitazione maggiori, ovvero grandi quantità di pioggia concentrate in breve tempo: questa caratteristica è tipica dei fenomeni temporaleschi che si verificano in estate e che sono innescati dal riscaldamento della superficie terrestre da parte dell'intensa radiazione solare.

L'andamento delle precipitazioni totali annuali mostra una diminuzione nei cinquanta anni considerati: le precipitazioni invernali presentano un trend negativo di -($26,6\pm15,0$) mm/decennio, in linea con i risultati di studi condotti su tutta l'Italia.

Il regime di vento a bassa quota della città di Terni è fortemente influenzato dalla conformazione della conca ternana: i venti tendono a orientarsi lungo l'asse NE-SO, ovvero lungo il corso del fiume Nera. La presenza di pendii che circondano la conca incide sulla direzione di provenienza del vento in diversi modi: innanzi tutto le barriere rappresentate dalle catene montuose a N, disposte lungo la direzione E-O, fanno sì che i venti provenienti da N e N-O siano poco frequenti; in secondo luogo i rilievi possono influenzare la circolazione a carattere locale, come le brezze, caratterizzate da un ciclo giornaliero legato al riscaldamento e al raffreddamento del terreno. Dai dati analizzati, infatti, si è visto come in estate, stagione favorevole all'instaurarsi delle brezze, di giorno il vento proviene da S-O, mentre di notte la direzione prevalente è da N-E, ovvero dalla Valnerina, che rappresenta una sorta di imbuto per il vento.

Le velocità del vento più frequenti sono le bave di vento (da 1 a 5 km/h), mentre i casi di vento più intenso sono rari e si verificano principalmente a novembre: la provenienza di questi venti è generalmente dal settore meridionale (S e S-O).

Da quanto visto precedentemente si può concludere che il clima della città di Terni sta andando verso inverni più secchi e più caldi. A questa tendenza si aggiunge quella della pressione atmosferica, che presenta un trend positivo nei mesi invernali, che può essere associato a una maggiore frequenza di anticicloni nella parte centro-occidentale del bacino del Mediterraneo, come conseguenza delle variazioni climatiche. Queste conclusioni sono in accordo con le tendenze del clima riscontrate sia nel Mediterraneo sia a scala globale.

6. Il meteo a Terni in pillole

In questo paragrafo si riportano alcuni dati record riguardanti le temperature e le precipitazioni a Terni, nei cinquanta anni analizzati, a scala giornaliera, mensile, stagionale e annuale:

Il giorno più freddo 16 febbraio 1956

(temperatura minima -15,0 °C)

Il giorno più caldo 7 agosto 1971, 4 agosto 1981,

27 luglio 1983

(temperatura massima 42,0 °C)

II giorno più piovoso 28 settembre 1965

(138,3 mm di pioggia)

Il mese più freddo gennaio 1964

(media delle temperature

minime -1,2 °C)

Il mese più caldo agosto 1994

(media delle temperature

massime 36,2 °C)

Il mese più piovoso settembre 1965

(431,2 mm di pioggia)

La stagione più fredda inverno 1953

(media delle temperature

minime 1,3 °C)

La stagione più calda estate 1994

(media delle temperature

massime 34,2 °C)

La stagione più piovosa autunno 1965

(624,6 mm di pioggia)

La stagione meno piovosa estate 1963

(20,6 mm di pioggia)

L'anno più freddo 1954

(media delle temperature

minime 8,5 °C)

L'anno più caldo 2000

(media delle temperature

massime 22,8 °C)

L'anno più piovoso 1960

(1.479,6 mm di pioggia)

L'anno meno piovoso 1973

(570,0 mm di pioggia)

Il periodo più lungo di siccità 71 giorni

(dal 12 luglio

al 21 settembre 1956)

Il periodo più lungo di pioggia 16 giorni

(dal 22 aprile al 7 maggio 1974)

Appendice A "Definizioni"

mm di pioggia

Un millimetro di pioggia equivale a un litro di acqua per metro quadrato di superficie.

hPa

Il peso della colonna atmosferica di aria esercitato su una superficie di 1 metro quadrato è definito come 1 atmosfera (atm) ed è equivalente a 1.013 hectoPascal (hPa) (1 hectoPascal corrisponde a 100 Pascal).

Vale quindi la seguente uguaglianza:

1 atm = 1.013 hPa.

Le altre unità di misura della pressione sono i millimetri di mercurio (mm Hg) e i millibar (mb).

Valgono le seguenti uguaglianze:

1 atm = 760 mm Hg = 1013 mb.

media

Si definisce media o valor medio di un campione di N elementi:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

dove il simbolo

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i}$$

indica la somma di tutti i singoli elementi x_i , con i che varia da 1 ad N:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i} = x_{0} + x_{1} + x_{2} + ... + x_{N-2} + x_{N-1} + x_{N}$$

deviazione standard

La deviazione standard delle medie è definita come:

dev.st =
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

dove:

x, è il singolo valore,

 $\stackrel{-}{x}$ è il valore medio di tutti gli x_i N è il numero totale di valori.

Appendice B

Il test stagionale di Mann-Kendall

Il test stagionale di Mann-Kendall (sviluppato da Mann negli anni '40 e ripreso da Kendall negli anni '70) è un test di ipotesi che permette di evidenziare l'omogeneità e la presenza o meno di un trend statisticamente significativo in una serie storica. Questo test è detto non parametrico e si applica in modo particolare ai dati meteo per i quali l'andamento nel tempo non può essere espresso facilmente in funzione di parametri e che presentano diverse componenti temporali, prima tra tutte quella stagionale. La peculiarità di tale strumento di analisi è quella di evidenziare eventuali trend tenendo conto delle varie componenti temporali della serie. Per fare un esempio consideriamo la serie storica delle temperature medie mensili (Fig. B.1).

La serie mostra una periodicità annuale e il test stagionale di Mann-Kendall permette di evidenziare la presenza di un trend su tutta la serie, su ogni stagione e su ogni mese.

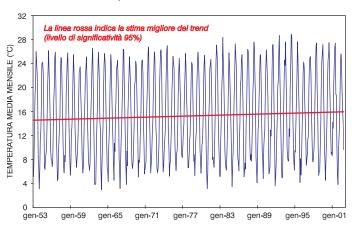


Figura B.1 – Serie storica della temperatura media mensile a Terni nel periodo 1953-2002

Un concetto importante legato alla stima di un trend di una serie di dati è quello del "livello di significatività", espresso in percentuale. I trend vanno sempre espressi facendo riferimento alla significatività statistica, che non può mai essere intesa come certezza. Maggiore il livello di significatività, maggiore la probabilità che il risultato ottenuto sia quello "reale". Ad esempio, se il test di Mann-Kendall fornisce un trend positivo al 95% di significatività per una certa serie, questo vuol dire che c'è il 5% di probabilità che il trend reale sia negativo o assente. Nella maggior parte dei casi si stabilisce come livello di significatività il 95%.

La stima quantitativa della variazione di una grandezza nel tempo è data dal metodo di Sen.

Il metodo di Sen

Il trend (positivo o negativo) di un dato parametro meteorologico viene espresso da una retta, la cui pendenza indica la variazione di questo parametro nel tempo. Il metodo di Sen (dal nome di P.K. Sen che lo ha messo a punto negli anni '60) consente di trovare la pendenza di tale retta con la sua incertezza, con un livello di significatività stabilito, fornendo il limite inferiore, il limite superiore e la stima migliore del trend. Ad esempio, la linea spessa della Figura B.1 riporta la stima migliore del trend della temperatura media, ottenuta applicando il metodo di Sen (livello di significatività 95%).

Ulteriori informazioni sui metodi statistici applicati alle stime dei trend si possono trovare in Gilbert [1987].

8. Bibliografia

Brunetti M., Mangianti F., Maugeri M., Nanni T., Urban heat island bias in Italian air temperature series, *Il Nuovo Cimento*, 23, 423-431, 2000a.

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, 2000b.

Brunetti M., Colacino M., Maugeri M., Nanni T., Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996, *International Journal of Climatology*, 21, 299-316, 2001.

Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years, *International Journal of Climatology*, 22, 1455-1471, 2002.

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

Ferrara V., Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia, sito web ENEA (www.enea.it), 2003.

Gilbert R.O., Statistical methods for environmental pollution monitoring, van Nostrand rienhold Company Inc., New York 1987.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001, The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel of Climate Change, edito da J.T. Houghton et al., Cambridge University Press, New York 2001.

Maugeri M., Nanni T., Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1993, *Theoretical and Applied Climatology*, 61, 191-196, 1998.

Piervitali E., Colacino M., Conte M., Rainfall over the Central-Western Mediterranean basin in the period 1951-1995. Part I: precipitation trends, *Il Nuovo Cimento*, 21, 331-344, 1998.

Tomozeiu R., Lazzeri M., Cacciamani C., Precipitation fluctuations during the winter season fro 1960 to 1995 over Emilia-Romagna, Italy, *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 221-229, 2002.