



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**ANALISI DEI VALORI ESTREMI DI TEMPERATURA E
DEI MODELLI DI PREVISIONE FUTURA
APPLICAZIONE ALLA REGIONE MARCHE**

**ANALYSIS OF EXTREME TEMPERATURE VALUES AND
FORECASTING MODELS
APPLICATION TO THE MARCHE REGION**

Relatore: Chiar.mo
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

Studente:
Silvia Cesini

Correlatori:
Dott. Ing. Luciano Soldini
Dott. Ing. Giovanna Darvini

Sommario

Introduzione	3
1 Il Sistema Climatico	5
1.1 Classificazione dei climi	7
2 Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri	9
2.1 Indici climatici estremi	10
2.2 Analisi delle tendenze	18
2.2.1 Mann - Kendall Test	18
2.2.2 Spearman - Rho Test	20
2.2.3 Cox Stuart Test	22
2.3 Proiezioni climatiche future	23
2.3.1 Representative Concentration Pathways - RCP	23
2.3.2 Modelli climatici AOGCM e RCM	24
2.3.3 Med-CORDEX	25
3 Area di studio	26
3.1 Geografia fisica	27
3.2 Clima	28
3.2.1 Temperature	28
3.2.2 Venti	29
3.2.3 Precipitazioni	30
3.3 Quadro idrologico regionale	30
3.4 Sistema idrico delle marche	31
4 Dataset	33
4.1 Misura delle temperature	33
4.1.1 Termometri	33
4.1.2 Termometri di vetro con elemento sensibile liquido	36
4.1.3 Termografi meccanici	37
4.1.4 Termometri elettrici	38
4.1.5 La registrazione dei dati	38
4.2 Raccolta dati idrologici	39
4.2.1 Cenni storici	39
4.2.2 Bollettini idrografici	41
4.2.3 Annali idrologici	42

4.3	Serie storiche idrologiche	49
4.3.1	Descrizione delle serie storiche.....	50
4.3.2	Classificazione delle serie storiche	51
4.4	Stazioni termometriche della Regione Marche	54
4.5	Creazione del database	59
4.5.1	Analisi omogeneità delle serie.....	59
4.5.2	Metodi di analisi e di confronto dei dati termometrici.....	60
4.5.3	Definizione della base dati completa	73
4.5.4	Dati di previsione degli scenari climatici futuri	76
5	Caso studio: calcolo e risultati	82
5.1	Indici climatici estremi.....	82
5.1.1	Dati.....	82
5.1.2	Calcolo indici	84
5.1.3	Trend detection	86
5.1.4	Anomalie	92
5.2	Scenari futuri.....	96
5.2.1	Dati.....	96
5.2.2	Scenari futuri a confronto	102
	Conclusioni	110
	Bibliografia	111

Introduzione

Il cambiamento climatico è un argomento di particolare rilevanza nei dibattiti degli ultimi tempi, soprattutto all'interno della comunità scientifica che sta cercando di capire quanto la componente antropica possa aver influenzato le naturali evoluzioni climatiche.

La climatologia si occupa di studiare il clima nel suo insieme, le sue variazioni, gli estremi e la sua influenza su varie attività, quali le risorse d'acqua, la salute, la sicurezza e il benessere umano. Il clima può essere descritto in termini statistici come tendenza centrale e variabilità di elementi rilevanti come la temperatura, le precipitazioni, la pressione atmosferica, l'umidità e il vento.

I climatologi considerano sia la variabilità climatica che i cambiamenti climatici. La variabilità climatica si riferisce a mutamenti nelle condizioni da periodo a periodo (variazioni stagionali, annuali, decadali). In generale questi ultimi sono correlati alla circolazione atmosferica e oceanica e alle proprietà superficiali dei terreni. Al contrario, i cambiamenti climatici si attribuiscono a oscillazioni sistematiche nelle proprietà statistiche del clima (ad esempio media e varianza) in un periodo prolungato di tempo, che si manifestano in un aumento o diminuzione di trend, come ad esempio nei valori estremi di temperatura. È quindi indispensabile riuscire a valutare e quantificare queste variazioni così incisive.

Lo studio dei trend climatici porta a risultati significativamente diversi in funzione della regione analizzata. Infatti, anche in pubblicazioni recenti come "*Evidence for increasing rainfall extremes remains elusive at large spatial scales: the case of Italy*" di *Libertino, Ganora e Claps*, si sottolinea come le indagini svolte a scale geografiche diverse portino anche ad evidenziare trend diversi. Nello specifico considerando l'Italia intera, i trend risultano molto appiattiti a causa dell'estensione territoriale, invece andando a studiare zone meno estese e rappresentative di una geografia diversa, si verificano trend negli estremi di precipitazione anche molto significativi. Infatti, la quantità e le diverse conseguenze correlate ai cambiamenti climatici in corso sono strettamente dipendenti dagli ecosistemi individuali e differiscono fortemente nella scala spaziale, in relazione alla posizione geografica dell'area considerata, e le sue condizioni socioeconomiche.

I cambiamenti di temperatura e precipitazione nella penisola italiana sono stati investigati da parecchi studi, che dimostrano una riduzione significativa nelle precipitazioni annuali e stagionali. Durante il ventesimo secolo, le precipitazioni sono diminuite del 5% nel Nord Italia e del 15% circa nel Sud (*Buffoni et al. 1999*). Inoltre, *Brunetti et al. (2006)* rivela che l'area con il più marcato trend in diminuzione della precipitazione annuale è nel Centro Sud dell'Italia. In aggiunta, la stagione caratterizzata da una più forte riduzione risulta essere l'inverno in tutta la penisola, specialmente al Nord (*Brunetti et al. 2000*).

L'obiettivo di questo lavoro è quello di valutare l'esistenza o meno di trend nelle serie dei dati di temperatura della Regione Marche, avvalendosi di dati sufficientemente consistenti. La conoscenza dell'evoluzione nel tempo dei cambiamenti può divenire uno strumento di supporto nella definizione di possibili scenari futuri nella pianificazione e nella gestione delle risorse idriche del territorio, inoltre, la conoscenza di eventuali trend permetterebbe di migliorare la qualità dei modelli previsionali.

Lo studio della serie di temperatura, a differenza delle serie di precipitazioni, non è stato mai affrontato in maniera approfondita. In questo lavoro saranno analizzate specificatamente le stazioni termometriche e i dati da esse raccolti, in termini di completezza, continuità e omogeneità. Infatti, il processo di ammodernamento subito dalla rete di misura regionale ha reso necessaria la valutazione della consistenza dei dati disponibili, in particolare si vuole capire se è corretto unire serie di dati consecutive nel tempo ma provenienti da strumentazioni diverse o che sono state dislocate.

La valutazione delle tendenze, quindi l'identificazione di variazioni in termini di intensità e frequenza nel regime di temperature massima e minima, viene effettuata tramite il computo degli indici definiti dall'ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*), il calcolo dei trend e delle anomalie.

Questa analisi è stata affiancata a quella inerente alle previsioni del comportamento climatologico per la Regione Marche. Si è cercato di fornire una valida descrizione di possibili scenari futuri per la regione. Sono state descritte le serie di dati fornite dal programma Med-CORDEX che arrivano fino all'anno 2100.

Capitolo 1

1 Il Sistema Climatico

Il sistema climatico, illustrato in Fig. 1.1, è un complicato e interattivo sistema costituito da atmosfera, superficie terrestre, neve e ghiaccio, oceani, altri corpi d'acqua e organismi viventi.

L'atmosfera è l'involucro gassoso che circonda la Terra. Quella secca consiste quasi interamente di azoto e ossigeno, ma contiene anche quantità modeste di argon, elio, diossido di carbonio, ozono, metano e altre tracce di gas. L'atmosfera contiene anche vapore acqueo, goccioline d'acqua condensata sotto forma di nuvole e aerosol.

L'idrosfera è quella parte del sistema climatico della Terra che comprende l'acqua liquida distribuita sopra e sotto la superficie terrestre in oceani, mari, fiumi, laghi, riserve sotterranee e altri corpi d'acqua.

La criosfera descrive collettivamente gli elementi che contengono acqua allo stato solido, che include neve e ghiaccio.

La litosfera di superficie è lo strato superiore che comprende sia la crosta continentale che la crosta oceanica.

La biosfera comprende tutti gli ecosistemi e gli organismi viventi nell'atmosfera, sulla terra e negli oceani, inclusa la materia organica morta, come quella del suolo e i detriti oceanici.

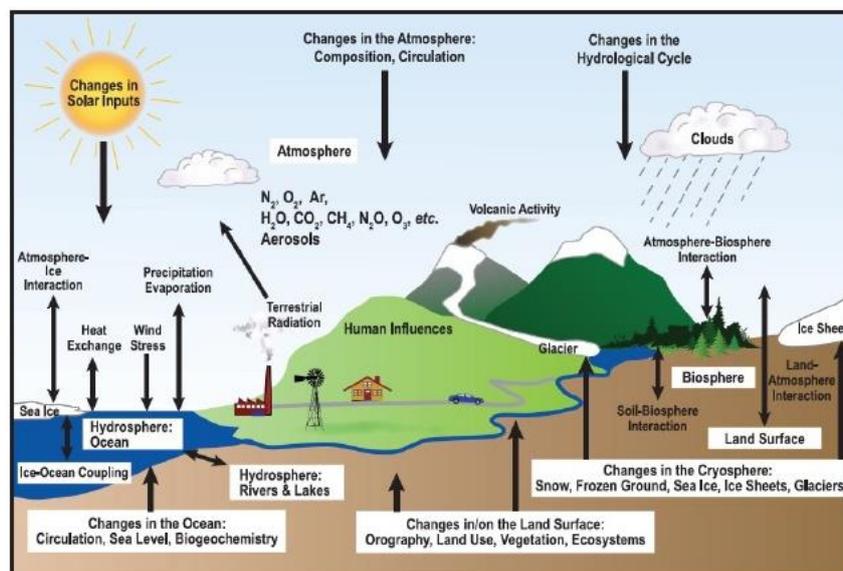


Fig. 1.1 – Il sistema climatico

Influenzato dalle radiazioni solari e dalle proprietà della superficie terrestre, il clima sulla Terra è determinato come interconnessione tra diverse componenti. L'interazione dell'atmosfera con le altre componenti gioca un ruolo dominante in questa formazione. L'atmosfera ottiene energia in maniera diretta dalla radiazione solare incidente o indirettamente con processi che coinvolgono la superficie terrestre.

Questa energia viene continuamente ridistribuita verticalmente o orizzontalmente tramite processi termodinamici o movimenti a grande scala con l'obiettivo di arrivare ad un sistema stabile. Il vapore acqueo gioca un ruolo fondamentale nella ridistribuzione verticale del calore attraverso la condensazione e il trasporto di calore latente. L'oceano, con la sua vasta capacità termica, limita la velocità nei cambiamenti di temperatura dell'atmosfera fornendogli vapore e calore. La distribuzione dei continenti influenza le correnti oceaniche e le montagne reindirizzano i movimenti atmosferici. Il ghiaccio polare, montano e marittimo riflettono la radiazione solare nello spazio. Alle alte latitudini i ghiacci marini agiscono come isolanti e proteggono l'oceano da una perdita rapida di energia in un'atmosfera molto più fredda. Le attività umane cambiano l'umidità superficiale e l'albedo e immettono diossido di carbonio in atmosfera.

Le interazioni tra le componenti si verificano a tutte le scale. Spazialmente, la microscala comprende le caratteristiche climatiche su piccole aree come edifici singoli, piante o campi. Un cambiamento nel microclima può avere più importanza quando cambiano le caratteristiche fisiche di un'area. Ad esempio, i nuovi edifici potrebbero condizionare la ventosità, creare un deflusso eccessivo di acqua piovana e incrementare l'inquinamento e il calore. Le variazioni naturali nel microclima, come quelle legate al riparo o all'esposizione, alla luce e all'ombra, sono anche importanti ad esempio nella determinazione di quali piante potrebbero prosperare in un particolare luogo o nella necessità di garantire attività operative sicure e attività ricreative.

La mesoscala comprende il clima di una regione con estensione limitata, come il bacino di un fiume, una valle, una foresta. Le variazioni a questa scala sono importanti per l'agricoltura, l'irrigazione e gli argini fluviali.

La macroscala riguarda il clima di aree geografiche ampie, continenti e del globo intero. Determina le risorse nazionali e i vincoli nelle produzioni agricole e nella gestione delle risorse d'acqua, ed è quindi collegato alla natura, al benessere e alla salute umana. Inoltre definisce e determina l'impatto dei principali fenomeni dovuti alla circolazione globale come i monsoni e la North Atlantic Oscillation.

La scala temporale può variare da minuti o ore a decenni, centenni o più. Le caratteristiche orarie sono importanti, ad esempio per l'uso di pesticidi in agricoltura e per il monitoraggio energetico di riscaldamenti e raffreddamenti. Quelle giornaliere potrebbero determinare le attività da perseguire, mentre mensilmente o annualmente le colture da far crescere e la possibilità di bere acqua e avere cibo. Scale temporali più lunghe sono importanti per gli studi di variazione climatica causata da fenomeni naturali come i cambiamenti nella circolazione atmosferica e oceanica e dalle attività umane.

1.1 Classificazione dei climi

Vista la complessità del sistema climatico, non è facile arrivare ad una classificazione univoca. Il primo tentativo fu compiuto nel 1918 da W. Köppen che schematizzò tutti i climi della Terra mediante una formula climatica che offre una sintetica descrizione del clima locale mediante un'indicazione delle caratteristiche della temperatura e delle precipitazioni. Köppen suddivide il clima in cinque classi, distribuite secondo latitudini crescenti dall'equatore ai poli e le indica con le lettere maiuscole dalla A alla E:

A = *climi megatermici umidi della zona intertropicale* (tutti i mesi con temperatura $> + 18^\circ$). Le foreste pluviali, a cavallo dell'equatore, hanno pioggia tutto l'anno. Le savane, praterie di arbusti e alberi resistenti alla siccità, hanno una stagione secca e una piovosa, condizionate dai monsoni tropicali.

B = *climi aridi* (con varie condizioni). Le regioni aride includono i deserti: la vegetazione si è adattata a sopravvivere a lunghi periodi di siccità. Una situazione simile si ha nelle steppe, grandi pianure erbose, che limitano i deserti e dove le precipitazioni sono più abbondanti.

C = *climi mesotermici umidi* (temperatura del mese più freddo compresa tra $+18^\circ$ e -3°). Questa categoria include i climi subtropicali umidi, con aria umida e temperatura elevata per gran parte dell'anno. Si sviluppa la foresta decidua e di conifere. Sono tipici di questa zona i climi mediterranei, con precipitazioni soprattutto invernali, estati calde e vegetazione a macchia, e i climi marini delle coste occidentali, dove il mare tempera il clima e può permettere lo sviluppo delle foreste pluviali costiere temperate.

D = *climi micro termici boreali* (temperatura di gennaio inferiore a -3° , ma quella di luglio $> +10^\circ$). Questi climi temperati di latitudine più elevata di hanno solo nell'emisfero settentrionale e interessano le regioni continentali umide con estati lunghe (come nel centro degli Stati Uniti) con foresta decidua; le regioni continentali umide con estati brevi, caratterizzate da foresta mista o foresta di conifere; le regioni subartiche con estati fresche e molto brevi, e con foreste di conifere (taiga) che diventano sempre più basse e arbustive andando verso latitudini più alte.

E = *climi polari* (anche il mese più caldo con temperature $< +10^\circ$). Questi climi freddi sono caratterizzati dalla tundra e interessano regioni quasi prive di estate, con inverni lunghi e freddi, abitate solo da piante basse e resistenti al freddo intenso, come muschi e licheni. Il suolo è quasi completamente costituito da permafrost. Nelle regioni delle calotte glaciali, vicino ai poli, il clima è ghiacciato tutto l'anno; in Antartide le rare aree non coperte da ghiacci sono quasi del tutto prive di vegetazione, a parte alcune specie di licheni e alghe. Gli altopiani di trovano invece in regioni non polari e quindi a latitudini più basse, ma qui è la quota che determina una situazione quasi analoga a quella polare, con una progressiva scomparsa della vegetazione al di sopra di quella che viene detta la linea della vegetazione.

La rappresentazione in Figura 1.1.1 riporta la classificazione dei climi secondo Köppen.

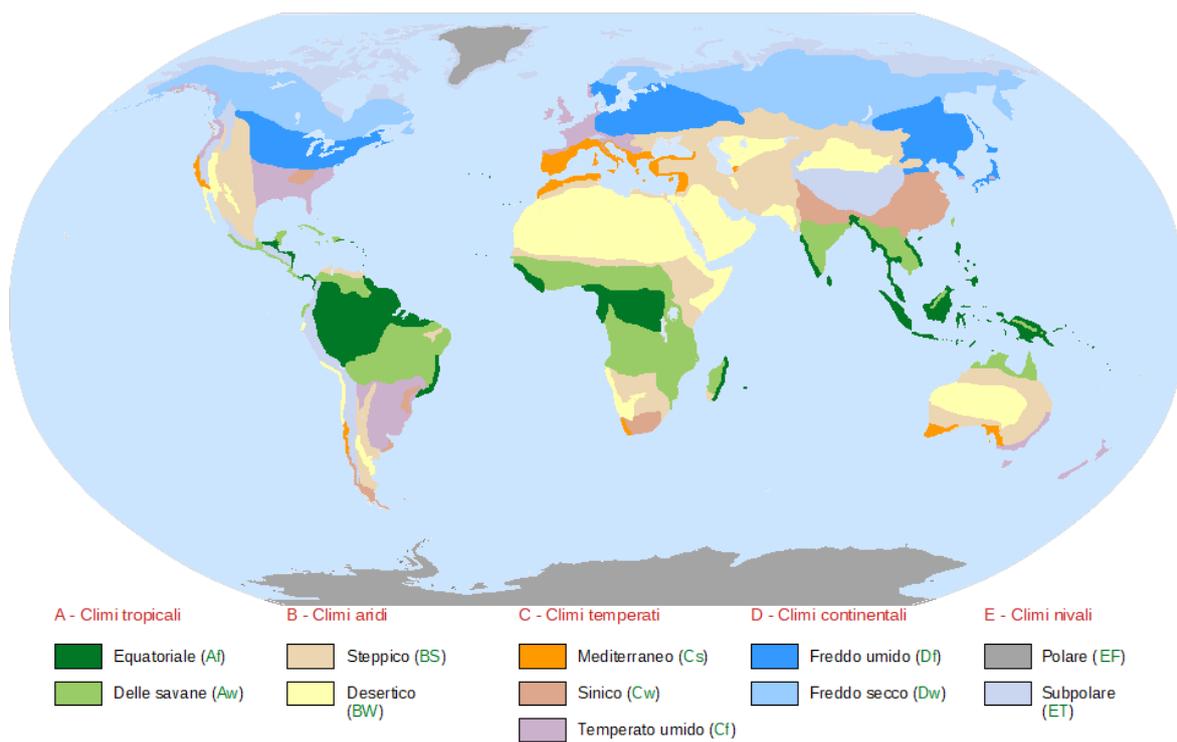


Fig. 1.2 – Classificazione dei climi secondo Köppen

Capitolo 2

2 Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri

Gli impatti dei cambiamenti climatici sono già evidenti in molte aree geografiche del mondo. In Europa alcuni dei cambiamenti osservati negli ultimi anni hanno fatto registrare valori climatici record; per esempio, la temperatura europea ha raggiunto il valore più elevato nel 2014, mentre si è registrata la minima estensione invernale del ghiaccio artico nel 2016. In particolare, la regione del Mediterraneo è considerata come un'area particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici. Gli impatti determinati da tali cambiamenti coinvolgono importanti settori socioeconomici e produttivi, quali energia, trasporti, agricoltura e turismo, nonché risorse ambientali naturali, quali aree montuose e foreste, ecosistemi e biodiversità, risorse idriche, aree costiere e marine. Sono inoltre possibili ripercussioni sulla salute dell'uomo, specialmente per le categorie più vulnerabili della popolazione. L'osservazione delle variazioni climatiche del passato recente e in corso e la stima di quelle future costituiscono il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti e alla definizione delle strategie e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

La ricostruzione del clima del passato, che si riferisce generalmente agli ultimi decenni, costituisce la fonte primaria di informazioni sul clima e le sue variazioni e consente di valutare se eventuali segnali climatici siano già riconoscibili sul territorio. Queste informazioni sono fornite dall'analisi di serie temporali di osservazioni meteorologiche rappresentative delle località in esame e dall'applicazione di modelli statistici per il riconoscimento e la stima delle tendenze. Particolarmente rilevante è l'analisi degli estremi climatici, che possono causare impatti consistenti sull'ambiente. La principale criticità riguardo all'analisi del clima del passato consiste nel fatto che non sempre è disponibile un insieme abbastanza ricco e rappresentativo della regione in esame di lunghe serie temporali che rispondono a requisiti di qualità, completezza e continuità tali da garantire una stima affidabile delle variazioni climatiche nel tempo e quindi delle tendenze.

Per quanto riguarda la valutazione dei cambiamenti climatici futuri, questa si basa sulle proiezioni di modelli climatici. In particolare, si distinguono modelli di circolazione generale atmosfera - oceano (AOGCM) e modelli climatici regionali (RCM), che verranno descritti in dettaglio nei capitoli successivi.

2.1 Indici climatici estremi

La conoscenza e lo studio approfondito di eventi climatici estremi sono di fondamentale importanza per molti motivi legati ai più disparati aspetti della vita della collettività (agricoltura, turismo, etc.) e svolge un ruolo fondamentale nello sviluppo e nella gestione delle situazioni di emergenza (rischio idrogeologico). La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici richiede stime aggiornate delle tendenze sia dei valori medi che degli estremi di temperatura e precipitazione. Lo studio del cambiamento del clima sulla base di eventi estremi può essere affrontato utilizzando una serie di indici adeguatamente costruiti. Quasi all'inizio del nuovo millennio si denunciò l'inadeguatezza dei dati fino ad allora disponibili, e si riconobbe la necessità di impostare una corretta procedura di analisi per i lavori futuri. Il team di esperti per il rilevamento dei cambiamenti climatici, il monitoraggio e gli indici (ETCCDI - Expert Team on Climate Change Detection and Indices), promosso dal WMO (World Meteorological Organization) - Commissione per la Climatologia (CCI) ha sviluppato una serie di indici climatici univoci e globalmente riconosciuti, che rappresenta una linea guida comune per lo studio del clima a scala regionale, promuovendo l'analisi ed il campionamento di questi in tutto il mondo, specialmente nelle zone più arretrate del pianeta. Attualmente, gli indici ETCCDI sono stati utilizzati in numerosi studi e sono descritti in seguito.

Prima di identificare gli indici climatici è necessario definire cosa sia un evento estremo. In particolare, gli elementi necessari per caratterizzare questi eventi sono da ricercarsi nella loro forma distributiva e nella localizzazione delle soglie, ossia la distanza fra queste ed il valore medio, che separano gli eventi estremi da quelli considerati normali. La forma distributiva delle variabili può essere diversa, e generalmente gli indici più legati alle code della distribuzione sono anche quelli più impattanti sulla società e sull'ambiente, poiché più estremi. Tuttavia, questa loro caratteristica di trovarsi lontano dalla media, ne denota la minor frequenza, conseguentemente anche i dati a disposizione per la loro analisi risultano particolarmente limitati, specialmente se messi in relazione alle dimensioni della maggior parte delle serie storiche a disposizione oggi, spesso di poco superiori ai cinquanta anni. Data questa problematica, molti indici analizzano in realtà quegli eventi che possono essere considerati "moderatamente estremi", ossia quelli che si verificano almeno una volta l'anno. La definizione moderna degli indici proposti dall'ETCCDI è stata formulata in modo che essi possano analizzare, in maniera trasversale, vari aspetti del clima, ottenendo sempre risultati significativi e ben rappresentativi, prescindendo dalla geografia della zona di studio. Molte di queste definizioni hanno origine da quelle precedentemente individuate dall'ECA (European Climate Assessment), tuttavia queste ultime mal si prestavano all'applicazione su scala globale, poiché tendevano a computare l'eccedenza di valori giornalieri rispetto soglie prefissate di temperatura e precipitazione, estratte dal periodo di riferimento 1961-1990. Ad esempio, calcolare il numero delle giornate estive in cui la temperatura eccede il valore di soglia di 25°C, può essere assunto come un buon indicatore di estati eccessivamente calde per quelle aree geografiche in cui il valore medio, nel trentennio di riferimento, si attesta attorno ai 18°C, per contro, lo stesso indice può marcare estati particolarmente fredde per altre zone, in cui i valori medi, per lo stesso periodo,

approssimano i 35°C. Impiegare valori percentili rispetto la distribuzione di frequenza significa prescindere dalle coordinate geografiche, dalla topografia ed anche dai valori medi assunti dalla variabile per la zona considerata, poiché la definizione delle soglie verrebbe a basarsi su valori realmente osservati, quindi già rappresentativi delle condizioni locali. In questo caso risulterebbero avere un significato anche comparazioni fra i risultati ottenuti in aree diverse, purché accumulate dalle stesse soglie percentili.

I 27 diversi indici climatici individuati (16 di temperatura e 11 di precipitazione) dall'ETCCDI si definiscono a partire da valori di temperatura giornaliera e di precipitazione giornaliera e possono essere suddivisi in cinque differenti categorie, distinte dalla base di calcolo:

valori di soglia fissi

Rientrano in questa categoria i seguenti indici annuali di temperatura: i giorni di gelo FD, le notti tropicali TR, i giorni estivi SU e i giorni senza disgelo ID. Per le precipitazioni: il numero annuale di giorni con precipitazione intensa R10 e il numero annuale di giorni con precipitazione molto intensa R20. Questi indici, pur non significativi in tutte le aree climatiche, sono di particolare rilievo poiché una loro variazione può avere un impatto significativo sulla società e sull'ambiente naturale.

valori assoluti

Gli indici assoluti rappresentano il più alto e il più basso valore registrato nel corso di un mese o di un anno. Per la temperatura, sono indici assoluti il valore massimo mensile delle temperature massime giornaliere TXx, il valore minimo mensile delle temperature massime giornaliere TXn, il valore massimo mensile delle temperature minime giornaliere TNx e il valore minimo mensile delle temperature minime giornaliere TNn; per la precipitazione, il valore massimo di precipitazione giornaliera RX1day e il valore massimo di precipitazione in 5 giorni consecutivi RX5day.

valori percentili

Gli indici basati sui percentili permettono di valutare l'evoluzione degli estremi climatici moderati, ovvero quegli estremi con un tempo di ritorno generalmente inferiore a un anno. A differenza degli indici basati su un valore di soglia prefissato, questi conteggiano le eccedenze rispetto a valori di soglia definiti in termini di frequenza (spesso il 10%), calcolati sulla distribuzione degli eventi nel periodo climatologico di riferimento 1961-1990, che il WMO (World Meteorological Organization) ha definito quale periodo di riferimento per la climatologia. Poiché i valori soglia utilizzati per il calcolo delle eccedenze sono specifici della serie climatica in esame, gli indici basati sui percentili sono rappresentativi del clima locale e permettono inoltre di confrontare risultati ottenuti in regioni diverse. Rientrano in questa categoria le notti fredde TN10p e i giorni freddi TX10p, le notti calde TN90p e i giorni caldi TX90p. Gli indici di precipitazione basati sui percentili sono la precipitazione nei giorni molto piovosi R95pTOT e la precipitazione nei giorni estremamente piovosi R99pTOT.

valori di durata dell'evento

Gli indici di durata identificano periodi prolungati e intensi di caldo come il WSDI, periodi di giorni consecutivi di pioggia come il CWD o di siccità come il CDD. L'utilizzo di valori soglia definiti dai percentili rende gli indici di durata della temperatura rappresentativi delle variazioni del clima locale. Gli indici CWD E CDD individuano rispettivamente il più lungo periodo di giorni di pioggia e di giorni di siccità nel corso dell'anno.

altri

Questi indici non rientrano in nessuna delle categorie precedenti, ma permettono di avere un quadro completo dell'evoluzione degli estremi di temperatura e precipitazione, quali la precipitazione totale annua PRCPTOT, l'indice di intensità di precipitazione SDII e l'escursione termica giornaliera DTR.

In seguito, in Tabella 2.1, viene riportato l'elenco completo degli indici ETCCDI, provvisto di nomi, definizione e unità di misura.

Capitolo 2 - Analizzare il clima passato e prevedere scenari futuri

Tabella 2.1 – Indici ETCCDI.

INDICE	NOME DELL'INDICE	DEFINIZIONE	UNITÀ DI MISURA
FD	Number of frost days	Numero di giorni in un anno in cui la temperatura minima giornaliera è minore di 0 °C.	giorni
SU	Number of summer days	Numero di giorni in un anno in cui la temperatura massima giornaliera è maggiore di 25 °C.	giorni
ID	Number of icing days	Numero di giorni in un anno in cui la temperatura massima giornaliera è minore di 0 °C.	giorni
TR	Number of tropical nights	Numero di giorni in un anno in cui la temperatura minima giornaliera è maggiore di 20 °C.	giorni
GSL	Growing season length	Giorni compresi tra un primo periodo dell'anno in cui si registrano almeno sei giorni consecutivi in cui la TG maggiore di 5 °C ed un secondo, successivo al primo luglio, sempre di sei giorni per cui si registra TG minore di 5 °C. TG= temperatura media giornaliera.	giorni
TXx	Monthly maximum value of daily maximum temperature	Massimo mensile delle temperature massime giornaliere.	°C
TNx	Monthly maximum value of daily minimum temperature	Massimo mensile delle temperature minime giornaliere.	°C
TXn	Monthly minimum value of daily maximum temperature	Minimo mensile delle temperature massime giornaliere.	°C
TNn	Monthly minimum value of daily minimum temperature	Minimo mensile delle temperature minime giornaliere.	°C
TN10p	Percentage of days when TN < 10 th percentile	Giorni in cui la temperatura minima è inferiore al 10° percentile.	%
TX10p	Percentage of days when TX < 10 th percentile	Giorni in cui la temperatura massima è inferiore al 10° percentile.	%
TN90p	Percentage of days when TN > 90 th percentile	Giorni in cui la temperatura minima è superiore al 90° percentile.	%
TX90p	Percentage of days when TX > 90 th percentile	Giorni in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile.	%
WSDI	Warm spell duration index	Numero di giorni con almeno 6 giorni consecutivi con temperatura massima superiore al 90° percentile.	giorni
CSDI	Cold spell duration index	Numero di giorni con almeno 6 giorni consecutivi con temperatura minima inferiore 10° percentile.	giorni
DTR	Daily temperature range	Differenza media mensile tra temperatura massima e temperatura minima.	°C
RX1day	Monthly maximum 1-day precipitation	Massimo annuale fra i massimi mensili per un giorno di precipitazione.	millimetri
RX5day	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	Massimo annuale fra i massimi mensili per cinque giorni consecutivi di precipitazione.	millimetri
SDII	Simple precipitation intensity index	Rapporto tra la somma delle precipitazioni nei giorni piovosi e il numero di giorni piovosi.	mm/giorno
R10	Annual count of days when PRCP ≥ 10 mm	Numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore di 10 millimetri.	giorni
R20	Annual count of days when PRCP ≥ 20 mm	Numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore di 20 millimetri.	giorni
Rnn	Annual count of days when PRCP ≥ nn mm	Numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore di nn millimetri.	giorni
CDD	Maximum length of dry spell, consecutive dry days	Massimo numero consecutivo di giorni non piovosi, cioè con precipitazione minore di 1 millimetro.	giorni
CWD	Maximum length of wet spell, consecutive wet days	Massimo numero di giorni piovosi consecutivi, cioè con precipitazione maggiore di 1 millimetro.	giorni
R95pTOT	Very wet days	Totale annuo delle precipitazioni che superano il 95° percentile del periodo di riferimento.	millimetri
R99pTOT	Extremely wet days	Totale annuo delle precipitazioni che superano il 99° percentile del periodo di riferimento.	millimetri
PRCPTOT	Annual total precipitation	Precipitazione totale annua.	millimetri

Nel seguente studio verranno computati solo gli indici di temperatura e per essi viene fornita una descrizione più dettagliata.

FD - Number of frost days

Conteggio annuale dei giorni con TN (temperatura minima giornaliera) $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Sia TN_{ij} la temperatura minima giornaliera del giorno i -esimo relativo all'anno j -esimo. Si consideri il numero di giorni per cui:

$$TN_{ij} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

SU, Number of summer days

Conteggio annuale dei giorni in cui TX (temperatura massima giornaliera) $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Sia TX_{ij} la temperatura massima giornaliera del giorno i -esimo relativo all'anno j -esimo. Si consideri il numero di giorni in cui:

$$TX_{ij} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ID, Number of icing days

Conteggio annuale dei giorni in cui TX (temperatura massima giornaliera) $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Sia TX_{ij} la temperatura massima giornaliera del giorno i -esimo relativo all'anno j -esimo. Si consideri il numero di giorni in cui:

$$TX_{ij} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

TR, Number of tropical nights

Conteggio annuale dei giorni con TN (temperatura minima giornaliera) $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Sia TN_{ij} la temperatura minima giornaliera del giorno i -esimo relativo all'anno j -esimo. Si consideri il numero di giorni in cui:

$$TN_{ij} > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

GSL, Growing season length

Conteggio annuale (dal 1° gennaio al 31 dicembre per l'emisfero nord (NH); dal 1 luglio al 30 giugno per l'emisfero sud (SH)) tra il primo intervallo di almeno 6 giorni con temperatura media giornaliera $TG > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il primo intervallo dopo il 1 luglio (1 gennaio in SH) di 6 giorni con $TG < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sia TG_{ij} la temperatura media giornaliera del giorno i nell'anno j . Si considera il numero di giorni tra la prima comparsa di almeno 6 giorni consecutivi con:

$$TG_{ij} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

e la prima comparsa dopo il 1° luglio (1° gennaio in SH) di almeno 6 giorni consecutivi con:

$$TG_{ij} < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

TX_x, Monthly maximum value of daily maximum temperature

Sia TX_{kj} la temperatura massima giornaliera nel mese k, periodo j. La temperatura massima mensile delle massime giornaliere è quindi:

$$TX_{xkj} = \max(TX_{kj})$$

TN_x, Monthly maximum value of daily minimum temperature

Sia TN_{kj} la temperatura minima giornaliera nel mese k, periodo j. La temperatura massima mensile delle minime giornaliere è quindi:

$$TN_{xkj} = \max(TN_{kj})$$

TX_n, Monthly minimum value of daily maximum temperature

Sia TX_{kj} la temperatura massima giornaliera nel mese k, periodo j. La temperatura minima mensile delle massime giornaliere è quindi:

$$TX_{nkj} = \min(TX_{kj})$$

TN_n, Monthly minimum value of daily minimum temperature

Sia TN_{kj} la temperatura minima giornaliera nel mese k, periodo j. La temperatura minima mensile delle minime giornaliere è quindi:

$$TN_{nkj} = \min(TN_{kj})$$

TN10p, Percentage of days when TN < 10th percentile

Sia TN_{ij} la temperatura minima giornaliera del giorno i-esimo nel periodo j-esimo e sia TN_{in}10 il 10° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo base 1961-1990. La percentuale di tempo rispetto al periodo di base è determinata quando:

$$TN_{ij} < TN_{in}10$$

Per evitare possibili disomogeneità tra i periodi interni ed esterni a quello di base, il calcolo per il periodo di base (1961-1990) richiede l'uso di una procedura bootstrap. I dettagli sono descritti successivamente alla definizione di questi indici.

TX10p, Percentage of days when TX < 10th percentile

Sia TX_{ij} la temperatura massima giornaliera del giorno i-esimo nel periodo j-esimo e sia TX_{in}10 il 10° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo base 1961-1990. La percentuale di tempo rispetto al periodo di base è determinata quando:

$$TX_{ij} < TX_{in}10$$

Per evitare possibili disomogeneità tra i periodi interni ed esterni a quello di base, il calcolo per il periodo di base (1961-1990) richiede l'uso di una procedura bootstrap. I dettagli sono descritti successivamente alla definizione di questi indici.

TN90p, Percentage of days when TN > 90th percentile

Sia TN_{ij} la temperatura minima giornaliera del giorno i -esimo nel periodo j -esimo e sia TN_{in90} il 90° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo base 1961-1990. La percentuale di tempo rispetto al periodo di base è determinata quando:

$$TN_{ij} > TN_{in90}$$

Per evitare possibili disomogeneità tra i periodi interni ed esterni a quello di base, il calcolo per il periodo di base (1961-1990) richiede l'uso di una procedura bootstrap. I dettagli sono descritti successivamente alla definizione di questi indici.

TX90p, Percentage of days when TX > 90th percentile

Sia TX_{ij} la temperatura massima giornaliera del giorno i -esimo nel periodo j -esimo e sia TX_{in90} il 90° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo base 1961-1990. La percentuale di tempo rispetto al periodo di base è determinata quando:

$$TX_{ij} > TX_{in90}$$

Per evitare possibili disomogeneità tra i periodi interni ed esterni a quello di base, il calcolo per il periodo di base (1961-1990) richiede l'uso di una procedura bootstrap. I dettagli sono descritti successivamente alla definizione di questi indici.

WSDI, Warm spell duration index

Conteggio annuale dei giorni con almeno 6 giorni consecutivi in cui $TX > 90^\circ$ percentile. Sia TX_{ij} la temperatura massima giornaliera del giorno i -esimo nel periodo j -esimo and sia TX_{in90} il 90° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo base 1961-1990. Allora il numero di giorni nel periodo viene sommato quando, in intervalli di almeno 6 giorni consecutivi:

$$TX_{ij} > TX_{in90}$$

CSDI, Cold spell duration index

Conteggio annuale dei giorni con almeno 6 giorni consecutivi con $TN < 10^\circ$ percentile. Sia TN_{ij} la temperatura minima giornaliera del giorno i -esimo nel periodo j -esimo e sia TN_{in10} il 10° percentile del giorno da calendario centrato su una finestra temporale di 5 giorni per il periodo di base 1961-1990. Allora il numero di giorni nel periodo viene sommato quando, in intervalli di almeno 6 giorni consecutivi risulta:

$$TN_{ij} < TN_{in10}$$

DTR, Daily temperature range

Differenza media mensile tra TX e TN. Siano TX_{ij} e TN_{ij} rispettivamente la temperatura massima e minima giornaliera del giorno i -esimo nel periodo j -esimo. Se I rappresenta il numero di giorni in j , allora:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})}{I}$$

Quindi, mentre gli indici a soglia fissa ci danno un'informazione legata al numero di giorni in cui si è verificato l'evento estremo assoluto in un anno, prendendo in considerazione l'evento più estremo verificatosi nel periodo di riferimento, gli indici a soglia mobile ci danno un'informazione relativa, andando a considerare il valore del percentile di riferimento sulla finestra mobile a 5 giorni.

Per gli indicatori di durata di un evento, ovvero WSDI e CSDI, il periodo di osservazione può continuare nell'anno successivo e viene conteggiato rispetto all'anno in cui il periodo termina. Per esempio, un periodo di freddo (CSDI) nell'emisfero settentrionale iniziato il 31 dicembre 2000 e terminato il 6 gennaio 2001 è conteggiato ai fini del totale numero di periodi di freddo nel 2001.

Per gli indicatori TN10p, TX10p, TN90p, TX90p, è stata eseguita una procedura bootstrap per la stima della soglia percentile e di conseguenza per indici all'interno del periodo di base 1961-1990. Infatti, non è possibile effettuare una stima esatta delle soglie a causa dell'incertezza del campionamento. Per fornire una stima temporalmente coerente del valore di soglia passando dal periodo di base e al periodo fuori base, è stata adottata la seguente procedura (Zhang et al. 2004) per definire il valore di soglia per il periodo di base.

Per prima cosa, il periodo 1961-1990 è suddiviso in un anno fuori base, cioè l'anno per il quale deve essere stimato il superamento, e un periodo di base costituito dagli anni rimanenti a partire dai quali devono essere stimate le soglie. Successivamente un blocco di dati di 30 anni viene costruito utilizzando i dati del periodo di base composto da 29 anni e unendo un anno aggiuntivo di dati del periodo di base (cioè uno degli anni nel periodo di base viene ripetuto). Questo nuovo blocco di 30 anni, così costruito, viene utilizzato per stimare le soglie. L'anno fuori base viene quindi confrontato con queste soglie e si ottiene il tasso percentuale di superamento per l'anno fuori base. I passaggi precedenti vengono riprodotti per ulteriori 28 volte, ripetendo a turno ciascuno dei restanti 28 anni di base per costruire il blocco di 30 anni. L'indice finale dell'anno fuori base è ottenuto calcolando come media delle stime dalle 29 iterazioni dovute alle fasi precedenti.

2.2 Analisi delle tendenze

In questo capitolo vengono descritti gli strumenti analitici utilizzati per la stima delle tendenze delle variabili climatiche considerate per il presente studio.

In termini generali, la serie temporale di una variabile climatica $x(t)$ può essere espressa come la somma di due componenti:

$$x(t) = f(t) + e(t)$$

dove $f(t)$ è il valore atteso di $x(t)$, mentre $e(t)$ rappresenta la componente *random* o casuale che è legata principalmente alla variabilità climatica naturale.

Secondo la precedente formula una serie storica non rappresenta solo una sequenza di valori casuali indipendenti fra loro; piuttosto, essi possono essere descritti attraverso una funzione o un modello matematico con i quali vengono messi in relazione i valori attuali con quelli passati. La modellizzazione di una serie storica consiste allora nella scelta del modello analitico più opportuno per descriverne le componenti $f(t)$ ed $e(t)$. Qualunque sia il modello prescelto per la componente $f(t)$, l'analisi delle tendenze (trend) ha come obiettivo quello di valutare se essa rimanga costante nel tempo oppure no e in quest'ultimo caso, quello di quantificare l'entità di tale variazione. Ricorrendo alla terminologia statistica della verifica delle ipotesi, l'analisi dei trend mette a confronto le ipotesi:

- H_0 : $f(t)$ costante (invariante nel tempo);
- H_1 : $f(t)$ non costante.

Un approccio di analisi è quello che viene detto "parametrico", in quanto basato sull'assunzione che i dati osservati seguano una determinata funzione di distribuzione; alternativamente esistono test non parametrici, impiegati spesso nello studio delle tendenze climatiche.

Al fine di valutare l'esistenza di una tendenza di crescita o decrescita degli indici climatici di temperatura e quindi determinare, data la serie di dati calcolati, se effettivamente si può definire un peggioramento o meno delle condizioni climatiche, sono stati utilizzati i test non parametrici di Mann - Kendall, Spearman e Cox - Stuart.

2.2.1 Mann - Kendall Test

Il test di Mann-Kendall (*Mann 1945; Kendall 1975*), è applicato per valutare l'esistenza di tendenze nelle serie degli indici di siccità. Questo test non necessita di particolari forme di distribuzione dei dati, ed è anche caratterizzato dall'essere poco suscettibile alle interruzioni improvvise della serie. Data questa sua robustezza, grazie anche alla facilità di impiego, viene spesso utilizzato come test per la verifica delle tendenze nelle serie idrologiche. L'ipotesi nulla sulla quale si fonda è quella di "no trend" (nessuna tendenza).

La procedura di applicazione del test, su un campione di dimensione N , prevede l'estrazione di due sottoinsiemi, l'uno formato dagli elementi di posto $i = \{1, 2, \dots, N - 1\}$ e l'altro da quelli di posto $j = \{i + 1, i + 2, \dots, N\}$. Questi seguono l'ordinamento temporale. Allora, operando il confronto fra due valori successivi, se il valore collezionato all'istante i (precedente), è minore di quello collezionato all'istante appena successivo j , allora la statistica S del test è incrementata di uno, viceversa altrimenti. In particolare, la statistica è definita nel seguente modo:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(y_j - y_i)$$

$$\text{sign}(y_j - y_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } (y_j - y_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (y_j - y_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (y_j - y_i) < 0 \end{cases}$$

Per dimensioni del campione maggiori ai dieci elementi, la statistica S ben approssima la distribuzione normale, con media nulla e varianza definita da:

$$\sigma^2 = \frac{N(N-1)(2n+5) + \sum t_i(i-1)(2i+5)}{18}$$

Nella definizione sopra, con il termine t_i viene identificato il numero di osservazioni uguali nel campione, dunque la sommatoria presente a secondo membro si computa esclusivamente nel caso di dati appaiati.

Il valore della statistica del test, Z_S , è calcolata come:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

Valori positivi della statistica indicano una possibile tendenza crescente nelle osservazioni (trend positivo), contrariamente, valori negativi ne delineano una possibile tendenza decrescente. Si ricorda comunque che, trattandosi di un test, la validità della stima fatta è subordinata al superamento del test stesso, il che si traduce a verificare che la statistica ricada all'interno della zona di accettazione, dato il livello di significatività α . In altri termini se $|Z_S| > Z_{1-\alpha/2}$, l'ipotesi nulla H_0 di "no trend" è rifiutata, di conseguenza esiste una qualche tendenza nei dati osservati.

Se vi è la necessità di stimare l'ampiezza della tendenza, si impiega lo stimatore di Sen (*Sen's slope estimator*), determinato dall'equazione:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{y_j - y_l}{j - l} \right) \quad \forall l > j$$

Dove con l'elemento y_l si denota la l -esima osservazione antecedente alla j -esima osservazione y_j .

2.2.2 Spearman - Rho Test

L'indice per ranghi di Spearman è una misura statistica non parametrica di correlazione che misura il grado di relazione tra due variabili e l'unica ipotesi richiesta è che queste siano ordinabili, e, se possibile, continue.

Questo indice di correlazione non parametrico permette di valutare la forza del rapporto tra due variabili quando le assunzioni per il modello di correlazione parametrica, coefficiente r Pearson, non sono soddisfatte.

In particolare, quando la distribuzione delle variabili X e Y non risulta normale (caso piuttosto frequente per popolazioni di dati ad elevato numero di casi) quando le sottopopolazioni dei valori di Y o X non risultino avere la stessa varianza, la correlazione parametrica non viene utilizzata e si ricorre a questo indice che ha inoltre modalità di calcolo piuttosto semplice.

Le assunzioni di applicabilità di questa procedura risultano:

- il campione da cui sono estratti i valori di X e Y è casuale e semplice;
- i valori di X e Y sono misurati ad un livello almeno ordinale.

Il coefficiente di correlazione di Spearman assume i valori tra -1 e +1 indicando nel segno e nel valore, il tipo e la forza della correlazione. Il segno + indica una correlazione direttamente proporzionale, il segno - indica una correlazione inversamente proporzionale; valori di ρ vicini ad 1 indicano una correlazione perfetta, il valore ρ molto vicino a 0 indica una correlazione nulla.

Per il calcolo:

- si ordinano i valori di X (che corrispondono alla colonna X nella coppia dei valori X e Y) da 1 ad n e si assegnano i ranghi tenendo conto anche dei valori uguali, ties che assumono la media del rango;
- si ordinano i valori di Y (che corrispondono alla colonna Y nella coppia dei valori X e Y) da 1 ad n e si assegnano i ranghi tenendo conto anche dei valori uguali, ties che assumono la media del rango;
- per ogni coppia si calcola la differenza d_i del rango di Y - il rango di X, si eleva d_i al quadrato;
- si calcola la somma dei d_i al quadrato $\sum d_i^2$.

Viene quindi utilizzata la formula:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Per valutare se il coefficiente determinato risulta significativo rispetto ai valori di α fissati viene confrontato il valore ottenuto con i valori critici della tabella 2.2 per il rispettivo n ed il valore α di significatività.

Tabella 2.2 – Coefficienti di Spearman.

<i>n</i>	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995	0.999
4	0.8000	0.8000	—	—	—	—
5	0.7000	0.8000	0.9000	0.9000	—	—
6	0.6000	0.7714	0.8286	0.8857	0.9429	—
7	0.5357	0.6789	0.7450	0.8571	0.8929	0.9643
8	0.5000	0.6190	0.7143	0.8095	0.8571	0.8929
9	0.4667	0.5833	0.6833	0.7667	0.5167	0.9000
10	0.4424	0.5515	0.6364	0.7333	0.7818	0.8667
11	0.4182	0.5273	0.6091	0.7000	0.7455	0.8364
12	0.3986	0.4965	0.5804	0.6713	0.7273	0.8182
13	0.3791	0.4780	0.5549	0.6429	0.6978	0.7912
14	0.3626	0.4593	0.5341	0.6220	0.6747	0.7670
15	0.3500	0.4429	0.5179	0.6000	0.6536	0.7464
16	0.3382	0.4265	0.5000	0.5824	0.6324	0.7265
17	0.3260	0.4118	0.4853	0.5637	0.6152	0.7083
18	0.3148	0.3994	0.4716	0.5480	0.5975	0.6904
19	0.3070	0.3895	0.4579	0.5333	0.5825	0.6737
20	0.2977	0.3789	0.4451	0.5203	0.5684	0.6586
21	0.2909	0.3688	0.4351	0.5078	0.5545	0.6455
22	0.2829	0.3597	0.4241	0.4963	0.5426	0.6318
23	0.2767	0.3518	0.4150	0.4852	0.5306	0.6186
24	0.2704	0.3435	0.4061	0.4748	0.5200	0.6070
25	0.2646	0.3362	0.3977	0.4654	0.5100	0.5962
26	0.2588	0.3299	0.3894	0.4564	0.5002	0.5856
27	0.2540	0.3236	0.3822	0.4481	0.4915	0.5757
28	0.2490	0.3175	0.3749	0.4401	0.4828	0.5660
29	0.2443	0.3113	0.3685	0.4320	0.4744	0.5567
30	0.2400	0.3059	0.3620	0.4251	0.4665	0.5479

In particolare:

- se viene formulata preliminarmente una ipotesi di correlazione diretta positiva (al variare positivo di X corrisponde un variare positivo di Y, test monodirezionale coda di destra) il valore p è significativo se supera il valore critico indicato nella tabella per α e n dati;
- se viene formulata preliminarmente una ipotesi di correlazione inversa negativa (al variare positivo di X corrisponde un variare negativo di Y, test monodirezionale coda di sinistra) il valore p è significativo se supera il valore critico preceduto da - indicato nella tabella per α e n dati;
- se viene formulata preliminarmente solo un'ipotesi di correlazione, ovvero di non indipendenza senza specificare il segno (corrispondente ad un test bidirezionale, a 2 code) il valore di p è significativo se supera in valore assoluto il valore critico riportato nella Tabella 2.3 per $\alpha/2$ (se $\alpha = 0.05$ allora $\alpha/2 = 0.025$) ed n dati.

Se n è maggiore di 30 per la verifica della significatività si può usare la distribuzione z dei valori della normale standardizzata previa la trasformazione:

$$z = \rho \sqrt{n - 1}$$

I pacchetti statistici inoltre permettono di applicare in automatico anche una correzione dovuta ad un possibile numero di osservazioni con uguale valore (ties) che, comunque, quando non sono molto numerose, comportano variazioni minime nel valore di p .

2.2.3 Cox Stuart Test

Con un campione di dati, non importa se raccolti con regolarità costante oppure in modo variabile, ma in successione temporale oppure disposti lungo un gradiente spaziale, il test di Cox e Stuart (Cox-Stuart trend test) permette di verificare, per la variabile considerata e con due metodi distinti, se esiste una tendenza monotona all'aumento oppure alla diminuzione della tendenza centrale e della variabilità.

In termini più espliciti il test può essere utilizzato per verificare separatamente:

- sia ipotesi sulla tendenza centrale o posizione (location);
- sia ipotesi sulla variabilità o dispersione (dispersion).

Per quanto riguarda la tendenza centrale, la metodologia più semplice di Cox e Stuart è del tutto simile al test dei segni per due campioni dipendenti, sia nel caso di piccoli che di grandi campioni. Il metodo, anche in questo caso, permette di valutare se nel complesso dei dati, tra i valori iniziali e quelli finali, esiste un incremento oppure una diminuzione significativa, pure in presenza di ampie irregolarità casuali o cicliche e di un allontanamento rilevante dalla linearità.

Il test non risulta significativo se i dati hanno una fase d'incremento lunga e una fase altrettanto lunga di decremento o viceversa; è significativo solamente se una delle due è statisticamente prevalente. La verifica verte sulla esistenza di una regressione monotona, cioè una variazione sistematica in aumento oppure in diminuzione che non è necessariamente lineare.

Spesso è collocato tra i test per un campione come sviluppo della distribuzione binomiale, sulla quale è fondato. Con tale impostazione, il parametro tempo o spazio non assumono alcuna importanza, purché i singoli dati siano riportati in serie, secondo l'ordine della rilevazione. Il metodo è estremamente semplice e fondato sulla distribuzione binomiale, richiede alcuni semplici passaggi logici.

Con N osservazioni indipendenti X_1, X_2, \dots, X_N in serie ordinata rispetto a un'origine, si presentano diverse ipotesi:

- H_0 : la tendenza centrale delle osservazioni da 1 a N è costante, ipotesi nulla;
- H_1 : la serie di osservazioni ha una tendenza centrale non costante (ipotesi bilaterale);
- H_2 : le osservazioni hanno una tendenza centrale in crescita (ipotesi unilaterale crescente);
- H_3 : le osservazioni hanno una tendenza centrale in diminuzione (ipotesi unilaterale decrescente).

Nel caso di campioni grandi per la rapidità del calcolo è conveniente utilizzare la distribuzione normale, con la correzione per la continuità (tra 30 e 100 dati almeno):

$$Z = \frac{|X - N \cdot p| - 0.5}{\sqrt{N \cdot p \cdot q}}$$

2.3 Proiezioni climatiche future

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Per descrivere il clima che possiamo attenderci per il futuro di una determinata area geografica, dobbiamo partire dal concetto che i cambiamenti climatici influiscano sulle principali variabili atmosferiche, quali ad esempio temperatura, precipitazioni, vento, sia in termini di valori medi (prendendo in considerazione le medie delle stagioni o di interi anni), sia in termini di valori estremi (piogge intense giornaliere, giorni consecutivi senza pioggia, per quanti giorni consecutivi la temperatura è stata particolarmente elevata).

Inoltre, è importante considerare che le proiezioni dei modelli forniscono indicazioni riguardo alle possibili variazioni climatiche per i prossimi decenni, in relazione a diverse ipotesi di sviluppo socioeconomico globale che tengono conto di una serie di variabili, tra cui il cambiamento socioeconomico, il cambiamento tecnologico, l'energia e l'uso del suolo, le emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici.

2.3.1 Representative Concentration Pathways - RCP

Le proiezioni climatiche sono ottenute attraverso l'utilizzo di modelli climatici che si basano sul presupposto che le condizioni climatiche future dipendano dall'evoluzione in atmosfera delle concentrazioni di gas climalteranti che, a loro volta, dipendono dall'attuazione o meno di politiche di mitigazione, ossia di riduzione delle emissioni di tali gas, a scala globale.

Le simulazioni climatiche ad alta risoluzione, quindi a scala globale, sono riferite a diversi scenari di concentrazione dei gas serra, aerosol e gas chimicamente attivi, e vengono denominati RCP (Representative Concentration Pathways – Percorsi Rappresentativi di Concentrazione). Questi scenari sono stati ridefiniti recentemente e hanno lo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Questi RCP completano e, per alcuni scopi, sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES).

I quattro nuovi Percorsi Rappresentativi di Concentrazione includono uno scenario di mitigazione (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione (8.5 W/m² - RCP8.5). Dai modelli numerici si ottiene un insieme di molteplici previsioni di ogni variabile climatica nei diversi scenari. Il numero associato a ciascun RCP si riferisce al Forzante Radiativo (Radiative Forcing - RF) espresso in unità di Watt per metro quadrato (W/m²) ed indica l'entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale.

Ad esempio, lo scenario RCP8.5 (comunemente associato all'espressione "Business-as-usual", o "Nessuna mitigazione") considera una crescita delle emissioni ai ritmi attuali e tale scenario assume, entro il 2100, concentrazioni atmosferiche di CO₂ triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm). Mentre lo scenario RCP2.6 ("Mitigazione aggressiva") è relativo all'ipotesi di emissioni dimezzate entro il 2050. Ovvero, questo particolare scenario assume strategie di mitigazione 'aggressive' per cui le emissioni di gas serra si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni. Per tutti gli scenari RCP, eccetto lo scenario RCP2.6, l'aumento di temperatura continuerà anche oltre il 2100.

2.3.2 Modelli climatici AOGCM e RCM

È importante sottolineare che queste variazioni termiche non saranno uniformi nelle diverse aree geografiche, sia su scala globale che su scala locale: il clima cambia in maniera diversa in aree diverse del pianeta, così come cambia in maniera diversa in diverse regioni, città e aree locali di uno stesso stato. Per tanto, i modelli climatici possono essere classificati in due categorie che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro.

A scala globale, le variabili climatiche sono analizzate attraverso l'utilizzo di modelli di circolazione generale atmosfera - oceano (AOGCM), basati su leggi fisiche ben definite. I modelli, denominati anche GCM, sono in grado di riprodurre le caratteristiche medie del clima passato e recente, alla risoluzione orizzontale di 250-600 km e costituiscono lo strumento principale per valutare l'evoluzione del clima futuro. Tuttavia, a causa delle loro caratteristiche e risoluzione sono poco adatti alle esigenze degli utilizzatori finali, come decisori politici, attività produttive di beni e servizi, società civile, che necessitano, sulla scala regionale o locale, di un'attenta valutazione sia delle caratteristiche del clima, che degli impatti. Infatti, i modelli GCM risultano poco idonei a valutare i cambiamenti climatici su scala regionale nella quale, infatti, il clima è fortemente influenzato da fattori locali come la conformazione del territorio ed in particolare l'orografia, che sono rappresentati solo approssimativamente all'interno degli AOGCM. Inoltre, le simulazioni AOGCM non includono diversi processi fisici che si verificano ad una scala più fine della risoluzione del modello.

Uno degli strumenti più efficaci che è stato sviluppato per fornire analisi climatiche utili è rappresentato dai Modelli Climatici Regionali (RCM), i quali rispondono alla necessità di fornire una migliore simulazione dei fenomeni a scala regionale e locale, grazie ad una più elevata risoluzione di 10-50 km e ad una più completa rappresentazione dei processi fisici. Il termine "regionale" va inteso come traduzione dall'inglese "*regional*" che, come da definizione dell'IPCC, indica aree geografiche di estensione compresa all'incirca tra 104 e 107 km². Tali modelli, innestandosi su un modello globale, da cui acquisiscono le condizioni iniziali e al contorno, producono proiezioni climatiche su una specifica area di interesse. In maniera analoga all'analisi delle variazioni climatiche passate e in corso, dagli output dei modelli è importante valutare non solo le proiezioni dei valori medi delle principali variabili climatiche, ma anche quelle dei valori estremi.

2.3.3 Med-CORDEX

La fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche sull'area del Mediterraneo e quindi sull'Italia è costituita da Med-CORDEX, un'iniziativa proposta dalla comunità scientifica che studia il clima del Mediterraneo e che costituisce una parte del più ampio esperimento CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), un programma mondiale sponsorizzato dal World Climate Research Program (WCRP). Il programma CORDEX mira a realizzare un quadro coordinato a livello internazionale al fine di produrre proiezioni regionali ad alta risoluzione sui cambiamenti climatici per tutte le regioni del mondo ed è supportato dai programmi internazionali HyMeX (HYdrological cycle in Mediterranean EXperiment) e MedCLIVAR (Mediterranean CLimate VARIability and Predictability).

Le proiezioni fornite da Med-CORDEX si basano sui nuovi scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5 e utilizzano modelli RCM ad alta risoluzione. Le simulazioni con risoluzione 50 x 50 km sono fornite da diversi modelli fino al 2100. Proprio la disponibilità di proiezioni da parte di più modelli permette di ottenere, insieme ad una valutazione delle variabili climatiche del futuro, anche una stima delle incertezze associate alla previsione. L'analisi del clima futuro viene generalmente focalizzata su diversi orizzonti temporali e riguarda sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione, particolarmente rilevanti nella definizione delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. In maniera analoga all'analisi delle variazioni climatiche passate e in corso, anche per il futuro gli estremi climatici sono stati studiati attraverso gli indici ETCCDI in numerosi lavori.

Tabella 2.3 - Modelli RCM selezionati dal programma Med-CORDEX, per l'analisi del clima futuro in Italia

ACRONIMO	ISTITUTO	RCM	GCM
ALADIN	Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-ALADIN5.2	CNRM-CM5
GUF	Goethe University Frankfurt	GUF-CCLM4-8-18	MPI-ESM-LR
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC-CCLM4-8-19	CMCC-CM
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	LMD-LMDZ4-NEMOMED8	IPSL-CM5A-MR

Ai fini del presente studio, sono state estratte e analizzate le proiezioni di temperatura massima e minima definite dal modello CMCC, elaborato dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5, con una valutazione fino al 2100.

Essendo unico il modello da cui è stato possibile analizzare le proiezioni, esso non consente di definire con esattezza gli intervalli di variabilità e quindi l'incertezza delle previsioni di un certo parametro. I risultati del modello vengono considerati obiettivamente, solo come fonti che rappresentano lo stato dell'arte delle proiezioni a scala regionale. Infine, si sottolinea che l'analisi delle proiezioni climatiche è qui focalizzata solo sulla regione Marche, rispetto alla scala più estesa alla quale sono rivolte le simulazioni modellistiche prodotte nell'ambito di Med-CORDEX.

Capitolo 3

3 Area di studio

Il presente studio si sofferma sull'analisi delle serie di dati presenti all'interno della regione Marche, pertanto si descrivono le peculiarità fisiche, climatiche e idrologiche dell'area di interesse.



Figura 3.1 – Mappa idro-orografica della regione Marche

3.1 Geografia fisica

Le Marche sono una regione dell'Italia centrale, compresa fra il 42° ed il 44° parallelo Nord e fra il 12° ed il 14° meridiano Est, la cui superficie è pari a 9.694 km².

Affacciata sul Mare Adriatico, è limitata superiormente (a nord) dal fiume Conca ed inferiormente (a sud) dal fiume Tronto. Essa si delinea come una regione montuoso-collinare, propriamente appenninica per il 54% del suo territorio, ossia caratterizzata da vere e proprie zone montuose (pari a circa il 31% del totale) ed alto-collinari, mentre nel restante territorio sono presenti modesti rilievi collinari che, salvo rare eccezioni, degradano fino al mare. Entro i suoi confini vi è la completa assenza di pianure di estensione apprezzabile, inoltre quelle presenti sono limitate ad esili zone alluvionali nelle vallate maggiori, prossime alla foce dei fiumi o alle zone di fascia costiera. Come già riportato, le zone collinari ed alto-collinari rappresentano la tipologia orografica più consistente, con una superficie di circa 6.500 km², ovvero il 69% del totale.

La Regione ammette entro i propri confini settentrionali le propaggini terminali dell'Appennino tosco-emiliano, la cui cima di maggior rilievo è il monte Carpegna, di 1415 m, mentre entro i suoi confini meridionali è presente una propaggine dell'Appennino abruzzese, la cui cima maggiore è la Macera della Morte, di 2073 m. Lungo l'intero confine occidentale, la Regione abbraccia la totalità del versante orientale della dorsale appenninica umbro-marchigiana, costituita da catene montuose sub parallele e ravvicinate, decorrenti in direzione NNW-SSE, con tendenza moderata all'incurvamento lungo la direttrice N-S verso il meridione. Queste serie di catene sono il frutto di cinque differenti pieghe tettoniche che interessano l'intero entroterra regionale, di cui la piega più occidentale ne delinea il confine territoriale. Le altitudini maggiori di questa catena assiale (ai confini con l'Umbria) non eccedono i 1701 m del monte Catria. Le altitudini più elevate della regione sono invece concentrate lungo una catena situata più ad est, che ha inizio nel territorio del Montefeltro, con modeste altitudini (1485 m del monte San Vicino), e prosegue sino a diventare una vera e propria dorsale verso meridione, con il massiccio dei monti Sibillini, di cui i monti Priore (2232 m), Porche (2235 m) e Vettore (2476 m) costituiscono le vette maggiori. Una terza catena montuosa ancora più ad est di quelle già citate, si ha nella porzione meridionale della regione, nei pressi di Ascoli Piceno e culmina col monte dell'Ascensione, di 1103 m.

Al termine delle zone montuose si estendono ampi territori collinari, anche essi caratterizzati da una struttura geologica praticamente parallela all'Appennino ed alla linea di costa, salvo che, essi risultano essere fortemente modellati dai propri corsi d'acqua, originando vallate ortogonali all'ordinamento anzidetto. Tale conformazione conferisce alla regione la tipica morfologia a "pettine". Le colline mantengono elevazioni modeste, difficilmente eccedenti i 500 m, e degradano dolcemente fino alla costa, fatta eccezione per i promontori del monte San Bartolo, lungo il confine nord nei pressi di Pesaro, e del Conero, in prossimità di Ancona, capoluogo regionale.

Gli insediamenti abitativi sono concentrati soprattutto sulla fascia costiera, come pure le attività industriali e quelle orto frutticole a conduzione intensiva. L'attività agricola tradizionale, quella di allevamento intensivo di bestiame (suinicolo, bovino e avicolo) e quella agrituristica, si sviluppano prevalentemente nella fascia collinare del territorio.

3.2 Clima

Il clima nelle Marche presenta caratteri mediterranei lungo le coste e progressivamente continentali verso le zone Appenniniche. Tuttavia, anche sulle coste l'influenza del mare si riduce procedendo verso Nord in quanto la scarsa profondità dell'Adriatico centro-settentrionale, unita all'esposizione del territorio chiuso rispetto ai venti Occidentali e Meridionali ed aperto invece a quelli da Est o da Nord, conferisce al litorale delle Marche settentrionali caratteristiche climatiche affini a quelle della Valpadana.

3.2.1 Temperature

Le temperature presentano escursioni stagionali e giornaliere maggiori rispetto alle coste Tirreniche e a quelle Meridionali Adriatiche. A sud di Ancona il comportamento è simile a quello delle regioni mediterranee: inverni non troppo freddi ed estati calde, ma ventilate per la presenza delle brezze. A nord di Ancona l'influenza dell'Adriatico si riduce ed il comportamento termico è più simile a quello del comparto Padano con estati calde e afose anche se con più temporali ed inverni freddi e nebbiosi con periodi di freddo intenso in grado di causare gelate anche sulle coste. Le zone interne presentano caratteristiche tipiche del clima continentale con estati calde in cui spesso si superano i 30 °C ed inverni in cui spesso si scende sotto alla soglia dello 0 °C. Le temperature si abbassano progressivamente con l'altitudine tanto che sulle montagne appenniniche gli inverni sono molto rigidi con temperature che possono scendere anche a -20 °C durante le irruzioni artiche e valori freschi anche in estate. I venti di garbino possono provocare improvvisi rialzi termici in qualsiasi periodo dell'anno con fasi di disgelo anche in pieno inverno.

3.2.1.1 Distribuzione spaziale delle temperature

Nella Fig. 3.2 è possibile osservare la rappresentazione spaziale del valore medio di temperatura massima (in colore rosso) e minima (in colore blu), con riferimento al periodo di osservazione 1957-2019, dell'intera regione Marche. I dati di temperatura massima e minima sono stati interpolati spazialmente tramite il metodo delle distanze inverse (IDW), e l'elaborato è stato prodotto mediante il software QGis. Questa tecnica è ampiamente utilizzata nell'interpolazione spaziale dei dati di pioggia e temperatura su una regione ampia.

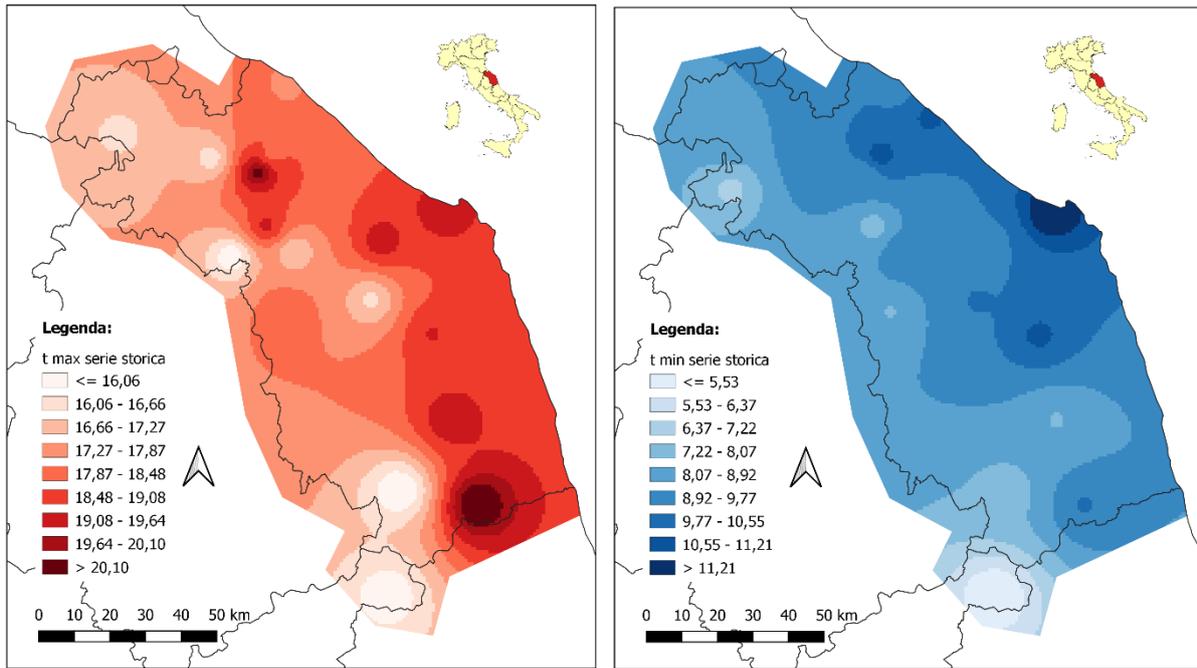


Figura 3.2 – Distribuzione spaziale della temperatura massima e minima, mediata nel periodo di osservazione 1957-2019, ricostruita con tecnica IDW.

Il valore medio di temperatura massima varia approssimativamente da un valore minimo di 16 °C ad un valore massimo di 20 °C, considerando la serie storica 1957-2019. Mentre le temperature minime tendono ad avere valori compresi tra i 5 °C e gli 11 °C.

Tale elaborazione grafica conferma il diverso comportamento climatico che si verifica tra la zona nord e la zona sud di Ancona. Infatti, mediamente le temperature massime che sono state registrate nella costa settentrionale risultano inferiori rispetto a quelle della costa meridionale con una differenza che ha raggiunto 1,2 °C. Anche le temperature minime registrate dimostrano che la zona costiera a nord di Ancona, mediamente ha delle temperature minime di circa 10 °C, mentre la zona sud ha raggiunto temperature minime inferiori, di circa 9,3 °C. Nelle zone interne sia le temperature massime, sia le minime si riducono progressivamente con l'altitudine con valori rispettivamente di 5 °C e 16 °C.

3.2.2 Venti

I venti che soffiano più frequentemente provengono dai quadranti occidentali e meridionali e ciò spiega la modesta piovosità annua nella Regione. I venti occidentali causano ombra pluviometrica sulle aree litoranee, unite ad improvvisi rialzi termici conosciuti come Garbino. I venti da Est o da Nord possono causare ondate di maltempo e freddo ma in genere si tratta di situazioni brevi e transitorie. Inoltre, anche le correnti di origine continentale non hanno un elevato tasso di umidità in grado di dispensare abbondanti precipitazioni; in compenso sono le principali responsabili delle grandi ondate di freddo. In estate i venti di Libeccio, associati alla presenza dell'alta pressione africana provoca consistenti rialzi termici sul litorale Adriatico con picchi di caldo molto intenso, mentre nelle altre stagioni tende a mitigare le temperature con ondate di tepore anche in pieno inverno.

3.2.3 Precipitazioni

Le piogge sulle Marche sono condizionate dalla disposizione dei rilievi Appenninici rispetto alla circolazione occidentale prevalente nell'area Mediterranea; in genere le precipitazioni non sono abbondanti in quanto le perturbazioni Atlantiche tendono a rilasciare il loro contenuto di umidità sotto forma di precipitazioni sul versante occidentale Appenninico e giungendo secche sul litorale.

3.3 Quadro idrologico regionale

Il quadro idrologico vede la quasi totalità dei propri corsi d'acqua tributari dell'Adriatico, ad eccezione delle sorgenti del fiume Nera, nel versante occidentale dei monti Sibillini che, confluendo nel fiume Tevere, sfociano nel Mar Tirreno. Il regime fluviale è di tipo torrentizio, in virtù di quello pluviometrico regionale, con trasporto solido abbastanza elevato. Ad eccezione dei tratti prossimi alle proprie sorgenti, le aste fluviali, lungo il loro decorso, si dispongono con direzione N-E, dando origine a strette e profonde gole di origine erosiva al momento del loro transito attraverso gli Appennini, allargandosi poi, giunte nei territori subappenninici e collinari, in ampie valli alluvionali.

I principali corsi d'acqua della regione sono, partendo da nord: il Marecchia ed il Conca sfocianti in Romagna; il Foglia; il Metauro, il cui affluente destro dà origine alla gola del Furlo; il Cesano; il Misa; l'Esino, che dà origine alla gola della Rossa; il Musone; il Potenza, con le forre di San Severino; il Chienti, con le gole di Valcimana; il Tenna; l'Aso; il Tronto.

A corredo della descrizione idrologica si deve menzionare che, seppur siano presenti diffusamente ampi invasi artificiali, i maggiori dei quali si trovano sui fiumi Tronto, Castellano (suo affluente di destra), sul fiume Fiastra e sul Chienti, all'interno del territorio non sono pressoché presenti laghi naturali consistenti.

L'unico lago di formazione naturale è il piccolo lago di Pilato, a 1949 m di quota, lungo le pendici del monte Vettore. Data la natura carsica delle proprie aree montane, sono invece numerose le risorse e le sorgenti idriche sotterranee, che talvolta danno luogo a sorgenti termali solfuree.

3.4 Sistema idrico delle marche

Il territorio della Regione Marche è suddiviso in cinque Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) e sono precisamente:

- ATO 1 Marche Nord Provincia Pesaro Urbino (PU)
- ATO 2 Marche Centro Provincia Ancona (AN)
- ATO 3 Marche Centro Provincia Macerata (MC)
- ATO 4 Marche Sud Alto Piceno - Maceratese
- ATO 5 Marche Sud Provincia Ascoli Piceno (AP)

La Regione Marche è suddivisa in quattro province come riportato nella Tabella 3.1, dove sono elencate da Nord verso Sud:

Tabella 3.1 – Suddivisione amministrativa e disponibilità idrica regione Marche.

province	Numero Comuni	abitanti	Disponibilità idrica
Pesaro Urbino	67	347.000	260 sorgenti e acque superficiali
Ancona	49	440.000	2-3 sorgenti e acque superficiali
Macerata	57	304.400	Sorgenti e subalveo
Ascoli Piceno	73	370.000	4 sorgenti
	246	1.461.000	

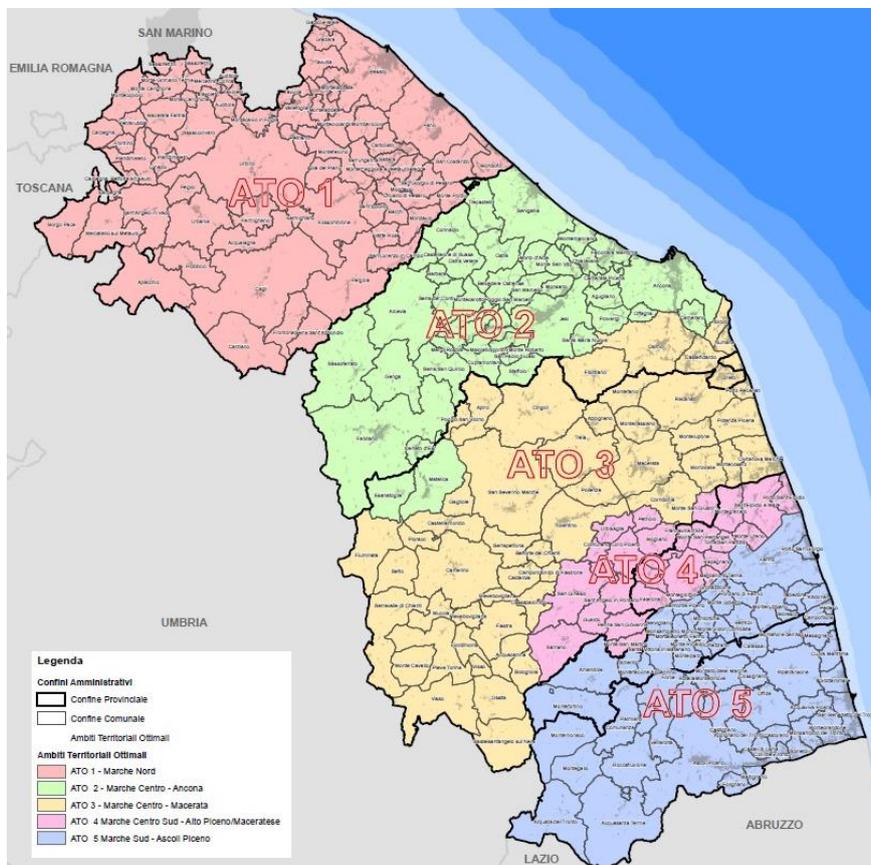


Figura 3.3 – Ambiti Territoriali Ottimali della regione Marche

Le acque della regione Marche provengono sia da sorgenti, che da pozzi di subalveo che da acque superficiali trattate. La situazione non è uniforme e si hanno differenze nelle singole province.

In particolare:

- Nell'ATO 1 l'approvvigionamento di acqua è sostenuto principalmente dall'acquedotto del Metauro e diversi impianti di presa, e serve la provincia di Pesaro e Urbino;
- Nell'ATO 2 c'è il gruppo sorgentizio Gorgovivo, che fornisce acqua principalmente alla provincia di Ancona;
- Nell'ATO 3 c'è l'acquedotto del Nera che è ancora in fase di costruzione nella sua parte terminale prossima al mare. Dovrebbe servire gran parte dei Comuni della Provincia di Macerata a Nord del Chienti e ad Ovest del Fiastra fino ai territori dei Comuni di Osimo Castelfidardo, Numana e Sirolo. Non essendo l'acquedotto nel suo pieno esercizio, poiché attualmente serve solo la zona montana e pedemontana, i soggetti gestori si approvvigionano da fonti alternative per lo più fluviali, con un apporto significativo fornito dall'invaso di Castreccioni a valle del quale si dirama un acquedotto che convoglia l'acqua potabile nei Comuni di Cingoli, Filottrano, Osimo, Castelfidardo, Sirolo, Numana;
- Nell'ATO 4 c'è l'acquedotto del Tennacola che serve il territorio compreso tra il mare, i Sibillini ed il bacino del Fiastra nella direzione Est-Ovest e tra il Chienti ed il Tenna nella direzione Nord-Sud;
- Nell'ATO 5 ci sono due acquedotti principali, quello del Pescara e quello dei Sibillini, che sono interconnessi tra loro e servono il territorio compreso tra il mare ed i Monti Sibillini, nella direzione Est-Ovest e tra i fiumi Tenna e Tronto nella direzione Nord-Sud.

Talvolta nelle quattro province si ricorre a integrazioni dell'acqua di montagna con quella del subalveo e con quelle superficiali, soprattutto nei periodi e nelle zone di scarsa dotazione idrica (durante la stagione estiva e nelle zone di maggiore affluenza di turisti). Nella regione Marche, il quantitativo di acqua immessa in rete per abitante per giorno è mediamente di 320 litri, mentre quella effettivamente erogata è di 260 litri.

I tre sistemi idrici principali sono tra loro distinti, non c'è collegamento e al momento non ci può essere scambio di risorsa idrica. La caratteristica comune, tuttavia, è che attingono tutti da sorgenti montane alimentate dal grande bacino del massiccio orientale dei Monti Sibillini.

Capitolo 4

4 Dataset

4.1 Misura delle temperature

La temperatura di un corpo è la condizione che determina la sua attitudine a trasmettere calore ad un altro corpo o a riceverne. Considerato un sistema costituito da due corpi, si dice che il corpo che cede calore all'altro ha temperatura più alta.

La temperatura termodinamica (θ), espressa in gradi Kelvin (K), è la temperatura di base. Per la maggior parte delle utilizzazioni meteorologiche la temperatura è, tuttavia, misurata secondo la scala Celsius, in cui la temperatura (t) è definita dalla seguente equazione:

$$t = \theta - 273.15$$

Elemento importantissimo nel campo della meteorologia a fini idrologici è la misura della temperatura dell'aria, da cui dipendono in grandissima parte i fenomeni meteorologici. Questo comporta che vengano effettuate misure istantanee o, più spesso, continue, della temperatura:

- dell'aria, in prossimità della superficie del terreno;
- del suolo, a differenti profondità;
- dell'acqua, alla superficie dei mari e dei laghi;
- dell'aria in quota.

In dettaglio, si tratterà la misura di temperatura dell'aria in prossimità della superficie del suolo.

4.1.1 Termometri

Gli strumenti utilizzati per la misura della temperatura e delle sue variazioni, sono i termometri. Si basano su alcune proprietà fisiche di una generica sostanza, che siano funzione della temperatura, le quali più utilizzate sono la dilatazione termica e la variazione di resistenza elettrica.

Esistono due categorie principali di termometri:

- termometri che vengono denominati “ordinari”, che indicano la temperatura ambiente;
- termometri “a massima” o “a minima”, che indicano le temperature estreme raggiunte in un intervallo di tempo sono denominati.

4.1.1.1 Il problema dell'irraggiamento

La temperatura dell'aria dipende da varie circostanze, fra le quali in primo luogo la stagione e l'ora del giorno in cui si effettuano le misure. La radiazione emessa dal sole, dalle nuvole, dal suolo e da altri oggetti prossimi al termometro attraversa l'atmosfera senza farne variare, in misura apprezzabile, la temperatura, sebbene un termometro esposto all'aria aperta possa assorbire una notevole quantità di queste radiazioni. La temperatura misurata da un termometro in tali condizioni può differire dalla vera temperatura dell'aria, per effetto della intensità dell'irraggiamento e del rapporto tra la quantità di radiazione assorbita e la quantità di calore dissipata. Un mezzo per eliminare questi inconvenienti è quello di proteggere il termometro dall'irraggiamento, ponendolo in una capannina meteorologica, che serva anche come supporto e come protezione dalle precipitazioni e dagli urti, assicurando allo stesso tempo una temperatura pressoché uguale a quella dell'aria, anche mediante la ventilazione forzata dello strumento.

La maggior parte delle capannine, pur con numerose varianti, ha pareti costituite da persiane che consentono la ventilazione naturale. Una capannina dovrebbe, nei limiti in cui ciò sia possibile, essere realizzata in modo da delimitare un ambiente in cui la temperatura sia uniforme e identica a quella dell'aria esterna, e dovrebbe circondare interamente il termometro impedendo l'irraggiamento e la penetrazione di precipitazioni. Le sue pareti dovrebbero essere preferibilmente costituite da una doppia persiana ed il pavimento dovrebbe essere costruito con listelli sfalsati e non congiunti. Il tetto dovrebbe essere realizzato mediante due strati separati, così da consentire una buona circolazione d'aria tra i due strati. Le dimensioni e le caratteristiche della capannina meteorologica devono essere tali da limitarne al massimo la capacità termica e da lasciare all'interno spazio sufficiente tra gli strumenti e le pareti e, in modo particolare, tra gli elementi sensibili degli strumenti e le pareti stesse. Ciò è particolarmente importante nelle regioni più calde ove il sole, riscaldando notevolmente le pareti della capannina, può causare la formazione di un apprezzabile gradiente termico all'interno della capannina stessa. Bisogna anche evitare il contatto diretto tra l'elemento sensibile e il supporto del termometro. La libera circolazione dell'aria nell'interno della capannina facilita l'equiparazione della temperatura delle pareti interne a quella dell'aria circostante, riducendo l'influenza delle pareti sulla lettura del termometro; viene anche facilitato lo scambio termico tra esterno ed interno della capannina affinché il termometro sia messo in condizioni di adattarsi con maggiore rapidità ai cambiamenti di temperatura. L'aria che penetra all'interno della capannina, tuttavia, lambisce prima le pareti esterne e la sua temperatura può esserne modificata. Di conseguenza, la temperatura misurata all'interno di una capannina meteorologica tende ad

essere superiore a quella vera dell'aria circostante, quando vi sia intensa insolazione e, di contro, lievemente inferiore a quella vera nelle notti con cielo terso e prive di vento. Ulteriore causa d'errore nella misura può verificarsi quando la capannina è bagnata dalla pioggia.

Per le ordinarie necessità della meteorologia, la temperatura misurata dovrà essere rappresentativa della temperatura dell'aria circostante alla stazione di osservazione, ad un'altezza compresa tra 1,25 e 2,00 m dal suolo. È necessario che tali limiti di altezza siano esattamente rispettati perché nello strato d'aria, anche molto sottile, a contatto con il suolo, possono instaurarsi forti gradienti termici.

L'ubicazione di una capannina meteorologica che contenga un termometro deve ricadere in una zona in cui il terreno circostante deve essere pianeggiante, esposto a normali condizioni di insolazione e di ventosità; lontana da alberi, edifici o altri ostacoli.

Le capannine, generalmente in legno, devono essere realizzate con materiali resistenti, assemblati con particolare cura, in modo che gli errori di misura dei termometri a massima e minima, che possono essere determinati da vibrazioni causate dal vento, siano ridotti al minimo.

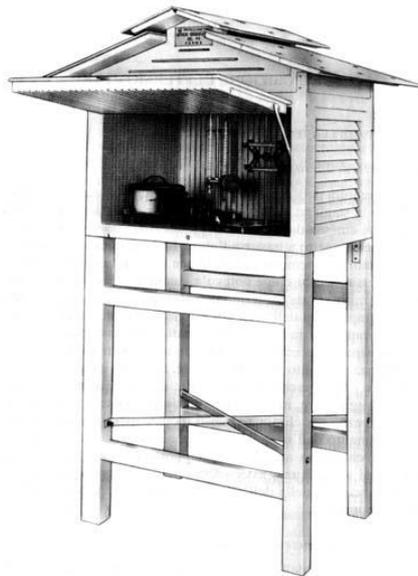


Figura 4.1 – Capannina metereologica.

Quando si richiede una maggiore esattezza nelle misurazioni, la soluzione alternativa alla ventilazione naturale delle capannine consiste nel proteggere il bulbo del termometro contro l'irraggiamento, sistemandolo nell'asse di due schermi cilindrici concentrici ed inducendo una circolazione d'aria artificiale tra i due cilindri.

4.1.2 Termometri di vetro con elemento sensibile liquido

Per le normali osservazioni della temperatura dell'aria vengono ancora correntemente utilizzati i termometri di vetro a liquido. La dilatazione del liquido puro contenuto nel termometro consente di misurare la temperatura. L'asta del termometro è collegata ad un rigonfiamento (bulbo) che contiene il liquido, per il tramite di un condotto strozzato; il volume del liquido è determinato in modo che il bulbo sia completamente pieno, ma il capillare lo sia soltanto in parte, in tutto l'intervallo di temperatura da misurare. Le variazioni di volume del liquido si trasformano in una corrispondente variazione del livello del liquido nell'asta del termometro; quest'ultima viene tarata segnando su di essa, o su un indice fissato saldamente all'asta e ad essa solidale, i valori della temperatura corrispondente a diversi livelli. Il tipo di liquido impiegato dipende dall'intervallo delle temperature da misurare, può essere il mercurio, impiegato normalmente per temperature superiori a $-38,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; mentre per temperature ancora inferiori si utilizzano l'alcol etilico od altri liquidi organici puri. Il vetro di cui è costituito lo strumento deve essere di qualità adatta alla realizzazione di termometri. La parete del bulbo deve essere la più sottile possibile, pur offrendo le necessarie garanzie di solidità, per facilitare la conduzione del calore. L'innalzamento del liquido nel capillare graduato avviene per effetto della dilatazione termica.

4.1.2.1 Termometri a massima

Il tipo più idoneo è il termometro a mercurio sottovetro, in cui il capillare sia strozzato tra il bulbo e l'inizio della scala. La strozzatura impedisce la discesa della colonnina di mercurio al diminuire della temperatura. È, tuttavia, possibile riportare la colonnina al punto di partenza afferrando saldamente il termometro col bulbo verso il basso e scuotendolo dall'alto in basso con energia. Il termometro a massima dovrebbe essere disposto inclinato con pendenza di circa 2 gradi sull'orizzontale, col bulbo più in basso, affinché la colonnina di mercurio non possa, per effetto della forza di gravità, superare la strozzatura e rientrare nel bulbo.

4.1.2.2 Termometri a minima

Il termometro più usato è il termometro ad alcol, il cui tubo contiene un indice di vetro scuro, lungo circa 2 cm, immerso nell'alcol. Poiché nei termometri ad alcol lo spazio superiore al liquido è occupato da aria, il capillare dovrà avere, alla sua estremità superiore, un'ampolla di sicurezza di capacità sufficiente a consentire, senza rischi di rotture, la misura di temperature fino a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il termometro a minima, così come quello a massima, deve essere installato in posizione quasi orizzontale.

I difetti principali di un termometro a minima sono quelli comuni a tutti i termometri a liquido organico; i più frequenti sono la frammentazione della colonnina di liquido, soprattutto durante il trasporto, e l'aderenza del liquido al vetro. Possono, inoltre, formarsi delle gocce di liquido alla sommità del capillare per distillazione.

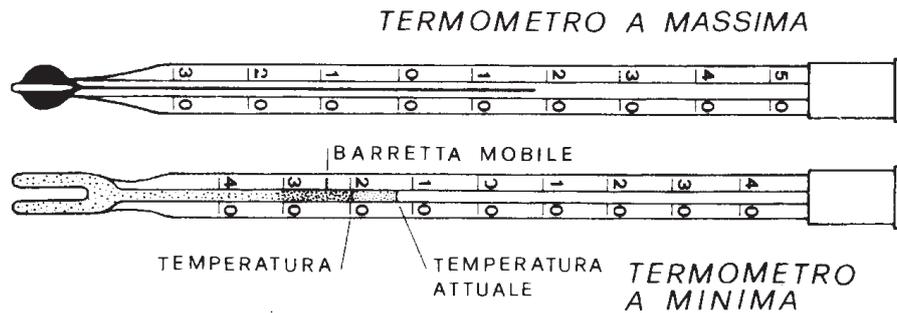


Figura 4.2 – Termometri a massima e a minima.

4.1.3 Termografi meccanici

Gli strumenti che vengono ancora frequentemente utilizzati sono i termografi a lamina bimetallica o quelli a tubo di Bourdon, poiché sono sicuri, portatili e relativamente poco costosi. Essi, tuttavia, non sono facilmente adattabili alla registrazione elettronica a distanza. Questi strumenti sono sempre dotati di un tamburo ruotante, meccanismo comune a tutti i classici dispositivi registratori. In genere l'errore massimo di un termografo non supera 1 °C. In questo strumento il movimento del pennino è determinato dal cambiamento di curvatura di una lamina bimetallica, piana o elicoidale, di cui una delle estremità è rigidamente fissata ad un braccio solidale col corpo dello strumento. I pregi dei termografi meccanici possono sintetizzarsi nella loro affidabilità e nel loro basso costo di acquisto e di esercizio.

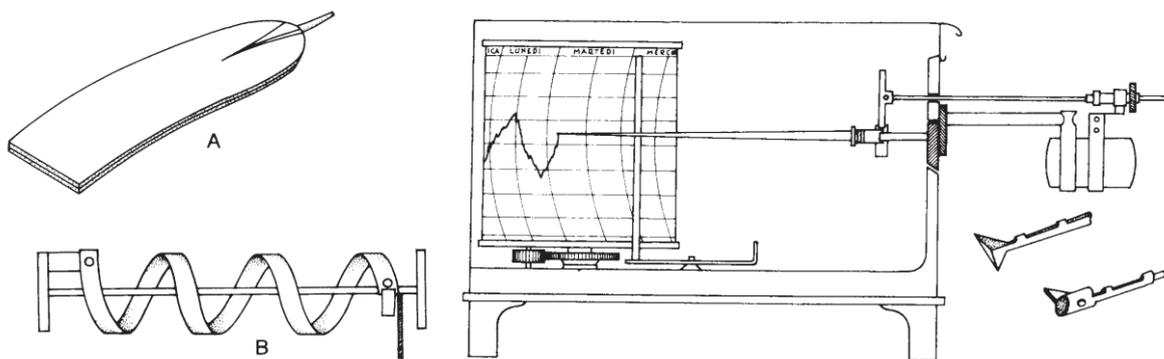


Figura 4.3 – Tipi di lamine bimetalliche A e B; esempio di termografo a tubo di Bourdon.

Il termografo a tubo di Bourdon assomiglia molto a quello a lamina bimetallica, ma il suo sensore di temperatura ha la forma di un tubo metallico curvo con sezione ellissoidale molto appiattita, riempito di alcol.

4.1.4 Termometri elettrici

Gli strumenti elettrici sono sempre più usati in meteorologia per la misura delle temperature. Essi offrono il vantaggio di emettere un segnale elettrico, adatto ad essere registrato o trasmesso a distanza. I sensori più diffusi sono le resistenze elettriche, le termistenze e le termocoppie. Infatti, per rappresentare la temperatura si può misurare la resistenza elettrica di un materiale di cui sia nota la legge di variazione della resistenza con la temperatura. Mentre la termistena è un semiconduttore caratterizzato da un coefficiente termico di resistenza relativamente elevato.

4.1.5 La registrazione dei dati

La registrazione dei dati rilevati dai termometri è sempre digitale, con notazione manuale, e con intervallo di registrazione determinato dall'operatore. Del pari digitale, con notazione manuale, è la registrazione dei dati rilevati con un termometro a massima e minima: in tal caso non è rilevabile l'intervallo di registrazione ma solo l'intervallo di tempo (di solito 24 ore) nel quale gli estremi di temperatura si sono verificati. Questo sistema di rilevazione, attualmente poco praticato, assume notevole importanza in quanto fu il più comune alle origini del Servizio Idrografico. Ne consegue che la temperatura media giornaliera poteva solo essere definita come valor medio tra le temperature massima e minima giornaliere.

I termografi più recenti consentono, invece, la registrazione continua della temperatura dell'aria, analogica (termografi meccanici) o digitale (termografi elettronici), ma con intervalli di tempo tra le misure.

Le registrazioni analogiche si presentano in forma di diagramma continuo su una striscia di carta diagrammata da avvolgere sul tamburo ruotante dello strumento rilevatore. L'operatore legge, solitamente, i valori massimo e minimo di ciascun giorno e costruisce i tabulati relativi. È possibile, con l'uso di tali strumenti, individuare l'ora esatta del verificarsi di una temperatura estrema nonché il verificarsi di condizioni anomale, quali rapide variazioni di temperatura, come pure determinare, se necessario, la scansione delle temperature ad intervalli di tempo predeterminati.

I termografi elettronici, nei quali il sensore è costituito da una resistenza termosensibile o da una termistena, determinano la registrazione dei dati, in forma digitale, su supporti magnetici (nastri, dischi ecc.) o su memorie allo stato solido. La registrazione può avvenire nello stesso strumento rilevatore, dotato di un registratore di dati, o presso un centro remoto in caso di trasmissione dei dati a mezzo di onde radio. Gli strumenti con teletrasmissione dei dati ad un centro di ricezione remoto possono far ricorso a registrazione su dischi o nastri magnetici sia per le condizioni ambientali, sia per la facilità di manutenzione, sia per la possibilità di disporre di registratori di riserva in caso di guasti. A causa della relativa insicurezza, sotto il profilo della continuità, dei sistemi di trasmissione, è opportuno che i termografi ed, in genere, tutti gli strumenti disposti per la teletrasmissione dispongano anche di un registratore locale di dati.

4.2 Raccolta dati idrologici

4.2.1 Cenni storici

Già dalla seconda metà del XIX secolo prese corpo la necessità di definire ed istituire un ente di carattere nazionale cui affidare il monitoraggio dei corsi d'acqua, ma fu solo grazie all'ingegner Gaudenzio Fantoli, ed al Consiglio Superiore delle Acque, che ebbe realmente origine un primo servizio statale deputato alle ricerche ed allo studio dell'intero patrimonio idrico italiano.

Il "Servizio Idrografico italiano per l'Italia peninsulare e per le grandi isole di Sicilia e Sardegna" prevedeva la suddivisione del territorio italiano in otto compartimenti, definiti in base a criteri idrografici, ovvero ogni dominio territoriale veniva determinato in ragione del bacino idrico sotteso da uno specifico litorale (ivi sfociante). Ogni compartimento faceva riferimento alla propria Sezione autonoma, presso gli uffici del Genio Civile, cosicché si ebbero le sedi di:

- Pisa, per il territorio del litorale ligure - toscano;
- Roma, per il bacino sotteso lungo il litorale del Lazio;
- Napoli, per il litorale della Campania;
- Catanzaro, per il territorio dei litorali calabresi e lucani;
- Chieti, per il dominio del litorale di Abruzzo, Molise e Puglia;
- Bologna, per il dominio dei litorali di Marche e Romagna;
- Palermo, per il dominio delle coste siciliane;
- Cagliari per il dominio del litorale della Sardegna.



Figura 4.4 – Compartimenti idrografici all'epoca del SIMN.

Nel corso del tempo alcune sezioni vennero soppresse e trasferite, definendo altri nuovi domini territoriali.

A livello amministrativo centrale il Servizio Idrografico era inizialmente posto sotto la vigilanza del Consiglio Superiore delle Acque, successivamente venne accorpato al Servizio Mareografico, dando origine al Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). Dal 1991, tramite il D.P.R. 85/1991, vennero ampliati i campi di azione del Servizio, al quale venne riconosciuto il compito di *“provvedere al rilevamento, validazione, archiviazione e pubblicazione delle grandezze climatiche, idrologiche e idrografiche interessanti il reticolo idrografico superficiale e sotterraneo, le lagune, il clima marittimo, i livelli marini ed i litorali”*. Infine, dopo essere passato sotto il controllo di diverse altre agenzie, nel 2008 venne posto sotto la vigilanza dell'ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

A livello amministrativo nei riguardi delle sezioni periferiche, invece, tramite il *D.lgs. numero 112 del 31 marzo 1998*, venne disposto che le competenze degli uffici periferici del Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali venissero affidate alle regioni, trovando definitivamente attuazione tramite il *Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 24 luglio 2002*.

La raccolta ed il campionamento dei dati idrometrici è affidata, dal 2002, alla Protezione Civile della Regione Marche. La rete di monitoraggio nel territorio regionale nasce nel 1916 ad opera del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale; esso era responsabile della collocazione delle strumentazioni, delle rilevazioni, dei computi e della divulgazione dei dati raccolti. La divulgazione avveniva tramite pubblicazione, con cadenza annua, degli Annali Idrologici.

L'intero territorio della Regione Marche ricadeva all'interno del compartimento territoriale di Bologna, che raggruppava tutti i bacini idrografici compresi fra i fiumi Reno (a nord) e Tronto (a sud). In seguito, come detto precedentemente, le competenze affidate agli uffici periferici passarono alle amministrazioni regionali che demandarono a loro volta tali oneri o alle proprie Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA), oppure alle rispettive sezioni regionali della Protezione Civile, come nel caso della Regione Marche. Nello specifico il compito relativo alla redazione ed alla pubblicazione degli Annali Idrologici è ad oggi affidato al Centro Funzionale per la Meteorologia, Idrologia e la Sismologia.

Anche le reti delle stazioni di rilevamento e monitoraggio hanno subito modificazioni e potenziamenti nel corso del tempo; in particolare la Regione Marche ha predisposto un piano di ammodernamento della propria rete, in virtù del quale si è dotata di un sistema di monitoraggio in telemisura (rete MIR), ed ha predisposto il potenziamento e la riorganizzazione dell'intero sistema di rilevazione, al fine di ottenere una copertura migliore e più omogenea del territorio regionale. Questa operazione ha comportato la progressiva disattivazione, o conversione in stazioni in telemetria, delle precedenti stazioni appartenenti alla rete meccanica installate dal SIMN. A partire dal 2008 tale sistema è entrato in funzione ufficialmente, sostituendo quando possibile, col procedere dell'implementazione della rete MIR (quindi con lo smantellamento della vecchia rete), nella redazione degli Annali Idrologici le rilevazioni della precedente rete meccanica. Questa opera di ammodernamento è terminata nei 2014, infatti a partire dall'Annale Idrologico dell'anno 2015 tutte le stazioni risultano avere apparecchiatura con sistema di rilevazione telerimetrico.

4.2.2 Bollettini idrografici

La pubblicazione dei risultati, delle osservazioni e delle elaborazioni fatte, nonché la redazione di opportune carte tematiche, risultavano essere i compiti principali assegnati all'allora Servizio Idrografico. I primi documenti prodotti e pubblicati periodicamente furono i Bollettini Idrografici, già a partire dal 1918. In questi venivano riportati i dati relativi alle osservazioni pluviometriche e idrometriche, dapprima in semplici tabelle mensili, poi dal 1921, a causa di un crescente numero di stazioni poste in essere, secondo una formattazione del tutto simile agli odierni Annuali Idrologici, ovvero in dei veri e propri fascicoli organizzati in due parti: PARTE I e PARTE II.

Nella parte prima venivano riportati i valori giornalieri delle osservazioni pluviometriche ed termometriche. Le precipitazioni giornaliere venivano espresse millimetri di altezza di pioggia caduta dalle ore 9:00 am del giorno di lettura alle ore 9:00 am della giornata precedente, coprendo così le 24 ore.

Nella parte seconda, divisa in due sezioni, trovavano spazio le altre informazioni pluviometriche ed idrometriche. Nella fattispecie, nella sezione A, dedicata alla pluviometria veniva riportata l'anagrafica delle stazioni pluviometriche, ovvero l'insieme di quelle informazioni quali: le coordinate geografiche ed altimetriche delle varie stazioni; la tipologia dello strumento di misura impiegato; l'anno di inizio e (eventualmente) l'anno di fine registrazione; l'ente gestore o proprietario della stazione; i dati dell'osservatore. Sempre in questa prima sezione venivano riportati anche i totali annui e mensili di precipitazione, inoltre venivano riportati i massimi di precipitazione dei giorni piovosi, dove, con giorno piovoso, si intende quel giorno di precipitazione in cui la l'altezza di pioggia registrata allo strumento uguaglia o maggiora il valore soglia di 1 mm di precipitazione. Ancora, in questa prima sezione erano riportati: la carta delle isoiete, i volumi di afflusso meteorico relativi ad ogni bacino imbrifero, i valori massimi di precipitazione giornaliera riferiti a ciascun mese, i valori estremi di precipitazione osservati e le indicazioni sullo spessore e sull'altezza equivalente in millimetri d'acqua delle precipitazioni nevose. La sezione B era dedicata all'idrometria. In questa venivano riportati: l'anagrafica delle stazioni idrometriche; i valori medi annuali e mensili delle altezze idrometriche e le relative frequenze (solo per le stazioni aventi una registrazione annuale completa); i risultati delle misure di portata eseguite nel corso dell'anno; i valori delle portate giornaliere per quelle stazioni in cui gli elementi raccolti consentivano il tracciamento di una scala di deflusso; tutte le considerazioni generali inerenti i "caratteri idrologici dell'anno".

Da questa loro prima versione e dal 1927, anno in cui assunsero il nome di Annali Idrologici, subirono varie modifiche ed integrazioni, sino ad arrivare ad una loro versione definitiva ed omogenea ai diversi compartimenti, definita versione consolidata, nel 1951.

4.2.3 Annali idrologici

Gli Annali Idrologici consistono in pubblicazioni annuali contenenti l'insieme dei dati necessari alla descrizione di un esaustivo quadro meteorologico.

Ad oggi le vecchie pubblicazioni sono consultabili tramite rete Internet presso il sito dell'ISPRA (www.acq.isprambiente.it/annalipdf/)(Fig.4.6), mentre quelle più recenti presso il sito della Protezione Civile regionale (www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/). I dati sono fruibili anche attraverso il sistema SOL (SIRMIP on-line) previa registrazione da parte dell'utente (<http://app.protezionecivile.marche.it/sol>) (Fig.4.5).



Figura 4.5 - Pagina di accesso alle serie storiche di precipitazione, temperatura e idrometria e altro.

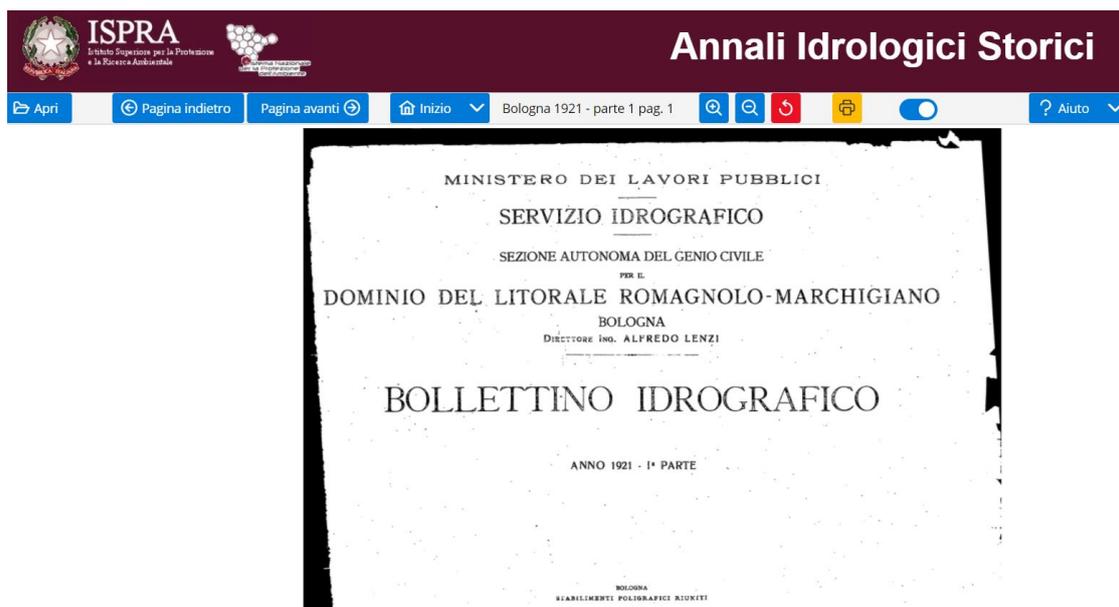


Figura 4.6 - Pagina di accesso agli annali idrologici Parte I e Parte II in formato pdf.

Analogamente alla versione precedente il 1951, anche questi dati sono strutturati in una prima ed in una seconda parte. Nella PARTE I vengono riportate le osservazioni termometriche e pluviometriche, mentre nella PARTE II vengono trattate altre grandezze di interesse (afflussi meteorici, idrometria, ecc., ...).

4.2.3.1 Indice dei simboli impiegati

Gli Annali utilizzano una serie di simboli e di notazioni al fine di chiarire, nella maniera più esaustiva ed immediata possibile, la tipologia ed il significato di ogni dato inserito. Di seguito si riporta un elenco dei simboli comunemente impiegati:

?	Dato incerto
«	Dato mancante
-	Può avere un duplice significato: posto prima di un'altezza idrometrica ne indica il valore negativo (al di sotto dello zero idrometrico); posto in sostituzione di un valore di precipitazione ne indica l'assenza
*	Si tratta di una precipitazione nevosa
[]	Simbolo di dato interpolato
TA	Termometro in telemisura
Pr	Pluviometro registratore (dismessi totalmente dal 2015)
PP	Pluviometro in telemisura

4.2.3.2 Parte prima

La PARTE I degli Annali si suddivide in due distinte sezioni: la sezione A, trattante la termometria e la sezione B, trattante la pluviometria.

La sezione A (termometria) contiene un indice delle abbreviazioni e dei segni convenzionali ivi impiegati ed una tabella informativa, inerente alla consistenza della rete termometrica, ovvero il numero di strumenti in opera, suddivisi in funzione alla tipologia ed alla fascia altimetrica di installazione. Viene precisato che i dati sono trasmessi da stazioni termo pluviometriche automatiche che rilevano la temperatura ogni mezz'ora. I valori massimo e minimo giornalieri sono calcolati nelle 24 ore (riferite all'ora solare) e vengono assegnati al giorno del rilevamento. Infine, presenta un elenco delle caratteristiche delle stazioni termometriche, che hanno funzionato nell'anno, ordinate secondo la rispettiva posizione idrografica, stralcio in Fig. 4.7.

Inoltre, contiene la “*Tabella I*”, in Fig. 4.8, in cui vengono riportati i valori massimi e minimi rilevati giornalmente, e le rispettive medie mensili, unitamente alla temperatura media del mese e dell’anno cui si riferiscono le osservazioni e le corrispondenti medie del periodo.

La sezione riporta ancora un’altra tabella, denominata “*Tabella II*”, in Fig. 4.9, in cui, per le stazioni della tabella precedente sono riportate:

- Le medie mensili ed annue delle massime e delle minime temperature osservate giornalmente e le medie mensili ed annue delle temperature diurne. Come temperatura diurna è assunto il valore della semisomma delle temperature massime e minime osservate in uno stesso giorno;
- Le temperature estreme (massima e minima) osservate in ogni mese e nell’anno, ed il giorno nel quale sono state osservate. Tutte le temperature riportate sono espresse in gradi centigradi e corrispondono alle letture effettivamente eseguite, non essendosi effettuata la riduzione al livello del mare.

Per quanto riguarda le stazioni termometriche in telemisura:

- Una stazione termometrica non compare nell’annale se ha registrato meno del 40 % dei dati previsti nell’anno in base alla sua frequenza di campionamento.
- Le temperature massime, minime e medie mensili non sono presenti se sono stati registrati meno del 80 % dei dati previsti nel mese in base alla frequenza di campionamento.
- Le temperature minime e massime giornaliere non vengono calcolate se sono stati rilevati meno del 92 % dei dati nella giornata previsti in base alla frequenza di campionamento.

Elenco e caratteristiche delle stazioni termometriche

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	Tipo dell'apparecchio	Quota sul mare	Altezza dell'apparecchio sul suolo	Anno di inizio delle osservazioni	BACINO E STAZIONE	Tipo dell'apparecchio	Quota sul mare	Altezza dell'apparecchio sul suolo	Anno di inizio delle osservazioni
Foglia					Rostighello	TA	28	2	2009
Monte Carpegna	TA	1415	2	2018	Svarchi	TA	6	2	2010
Carpegna	TA	715	2	2014	Esino				
Frontino	TA	610	2	2015	Scheggia	TA	688	2	2003
Bronzo	TA	173	2	2010	Campodiegoli	TA	532	2	2003
Gallo	TA	122	2	2009	Sassoferrato	TA	386	2	2014
Villa Fastiggi	TA	22	2	2003	Fabriano Centro	TA	354	2	2009
Metauro					Colleponi	TA	254	2	2007
Bocca Serriola	TA	730	2	2014	Esanatoglia convento	TA	608	2	2003
S. Angelo in Vado	TA	352	2	2009	Camponocechio	TA	189	2	2015
Apecchio	TA	465	2	2003	San Giovanni	TA	625	2	2009
Piobbico	TA	331	2	2016	Poggio San Vicino	TA	580	2	2009
Urbania	TA	245	2	2014	Moie	TA	104	2	2014
Pianello di Cagli	TA	400	2	2014	Jesi	TA	100	2	2009
Urbino	TA	471	2	2003	Fiumarella Bellaluce				
Cantiano	TA	396	2	2014	Loreto	TA	45	2	2009
Acqualagna	TA	193	2	2007	Potenza				
Monte Paganuccio	TA	889	2	2009	Spindoli	TA	484	2	2009
Cesane Foresta	TA	633	2	2010	Sorti	TA	660	2	2009
Fossombrone	TA	96	2	2006					
Lucrezia	TA	36	2	2009					

Figura 4.7 - Stralcio ‘Elenco e caratteristiche delle stazioni termometriche, Anno 2018’

Capitolo 4 - Dataset

Tabella I - Osservazioni termometriche giornaliere

Anno 2018

Giorno	G		F		M		A		M		G		L		A		S		O		N		D	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
(TA)	FRONTINO Bacino: Foglia (610m s.l.m.)																							
1	9.0	5.2	8.3	6.4	-1.0	-5.4	14.5	4.5	14.4	7.9	25.0	13.6	29.5	19.6	32.2	22.9	25.4	13.3	20.2	10.2	13.7	10.0	4.3	1.9
2	7.8	3.5	9.2	0.0	5.2	-1.2	16.5	3.1	15.9	9.6	25.5	14.4	29.6	18.0	29.1	22.1	20.0	13.2	11.3	8.9	13.6	12.1	9.3	1.9
3	9.7	4.8	0.6	-0.5	5.9	1.5	16.0	7.1	14.1	11.2	26.9	15.7	27.4	18.8	25.8	21.5	22.2	12.7	17.1	8.6	14.6	11.3	14.7	7.8
4	12.0	6.7	4.9	-1.5	10.3	0.9	14.9	8.9	14.4	10.6	25.8	17.0	28.1	18.9	28.8	20.7	23.5	15.7	18.4	10.4	13.8	12.3	14.8	5.5
5	12.7	9.5	7.4	-0.8	4.1	2.2	15.8	7.6	18.4	10.3	24.1	15.4	30.0	18.2	29.3	20.7	26.1	14.8	16.4	11.7	17.3	10.3	12.3	5.5
6	11.7	7.5	3.6	2.1	8.8	2.3	16.3	6.6	18.4	13.0	23.9	14.7	24.5	16.6	31.2	21.3	27.2	16.2	14.7	12.4	17.0	11.4	10.0	5.7
7	11.4	5.6	3.8	1.7	8.5	4.4	17.0	6.8	20.6	12.3	25.1	16.6	24.9	16.8	31.6	20.2	23.6	15.7	16.3	12.5	14.4	9.6	13.5	5.0
8	8.9	5.3	8.8	1.6	12.7	4.8	19.4	7.4	21.6	13.4	18.9	13.4	24.8	17.3	31.6	17.4	22.4	15.6	17.6	12.2	17.3	7.8	10.7	4.7
9	11.6	6.6	9.6	0.4	13.9	3.9	12.4	7.5	19.9	10.8	23.7	15.2	26.1	16.2	31.1	19.7	24.7	15.4	19.7	12.0	16.8	8.2	11.5	5.6
10	11.0	3.2	5.0	1.5	10.8	4.1	14.5	9.0	20.9	11.8	27.0	13.6	29.0	16.5	30.4	19.8	25.5	16.5	20.9	12.5	15.8	8.0	10.7	5.6
11	7.4	4.8	5.4	-0.1	13.0	7.1	12.8	7.5	20.8	12.2	29.5	17.1	27.7	16.5	30.5	20.3	27.0	18.0	20.4	13.6	17.8	8.8	7.5	1.0
12	5.5	4.3	5.7	-0.4	10.9	6.8	14.7	9.0	22.1	13.0	25.9	17.7	28.5	18.2	31.4	18.3	27.4	18.7	19.0	11.9	17.2	9.9	7.4	0.1
13	4.7	3.3	1.4	-1.7	11.2	7.5	15.5	8.2	21.1	11.4	21.6	15.6	28.1	17.1	29.7	18.3	24.8	19.5	20.8	11.2	18.1	9.4	2.7	-0.4
14	4.8	2.8	3.3	-3.4	14.9	6.6	16.4	8.0	16.2	6.7	19.2	15.0	30.7	18.3	24.9	17.5	26.7	18.2	18.2	11.0	12.0	8.2	2.0	-0.5
15	6.0	1.3	5.5	-1.2	9.1	6.0	16.1	9.2	14.8	<i>6.1</i>	19.0	14.0	27.8	17.9	22.8	16.5	25.1	17.5	15.7	11.2	13.3	6.2	1.2	-1.7
16	10.2	5.4	11.7	0.0	14.0	8.3	19.9	9.0	17.6	8.7	22.0	14.5	27.7	16.7	25.3	16.8	25.5	16.9	15.6	13.8	8.5	6.4	6.5	-2.4
17	10.8	3.9	7.1	2.8	10.9	5.3	16.8	11.2	17.3	8.0	24.4	17.1	24.7	15.0	28.4	17.0	25.0	16.4	15.6	14.2	6.3	4.5	3.4	-0.4
18	8.2	4.4	7.0	1.6	6.6	3.9	16.3	10.7	18.0	9.8	23.5	17.2	29.0	18.8	27.8	18.8	26.8	15.7	18.0	12.5	4.9	1.9	5.1	0.1
19	10.5	5.0	1.9	0.0	5.5	0.4	19.1	11.5	20.4	9.9	23.7	17.8	30.4	19.0	27.5	19.7	23.2	16.0	20.1	12.1	5.1	<i>-0.1</i>	6.6	-0.1
20	10.7	1.4	0.8	-0.8	3.7	0.2	21.5	13.3	20.0	11.2	24.9	17.9	30.5	18.0	28.3	20.7	23.2	16.6	19.0	11.3	5.4	3.3	5.4	1.4
21	11.1	2.9	1.2	-0.5	0.1	-2.3	22.5	11.7	22.0	13.0	28.5	17.0	28.1	19.1	29.1	20.7	25.6	17.1	16.4	5.9	11.5	3.7	9.4	0.1
22	8.2	<i>1.1</i>	2.8	-0.6	2.1	-1.3	24.5	12.0	21.1	12.0	21.8	14.2	27.1	17.7	29.1	20.6	26.4	16.1	10.0	7.2	9.4	4.6	12.2	8.8
23	9.7	1.9	5.4	0.1	4.0	-0.4	25.6	12.9	17.9	12.2	20.6	11.9	22.7	<i>14.2</i>	31.0	20.3	27.0	17.1	13.7	8.1	11.8	5.9	14.7	8.3
24	11.1	2.3	4.9	1.7	8.2	0.4	22.9	12.9	21.8	13.0	23.2	<i>11.4</i>	25.7	19.0	31.6	19.5	23.5	12.3	24.2	11.1	14.1	9.7	13.2	5.2
25	11.1	4.4	1.7	-6.3	7.3	0.2	23.7	12.8	23.8	15.7	20.6	13.2	28.4	19.6	28.7	18.0	14.3	9.8	22.5	11.8	10.8	7.2	8.3	1.4
26	10.0	3.4	-6.3	-8.2	10.0	1.5	23.5	11.2	24.8	15.7	18.5	13.8	28.4	19.5	18.5	<i>12.4</i>	12.1	5.9	16.2	13.1	9.4	4.6	12.4	1.6
27	11.3	3.1	-5.8	-9.9	12.2	3.7	21.8	12.4	25.3	15.7	20.8	15.4	28.5	18.0	20.1	13.0	18.5	5.7	19.4	14.5	7.4	4.8	9.8	2.0
28	13.3	2.1	-1.7	<i>-10.3</i>	15.1	3.1	23.8	11.5	26.9	16.9	22.3	14.5	29.4	19.4	24.8	14.5	23.4	12.8	16.8	12.4	6.5	2.4	8.8	2.3
29	14.9	4.5			13.7	8.3	25.1	14.7	26.1	17.3	24.6	15.1	28.9	19.8	28.0	17.6	20.1	10.9	19.5	10.0	6.6	0.4	10.7	3.3
30	12.8	3.7			17.0	9.3	18.6	10.1	23.3	16.6	30.3	19.3	29.4	21.5	29.2	17.7	18.0	9.7	12.4	7.6	7.4	0.2	11.4	2.8
31	7.6	5.9			10.5	6.1			26.4	16.7			30.8	22.0	26.1	17.1			16.5	8.0			10.4	3.2
MEDIE	9.9	4.2	4.0	-0.9	9.0	3.2	18.6	9.6	20.2	12.0	23.7	15.3	27.9	18.1	28.2	18.8	23.5	14.7	17.5	11.1	11.9	6.8	9.1	2.8
Med. mens	7.0		1.6		6.1		14.1		16.1		19.5		23.0		23.5		19.1		14.3		9.3		6.0	
Med. norm.	4.7		5.3		7.7		12.6		15.7		20.3		23.4		23.4		18.2		13.7		9.0		5.9	

Figura 4.8 - Stralcio Tabella I , 'Osservazioni termometriche giornaliere, Anno 2018, stazione di Frontino'

Tabella II - Valori medi ed estremi delle temperature

Anno 2018

Mese	Media delle temperature			Temperature estreme				Media delle temperature			Temperature estreme				Media delle temperature			Temperature estreme			
	max	min	diur.	max	giorno	min	giorno	max	min	diur.	max	giorno	min	giorno	max	min	diur.	max	giorno	min	giorno
	MONTE CARPEGNA (1415m s.l.m.)				CARPEGNA (715m s.l.m.)				FRONTINO (610m s.l.m.)												
G	<	<	<	<	<	<	<	9.3	4.0	6.7	13.7	29	0.9	20	9.9	4.2	7.0	14.9	29	1.1	22
F	<	<	<	<	<	<	<	3.7	<i>-1.2</i>	1.2	9.6	16	<i>-12.0</i>	28	4.0	<i>-0.9</i>	1.6	11.7	16	<i>-10.3</i>	28
M	<	<	<	<	<	<	<	8.5	3.0	5.8	16.4	30	-5.5	1	9.0	3.2	6.1	17.0	30	-5.4	1
A	<	<	<	<	<	<	<	17.6	9.8	13.7	24.0	23	4.1	1	18.6	9.6	14.1	25.6	23	3.1	2
M	<	<	<	<	<	<	<	19.5	11.6	15.6	25.9	31	6.2	15	20.2	12.0	16.1	26.9	28	6.1	15
G	<	<	<	<	<	<	<	23.4	15.2	19.3	29.4	30	10.9	24	23.7	15.3	19.5	30.3	30	11.4	24
L	20.5	14.5	17.5	23.4	31	11.1	17	27.5	17.8	22.6	30.3	31	14.5	17	27.9	18.1	23.0	30.8	31	14.2	23
A	20.5	14.7	17.6	24.3	1	7.0	27	27.7	17.8	22.8	31.1	1	12.9	26	28.2	18.8	23.5	32.2	1	12.4	26
S	16.7	11.3	14.0	21.0	12	0.7	26	22.6	13.8	18.2	26.9	23	5.2	26	23.5	14.7	19.1	27.4	12	5.7	27
O	11.6	7.1	9.4	17.3	24	0.7	21	17.0	10.3	13.7	24.2	24	5.9	21	17.5	11.1	14.3	24.2	24	5.9	21
N	6.5	3.0	4.8	12.0	12	-4.6	29	11.7	6.4	9.0	17.6	13	-0.8	19	11.9	6.8	9.3	18.1	13	-0.1	19
D	3.6	<i>-0.5</i>	1.5	10.4	23	<i>-7.4</i>	15	8.8	2.4	5.6	14.8	23	-3.4	16	9.1	2.8	6.0	14.8	4	-2.4	16
Anno	<	<	<	<	<	<	<	16.4	9.2	12.8	31.1	1 VIII	-12.0	28 II	17.0	9.6	13.3	32.2	1 VIII	-10.3	28 II

Figura 4.9 - Stralcio Tabella II, 'Valori medi ed estremi delle temperature, Anno 2018'

La sezione B riporta le caratteristiche e le grandezze pluviometriche osservate. Anche in questo secondo caso la sezione si apre con un'indicazione della terminologia impiegata tramite un indice delle abbreviazioni e dei segni convenzionali adottati durante la sua redazione, lasciando poi spazio ad una descrizione delle stazioni operanti e di cui si riportano le osservazioni (tipologia e fascia altimetrica di installazione). Viene precisato che i valori delle precipitazioni riportati sono espressi in millimetri di acqua e comprendono pioggia e neve fusa.

Differentemente dal caso precedente, in questa sezione si trovano cinque tabelle.

Nella “*Tabella I*”, in Fig. 4.11, sono riportate, per ogni stazione, la quantità di pioggia caduta giornalmente ed il totale mensile ed annuale della precipitazione e del numero di giorni piovosi. Con il carattere grassetto è stampato il massimo quantitativo giornaliero misurato per ogni mese.

A partire dal 2015: “le misurazioni vengono trasmesse automaticamente ogni 15 minuti e per ogni giorno viene calcolata la cumulata di precipitazione. Il valore segnato rappresenta quindi la quantità di precipitazione caduta nelle 24 ore (riferite all’ora solare) del giorno indicato.” Negli annali precedenti quello del 2015 veniva invece riportato: “per le stazioni dotate di apparecchiatura a lettura diretta (pluviometri e pluvio nivometro) le osservazioni vengono eseguite ogni giorno, generalmente, alle ore 9 ed il risultato viene attribuito al giorno stesso della misura: il valore segnato rappresenta quindi la quantità di precipitazione caduta nelle 24 ore che hanno preceduto la misura. Per le stazioni dotate di pluviografo, si riporta, per ogni giorno, la quantità di pioggia che dal diagramma risulta caduta nelle 24 ore comprese fra le 9 del giorno precedente e le ore 9 del giorno di cui si tratta. Sono considerate le precipitazioni iniziate dopo le ore 0 del primo gennaio e quelle eventualmente terminate dopo le ore 24 del 31 dicembre.”

All’interno della “*Tabella II*”, in Fig. 4.12, si trovano i totali annui ed un riassunto dei totali mensili, evidenziando in grassetto i valori massimi delle quantità di pioggia, ed in corsivo il più basso.

Nella tabella successiva, la “*Tabella III*”, in Fig. 4.13, si riportano le precipitazioni di massima intensità rilevate nell’anno di cui, per le stazioni capaci di una rilevazione in continuo del dato (pluviografi), è prevista la discriminazione per le fasce orarie di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, riportandone anche indicazione del giorno e del mese a cui fanno riferimento.

La “*Tabella IV*”, in Fig. 4.14, contiene le massime precipitazioni avutesi nell’anno per più giorni consecutivi, in cui, per ogni stazione, sono riportati i valori massimi di precipitazione registrati nell’anno per periodi di tempo compresi dagli 1 ai 5 giorni consecutivi, anche non appartenenti al medesimo mese, o anno.

La “*Tabella V*”, in Fig. 4.15, riporta le precipitazioni di forte intensità e di breve durata.

Negli annali antecedenti il 2004 era presente anche una “*Tabella VI*”, nella quale vengono riportate caratteristiche riguardanti le precipitazioni nevose per i mesi da gennaio a maggio e da ottobre a dicembre. Nello specifico venivano riportate le altezze, in centimetri, dello strato nevoso sul suolo presente nell’ultimo giorno del mese, la quantità di neve, in cm, caduta nel mese e il numero complessivo dei giorni di permanenza della neve al suolo.

Capitolo 4 - Dataset

Elenco e caratteristiche delle stazioni pluviometriche

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	Tipo dell'apparecchio	Quota sul mare	Altezza dell'apparecchio sul suolo	Anno di inizio delle osservazioni	BACINO E STAZIONE	Tipo dell'apparecchio	Quota sul mare	Altezza dell'apparecchio sul suolo	Anno di inizio delle osservazioni
Foglia					Colle	PP	350	2	2003
Monte Carpegna	PP	1415	2	2018	Bettolelle	PP	26	2	2007
Carpegna	PP	715	2	2014	Senigallia	PP	6	2	2008
Frontino	PP	610	2	2015	Fosso Rubiano				
Bronzo	PP	173	2	2003	Marina di Montemar- ciano	PP	5	2	2015
Tavoletto	PP	405	2	2009	Esino				
Ca' Mazzasette	PP	112	2	2003	Scheggia	PP	688	2	2001
Gallo	PP	122	2	2007	Campodiegoli	PP	532	2	2001
Montecchio	PP	40	2	2009	Sassoferrato	PP	386	2	2014
Montelabbate	PP	43	2	2003	Fabrizio Centro	PP	354	2	2009
Villa Fastigi	PP	22	2	2003					
Pesaro Ferrovia	PP	9	2	2003					

Figura 4.10 - Stralcio 'Elenco e caratteristiche delle stazioni pluviometriche, Anno 2018'

Tabella I - Osservazioni pluviometriche giornaliere

Anno 2018

TAVOLETO Bacino: Foglia (405m s.l.m.)													CA' MAZZASETTE Bacino: Foglia (112m s.l.m.)												
(PP)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	(PP)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1.0			0.2	0.6					16.8	8.4	20.4	1	0.4			*5.6	3.2	1.2				22.6	14.2	19.4	
3.4	27.4	8.8							2.4	1.8	3.0	2	3.2	29.8	17.8		1.0					2.0	7.6	1.8	
	17.8	3.6			11.6				22.0			3		22.0	21.6		13.8	0.2	0.6			3.8	0.2		
			5.4	5.0							11.8	4			2.0	8.6	9.4		0.8			0.2	0.2		
					3.6						0.2	5			0.2	23.4	9.0					10.8			
	0.4			1.2					0.8	1.4		6			0.4	1.4	0.2		0.2	20.0		0.6	2.2		
									18.0			7		0.2	0.2	1.6		0.2				14.4			
					4.8				0.4			8							0.2			1.0			
3.4			2.0						0.4			9	2.4	0.2		9.0	2.2					0.2	0.2		
	0.4			2.4						0.2		10		1.0			8.0								
		1.4									0.2	11	0.4		8.0	0.6	0.2					0.2	0.2		
0.2	2.2	0.6	7.6		0.2						0.4	12	0.6	1.8	1.8	8.4	5.8					0.2	0.2		
1.0	2.8		1.2								1.0	13	1.0	4.2		2.0							0.2		
0.2					1.6						6.2	14	0.2	0.2		0.2	0.4	5.8					7.8		
						0.2					0.4	15				1.8									
						30.0					1.2	16				1.0						0.2	2.2		
2.0	0.2	0.2		3.8					3.4	0.6	2.6	17	1.8	1.0	0.6		2.6				1.4	1.2			
	9.6								1.8		3.4	18		14.4	1.0						1.8				
	1.4									1.0		19		3.6	11.0		0.2					0.2	0.2		
											35.6	20		2.4	11.4	0.2						0.2	32.6		
	9.6									15.2		21	0.2	31.6	23.0		1.4					25.6	0.4		
	16.2			30.6	5.0					2.2		22		13.4			33.0	1.0				0.2	2.4		
	25.6			2.4		8.0					1.2	23	0.2	34.8		0.2	2.4	0.2	8.4				0.6		
	0.6										20.0	24		*1.4	0.2						1.0		15.0		
	0.2										1.0	25	0.2	*6.6			0.2	0.2	2.0	0.2			1.0		
											1.2	26							6.2				1.0		
												27		*1.0					0.2				2.4		
	5.6			2.8							33.6	28		*4.6								22.0	0.2		
				8.6							0.2	29		0.2			2.4					7.4	0.2		
												30		0.2							1.4	0.6	0.2		
												31		0.2							0.2	0.2	0.2		
												31				0.8									
11.2	123.0		16.4	69.0	15.2	71.0	16.4	125.6	76.6	105.2	140.0	Totale mensili N giorni piovosi	11.6	177.8	140.0	11.6	94.0	31.6	73.6	10.0	50.2	86.8	97.4	16.4	
5	10		4	9	4	3	3	5	8	11	7	1	4	16	15	5	13	1	3	3	8	9	10	8	
Totale annuo: <												Giorni piovosi: <	Totale annuo: 861.0											Giorni piovosi: 99	

Figura 4.11 - Stralcio Tabella I, 'Osservazioni pluviometriche giornaliere, Anno 2018'

Tabella II - Totali annui e riassunti dei totali mensili delle quantità delle precipitazioni

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	G mm	F mm	M mm	A mm	M mm	G mm	L mm	A mm	S mm	O mm	N mm	D mm	Anno mm
Foglia													
Monte Carpegna	<	<	<	<	<	<	<	35.0	84.6	144.6	129.6	29.8	<
Carpegna	30.2	174.6	190.6	49.6	141.8	43.8	70.4	23.6	114.8	129.8	117.6	68.6	1155.4
Frontino	19.8	141.0	138.6	44.8	123.2	32.2	53.4	27.0	28.0	141.0	113.2	55.0	917.2
Bronzo	<	<	70.8	28.0	57.8	27.8	59.6	13.8	74.0	47.4	84.8	19.2	<

Figura 4.12 - Stralcio Tabella II, 'Totali annui e riassunti dei totali mensili delle quantità delle precipitazioni, Anno 2018'

Capitolo 4 - Dataset

Tabella III - Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	INTERVALLO DI ORE														
	1			3			6			12			24		
	mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio	
	giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese	
Foglia															
Monte Carpegna	17.6	6	Lug	29.4	28	Ott	36.2	28	Ott	46.4	28	Ott	70.8	28	Ott
Carpegna	31.0	18	Set	40.0	12	Mag	42.2	12	Mag	53.2	28	Ott	67.8	28	Ott
Frontino	37.6	12	Mag	37.8	12	Mag	37.8	12	Mag	50.6	28	Ott	66.4	28	Ott
Bronzo	39.8	6	Lug	40.0	6	Lug									
Tavoletto	36.4	7	Set	42.8	1	Set	46.8	1	Set	48.2	7	Set	48.4	7	Set
Ca' Mazzasette	33.6	16	Lug	41.8	16	Lug	43.0	16	Lug	43.2	16	Lug	47.0	2	Feb
Gallo	44.8	16	Lug	59.2	16	Lug	60.4	16	Lug	60.4	16	Lug	60.4	16	Lug
Montecchio	27.6	1	Set	34.4	1	Set	35.8	1	Set	53.2	23	Feb	78.8	22	Feb
Montelabbate	34.4	1	Set	53.6	1	Set	54.2	1	Set	54.4	1	Set	72.0	22	Feb
Villa Fastigi	31.6	22	Mag	35.0	16	Lug	43.6	23	Feb	59.6	23	Feb	77.2	22	Feb
Pesaro Ferrovia	39.6	22	Giu	50.8	22	Giu	61.4	22	Giu	61.6	22	Giu	69.6	22	Feb

Figura 4.13 - Stralcio Tabella III, 'Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi, Anno 2018'

Tabella IV - Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	NUMERO DI GIORNI NEL PERIODO													
	1		2			3			4			5		
	mm	data	mm	dal	al									
Foglia														
Monte Carpegna	70.8	28 Ott.	93.8	28 Ott.	29 Ott	97.2	28 Ott.	30 Ott	99.6	28 Ott.	31 Ott	121.2	28 Ott.	01 Nov
Carpegna	67.8	28 Ott.	84.6	28 Ott.	29 Ott	87.8	28 Ott.	30 Ott	88.6	28 Ott.	31 Ott	109.8	28 Ott.	01 Nov
Frontino	66.4	28 Ott.	81.8	28 Ott.	29 Ott	83.8	28 Ott.	30 Ott	84.4	28 Ott.	31 Ott	102.8	28 Ott.	01 Nov
Bronzo	40.0	06 Lug.	41.0	19 Mar.	20 Mar	47.0	18 Mar.	20 Mar	49.8	17 Mar.	20 Mar	55.6	16 Mar.	20 Mar
Tavoletto	48.4	07 Set.	68.8	01 Set.	02 Set	71.2	01 Set.	03 Set	72.4	30 Ago.	02 Set	72.4	30 Ago.	03 Set
Ca' Mazzasette	47.0	02 Feb.	52.0	21 Feb.	22 Feb	80.4	21 Feb.	23 Feb	84.0	21 Feb.	24 Feb	90.2	20 Feb.	24 Feb
Gallo	60.4	16 Lug.	66.0	21 Feb.	22 Feb	105.4	21 Feb.	23 Feb	107.8	20 Feb.	23 Feb	114.6	20 Feb.	24 Feb
Montecchio	78.8	22 Feb.	101.6	21 Feb.	22 Feb	134.2	21 Feb.	23 Feb	137.6	20 Feb.	23 Feb	146.0	19 Feb.	23 Feb
Montelabbate	72.0	22 Feb.	93.4	21 Feb.	22 Feb	112.6	21 Feb.	23 Feb	115.2	20 Feb.	23 Feb	122.2	18 Feb.	22 Feb
Villa Fastigi	77.2	22 Feb.	99.8	21 Feb.	22 Feb	124.8	21 Feb.	23 Feb	126.2	20 Feb.	23 Feb	131.4	18 Feb.	22 Feb
Pesaro Ferrovia	69.6	22 Feb.	94.2	21 Feb.	22 Feb	115.2	21 Feb.	23 Feb	117.0	20 Feb.	23 Feb	123.2	18 Feb.	22 Feb

Figura 4.14 - Stralcio Tabella IV, 'Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi, Anno 2018'

Tabella V Precipitazione di notevole intensità e breve durata registrate ai pluviografi

Anno 2018

BACINO E STAZIONE	Giorno e mese	Durata ore e minuti	Quantità di precipita- zione mm	BACINO E STAZIONE	Giorno e mese	Durata ore e minuti	Quantità di precipita- zione mm
Foglia							
Acqualagna	07 Set.	15	17.4	Acqualagna	07 Set.	30	24.2
Monte Paganuccio	22 Mag.	15	20.0	Monte Paganuccio	22 Mag.	30	32.4
Cesane Foresta	01 Set.	15	20.7	Cesane Foresta	01 Set.	30	27.2
Lucrezia	23 Lug.	15	34.2	Lucrezia	23 Lug.	30	45.4
Piagge	16 Lug.	15	24.2	Piagge	16 Lug.	30	39.8
Metaurilia	22 Giu.	15	16.4	Metaurilia	22 Giu.	30	32.6
Monte Carpegna	06 Lug.	15	13.0				
Carpegna	02 Set.	15	15.2				
Carpegna	12 Mag.	30	20.2				
Frontino	01 Set.	15	17.6				
Frontino	12 Mag.	30	26.2				
Bronzo	07 Set.	15	12.8				
Bronzo	06 Lug.	30	19.6				
Tavoletto	07 Set.	15	29.2				
Tavoletto	07 Set.	30	35.8				

Figura 4.15 - Stralcio Tabella V, 'Precipitazione di notevole intensità e breve durata registrate ai pluviografi, Anno 2018'

4.2.3.3 Parte seconda

La sezione A della PARTE II è dedicata agli afflussi meteorici, di cui vengono riportati i valori mensili ed annui del contributo medio ed i valori medi mensili ed annuali dell'altezza di afflusso meteorico. Anche in questo caso la sezione è corredata da un'opportuna tabella terminologica.

La sezione B è dedicata all'analisi dell'idrometria. Unitamente alla tabella terminologica in cui vengono riportate tutte le abbreviazioni ed i segni convenzionali ivi utilizzati, è presente l'elenco delle stazioni idrometriche, raggruppate secondo i bacini principali, con le loro caratteristiche principali, quali: la tipologia della strumentazione; la quota dello zero idrometrico, espressa in metri sul livello medio dei mari; l'area, espressa in chilometri quadrati, del bacino sotteso dalla stazione stessa; le altezze massime e minime di piena e di secca, con relative date di osservazione; l'anno di inizio di registrazione; l'elenco note di tutte le variazioni subite nel tempo dalla entrata in funzione della stazione. La sezione si conclude con una tabella, denominata "*Tabella I*", in cui sono presenti tutte le altezze idrometriche giornaliere, misurate in centimetri.

La sezione C è dedicata alle portate ed ai bilanci idrologici. In aggiunta all'elenco della terminologia adottata, è presente la carta delle stazioni di misura, per le quali sono riportate anche le seguenti informazioni: l'ampiezza del bacino sotteso in km²; l'altitudine massima e l'altitudine media del bacino; lo zero idrometrico; la distanza della stazione dalla foce; la data di inizio delle registrazioni; i valori massimi e minimi della altezza idrometrica; il valore delle portate medie giornaliere, espresse in metri cubi al secondo (m³/s), con relativa data di campionamento. Vengono anche riportate le grandezze e gli elementi caratteristici mensili ed annui, riferiti all'anno in esame ed al precedente periodo di osservazione, come le portate massime, minime e medie, i deflussi e gli afflussi (in mm) ed infine i rapporti fra i deflussi ed i corrispondenti afflussi, ossia i coefficienti di deflusso. Si trovano anche le portate medie giornaliere corrispondenti a valori caratteristici delle durate espressi in giorni e la scala di deflusso, o scala numerica delle portate, definita come relazione tra le portate e le relative altezze idrometriche.

4.3 Serie storiche idrologiche

L'analisi statistica delle serie temporali è di fondamentale importanza in molti aspetti dell'ambito idrologico, infatti essa permette la costruzione di modelli matematici tramite cui poter prevedere e stimare le quantità idrologiche associate a specifici eventi, nonché consente la stima degli andamenti espressi dalla serie.

In generale un qualsiasi evento idrologico (deflusso, precipitazione o quant'altro), è un fenomeno continuo, ossia agisce su una scala temporale ininterrotta. Per contro, tutte le operazioni rilevamento che possono compiersi, sono spesso il frutto di campionamenti puntuali, pertanto si parla di serie temporale discreta (oraria, giornaliera, settimanale, mensile, ecc ...).

4.3.1 Descrizione delle serie storiche

Una sequenza temporale ordinata di osservazioni, collezionate in istanti temporali successivi, relative ad un determinato fenomeno idrologico, costituisce una “serie storica” o “temporale”. Generalmente esse si presentano come successioni ordinate ed equispaziate, ossia per intervalli di tempo aventi stessa ampiezza, anche se tale condizione non ne costituisce una regola ferrea. L’entità dell’ampiezza di misurazione risulta fondamentale nella determinazione della tipologia di informazione che si vuole andare a dedurre dai dati, ad esempio, sarà difficile, se non impossibile, riuscire ad estrarre un’informazione corretta ed attendibile rispetto eventi rapidi, di breve durata, magari estremi, da delle serie temporali giornaliere o di ampiezza maggiore.

Come già accennato, per alcune tipologie di dati, la mancata condizione di intervalli di tempo regolari nel campionamento non rappresenta un vincolo per lo svolgimento di analisi statistiche efficaci, come ad esempio per l’analisi dei valori estremi. In questo caso tutte le osservazioni si riferiscono al medesimo istante (o periodo) e si parla di “*cross-sectional data*”.

Riguardo l’estensione della serie, volgendo l’attenzione verso la tematica della quantità di informazione trasportata, sono ovviamente di maggior interesse le serie lunghe di dati (*long time series*), ovvero quelle sequenze di registrazione che si sviluppano su un arco temporale almeno pari o maggiore ai 30–50 anni. Tuttavia, in virtù di questa loro maggiore estensione temporale, rispetto ad altre serie più corte, sono più soggette ad ospitare problematiche peculiari, quali le disomogeneità. Le disomogeneità determinano variazioni innaturali nelle misurazioni, le quali, conseguentemente, falsano l’informazione contenuta.

4.3.1.1 Serie storiche di temperatura

La grandezza idrologica di interesse primario per il seguente studio è la temperatura, massima e minima del suolo, misurata ad un’altezza di circa 2 m. Essa viene misurata secondo le procedure standardizzate dal “*World Meteorological Organization*”, nel seguito abbreviato con l’acronimo WMO, recepita in Italia nel 1998 dal SIMN nel quaderno “*Norme Tecniche per la Raccolta e l’Elaborazione dei Dati Idrometrici – parte I*”.

Le serie storiche di temperatura comunemente reperibili, si costituiscono dei valori:

- Temperatura massima giornaliera TX
- Temperatura minima giornaliera TN
- Temperatura media giornaliera TG

4.3.2 Classificazione delle serie storiche

La classificazione delle serie temporali idrologiche si basa sulla definizione di più fattori discriminanti, quali la correlazione, la stazionarietà, la presenza cadenzata di valori nulli (intermittenza) e la regolarità temporale della serie stessa.

Si parla di serie temporali *autocorrelate* quando il valore assunto da una qualsiasi grandezza idrologica “ $y(t)$ ”, al generico tempo “ t ”, condiziona i valori assunti dalla serie in istanti successivi. Per contro, se non vi sono tali evidenze, si parla di serie *non-correlate*. Se la correlazione riguarda due distinte serie temporali fra loro dipendenti (in qualche misura), ossia una tende ad assumere certi valori in istanti successivi, in funzione di quelli assunti dell'altra in istanti precedenti, si parla di serie *cross-correlate*.

Una serie idrologica si definisce *stazionaria* quando le grandezze statistiche desumibili da essa, come la media e la varianza, non subiscono variazioni nel tempo. Questo implica che non siano presenti trend, discontinuità (salti), scostamenti o particolari comportamenti ricorsivi nel tempo (ciclicità).

Ovviamente nel caso contrario si parla di serie *non-stazionaria*, di cui un esempio è rappresentato dalle serie idrologiche di precipitazione di durata inferiore all'anno, le quali risentono delle variazioni di osservazione dovute alla stagionalità. In Fig. 4.16 (a) è riportato l'andamento temporale di una serie di precipitazione non stazionaria a causa della presenza di un salto, mentre in Fig. 4.16 (b) viene schematizzato l'andamento di una serie in cui vi è la presenza di trend.

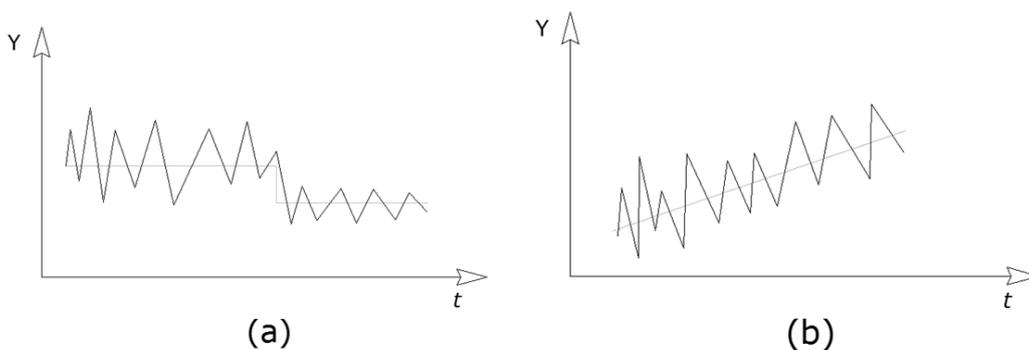


Figura 4.16 – (a) Rappresentazione serie temporale con salto (Y è la grandezza fisica in osservazione; “t” è il tempo), (b) Rappresentazione serie temporale con trend (Y è la grandezza fisica in osservazione; “t” è il tempo).

Si parla di *serie intermittente* quando la variabile osservata assume nel tempo, alternativamente, valori nulli e valori non nulli. Per esempio, si pensi ad una serie di precipitazione giornaliera, in cui si alternano giorni di mancata precipitazione, quindi valori nulli della variabile, a giorni di pioggia, dunque non nulli.

Quando il campionamento di una qualsiasi grandezza idrologica è subordinato alla condizione che la stessa ecceda un determinato valore soglia (serie POT), la serie risulta *spaziata irregolarmente*.

Inoltre, le serie possono essere definite (quindi discriminate) come:

- serie temporali *univariate*, le quali consistono in semplici serie temporali che campionano una singola grandezza idrologica;
- serie temporali *multivariate* (o multiple), in cui vengono riportate più grandezze fisiche diverse fra loro, quali, ad esempio, la precipitazione, la temperatura massima, quella minima, l'umidità e l'evaporazione; si parla sempre di serie multivariata se questa, pur riportando una sola grandezza fisica, è riferita a più stazioni.

4.3.2.1 Classificazione delle serie idrologiche non stazionarie

L'esperienza in ambito sperimentale ha ampiamente dimostrato che le serie temporali sono soggette a fluttuazioni e movimenti dei propri valori, che possono essere legati alla stagionalità o ad altri fattori. Questi rivestono un ruolo fondamentale nell'ambito delle previsioni idrologiche.

Essi possono essere identificati in alcuni movimenti caratteristici, nello specifico se sono:

- di lungo termine (o secolari), si riferiscono all'andamento tendenziale che la serie storica mostra in un periodo di tempo abbastanza lungo, in concreto, rappresentando la serie su un piano cartesiano, il suo andamento viene ben approssimato da una linea retta che, appunto, ne descrive la tendenza generale nel tempo;
- ciclici, in questo caso i valori della serie tendono ad oscillare, per lunghi periodi di tempo, attorno ad un andamento medio, tendenzialmente lineare;
- stagionali, sono concettualmente analoghi ai movimenti ciclici, tuttavia fanno riferimento a periodi di tempo più limitati e circoscritti rispetto ai precedenti (quasi sempre inferiori all'anno);
- irregolari (o casuali), si riferiscono a perturbazioni che in condizioni ordinarie non affliggono una serie, poiché in genere si hanno solamente in conseguenza di eventi straordinari.

In Fig. 4.17 sono rappresentati i primi tre movimenti descritti nell'elenco.

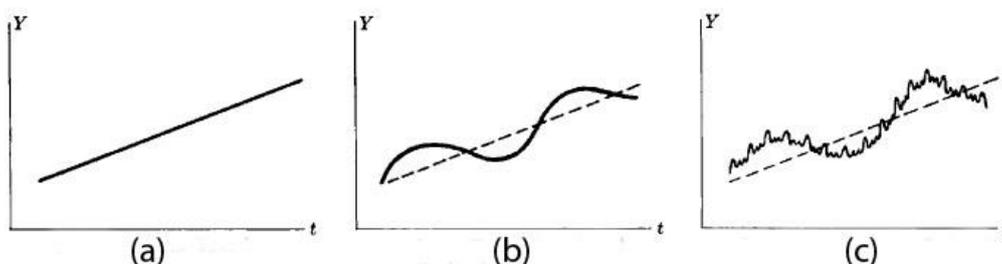


Figura 4.17 - Rappresentazione dei movimenti caratteristici delle serie temporali: (a) movimenti secolari o andamenti di lungo periodo, (b) andamenti di lungo periodo con movimenti ciclici, (c) andamenti di lungo periodo in cui sono presenti sia movimenti ciclici che stagionali.

Le serie temporali idrologiche evidenziano alcune caratteristiche definite “componenti”, quali: trend, salti, stagionalità, autocorrelazione, ciclicità delle perturbazioni e non normalità nella distribuzione della frequenza. Molte di queste agiscono come veri e propri elementi di disturbo, con la possibilità di influire negativamente, falsando o annullando, una qualsiasi operazione statistica prevista, volta all'estrazione dell'informazione contenuta nella serie. Un esempio è la condizione di normalità, spesso alla base di molti modelli e test statistici, che nella realtà non viene praticamente mai verificata per le serie idrologiche. Da qui nasce l'esigenza di eliminare questi fattori fuorvianti già prima dell'inizio della modellazione, cosa che può essere fatta tramite operazioni di partizionamento o decomposizione delle serie nelle loro singole componenti.

4.3.2.2 Caratterizzazione statistica di una serie storica idrologica

Nell'improntare una corretta descrizione statistica delle serie temporali, è fondamentale fornire alcune caratteristiche intrinseche delle serie stesse. Nello specifico i parametri individuati necessari sono:

- il numero massimo di anni;
- il numero totale di dati;
- la frequenza, cioè il numero massimo di dati/anno;
- il numero di anni;
- l'istante di primo dato;
- l'istante di ultimo dato;
- gli intervalli di dati mancanti.

Le definizioni di questi elementi risultano particolarmente utili ai fini di studio, poiché sono necessarie per impostare e definire, nel seguito, una congrua procedura di controllo qualità cui sottoporre le serie in analisi.

4.3.2.2.1 Lunghezza della serie

La lunghezza di una serie storica viene misurata in anni ed è definita come la differenza fra l'anno relativo all'ultimo campionamento e quello relativo al primo, il tutto aumentato di un'unità, ossia:

$$\text{lunghezza} = (\text{anno ultimo rilevamento} - \text{anno primo rilevamento}) + 1$$

La frequenza di campionamento è un parametro che non influisce nella determinazione della lunghezza, ad esempio, per poter considerare come “valido” un anno per una serie giornaliera, non è indispensabile avere almeno 365 registrazioni; in aggiunta, un anno viene comunque computato anche qualora la serie inizi nei periodi terminali dell'anno stesso. Si ricorda ancora una volta che la lunghezza assume importanza primaria nella possibilità di estrazione di informazioni idrologiche affidabili dalla serie.

4.3.2.2.2 Frequenza

La frequenza di una serie storica viene definita su base annua ed indica, appunto, il numero delle registrazioni effettuate nell'anno. Di seguito si riporta, in funzione del campionamento, la frequenza massima possibile:

- orario 8760
- triorario 2920
- giornaliero 365
- settimanale 52
- decadale 36
- mensile 12
- annuale 1

Si precisa che nelle serie con campionamento giornaliero, o maggiore, normalmente viene trascurata la presenza dell'anno bisestile, omettendo il 29 febbraio. Tuttavia, alcuni autori al fine di considerare tale aspetto, talvolta pongono la frequenza della serie giornaliera pari a 365,25.

4.3.2.2.3 Numero massimo di dati

Esso rappresenta il numero massimo di dati presenti entro gli estremi di inizio e di fine campionamento; viene indicato con il termine N_m . Tuttavia, per una serie può anche essere riportato il numero totale delle sole osservazioni fatte, ovvero le sole registrazioni presenti, indicandolo con il termine N .

Ovviamente fra i due sussiste la relazione per cui $N \leq N_m$.

4.4 Stazioni termometriche della Regione Marche

L'analisi dei dati che si propone è volta alla stima della qualità delle serie storiche di temperatura, collezionate dalle stazioni termometriche situate nei bacini idrografici del territorio regionale marchigiano. L'obiettivo è quello di analizzare le caratteristiche delle serie storiche dei dati termometrici al fine di condurre delle analisi statistiche di lungo periodo, quali quelle legate alla individuazione di possibili variazioni climatiche. Le informazioni fornite da questi risultati andranno a completare gli studi già svolti nell'analisi dei valori estremi di precipitazione e saranno da supporto alla definizione degli indici di siccità che tengono conto sia dei dati di precipitazione, sia dei dati di temperatura.

Inoltre, risulta importante analizzare l'affidabilità delle serie storiche, considerando anche la riorganizzazione della rete termometrica delle Marche, ad opera della Protezione Civile Regionale avvenuta a partire dagli anni 2000. Infatti, nel caso delle stazioni di temperatura, a differenza delle precipitazioni, solo in anni più recenti è stato attivato un maggior numero di stazioni. Infatti, solo 23 stazioni termometriche hanno iniziato la raccolta dati prima del 2000, con inizio delle rilevazioni dal 1957. Successivamente si sono aggiunte altre stazioni per un totale di 111 stazioni attive ad oggi.

Vi è l'assoluta necessità di poter individuare una platea di stazioni, possibilmente distribuita in modo omogeneo sul territorio e tale che, con le serie temporali collezionate, risponda ai requisiti di qualità, completezza e continuità. Il soddisfacimento di questi prerequisiti, consegna dati sufficientemente affidabili, idonei per una corretta stima delle variazioni nel tempo delle grandezze osservate, ovvero della temperatura massima e minima.

In questa fase preliminare di studio sono state individuate tutte le stazioni che erano e sono oggi presenti sul territorio regionale:

- 17 stazioni attivate nel 1957;
- 1 stazione attivata nel 1959;
- 1 stazione attivata nel 1963;
- 2 stazioni attivate nel 1968;
- 1 stazione attivata nel 1989;
- 1 stazione attivata nel 1995;
- 97 stazioni attivate dopo il 2000.

Di queste stazioni, 2 stazioni sono state dismesse rispettivamente nel 2008 e nel 2009, successivamente altre 7 stazioni sono state dismesse dal 2014.

Delle 22 stazioni attive prima degli anni 2000, a causa del cambio e/o dello spostamento degli strumenti di misura è necessario riuscire a definire la possibile omogeneità della serie storica, cioè se le sue variazioni sono dovute unicamente alle modificazioni del tempo meteorologico e/o del clima. Relativamente a questo aspetto la Protezione Civile dichiara:

- 20 stazioni omogenee;
- 2 stazioni non omogenee.

Nelle 64 stazioni omogenee è compresa anche una stazione che non risultano avere un continuo come stazione in telemisura. Più precisamente si tratta della stazione di Mercatello, dismessa il 3 gennaio 2011.

È inoltre importante notare che delle 20 stazioni omogenee solo 6 si trovano nella zona sud della Regione Marche.

Nel seguito si riporta la Tabella 4.1, contenente tutte le stazioni presenti nel territorio regionale, in ordine alfabetico di bacino, con suddivisione di stazioni in rete meccanica e di rete in telemisura, con il codice dei diversi sensori, l'anno di inizio e fine registrazioni, e la dichiarazione di omogeneità o meno da parte della Protezione Civile.

Capitolo 4 - Dataset

Tabella 4.1 - Stazioni termometriche della Regione Marche.

BACINO	STAZIONE RM	CODICE SENSORE RM	INIZIO	FINE	STAZIONE RT	CODICE SENSORE RT	INIZIO	FINE	OSSERVAZIONE
ASO					CARASSAI	2978	14/03/2014	OGGI	
					FORCE	2910	01/01/2010	OGGI	
	MONTEMONACO	2721	01/01/1957	31/12/2007	MONTEMONACO	1588	26/06/2003	OGGI	OMOGENEA
					SIBILLA	1694	23/07/2002	OGGI	
CESANO	FONTE AVELLANA	2710	01/01/1957	31/12/2004	FONTE AVELLANA	2643	24/05/2007	OGGI	OMOGENEA
					MONTE ACUTO	3070	18/09/2015	23/10/2019	
					MONTE ACUTO	3296	25/10/2019	OGGI	
	PERGOLA	2711	01/01/1957	07/01/2008	PERGOLA	2906	01/01/2010	OGGI	OMOGENEA
CHIANTI					SAN MICHELE AL FIUME	3061	28/05/2015	OGGI	
					CIVITANOVA MARCHE	2681	03/05/2006	OGGI	
					FIASTRA TREBBIO	2832	30/11/2009	OGGI	
					GELAGNA ALTA	3048	13/05/2015	OGGI	
	LORNANO	2719	01/01/1957	30/06/2009	MACERATA MONTALBANO	2743	17/03/2009	OGGI	OMOGENEA
					LORO PICENO	2908	01/01/2010	OGGI	
					MONTE CAVALLO	2648	06/06/2007	OGGI	
					MONTE VALVASSETO	3164	27/10/2017	03/04/2019	
					PIAN DI PIECA	2835	30/11/2009	OGGI	
					PIEVEBOVIGLIANA	3044	14/03/2015	OGGI	
					PINTURA DI BOLOGNOLA	1661	27/05/2002	OGGI	
					SANT'ANGELO IN PONTANO	3040	14/03/2015	OGGI	
					SERRAVALLE DI CHIANTI	2844	30/11/2009	OGGI	
				VILLA SAN FILIPPO	3057	20/05/2015	OGGI		
ESINO	APIRO	2714	13/04/1995	02/02/2009					
					CAMPODIEGOLI	1399	10/06/2003	OGGI	
					CAMPONOCECCHIO	3052	30/04/2015	OGGI	
					CAPANNINA POGGIO SAN VICINO	2962	09/05/2013	17/07/2014	
					COLLEPONI	2655	23/05/2007	OGGI	
					ESANATOGLIA CONVENTO	1407	19/06/2003	OGGI	
	FABRIANO	2713	01/01/1957	06/07/2009	FABRIANO CENTRO	2740	18/03/2009	OGGI	OMOGENEA
	JESI	2715	01/01/1957	07/01/2008	JESI	2892	01/01/2010	OGGI	OMOGENEA
					MOIE	3022	25/09/2014	OGGI	
					MONTE SAN VICINO	3280	08/11/2019	OGGI	
ETE VIVO					SAN GIOVANNI	2894	01/01/2010	OGGI	
					SASSOFERRATO	2994	14/03/2014	OGGI	
					SCHEGGIA	1391	10/06/2003	OGGI	
					ETE CALDARETTE	2898	01/01/2010	OGGI	
FIUMARELLA					FERMO	2940	18/04/2013	OGGI	
					GROTTAZZOLINA	1625	25/06/2003	OGGI	
FOGLIA					LORETO	2852	30/11/2009	OGGI	
					BRONZO	2902	04/01/2010	OGGI	
	CARPEGNA	2702	01/01/1963	24/02/2014	CARPEGNA	2954	27/02/2014	OGGI	NON OMOGENEA
					FRONTINO	3089	24/11/2015	OGGI	
					GALLO	2904	01/01/2010	OGGI	
LITORALE TRA ESINO E					MONTE CARPEGNA	3232	28/06/2018	OGGI	
	PESARO	2703	01/01/1957	31/12/2001	VILLA FASTIGGI	1229	25/11/2003	OGGI	OMOGENEA
MARECCHIA					ANCONA REGIONE	1640	17/09/2003	OGGI	
	ANCONA TORRETTE	2716	0/01/1957	31/12/2013	ANCONA TORRETTE	2948	14/10/2013	OGGI	OMOGENEA
	NOVAFELTRIA	2701	01/01/1959	04/02/2008					

Capitolo 4 - Dataset

METAURO					ACQUALAGNA	2741	12/06/2007	OGGI	
					APECCHIO	1191	06/06/2003	OGGI	
	BARGNI	2709	01/01/1957	31/12/2007	PIAGGE	3012	17/07/2014	OGGI	OMOGENEA
					BOCCA SERRIOLA	3028	29/09/2014	OGGI	
					CAGLI CIVITA	3252	12/11/2018	OGGI	
					CANTIANO	2974	13/03/2014	OGGI	
					CESANE FORESTA	2887	20/05/2010	OGGI	
	FANO	2704	01/01/1957	31/12/2007	METAURILIA	2671	28/11/2006	OGGI	OMOGENEA
	FOSSOMBRONE	2708	01/01/1968	01/01/2008	FOSSOMBRONE	2668	28/11/2006	OGGI	OMOGENEA
					LUCREZIA	2896	01/01/2010	OGGI	
	MERCATELLO	2705	01/01/1957	03/01/2011					OMOGENEA
					MONTE NERONE	3272	06/06/2019	OGGI	
					MONTE PAGANUCCIO	2823	04/06/2009	OGGI	
					MONTE PETRANO	3264	06/11/2018	OGGI	
					PIANELLO DI CAGLI	2986	13/03/2014	OGGI	
					PIOBBICO	3093	19/02/2016	OGGI	
SANT'ANGELO IN VADO	2706	01/01/1968	31/12/2007	S. ANGELO IN VADO	2900	01/01/2010	OGGI	OMOGENEA	
				SERRAVALLE DI CARDA	3260	07/11/2018	OGGI		
				URBANIA	2970	13/03/2014	OGGI		
URBINO	2707	01/01/1957	31/12/2007	URBINO	1170	25/11/2003	OGGI	OMOGENEA	
MISA	ARCEVIA	2712	01/01/1959	31/12/2007	ARCEVIA	2646	23/05/2007	OGGI	OMOGENEA
					BETTOLELLE	2638	11/06/2007	OGGI	
					COLLE	1272	17/10/2003	OGGI	
					CORINALDO	2966	13/03/2014	OGGI	
					SENIGALLIA	2737	01/07/2008	OGGI	
MUSONE				BARACCOLA	2855	30/11/2009	OGGI		
	CINGOLI	2717	01/01/1957	01/07/2009	POGGIO SAN VICINO	2849	30/11/2009	OGGI	OMOGENEA
					CINGOLI	2838	30/11/2009	OGGI	
					MONTE POLESCO	2731	10/07/2008	OGGI	
					OSIMO MONTERAGOLO	2692	01/06/2007	OGGI	
					PASSATEMPO	3019	24/09/2014	OGGI	
					ROSTIGHELLO	2815	30/11/2009	OGGI	
NERA				SVARCHI	2818	18/02/2010	OGGI		
				GUALDO	3152	18/07/2017	OGGI		
				MONTE BOVE SUD	1853	01/08/2002	OGGI		
				MONTE PRATA	1818	05/08/2002	OGGI		
				PIAN DI PAO	3167	19/10/2017	23/03/2019		
				PIZZO TRE VESCOVI	1787	07/08/2002	OGGI		
				USSITA	1653	28/11/2003	OGGI		
POTENZA				APPIGNANO	1896	29/06/2001	OGGI		
	CAMERINO	2718	01/01/1957	31/12/1997	CAMERINO	1334	27/11/2003	OGGI	OMOGENEA
					METEOMARINA CADSEALAND	2684	18/10/2006	03/04/2014	
					MONTEFANO	1888	03/07/2001	OGGI	
					PIORACO	2990	14/03/2014	OGGI	
					SAN SEVERINO MARCHE	2634	08/06/2007	OGGI	
					SEFRO	2826	30/11/2009	OGGI	
					SERRALTA	1371	03/07/2001	OGGI	
					SORTI	2841	30/11/2009	OGGI	
TENNA				SPINDOLI	2829	30/11/2009	OGGI		
				VILLA POTENZA	2652	07/12/2006	OGGI		
				AMANDOLA	3085	23/11/2015	OGGI		
				ISOLA SAN BIAGIO	1723	22/07/2002	OGGI		
				PORTO S. ELPIDIO	1611	16/10/2003	OGGI		
				SASSOTETTO	1754	24/07/2002	OGGI		
SERVIGLIANO	2720	01/01/1957	31/12/2014	SERVIGLIANO	3015	22/09/2014	OGGI	OMOGENEA	
TESINO				GROTTAMMARE	2676	04/05/2006	OGGI		
				RIPATRANSONE	3008	03/06/2014	OGGI		
TRONTO				S. MARIA GORETTI	2734	30/11/2009	13/11/2017		
				ACQUASANTA TERME	2884	11/11/2011	16/12/2013		
				ACQUASANTA TERME PISCINA	2982	17/12/2013	OGGI		
	AMATRICE	2724	01/01/1957	01/07/2013	AMATRICE	2958	02/10/2013	OGGI	OMOGENEA
					ARQUATA DEL TRONTO	3077	23/11/2015	OGGI	
	ASCOLI PICENO	2725	01/01/1957	03/11/2014	BRECCIA ROLO	2938	17/04/2013	OGGI	OMOGENEA
					ASTORARA	3284	11/11/2019	OGGI	
					CAPODACQUA	1366	14/04/2006	OGGI	
					ILLICE	3081	23/11/2015	OGGI	
					MOZZANO	1543	15/10/2003	OGGI	
					PALMIANO	3288	18/12/2019	OGGI	
	POGGIO CANCELLI	2722	01/01/1989	30/12/2002	POGGIO CANCELLI	2998	10/12/2013	OGGI	NON OMOGENEA
POGGIO CANCELLI	2723	01/01/2000	02/06/2014						
				SAN BENEDETTO	1571	15/10/2003	OGGI		
				UMITO	1358	26/06/2003	OGGI		

Per le località dichiarate omogenee e non omogenee si riportano le coordinate e le quote delle due diverse strumentazioni in Tabella 4.2. Si vuole far notare come l'unica stazione rimasta nello stesso posto e alla stessa quota sia quella di Arcevia, la cui serie di dati termometrici risulta omogenea. Le altre stazioni hanno subito tutte uno spostamento. La differenza di quota maggiore è quella della stazione Poggio Cancelli di 112 metri. Per quanto riguarda le coordinate invece, 4 stazioni risultano avere latitudine e longitudine uguali per entrambi i tipi di misurazione e sono: Montemonaco, Fonte Avellana, Urbino, Camerino

Tabella 4.2 - Coordinate e quote stazioni valide per l'indagine.

COLLOCAZIONE STAZIONI OMOGENEE								
N°	STAZIONE RM	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA	STAZIONE RT	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA
1	MONTEMONACO	13°19'	42°53'	987.00	MONTEMONACO	13°19'	42°53'	995.00
2	FORTE AVELLANA	12°43'	43°28'	689.00	FORTE AVELLANA	12°43'	43°28'	690.00
3	PERGOLA	12°50'	43°33'	306.00	PERGOLA	12°50'	43°34'	242.48
4	LORNANO	13°25'	43°17'	232.00	MACERATA MONTALBANO	13°25'	43°17'	294.00
5	FABRIANO	12°54'	43°20'	357.00	FABRIANO CENTRO	12°54'	43°19'	354.00
6	JESI	13°14'	43°31'	96.00	JESI	13°13'	43°31'	100.00
7	PESARO	12°54'	43°54'	11.00	VILLA FASTIGGI	12°52'	43°53'	22.00
8	ANCONA TORRETTE	13°27'	43°36'	6.00	ANCONA TORRETTE	13°26'	43°36'	5.00
9	BARGNI	12°51'	43°44'	273.00	PIAGGE	12°58'	43°44'	189.00
10	FANO	13°1'	43°50'	4.00	METAURILIA	13°3'	43°49'	7.12
11	FOSSOMBRONE	12°48'	43°41'	116	FOSSOMBRONE	12°47'	43°41'	96
12	MERCATELLO	12°20'	43°38'	429				
13	SANT'ANGELO IN VADO	12°24'	43°39'	359	S. ANGELO IN VADO	12°24'	43°40'	352.4
14	URBINO	12°38'	43°43'	451	URBINO	12°38'	43°43'	471
15	ARCEVIA	12°56'	43°29'	535	ARCEVIA	12°56'	43°29'	535
16	CINGOLI	13°12'	43°22'	631	POGGIO SAN VICINO	13°4'	43°22'	580
17	CAMERINO	13°4'	43°8'	664	CAMERINO	13°4'	43°8'	581
18	SERVIGLIANO	13°29'	43°4'	215	SERVIGLIANO	13°29'	43°5'	197
19	AMATRICE	13°17'	42°37'	955	AMATRICE	13°17'	43°37'	954
20	ASCOLI PICENO	13°35'	42°51'	136	BRECCIA ROLO	13°39'	42°51'	78.23

STAZIONI NON OMOGENEE								
N°	STAZIONE RM	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA	STAZIONE RT	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA
1	CARPEGNA	12°19'	43°46'	748.00	CARPEGNA	12°20'	43°46'	715.00
2	POGGIO CANCELLI	13°20'	42°32'	1450.00	POGGIO CANCELLI	13°20'	42°33'	1338.00

4.5 Creazione del database

4.5.1 Analisi omogeneità delle serie

I dati di temperatura nella Regione Marche, come visto in precedenza, sono stati raccolti da stazioni di misura in parte analogiche (RM) e in parte digitali (RT). Ragioni di innovazione tecnologica e di economicità, hanno portato alla progressiva dismissione degli strumenti di misura gestiti dal SIMN, ormai obsoleti, con strumenti più moderni, completamente automatici ed elettronici, in grado di fornire misure in tempo reale con elevato dettaglio temporale. Al fine di poter effettuare raffronti e valutazioni, oggi molto attuali per la definizione del cambiamento climatico, di trend e scenari futuri, che si avvalgano di tutte le misure disponibili a partire dagli inizi del secolo scorso, è necessario esaminare l'omogeneità delle serie di misure acquisite dopo cambiamenti di strumentazione e, per alcuni casi, di sito.

Si è posta così la questione relativa alla valutazione della correttezza di unire serie di dati consecutive nel tempo ma provenienti da strumentazioni diverse. A tal fine, sono state ricercate e individuate località sul territorio regionale, nelle quali fossero presenti in contemporanea sia le stazioni termometriche manuali che quelle automatiche in modo da analizzare l'impatto, dovuto alla variazione di strumentazione e di sito, sulle misure acquisite. Per queste particolari stazioni è stato effettuato un confronto tra le misure acquisite dalle due differenti strumentazioni, nel periodo di sovrapposizione delle registrazioni. Grazie a questo studio, si è potuto determinare se le coppie di stazioni dichiarate idonee al collegamento effettivamente costituivano una serie omogenea e utile per le analisi climatiche sull'intero periodo coperto da entrambe le misure strumentali.

Inizialmente sono state individuate tra le stazioni definite omogenee e non omogenee dalla Protezione Civile regionale, quelle aventi un periodo di sovrapposizione. Si è poi verificato che la sovrapposizione fosse composta da almeno 12 dati mensili, in modo da avere una serie statisticamente valida come suggerito dal WMO nella pubblicazione "*guide to climatological practices*". Le stazioni valide per il confronto sono 5.

Nella Tabella 4.2 sono riportate tutte le stazioni dichiarate omogenee dalla Protezione Civile della Regione Marche con i corrispettivi mesi di sovrapposizione, se presenti; le stazioni evidenziate sono quelle valide al confronto.

Tabella 4.3 - Elenco stazioni omogenee con sovrapposizione.

STAZIONI OMOGENEE											
N°	BACINO	STAZIONE RM	INIZIO	FINE	STAZIONE RT	INIZIO	FINE	SOVRAPPOSIZIONE	MESI SOVRAPPOSIZIONE	MESI SOVRAPPOSIZIONE VALIDI	
1	ASO	MONTEMONACO	01/01/1957	31/12/2007	MONTEMONACO	26/06/2003	OGGI	SI	54	12	
2	CESANO	FORTE AVELLANA	01/01/1957	31/12/2004	FORTE AVELLANA	24/05/2007	OGGI	NO			
3	CESANO	PERGOLA	01/01/1957	07/01/2008	PERGOLA	01/01/2010	OGGI	NO			
4	CHIANTI	LORNANO	01/01/1957	30/06/2009	MACERATA MONTALBANO	17/03/2009	OGGI	SI	3	3	
5	ESINO	FABRIANO	01/01/1957	06/07/2009	FABRIANO CENTRO	18/03/2009	OGGI	SI	3	3	
6	ESINO	JESI	01/01/1957	07/01/2008	JESI	01/01/2010	OGGI	NO			
7	FOGLIA	PESARO	01/01/1957	31/12/2001	VILLA FASTIGGI	25/11/2003	OGGI	NO			
8	LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	01/01/1957	31/12/2013	ANCONA TORRETTE	14/10/2013	OGGI	SI	2	2	
9	METAURO	BARGNI	01/01/1957	31/12/2007	PIAGGE	17/07/2014	OGGI	NO			
10	METAURO	FANO	01/01/1957	31/12/2007	METAURILIA	28/11/2006	OGGI	SI	13	12	
11	METAURO	FOSSOMBRONE	01/01/1968	01/01/2008	FOSSOMBRONE	28/11/2006	OGGI	SI	13	12	
12	METAURO	MERCATELLO	01/01/1957	03/01/2011							
13	METAURO	SANT'ANGELO IN VADO	01/01/1968	31/12/2007	S. ANGELO IN VADO	01/01/2010	OGGI	NO			
14	METAURO	URBINO	01/01/1957	31/12/2007	URBINO	25/11/2003	OGGI	SI	49	12	
15	MISA	ARCEVIA	01/01/1959	31/12/2007	ARCEVIA	23/05/2007	OGGI	SI	7	4	
16	MUSONE	CINGOLI	01/01/1957	01/07/2009	POGGIO SAN VICINO	30/11/2009	OGGI	NO			
17	POTENZA	CAMERINO	01/01/1957	31/12/1997	CAMERINO	27/11/2003	OGGI	NO			
18	TENNA	SERVIGLIANO	01/01/1957	31/12/2014	SERVIGLIANO	22/09/2014	OGGI	SI	3	3	
19	TRONTO	AMATRICE	01/01/1957	01/07/2013	AMATRICE	02/10/2013	OGGI	NO			
20	TRONTO	ASCOLI PICENO	01/01/1957	03/11/2014	BRECCIAROLO	17/04/2013	OGGI	SI	18	18	

4.5.2 Metodi di analisi e di confronto dei dati termometrici

In riferimento alla pubblicazione *“Le precipitazioni intense in Piemonte - distribuzione regionale delle piogge e caratterizzazione statistica dei valori estremi cinquantennio 1961-2010”*, il confronto tra le serie di dati di precipitazione è stato svolto sui totali mensili, per ovviare al fatto che il valore di precipitazione giornaliera è spesso nullo, essendo la pioggia una grandezza discontinua, come anche ricordato in letteratura scientifica nazionale (Biancotti , 1990) ed internazionale (Wijngard, 2003).

Nel presente studio sono state considerate le medie mensili delle temperature massime, minime e medie giornaliere delle 5 stazioni oggetto dell’analisi di omogeneità e sono stati applicati metodi analoghi a quelli adottati per le precipitazioni.

4.5.2.1 Calcolo dei rapporti tra temperature mensili

I valori di temperatura massima, minima e media mensile sono ottenuti per le due serie tramite la consultazione della piattaforma “SIRMIP-online” in modo da avere i dati in formato digitale, relativi sia alla rete analogica gestita dal SIMN, sia a quella digitale di competenza della Protezione Civile della Regione Marche.

Questi valori sono stati confrontati tra loro, calcolandone il rapporto:

$$R = \frac{Temp[SIMN]}{Temp[P.Civ.]}$$

Dalla serie dei rapporti sono stati esclusi i valori estremi, eliminando le code della distribuzione che risultano inferiori al 2° percentile e superiori al 98° percentile. La definizione di percentile permette di stabilire la percentuale di valori al di sotto di una certa soglia e anche la percentuale tra le due soglie. I valori compresi tra il 2° e il 98° percentile corrispondono al 96% dei valori, scartando in questo modo solo il 4% dei dati corrispondenti ai valori estremi posizionati all'estremità delle code della distribuzione (Wilks, 2006).

La valutazione dei rapporti è stata eseguita con l'ausilio di *Microsoft Office Excel*; dopo aver calcolato il rapporto tra gli stessi mesi derivanti dalle due serie, e aver scartato i percentili, il rapporto finale correlato alla specifica stazione è calcolato come quello medio tra tutti i rapporti. Se il rapporto medio risulta essere compreso tra 0.90 e 1.10, vuol dire che c'è una buona continuità tra le due serie di dati, visto che la differenza è inferiore al 10 %. Un rapporto medio maggiore dell'unità indica un rilevamento di precipitazione maggiore per la vecchia strumentazione meccanica rispetto a quella della rete in telemisura, viceversa se minore dell'unità.

Nelle Tabella seguenti viene riportato un esempio.

Tabella 4.4 - Esempio calcolo dei rapporti tra temperature massime mensili, stazione di Montemonaco.

Anno	Mese	Tmax RM	Tmax RT	Rapporto
2007	1	21.6	21.1	1.024
2007	2	13.8	13.1	1.053
2007	3	19	16.9	1.124
2007	4	24.2	20.9	1.158
2007	5	27.9	24.7	1.130
2007	6	33.9	31.9	1.063
2007	7	38.3	35.3	1.085
2007	8	36.6	32	1.144
2007	9	29	24.1	1.203
2007	10	28.5	24	1.188
2007	11	15	15	1.000
2007	12	12.1	12.1	1.000

Percentili	0.98	1.200
	0.02	1.000

Rapporto Medio	1.108
----------------	-------

Tabella 4.5 - Esempio calcolo dei rapporti tra temperature minime mensili, stazione di Montemonaco.

Anno	Mese	Tmin RM	Tmin RT	Rapporto
2007	1	-4.7	-2.1	2.238
2007	2	-3.2	-0.9	3.556
2007	3	-3.7	-1.8	2.056
2007	4	0.9	3.5	0.257
2007	5	3.8	4.9	0.776
2007	6	7.8	8.5	0.918
2007	7	8.2	10.4	0.788
2007	8	9	10.9	0.826
2007	9	3.9	5.7	0.684
2007	10	-2.9	-1.4	2.071
2007	11	-3.7	-2.5	1.480
2007	12	-9	-7.7	1.169

Percentili	0.98	3.266
	0.02	0.351

Rapporto Medio	1.301
----------------	-------

Tabella 4.6 - Esempio calcolo dei rapporti tra temperature medie mensili, stazione di Montemonaco.

Anno	Mese	Tmed RM	Tmed RT	Rapporto
2007	1	6.32	6.6	0.958
2007	2	4.53	5.17	0.876
2007	3	6.15	6.08	1.012
2007	4	12.86	11.76	1.094
2007	5	15.75	14.37	1.096
2007	6	19.91	18.48	1.077
2007	7	24.52	22.17	1.106
2007	8	20.94	19.93	1.051
2007	9	16.11	14.08	1.144
2007	10	10.65	9.68	1.100
2007	11	4.62	4.99	0.926
2007	12	0.99	1.95	0.508

Percentili	0.98	1.136
	0.02	0.588766

Rapporto Medio	1.029
----------------	-------

4.5.2.2 Applicazione del test statistico di Kolmogorov – Smirnov

Per confrontare i due campioni di dati e quindi verificare l'ipotesi di provenienza dalla stessa distribuzione di popolazione è stato utilizzato il test di Kolmogorov - Smirnov.

Il test è di tipo non parametrico, cioè in questo ambito le statistiche sono o distribution – free oppure risultano basate su distribuzioni i cui parametri non sono specificati. In generale un test statistico può essere ad una coda o a due code. Se viene usato come test ad una coda, alluderà al test di significatività in cui la regione di rifiuto appare su un'estremità della distribuzione di campionamento. Rappresenta che il parametro di test stimato è maggiore o minore del valore critico. Quando il campione testato rientra nella regione di rigetto, cioè a sinistra o a destra, a seconda dei casi, porta all'accettazione di ipotesi alternative piuttosto che all'ipotesi nulla. Il test a due code invece, è descritto come un test di ipotesi, in cui la regione di rigetto o l'area critica si trova su entrambe le estremità della distribuzione. Determina se il campione testato rientra o meno in un certo intervallo di valori. Pertanto, un'ipotesi alternativa è accettata al posto dell'ipotesi nulla, se il valore calcolato cade in una delle due code della distribuzione di probabilità.

Nello specifico per il K-S test, se è a due code risulta sensibile ad ogni tipo di differenza della distribuzione dalla quale i due campioni sono stati presi, differenze nella tendenza centrale, nella dispersione, nella simmetria, etc. Il test ad una coda è usato per decidere se i valori della popolazione da cui è stato preso uno dei campioni sono stocasticamente più

grandi dei valori della popolazione da cui è stato preso l'altro campione, ad esempio per testare che le valutazioni di un gruppo sperimentale saranno migliori di quelle del gruppo di controllo.

Il K-S test a due code si basa sulla similitudine tra due serie cumulative, infatti se i due campioni provengono dalla stessa distribuzione di popolazione, allora le distribuzioni cumulative di entrambi si discosteranno poco o avranno al massimo delle deviazioni random. Se le due distribuzioni cumulative si discostano molto in ogni punto, allora vorrà dire che i due campioni provengono da differenti popolazioni.

Metodo classico

La metodologia è descritta nel testo "*Non parametric statistic for the behavioral sciences*" di *Sidney Siegel*, se ne riportano i passaggi principali:

- si accorpano le due serie di cumulate mensili;
- si ordina la serie unica in maniera crescente;
- si ridividono i due campioni lasciandoli in ordine crescente;
- ad ogni dato si attribuisce una frequenza pari a $1/n^\circ$ dati della serie;
- per ogni campione si creano le cumulate;
- si fa la differenza tra le cumulate in ogni punto;
- il valore di massima differenza considerato in valore assoluto sarà lo scostamento massimo tra le due serie e quindi il valore con cui confrontare il valore critico del test.

$$D = \max |\text{differenza temperature}|$$

Infine, si deve verificare $D \leq D_{\text{critico}}$ per poter dire che i due campioni provengono dalla stessa popolazione. Il valore D_{critico} è funzione della grandezza dei due campioni e del livello di significatività α del test:

- se $n_1 = n_2 = N$ con $N \leq 40$, utilizzare la tabella L (Tabella 4.7), nella quale compaiono diversi valori di K_D , che sono definiti come il numeratore della differenza più grande tra le due serie cumulative, cioè il numeratore di D.
- se $n_1 = n_2 = N$ con $N > 40$ oppure $n_1 \neq n_2$, allora utilizzare la tabella M (Tabella 4.8).

Vista la possibilità di svolgere il test anche con campioni non aventi lo stesso numero di dati, esso è stato effettuato sia sui campioni depurati dei valori minori al 2° percentile e quelli maggiori al 98° percentile, in modo da confrontare i risultati con i rapporti, sia sui campioni completi.

Tabella 4.7- Tabella L

TABLE L. TABLE OF CRITICAL VALUES OF K_D IN THE KOLMOGOROV-SMIRNOV TWO-SAMPLE TEST (Small samples)

N	One-tailed test*		Two-tailed test†	
	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$
3	3	—	—	—
4	4	—	4	—
5	4	—	5	5
6	5	6	5	6
7	5	6	6	6
8	5	6	6	7
9	6	7	6	7
10	6	7	7	8
11	6	8	7	8
12	6	8	7	8
13	7	8	7	9
14	7	8	8	9
15	7	9	8	9
16	7	9	8	10
17	8	9	8	10
18	8	10	9	10
19	8	10	9	10
20	8	10	9	11
21	8	10	9	11
22	9	11	9	11
23	9	11	10	11
24	9	11	10	12
25	9	11	10	12
26	9	11	10	12
27	9	12	10	12
28	10	12	11	13
29	10	12	11	13
30	10	12	11	13
35	11	13	12	—
40	11	14	13	—

* Abridged from Goodman, L. A. 1954. Kolmogorov-Smirnov tests for psychological research. *Psychol. Bull.*, 51, 167, with the kind permission of the author and the American Psychological Association.

† Derived from Table 1 of Massey, F. J., Jr. 1951. The distribution of the maximum deviation between two sample cumulative step functions. *Ann. Math. Statist.*, 22, 126-127, with the kind permission of the author and the publisher.

Tabella 4.8- Tabella M

TABLE M. TABLE OF CRITICAL VALUES OF D IN THE KOLMOGOROV-SMIRNOV TWO-SAMPLE TEST (Large samples: two-tailed test)*

Level of significance	Value of D so large as to call for rejection of H_0 at the indicated level of significance, where $D = \text{maximum } S_{n_1}(X) - S_{n_2}(X) $
.10	$1.22 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$
.05	$1.36 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$
.025	$1.48 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$
.01	$1.63 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$
.005	$1.73 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$
.001	$1.95 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$

* Adapted from Smirnov, N. 1948. Tables for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Ann. Math. Statist.*, 19, 280-281, with the kind permission of the publisher.

In tutti i test svolti il livello di significatività α è stato considerato pari al 5%, si riportano nelle Tabelle seguenti degli esempi di svolgimento del test.

Capitolo 4 - Dataset

Tabella 4.9 - Esempio applicazione metodo classico, Tmax senza percentili, stazione di Montemonaco.

Anno	Mese	Tmax RM	Tmax RT	Tmax RM	Tmax RT	Freq. RM	Freq. Cum. RM	Freq. RT	Freq. Cum. RT	Diff.
2007	1	21.6	21.1	12.1		0.09	0.09	0.00	0.00	0.09
2007	2	13.8	13.1		12.1	0.00	0.09	0.09	0.09	0.00
2007	3	19	16.9		13.1	0.00	0.09	0.09	0.18	0.09
2007	4	24.2	20.9	13.8		0.09	0.18	0.00	0.18	0.00
2007	5	27.9	24.7	15		0.09	0.27	0.00	0.18	0.09
2007	6	33.9	31.9		15	0.00	0.27	0.09	0.27	0.00
2007	7	38.3	35.3		16.9	0.00	0.27	0.09	0.36	0.09
2007	8	36.6	32	19		0.09	0.36	0.00	0.36	0.00
2007	10	28.5	24		20.9	0.00	0.36	0.09	0.45	0.09
2007	11	15	15		21.1	0.00	0.36	0.09	0.55	0.18
2007	12	12.1	12.1	21.6		0.09	0.45	0.00	0.55	0.09
					24	0.00	0.45	0.09	0.64	0.18
						0.00	0.45	0.00	0.64	0.18
		24.2				0.09	0.55	0.00	0.64	0.09
			24.7			0.00	0.55	0.09	0.73	0.18
		27.9				0.09	0.64	0.00	0.73	0.09
		28.5				0.09	0.73	0.00	0.73	0.00
						0.00	0.73	0.00	0.73	0.00
			31.9			0.00	0.73	0.09	0.82	0.09
			32			0.00	0.73	0.09	0.91	0.18
		33.9				0.09	0.82	0.00	0.91	0.09
			35.3			0.00	0.82	0.09	1.00	0.18
		36.6				0.09	0.91	0.00	1.00	0.09
		38.3				0.09	1.00	0.00	1.00	0.00

D	0.18
n	11
D-CRIT	7
VERIFICATO	SI

Capitolo 4 - Dataset

Tabella 4.10 - Esempio applicazione metodo classico, Tmax completa, stazione di Montemonaco.

Anno	Mese	Tmax RM	Tmax RT	Tmax RM	Tmax RT	Freq. RM	Freq. Cum. RM	Freq. RT	Freq. Cum. RT	Diff.
2007	1	21.6	21.1	12.1		0.08	0.08	0.00	0.00	0.08
2007	2	13.8	13.1		12.1	0.00	0.08	0.08	0.08	0.00
2007	3	19	16.9		13.1	0.00	0.08	0.08	0.17	0.08
2007	4	24.2	20.9	13.8		0.08	0.17	0.00	0.17	0.00
2007	5	27.9	24.7	15		0.08	0.25	0.00	0.17	0.08
2007	6	33.9	31.9		15	0.00	0.25	0.08	0.25	0.00
2007	7	38.3	35.3		16.9	0.00	0.25	0.08	0.33	0.08
2007	8	36.6	32	19		0.08	0.33	0.00	0.33	0.00
2007	9	29	24.1		20.9	0.00	0.33	0.08	0.42	0.08
2007	10	28.5	24		21.1	0.00	0.33	0.08	0.50	0.17
2007	11	15	15	21.6		0.08	0.42	0.00	0.50	0.08
2007	12	12.1	12.1		24	0.00	0.42	0.08	0.58	0.17
					24.1	0.00	0.42	0.08	0.67	0.25
		24.2				0.08	0.50	0.00	0.67	0.17
			24.7			0.00	0.50	0.08	0.75	0.25
		27.9				0.08	0.58	0.00	0.75	0.17
		28.5				0.08	0.67	0.00	0.75	0.08
		29				0.08	0.75	0.00	0.75	0.00
			31.9			0.00	0.75	0.08	0.83	0.08
			32			0.00	0.75	0.08	0.92	0.17
		33.9				0.08	0.83	0.00	0.92	0.08
			35.3			0.00	0.83	0.08	1.00	0.17
		36.6				0.08	0.92	0.00	1.00	0.08
		38.3				0.08	1.00	0.00	1.00	0.00

D	0.25
n	12
D-CRIT	7
VERIFICATO	SI

Test K-S svolto in ambiente R

R è un linguaggio di programmazione ed un ambiente di sviluppo open source dedicato all'analisi statistica. Inizialmente è stato sviluppato da Ross Ihaka e Robert Gentleman, del dipartimento di Statistica dell'Università di Auckland, Nuova Zelanda. Esso può anche essere definito come un insieme integrato di risorse software per il calcolo e la manipolazione statistica dei dati, nonché per la visualizzazione di grafici. Il linguaggio di programmazione deriva dal linguaggio statistico S, sviluppato da John Chambers, distribuito tramite licenza non open source, del quale è considerato un dialetto. L'interazione con il programma si basa su di un'interfaccia a righe di comando, tuttavia in molti casi sono disponibili delle interfacce grafiche, che permettono di richiamare funzioni in maniera molto semplice ed immediata. Il linguaggio R è 'case sensitive', ossia i simboli "A" ed "a" vengono riconosciuti come variabili diverse. La sua sintassi è semplice e consente l'inserimento di istruzioni condizionali, loop, funzioni ricorsive e l'impiego sia di strumenti di input che di output. I comandi elementari consistono o di espressioni, o di assegnazioni.

In ambiente R, per eseguire il test, c'è la funzione *ks.test* che permette di scoprire se le due serie di dati inserite provengano o meno dalla stessa distribuzione. Gli argomenti della funzione sono *x* e *y*, entrambi vettori composti da numeri. Alla funzione classica si possono aggiungere diverse alternative, non necessarie nel caso specifico visto che la funzione effettua un test a due code di default.

Come risultati del test vengono dati *D*, quindi il massimo scostamento tra le due distribuzioni cumulative dei campioni, e il *p-value*. Questo valore indica la probabilità di ottenere un risultato uguale o più estremo di quello osservato, supposta vera l'ipotesi nulla. Quindi si può affermare che essendo H_0 l'ipotesi nulla, cioè che i due campioni provengano dalla stessa distribuzione, se il *p-value* risulta maggiore del livello di significatività accettato, cioè 0.05, l'ipotesi nulla è non rigettata. Anche in questo caso il test è stato effettuato sia con i campioni completi che con quelli privi dei percentili, se ne riporta un esempio in Fig. 4.18.

Nell'effettuare il test su R appare sempre un messaggio di avviso "impossibile calcolare *p-value* in presenza di ties", sembra che il *p-value* non possa essere calcolato esattamente se compaiono valori uguali nei dati, cosa non da escludere vista la lunghezza delle serie. A differenza del test ad una coda, per cui viene specificato che il metodo di calcolo del *p-value* è quello descritto in Marsaglia, Tsang & Wang (2003), per il test a due code non è nota nessuna bibliografia.

```

R version 3.6.1 (2019-07-05) -- "Action of the Toes"
Copyright (C) 2019 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: i386-w64-mingw32/x64_32-bit

R è un software libero ed è rilasciato SENZA ALCUNA GARANZIA.
Siamo ben lieti se potrai ridistribuirlo, ma sotto certe condizioni.
Scrivi 'license()' o 'licence()' per dettagli su come distribuirlo.

R è un progetto di collaborazione con molti contributi esterni.
Scrivi 'contributors()' per maggiori informazioni o 'citation()'
per sapere come citare R o i pacchetti di R nelle pubblicazioni.

Scrivi 'demo()' per una dimostrazione, 'help()' per la guida in linea, o
'help.start()' per l'help navigabile con browser HTML.
Scrivi 'q()' per uscire da R.

> ks.test(x,y)

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: x and y
D = 0.092593, p-value = 0.9748
alternative hypothesis: two-sided

Warning message:
In ks.test(x, y) : impossibile calcolare p-value esatto in presenza di ties
>

```

Figura 4.18 - Esempio test svolto in ambiente R, stazione di Montemonaco

Test K-S svolto in ambiente Matlab

Matlab è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica scritto in C, che comprende anche l'omonimo linguaggio di programmazione creato dalla Mathworks. Matlab consente di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, creare interfacce utente, e interfacciarsi con altri programmi. Tra le varie funzioni già implementate c'è quella per il calcolo del K-S test.

$$[h,p] = kstest2(x, y, name, value)$$

La funzione restituisce la decisione del test sotto l'ipotesi nulla che i vettori x e y, contenenti nel caso specifico le temperature massime, minime e medie mensili, provengano dalla stessa distribuzione continua. L'ipotesi alternativa è che provengano da distribuzioni diverse. I risultati del test possono essere 0 o 1. Zero se l'ipotesi nulla non è rigettata, quindi i campioni provengono dalla stessa popolazione e uno se si rigetta l'ipotesi nulla, cioè i campioni provengono da diverse distribuzioni. Nell'opzione 'name' va inserito 'Alpha' cioè il livello di significatività e il valore scelto, cioè 0.05, in 'value'.

Altro risultato del test è il valore del p-value, che è molto accurato per campioni grandi, ed è ragionevolmente accurato per campioni n_1 e n_2 tali per cui $(n_1 * n_2) / (n_1 + n_2) \geq 4$.

Il calcolo del p-value segue il testo "*Evaluating Kolmogorov's Distribution*" di Marsaglia, Tsang e Wang (2003). Il test è stato effettuato prima considerando i campioni senza i percentili, poi i campioni completi, se ne riporta un esempio in Fig. 4.19.

```

Editor - C:\Users\veron\Desktop\TIROCINIO\OMOGENEITA' SERIE\DATI MENSILI CORRETTI\SANT'ANGELO IN VADO\kstestsavado.m*
kstestsavado.m*
1 x=[6.2 51.8 59.4 175.8 110.6 28 84.2 102.6 72.6 129.6 106.4 29.8 32.8 48.4 116
2 ]
3
4 x =
5
6 Columns 1 through 10
7
8 6.2000 51.8000 59.4000 175.8000 110.6000 28.0000 84.2000 102.6000 72.6000 129.6000
9
10 Columns 11 through 20
11
12 106.4000 29.8000 32.8000 48.4000 116.0000 111.0000 115.2000 175.2000 156.8000 54.2000
13
14 Columns 21 through 30
15
16 34.2000 127.4000 27.0000 50.2000 29.2000 92.6000 82.6000 214.2000 246.6000 130.6000
17
18 Columns 31 through 40
19
20 61.6000 68.2000 79.8000 67.4000 87.0000 35.2000 24.4000 61.6000 120.4000 61.8000
21
22 Columns 41 through 50
23
24 24.6000 23.0000 29.0000 59.8000 117.2000 18.6000 66.0000 13.6000 10.8000 60.4000
25
26 Columns 51 through 54
27
28 106.0000 143.0000 43.2000 51.4000
29
30

```

```

[h,p]=kstest2(x,y,'Alpha',0.05)

h = logical 0

p = 0.9675

```

Figura 4.19 - Esempio test svolto in ambiente in ambiente Matlab, con inserimento dati e creazione vettore e risultato della funzione, stazione di Montemonaco.

In Tabella 4.11 e Tabella 4.12 sono riassunti i risultati del test di Kolmogorov – Smirnov per le 5 stazioni con sovrapposizione di dati, ottenuti con le tre metodologie precedentemente descritte. Tali analisi sono riferite al campione depurato dei percentili e al campione completo, sia nel caso di temperature massime, minime o medie mensili. La verifica di omogeneità mediante questo test risulta sempre soddisfatta.

Tabella 4.11 - Risultati test K-S, campioni senza percentili

N	STAZIONE	N. DATI	TMAX - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.11	0.5	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.9997	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.25	0.583333	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.583333	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

N	STAZIONE	N. DATI	TMIN - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.28	0.5	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.4255	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.42	0.583333	VERO	0.41667	0.2485	VERO	0	0.1862	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.25	0.583333	VERO	0.25	0.869	VERO	0	0.7864	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9963	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.583333	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

N	STAZIONE	N. DATI	TMED - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.17	0.5	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.9448	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.583333	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.583333	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

Tabella 4.12 - Risultati test K-S, campioni completi

N	STAZIONE	N. DATI	TMAX - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.11	0.5000	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.9997	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.25	0.5833	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.5833	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

N	STAZIONE	N. DATI	TMIN - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.28	0.5000	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.4255	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.42	0.5833	VERO	0.41667	0.2485	VERO	0	0.1862	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.25	0.5833	VERO	0.25	0.869	VERO	0	0.7864	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9963	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.5833	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

N	STAZIONE	N. DATI	TMED - DATI COMPLETI								
			CLASSICO			R			MATLAB		
			D	D-CRIT	D<D-CRIT	D	P-VALUE	P-VALUE>0.05	0/1	P-VALUE	P-VALUE>0.05
1	ASCOLI - BRECCIAROLO	18	0.17	0.5000	VERO	0.11111	0.9999	VERO	0	0.9448	VERO
2	MONTEMONACO	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
3	FOSSOMBRONE	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
4	URBINO	12	0.17	0.5833	VERO	0.16667	0.9985	VERO	0	0.9913	VERO
5	FANO	12	0.25	0.5833	VERO	0.25	0.8475	VERO	0	0.7864	VERO

4.5.2.3 Considerazioni finali

Dal calcolo dei rapporti tra le temperature dalle strumentazioni SIMN e quelle ammodernate, tutte le stazioni considerate risultano omogenee. Anche il test di Kolmogorov - Smirnov conferma gli stessi risultati, in tutte e tre le metodologie. D'altro canto, le stazioni valide per il confronto risultano in numero molto limitato, tanto non permettere considerazioni più approfondite. Pertanto, si ritengono valide le dichiarazioni di omogeneità stabilite dalla Protezione Civile della Regione Marche.

4.5.3 Definizione della base dati completa

Dato il numero limitato di stazioni omogenee a disposizione pari a 20, nel calcolo degli indici ETCCDI sono state prese in considerazione sia le stazioni termometriche definite omogenee dalla Protezione Civile della Regione Marche, sia le 2 stazioni non omogenee. Di queste 22 stazioni sono state scelte solo quelle rispondenti ai seguenti criteri:

- *Lunghezza minima* della serie pari a 30 anni; la WMO – World Meteorological Organization ha stabilito che la finestra temporale di 30 anni costituisce il periodo minimo necessario per eliminare le variazioni tra un anno ed un altro. La lunghezza minima delle serie indicata dalla WMO elimina in automatico tutte le stazioni che sono state introdotte dopo gli anni 2000 dalla Protezione Civile regionale, proprio a causa della non sufficienza di dati.
- *Validità dei dati*; si è scelto di seguire dei criteri anche riguardanti la validità dei dati, vista la frequente presenza nelle serie di dati mancanti o incerti sia a livello di giorni, che di mesi, che di anni interi. La serie giornaliera è stata considerata attendibile se il numero di dati mancanti era inferiore al 10% del totale della serie. Vista la lunghezza dell'anno di 365 giorni è stato scelto il valore di 36 giorni come dato limite. Quindi un anno è stato considerato valido se all'interno di esso i dati giornalieri mancanti sono stati minori di 36, con più di 36 dati mancanti in un anno, l'intero anno non è stato considerato. La stessa scelta è stata fatta per l'intera serie di N anni, andando a scartare le stazioni che hanno più del 10% di anni mancanti. Inoltre, si è scelto di non considerare le stazioni che hanno più di 4 anni consecutivi mancanti.

Di conseguenza, le stazioni reputate valide per la valutazione degli indici oggetto del presente studio sono 14 stazioni per le serie termometriche (Tab. 4.13, Fig. 4.20), per un totale di 63 anni di osservazione (dal 1957 al 2019). Le stazioni di Sant'angelo in Vado non saranno considerate per l'eccessiva mancanza di dati. Per valutare l'influenza nei trend di serie di dati di temperatura che non rispondono a tutti requisiti di completezza e continuità saranno prese in considerazione anche le stazioni di Pesaro, Bargni, Mercatello, Fossombrone e Carpegna (stazione non omogenea). Saranno utili per un confronto sui risultati ricavati dal calcolo degli indici climatici estremi delle temperature.

Capitolo 4 - Dataset

Tabella 4.13 - Stazioni termometriche con verifica di completezza e continuità

STAZIONI OMOGENEE											
N°	BACINO	STAZIONE RM	STAZIONE RT	ANNO INIZIO	ANNO FINE	ANNI TOT.	ANNI NON VALIDI	ANNI STAZIONE NON FUNZIONANTE NEL P.R.	ANNI NON VALIDI CONSECUTIVI <= 4 anni	ANNI VALIDI >= 30 anni	ANNI MANCANTI <10%
1	ASO	MONTEMONACO	MONTEMONACO	1957	2019	63	2	0	SI	SI	SI
2	CESANO	FORTE AVELLANA	FORTE AVELLANA	1957	2019	63	6	0	SI	SI	SI
3	CESANO	PERGOLA	PERGOLA	1957	2019	63	5	0	SI	SI	SI
4	CHIANTI	LORNANO	MACERATA MONTALBANO	1957	2019	63	7	0	SI	SI	SI
5	ESINO	FABRIANO	FABRIANO CENTRO	1957	2019	63	2	0	SI	SI	SI
6	ESINO	JESI	JESI	1957	2019	63	3	0	SI	SI	SI
7	FOGLIA	PESARO	VILLA FASTIGGI	1957	2019	63	12	0	NO	SI	SI
8	LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	ANCONA TORRETTE	1957	2019	63	9	0	SI	SI	SI
9	METAURO	BARGNI	PIAGGE	1957	2019	63	12	0	NO	SI	SI
10	METAURO	FANO	METAURILIA	1957	2019	63	8	0	SI	SI	SI
11	METAURO	FOSSOMBRONE	FOSSOMBRONE	1968	2019	52	2	11	NO	SI	NO
12	METAURO	MERCATELLO		1957	2011	55	0	9	NO	SI	SI
13	METAURO	SANT'ANGELO IN VADO	S. ANGELO IN VADO	1968	2019	52	6	11	NO	SI	NO
14	METAURO	URBINO	URBINO	1957	2019	63	0	0	SI	SI	SI
15	MISA	ARCEVIA	ARCEVIA	1959	2019	61	6	2	SI	SI	SI
16	MUSONE	CINGOLI	POGGIO SAN VICINO	1957	2019	63	10	0	SI	SI	SI
17	POTENZA	CAMERINO	CAMERINO	1957	2019	63	22	0	NO	SI	NO
18	TENNA	SERVIGLIANO	SERVIGLIANO	1957	2019	63	4	0	SI	SI	SI
19	TRONTO	AMATRICE	AMATRICE	1957	2019	63	12	0	SI	SI	SI
20	TRONTO	ASCOLI PICENO	BRECCIAROLO	1957	2019	63	5	0	SI	SI	SI

STAZIONI NON OMOGENEE											
N°	BACINO	STAZIONE RM	STAZIONE RT	ANNO INIZIO	ANNO FINE	ANNI TOT.	ANNI NON VALIDI	ANNI STAZIONE NON FUNZIONANTE NEL P.R.	ANNI NON VALIDI CONSECUTIVI <4 anni	ANNI VALIDI >30 anni	ANNI MANCANTI <10%
1	FOGLIA	CARPEGNA	CARPEGNA	1963	2019	57	6	6	NO	SI	SI

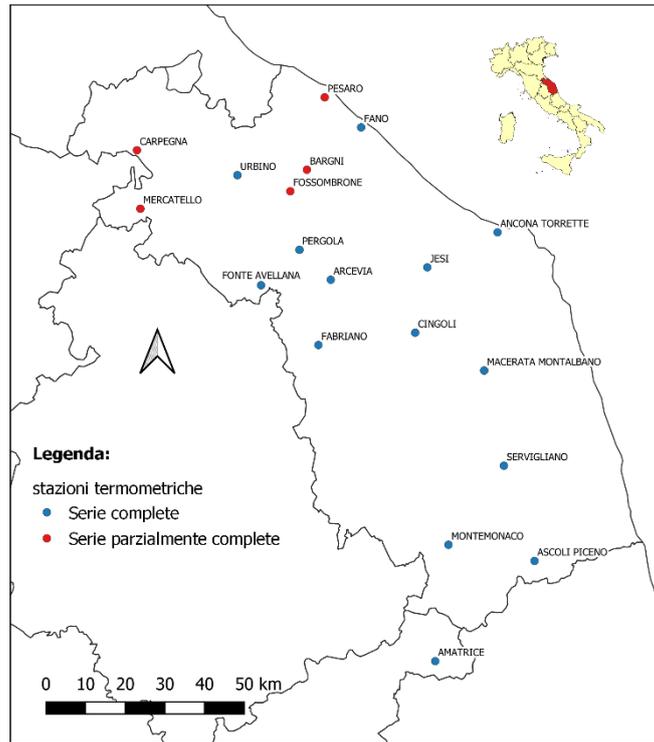


Figura 4.20 – Mappa delle stazioni termometriche considerate

Si riportano le stazioni valide allo studio in Tabella 9.1.2, che risultano essere 14, con i relativi anni non validi.

Tabella 4.14 - Stazioni termometriche valide con corrispondenti anni non validi

STAZIONI OMOGENEE															
N°	CODICE SENSORE RM	CODICE SENSORE RT	STAZIONE	ANNI NON VALIDI											
				1960	1996										
1	2721	1588	MONTEMONACO	1960	1996										
2	2710	2643	FORTE AVELLANA	1977	1990	2002	2005	2006	2007						
3	2711	2906	PERGOLA	1991	1992	2004	2008	2009							
4	2719	2743	MACERATA MONTALBANO	1977	1995	1999	2000	2001	2002	2014					
5	2713	2740	FABRIANO	1998	1999										
6	2715	2892	JESI	1983	2008	2009									
7	2716	2948	ANCONA TORRETTE	1978	1983	1985	1990	1991	1999	2001	2016	2018			
8	2704	2671	FANO	1971	1986	1987	1993	1994	2015	2016	2017				
9	2707	1170	URBINO												
10	2712	2646	ARCEVIA	1957	1958	1963	1965	1966	1967	1989	2010				
11	2717	2849	CINGOLI	1995	1998	1999	2001	2004	2005	2009	2010	2014	2015		
12	2720	3015	SERVIGLIANO	1977	1995	2015	2016								
13	2724	2958	AMATRICE	1983	1989	1990	1996	1998	1999	2001	2002	2007	2008	2010	2013
14	2725	2938	ASCOLI PICENO	1982	1994	1998	1999	2002							

Si osserva un notevole variabilità di anni mancanti tra una stazione rispetto alle altre e gli anni dopo il 2008 corrispondono nella maggior parte dei casi agli anni di cambiamento tra strumentazione meccanica e strumentazione automatica.

4.5.4 Dati di previsione degli scenari climatici futuri

4.5.4.1 Archivio dati MedCORDEX

I modelli climatici regionali sono stati introdotti nel Capitolo 2. In particolare, tra i modelli che descrivono gli scenari futuri per il dominio geografico in cui ricade l'Italia è stato scelto quello denominato CMCC-CCLM4-8-19, elaborato grazie agli studi svolti dal programma MedCORDEX e pubblicato nel 2013. Il modello globale che ne costituisce la configurazione di partenza è il modello CMCC-CM.

Nel dettaglio, CCLM4-8-19 è un modello climatico regionale non idrostatico (solo atmosfera), utilizzato nella versione 4.8-19. Il dominio del modello CCLM4-8-19 copre l'intera regione mediterranea (approssimativamente la regione da circa 27 ° W a 58 ° E di longitudine e 21 ° N a 60 ° N di latitudine) come prescritto dall'iniziativa Med-CORDEX. L'acronimo attribuito alla griglia di dati è definito tramite gli attributi 'dominio' - 'risoluzione', che corrisponde alla spaziatura della griglia scelta. Quindi la griglia, in questo caso, viene chiamata "MED-44" e si basa su una proiezione ruotata dei poli (pollat = 39,25 °N, pollon = - 162,0 °E). La risoluzione orizzontale è di 0.44 ° (circa 50 km). La scala verticale è composta da 45 livelli ibridi che seguono il terreno (ibrido Gal-Chen). Lo spessore varia da 20 m in superficie a 1400 m in quota. I parametri esterni per descrivere la superficie terrestre: dati costanti (orografia, maschera terra-mare, dati del suolo), dati variabili (caratteristiche del sistema) sono forniti dallo strumento interattivo WebPEP (Interfaccia Web per la preelaborazione dei parametri dati esterni).

Per quanto riguarda la fisica del modello, lo schema di convezione è di Tiedtke. Il valore utilizzato per la costante solare è 1368 W/m², nessuna eruzione vulcanica è inclusa. Inoltre, è presente concentrazione costante di CO₂. Distribuzioni costanti di aerosol sono date per le aree rurali, urbane, desertiche e il mare che sono mantenute costanti lungo la simulazione utilizzando la climatologia Tanré et al. (1984).

Sono disponibili due specifiche serie di dati principali:

- Serie storica dal 1950 al 2005 (non viene applicato alcuno spin-up);
- Dati di previsione dal 2006 al 2100.

I dati di previsione sono disponibili, a loro volta, in altre due distinte in base allo scenario di mitigazione RCP4.5 e RCP8.5.

I dataset Med-CORDEX considerati per il presente studio, in base alle caratteristiche precedentemente descritte, sono denominati:

- MEDCORDEX_MED-44_CMCC-CM_historical_r1i1p1_CMCC-CCLM4-8-19_v1
- MEDCORDEX_MED-44_CMCC-CM_rcp45_r1i1p1_CMCC-CCLM4-8-19_v1
- MEDCORDEX_MED-44_CMCC-CM_rcp85_r1i1p1_CMCC-CCLM4-8-19_v1

Queste raccolte di dati si possono scaricare tramite il sito ufficiale della Med-CORDEX, (https://www.medcordex.eu/search/search_vars.php) dopo aver effettuato l'accesso con le credenziali che possono essere richieste gratuitamente.

The screenshot shows the Med-CORDEX website interface. At the top, there is a navigation menu with the following items: HOME, SIMULATIONS PHASE 1, SIMULATIONS PHASE 2, DATABASE, and SEARCH/DOWNLOAD (highlighted in yellow). Below this, there are more navigation links: USE DATA, HELP, SITEMAP, NEWS (NOV 20, 2020), WORKSHOPS, and PUBLICATIONS. A second row of links includes REFERENCES, CONTACTS, USERS BY NATION, LOGIN, and PRIVACY. Below the navigation, there is a search section with four options: DATASET SEARCH, FILE SEARCH/DOWNLOAD, VARIABLE SEARCH (highlighted in yellow), and BROWSE THREDDS DATA SERVER. The main search area contains the text "search for variables you are interested in" and "select search parameters search fields (logical AND applied)". There are three input fields: "realm" with a dropdown menu showing "any", "VariableName" with a dropdown menu showing "any", and "free search" with a text input field. Below these is a "Results in:" dropdown menu showing "in no specific order". At the bottom of the search area, there are two buttons: "reset fields" and "SEARCH".

Figura 4.21 – Schermata di accesso per il download dei file Med-Cordex in formato NetCDF-4

Per ciascun dataset è disponibile un numero molto ampio di variabili climatiche, che viene riportato in Tabella 4.15. Il presente studio si limita all'utilizzo delle tre raccolte dati di temperatura massima e minima (maximum 2-metre air temperature e maximum 2-metre air temperature), espressa in Kelvin. I dati sono di tipo mensile, quindi è disponibile un unico dato per ogni mese di ogni anno.

Al fine di calcolare le anomalie climatiche, verranno confrontati due set di dati: il primo set è riferito alle proiezioni climatiche attese per i periodi futuri, il secondo set include gli andamenti climatici storici, ottenuti eseguendo la stessa simulazione per il periodo scelto di riferimento. Come raccomandato dall'IPCC, i periodi di analisi hanno una lunghezza di almeno 30 anni (IPCC, 2014).

I file di dati sono conformi al formato NetCDF, versione 4. Ogni file può contenere un solo campo di output (variabile di destinazione) da una singola simulazione. L'intera serie temporale di una variabile di destinazione (come la temperatura massima) è distribuita su più file.

Tabella 4.15 – Variabili climatiche output scaricabili in Med-Cordex in formato NetCDF-4

1	2-metre Air Temperature	K
2	Maximum 2-metre Air Temperature (monthly average of daily maximum)	K
3	Minimum 2-metre Air Temperature (monthly average of daily minimum)	K
4	Precipitation	kg/m ² /s
5	Mean Sea Level Pressure	Pa
6	2-metre Specific Humidity	1
7	10-metre Wind Speed	m/s
8	Maximum 10-metre Wind Speed (monthly average of daily max)	m/s
9	Total Cloud Cover	%
10	Sunshine Hours (duration when surface solar radiation flux exceeds 120 W/ m ²)	s
11	Surface Downwelling Shortwave Radiation	W/ m ²
12	Surface Downwelling Longwave Radiation	W/ m ²
13	Surface Latent Heat Flux	W/ m ²
14	Surface Sensible Heat Flux	W/ m ²
15	Upwelling Surface Shortwave Radiation	W/ m ²
16	Upwelling Longwave radiation	W/ m ²
17	Surface Evaporation	kg/ m ² /s
18	Soil Frozen Water Content	kg/ m ²
19	Surface Runoff	kg/ m ² /s
20	Total Runoff	kg/ m ² /s
21	Total Soil Moisture Content	kg/ m ²
22	Snow Amount	kg/ m ²
23	Snow Melt	kg/ m ² /s
24	TOA Outgoing Longwave Radiation	W/ m ²
25	TOA Incident Shortwave Radiation	W/ m ²
26	TOA Outgoing Shortwave Radiation	W/ m ²
27	Eastward 10-metre Wind Velocity	m/s
28	northward 10-metre Wind Velocity	m/s
29	Zonal (eastward) Wind at 850 hPa	m/s
30	Meridional (northward) Wind at 850 hPa	m/s
31	Temperature at 850 hPa	K
32	Specific Humidity at 850 hPa	1
33	Zonal (eastward) Wind at 500 hPa	m/s
34	Meridional (northward) Wind at 500 hPa	m/s
35	Geopotential Height at 500 hPa	m
36	Temperature at 500 hPa	K
37	Zonal (eastward) Wind at 200 hPa	m/s
38	Meridional (northward) Wind at 200 hPa	m/s
39	Temperature at 200 hPa	K
40	Geopotential at 200 hPa	m
41	Snow Area Fraction	%
42	Snow Depth	m
43	Sea Ice Fraction	%

4.5.4.2 Estrazione dei dati

Per la lettura di questa tipologia di file è stato utilizzato il software Panoply sviluppato dalla NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Una volta scaricato il programma è sufficiente aprire il file e vengono mostrate le variabili contenute (Fig. 4.22), e con un doppio click sulla variabile di temperatura "tasmax" (temperatura massima), si apre una nuova pagina che contiene un grafico (Fig. 4.23) e una matrice di valori di temperatura, in funzione del tempo, definito dall'asse x a partire dal 1950.

Facendo un doppio click su "lat" e "lon", si riescono a convertire le coordinate di latitudine e longitudine ruotate in coordinate di latitudine e longitudine in gradi decimali. È sufficiente selezionare le coordinate corrispondenti alla stazione di cui si vogliono estrarre i dati e copiare la riga dei valori.

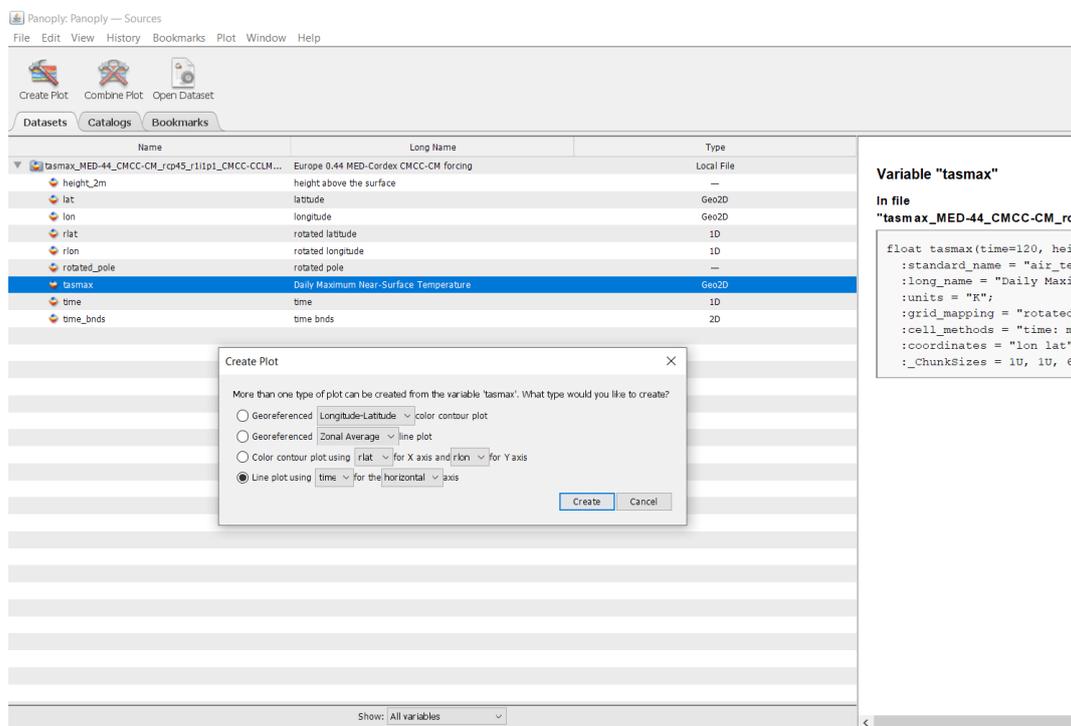


Figura 4.22 – Schermata Panoply (apertura)

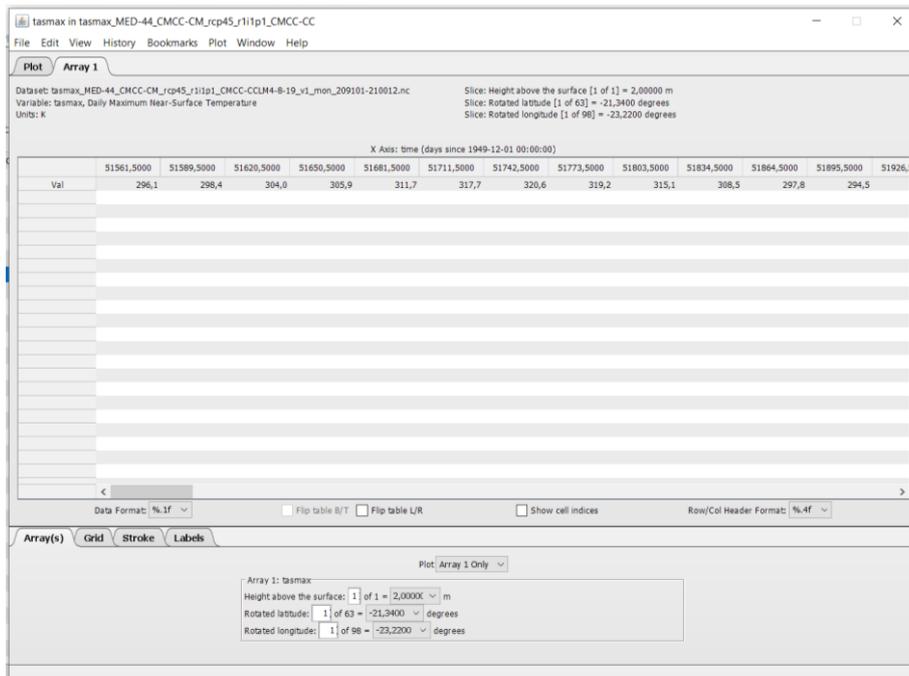
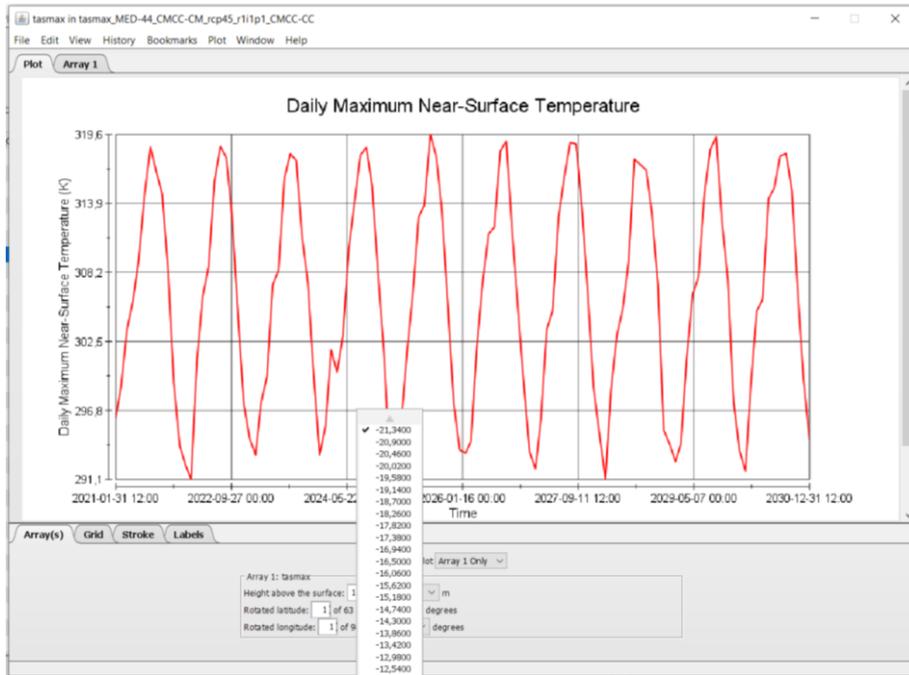


Figura 4.23 – Schermate Panoply in formato line plot using time

Questi valori di temperatura sono stati quindi copiati in un file di testo e tramite un codice generato con il programma Matlab si sono calcolate le temperature massime e minime medie annuali.

4.5.4.3 Griglia MED-44 della Regione Marche

Come descritto nei paragrafi precedenti, i dati forniti dal programma Med-CORDEX sono riportati in una griglia, denominata MED-44, di risoluzione di circa 50 km.

Nel caso specifico della Regione Marche, è possibile individuare un totale di 6 punti, quindi 6 zone, all'interno delle quali ricadono determinate stazioni, come riportato in Fig. 4.23. l'elaborato è stato prodotto utilizzando il software QGis, inserendo le caratteristiche della griglia dichiarate dalla Med-CORDEX e le coordinate delle stazioni termometriche omogenee e complete.

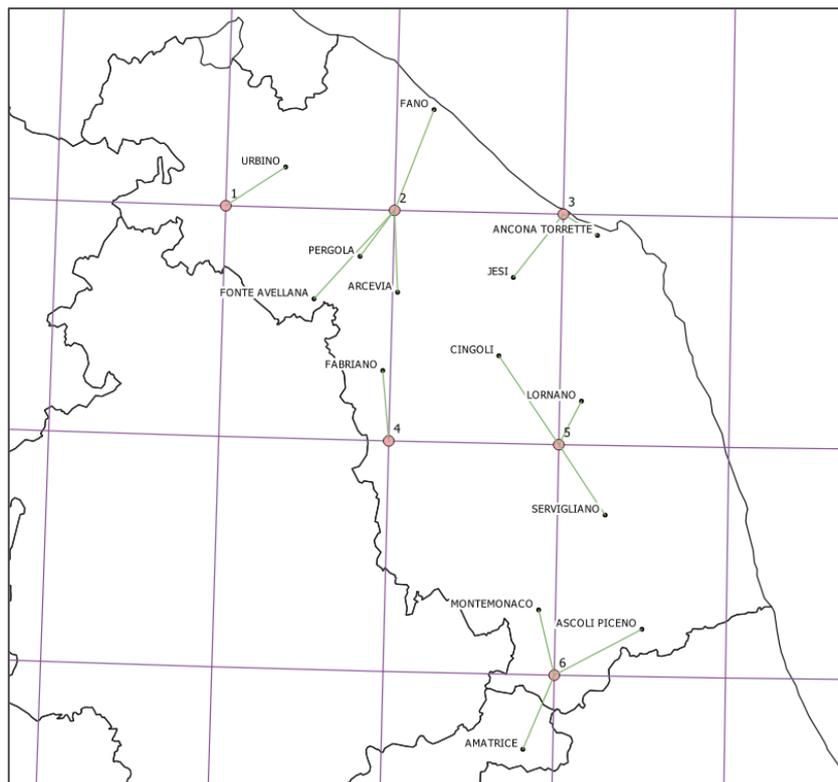


Figura 4.24 – Griglia MED-44 della Regione Marche

Le stazioni termometriche della Regione Marche si distribuiscono all'interno delle zone individuate nel seguente modo:

- Zona 1: Urbino;
- Zona 2: Fano, Pergola, Arcevia, Fonte Avellana;
- Zona 3: Jesi e Ancona;
- Zona 4: Fabriano;
- Zona 5: Cingoli, Iornano e Servigliano;
- Zona 6: Montemonaco, Ascoli Piceno e Amatrice.

Dato il numero limitato di stazioni che ricadono all'interno di ciascuna zona, non è stato possibile confrontare i dati di previsione futura con i dati storici raccolti dalle stazioni termometriche, interpolando con il metodo delle distanze inverse IDW i valori di temperatura delle località relative ad una specifica zona. A tal proposito verranno considerati solo i dati storici forniti dalla Med-CORDEX per un confronto tra le serie passate e future.

Capitolo 5

5 Caso studio: calcolo e risultati

5.1 Indici climatici estremi

5.1.1 Dati

Come ampiamente sviluppato nel capitolo precedente, i dati a disposizione sono costituiti dalle serie di dati di temperatura minime e massime giornaliere dal 1957 al 2019, per 14 stazioni definite omogenee e complete. Le 5 stazioni parzialmente omogenee, riportate in grigio nella Tabella 5.1, verranno considerate con lo scopo di osservare lo scostamento delle tendenze rispetto a quelle delle stazioni idonee per il calcolo degli indici climatici.

Tabella 5.1 - Elenco delle stazioni termometriche considerate

STAZIONI					
N°	BACINO	STAZIONE RM	STAZIONE RT	sensore RM	sensore RT
1	ASO	MONTEMONACO	MONTEMONACO	2721	1588
2	CESANO	FONTE AVELLANA	FONTE AVELLANA	2710	2643
3	CESANO	PERGOLA	PERGOLA	2711	2906
4	CHIANTI	LORNANO	MACERATA MONTALBANO	2719	2743
5	ESINO	FABRIANO	FABRIANO CENTRO	2713	2740
6	ESINO	JESI	JESI	2715	2892
7	LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	ANCONA TORRETTE	2716	2948
8	METAURO	FANO	METAURILIA	2704	2671
9	METAURO	URBINO	URBINO	2707	1170
10	MISA	ARCEVIA	ARCEVIA	2712	2646
11	MUSONE	CINGOLI	POGGIO SAN VICINO	2717	2849
12	TENNA	SERVIGLIANO	SERVIGLIANO	2720	3015
13	TRONTO	AMATRICE	AMATRICE	2724	2958
14	TRONTO	ASCOLI PICENO	BRECCIA ROLO	2725	2938
15	FOGLIA	PESARO	VILLA FASTIGGI	2703	1229
16	METAURO	BARGNI	PIAGGE	2709	3012
17	METAURO	MERCATELLO		2705	
18	METAURO	FOSSOMBRONE	FOSSOMBRONE	2708	2668
19	FOGLIA	CARPEGNA	CARPEGNA	2702	2954

5.1.1.1 Temperature massime e minime

Prima di eseguire il calcolo degli indici climatici ETCCDI, sono state calcolate le temperature massime e minime, mediate nei periodi di 30 anni 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010 per tutte le 19 stazioni, in modo da avere una maggiore completezza spaziale. I dati di temperatura così ottenuti sono stati interpolati spazialmente tramite il metodo delle distanze inverse (IDW), e gli elaborati sono stato prodotti mediante il software QGIS. I grafici seguenti riportano la distribuzione spaziale descritta.

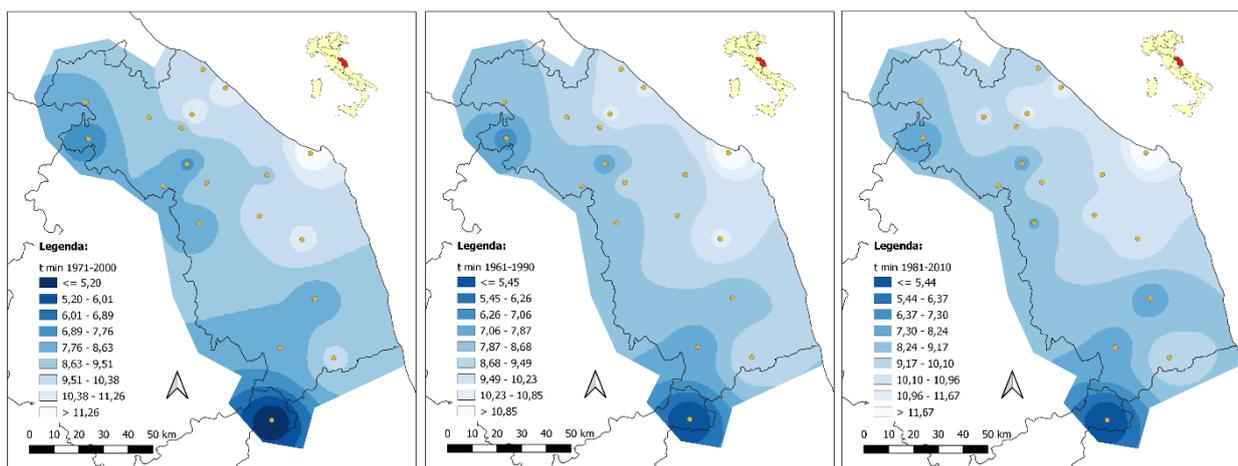


Figura 5.1 – Distribuzione spaziale della temperatura minima, mediata nei periodi 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010, ricostruita con tecnica IDW.

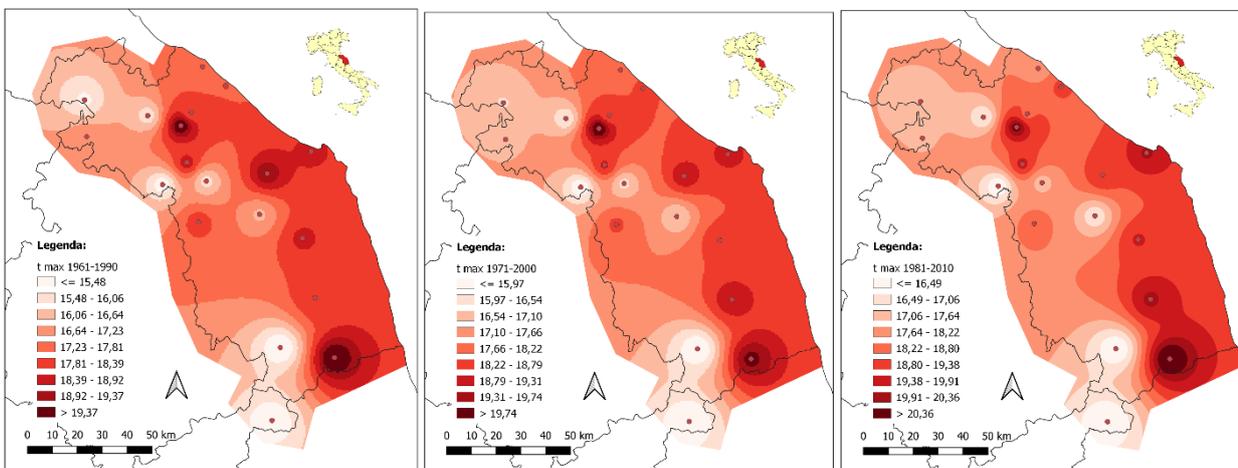


Figura 5.2 – Distribuzione spaziale della temperatura massima, mediata nei periodi 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010, ricostruita con tecnica IDW.

Per quanto riguarda le temperature minime, mediamente valori minimi di circa 5 °C si sono verificati in corrispondenza della stazione di Amatrice e la massima nella località di Ancona Torrette di circa 11 °C. Tra il periodo 61-90 e 71-00, per questa variabile si è verificata un aumento apprezzabile nella zona in cui sono localizzate le stazioni di Fabriano, Pergola e Fonte Avellana. Questa tendenza è continuata anche nel trentennio successivo. La zona costiera settentrionale raggiunge temperature minime maggiori rispetto alla zona costiera meridionale, in media differisco di circa 1 °C. La zona di Ascoli Piceno ha subito un aumento

delle minime dagli anni 71-00 agli 81-10. Tra la zona costiera e quella interna si osserva un gradiente di temperatura di circa 5 °C.

Per le temperature massime, i media i valori massimi si sono verificati ad Ascoli Piceno e ad Ancona Torrette, con picchi superiori ai 20 °C nel periodo 81-10, mentre i valori minimi sono localizzati dalle stazioni di Amatrice e Montemonaco. Carpegna ha subito un aumento della temperatura massima di circa un 1 °C dal periodo 61-90 al 81-10. Lo stesso è accaduto per Servigliano, di circa 2 °C. In termini di massime, la zona costiera meridionale raggiunge valori più alti rispetto alla zona costiera settentrionale. Come era accaduto per le temperature minime, anche per questa variabile Fabriano ha un notevole aumento delle temperature massime.

5.1.2 Calcolo indici

Il calcolo degli indici climatici non è stato eseguito con il software Rclimindex a causa delle forti condizioni di completezza imposte alle serie di dati. Ad esempio, nel manuale di utilizzo del software viene specificato che gli indici mensili sono calcolati se mancano non più di 3 giorni in un mese, mentre i valori annuali sono calcolati se mancano non più di 15 giorni in un anno e che nessun valore annuale verrà calcolato se mancano dati di un mese. Per indici soglia, una soglia viene calcolata se è presente almeno il 75% dei dati. Si è presentata la necessità di utilizzare il software Matlab per il calcolo degli indici climatici estremi delle temperature, descritti nei capitoli precedenti. Ciascun dei 16 indici è stato calcolato per le stazioni termometriche prese in considerazione in questo studio. (Tabella 5.1)

In Matlab sono stati implementati diversi codici per il calcolo degli indici climatici, tutti con lo stesso principio di funzionamento.

Per iniziare il calcolo si deve cliccare sul comando 'Run' della pagina 'Editor' di Matlab. Partirà a questo punto l'inserimento dei dati con formato '.txt' a causa della loro mole imponente. In particolare, questi file si compongono di 27 colonne, tra le quali è importante ricordare il codice sensore, l'anno, il mese, il giorno, l'ora, il minuto (riferiti all'inizio del periodo), anno, mese, giorno, ora, minuto (riferiti alla fine del periodo), (nelle prime colonne), la temperatura minima nella colonna 12, la temperatura media nella colonna 18, la temperatura massima 19, il livello di qualità nella colonna 26 e il codice stazione nella colonna 27.

```
2721, 1957, 1, 1, 0, 0, 1957, 1, 2, 0, 0, 2.1, 1957, 1, 1, 9, 0, 4.1, 6.1, 1957, 1, 1, 9, 0, 2, 100, 2230,  
2721, 1957, 1, 2, 0, 0, 1957, 1, 3, 0, 0, 5, 1957, 1, 2, 9, 0, 8.7, 12.4, 1957, 1, 2, 9, 0, 2, 100, 2230,  
2721, 1957, 1, 3, 0, 0, 1957, 1, 4, 0, 0, 2.3, 1957, 1, 3, 9, 0, 5.55, 8.8, 1957, 1, 3, 9, 0, 2, 100, 2230
```

Figura 5.3 - Stralcio file dati

La richiesta successiva sarà quella di inserire un file '.txt' che abbia per ogni riga il codice del sensore di una stazione in rete meccanica e il codice della rete in telemisura relativo alla medesima stazione, nel suddetto file saranno inseriti solo i codici delle stazioni interessate.

A questo punto il programma esegue il calcolo vero e proprio: per ogni stazione e per ogni anno, o ogni mese in base al tipo di parametro computato, viene calcolato l'indice sia per la rete meccanica che per quella in telemisura. L'aver completato le tabelle tramite la consultazione degli Annali, ha fatto riscontrare una disuguaglianza tra i dati pubblicati in quest'ultimi e quelli scaricabili online. In particolare, negli Annali viene specificato che le temperature minime e massime giornaliere non vengono calcolate se sono stati rilevati meno del 92 % dei dati nella giornata previsti in base alla frequenza di campionamento. Quindi per riuscire ad identificare i valori mancanti anche tra i dati scaricabili online è necessario tenere conto della qualità del dato come appena definita. Nei file con i dati alla colonna 26, è presente un indice che valuta la completezza delle registrazioni giornaliere. Nei codici di calcolo degli indici, infatti, si è specificato di andare a valutare solo i dati che hanno questo indice maggiore di 92, in modo da avere uguaglianza tra i valori scaricabili e quelli degli Annali che sono gli unici dati da poter considerare come riferimento. Infine, il programma, per ogni stazione, stamperà un file contenente tutti gli indici, come in Fig. 5.4 e Fig. 5.5.

Anno	FD0	SU25	ID0	TR20
1957	49	58	8	8
1958	59	56	3	6
1959	52	23	3	0
1960	49	34	10	0
1961	59	39	12	4
1962	90	69	23	13
1963	70	49	27	4
1964	44	56	4	2
1965	68	48	14	7
1966	79	59	16	3
2007	63	90	11	13
2008	36	55	8	19
2009	49	46	11	17
2010	59	40	14	13
2011	42	53	8	19
2012	54	65	17	28
2013	51	30	10	14
2014	15	22	4	2
2015	34	53	5	23
2016	13	55	2	22
2017	36	71	7	43
2018	27	56	5	22
2019	25	73	4	37

FD0 = number of frost days - $T_{Nij} < 0^{\circ}$
 SU25 = number of summer days - $T_{Xij} > 25^{\circ}$
 ID0 = number of icing days - $T_{Xij} < 0^{\circ}$
 TR20 = number of tropical days $T_{Nij} > 20^{\circ}$

Figura 5.4 - Esempio output file indici annuali FD, SU, ID eTR – codice sensore 2721, stazione di Montemonaco

TXx = monthly maximum value of daily maximum temperature												
Anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
1957	17.5	15.0	20.5	20.7	20.5	30.9	33.9	36.7	27.2	23.5	18.2	12.5
1958	12.0	19.5	13.5	18.4	29.5	26.5	30.6	32.8	27.5	26.5	13.0	17.5
1959	12.5	15.5	19.6	18.4	22.1	25.6	29.0	29.0	23.4	19.2	15.6	12.0
1960	16.0	16.7	20.2	18.2	26.4	26.6	27.0	33.0	9999.0	9999.0	9999.0	14.0
1961	8.1	14.8	17.8	21.7	22.8	27.8	28.1	32.0	27.3	24.6	16.7	16.0
1962	16.2	11.1	14.8	19.4	23.9	29.9	34.2	34.2	31.3	22.7	18.0	10.4
1963	11.8	8.1	14.8	20.8	22.4	28.9	29.5	31.8	26.5	21.1	22.4	15.9
1964	11.2	15.8	19.8	21.0	28.9	32.9	30.2	29.8	27.9	22.6	19.6	12.2
1965	12.7	19.8	18.8	19.8	27.6	32.2	33.2	32.8	22.0	22.8	20.1	15.4
1966	12.1	19.8	19.0	21.9	26.8	31.3	32.3	33.3	30.3	23.2	17.3	12.8
1967	11.3	17.0	17.3	23.0	29.2	31.2	37.6	35.0	28.6	26.7	21.0	16.0
1968	13.8	17.1	21.9	26.0	29.1	32.7	37.6	30.5	29.7	25.5	21.3	11.8
1969	12.1	13.8	13.0	24.4	30.4	28.3	32.0	33.7	27.1	23.0	21.2	4.0
...
1997	16.0	16.1	20.5	18.0	27.8	29.5	29.5	30.0	28.8	25.0	17.6	14.0
1998	14.0	20.1	18.1	23.3	25.8	32.4	37.1	38.0	31.9	22.1	21.0	15.0
1999	17.2	15.0	18.9	21.0	28.0	30.1	31.0	32.0	28.2	25.3	21.3	14.8
2000	15.3	17.2	20.0	26.2	26.0	30.0	35.5	39.0	31.0	27.0	20.2	18.0
2001	16.9	15.0	27.0	23.4	29.5	32.0	33.0	35.1	28.0	26.3	20.1	15.0
2002	15.0	18.5	23.5	19.1	26.0	31.2	32.0	32.0	26.2	23.7	22.0	14.0
2003	15.5	14.4	20.7	25.1	28.0	32.9	36.1	35.9	26.3	24.5	18.3	16.7
2004	15.1	17.8	23.9	20.8	27.0	32.8	35.1	31.2	28.4	25.6	24.9	17.5
2005	11.7	11.7	19.1	24.0	29.2	33.5	38.1	33.6	27.8	21.3	19.0	18.9
2006	9.9	12.6	19.9	21.0	26.4	33.6	34.4	32.4	32.4	25.8	18.5	15.5
2007	21.6	13.8	19.0	24.2	27.9	33.9	38.3	36.6	29.0	28.5	15.0	12.1
2008	16.0	16.1	20.1	18.2	26.5	28.2	28.4	31.6	31.7	20.1	18.3	12.7
2009	11.5	13.3	17.4	17.8	28.1	28.1	32.3	29.8	26.6	25.4	19.6	16.0
2010	9.2	18.0	19.1	20.0	24.6	27.2	32.0	32.7	23.4	19.7	17.8	16.7
2011	16.2	17.2	16.2	24.2	25.8	28.5	32.3	32.0	29.4	25.8	18.3	13.7
2012	12.3	17.8	19.1	21.1	24.2	31.5	34.7	34.2	26.6	20.7	18.3	16.2
2013	13.3	12.0	14.0	23.1	24.4	29.0	32.3	34.2	26.0	24.6	20.0	12.3
2014	13.8	17.2	20.0	18.8	24.7	26.9	29.7	31.0	23.3	25.2	16.4	15.6
2015	20.2	7.7	19.0	21.5	24.5	26.6	31.7	29.7	30.8	21.0	21.9	15.9
2016	15.8	19.4	21.4	25.6	26.7	29.4	31.6	29.1	28.3	23.1	18.7	18.3
2017	10.9	16.0	20.8	22.3	24.5	31.7	33.0	38.8	27.8	23.4	15.9	15.0
2018	14.9	11.5	19.3	24.7	24.5	28.3	29.8	31.2	27.6	24.8	18.0	15.0
2019	10.5	19.5	20.4	22.8	20.7	31.0	33.6	36.4	27.0	23.3	18.1	15.1

Figura 5.5 - Esempio output file indice mensile – codice sensore 2721, stazione di Montemonaco

A questo punto si hanno tutti gli indici di temperatura relativi a tutte le stazioni selezionate in file come quelli precedenti.

5.1.3 Trend detection

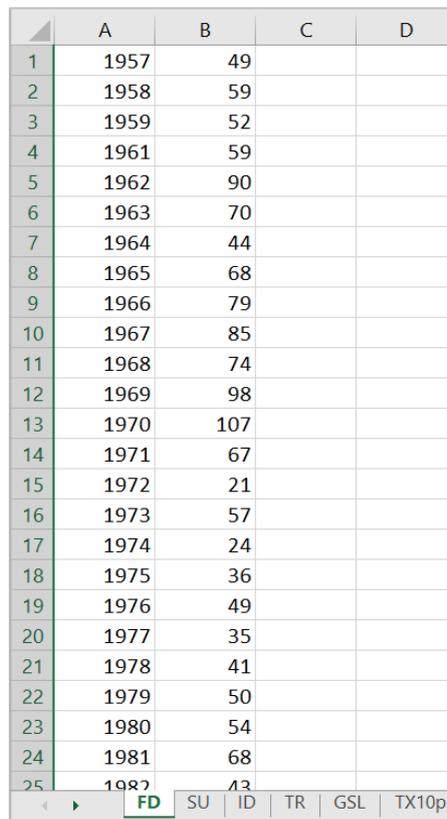
Per valutare la presenza di un trend di crescita o decrescita degli indici precedentemente calcolati, si applicano per tutte le 19 stazioni, quindi le 14 complete e le 5 parzialmente complete, i test di Mann-Kendall, Spearman e Cox-Stuart, le cui teorie sono state spiegate nel CAPITOLO 2 di questa trattazione.

5.1.3.1 Mann-Kendall, Spearman e Cox-Stuart Test

Il test è stato svolto in ambiente Matlab contemporaneamente per i tre diversi test. Si inizia dall'inserimento dei dati, viene quindi inserito il file con estensione '.x/sx' contenente tutti i nomi delle stazioni da analizzare. Poi si deve inserire il livello di significatività α del test, scelto in questo caso pari al 5 %.

La routine va a cercare i file Excel corrispondenti ai nomi contenuti nel file appena inserito, i quali, al loro interno, hanno per ogni foglio la data, con il corrispondente indice climatico, come da figura 5.6.

In dettaglio, questi file sono stati realizzati accorpondo, per ogni indice, i valori relativi alla rete meccanica e quelli relativi alla rete in telemisura, prendendo come primo anno della nuova rete l'anno in cui la stazione specifica risulta essere cambiata sull'Annale Idrologico. Il computo degli indici viene eseguito su tutti gli anni dal 1957 al 2019, quindi nel preparare i file Excel di input gli anni considerati non validi sono stati eliminati.



	A	B	C	D
1	1957	49		
2	1958	59		
3	1959	52		
4	1961	59		
5	1962	90		
6	1963	70		
7	1964	44		
8	1965	68		
9	1966	79		
10	1967	85		
11	1968	74		
12	1969	98		
13	1970	107		
14	1971	67		
15	1972	21		
16	1973	57		
17	1974	24		
18	1975	36		
19	1976	49		
20	1977	35		
21	1978	41		
22	1979	50		
23	1980	54		
24	1981	68		
25	1982	43		

Figura 5.6 - Esempio file Excel in input per il trend test –stazione di Montemonaco

alla fine dell'esecuzione del test, per ogni stazione, il programma fornisce un file *Excel* dal nome 'TREND_nomestazione', al cui interno sono contenuti tanti fogli quanti sono gli indici SPI, al cui interno ci sono i risultati di tutti e tre i test, come da esempio in Tabella 5.1.

Tabella 5.2 - Esempio tabella Excel in output dai trend test –stazione di Montemonaco (indice FD)

Stazione di	MONTEMONACO	
Serie termometrica	FD	
N° dati	816	
Primo dato	1957	
Ultimo dato	2019	
Liv. Signif.	0.05	
Coeff. ang. m retta	-1.030E-05	
Intercetta b retta	7.475	
Kendall's tau	-0.012	
Statistica S	-15421	
Varianza S	60481662.33	
Variabile Z	-1.983	MANN-KENDALL
MK p-value	0.047	
Esito MK test	VERO	
Theil-Sen's estimator	-0.079	
Coefficiente rSRC	-0.068	
Variabile Z	-1.953	SPEARMAN
SR p-value	0.051	
Esito SR test	0	
Variabile Z	-3.127	COX-STUART
CS p-value	0.002	
Esito CS test	VERO	

Se l'esito del test è VERO, valori positivi della variabile Z indicano una possibile tendenza crescente nelle osservazioni (trend positivo), contrariamente, valori negativi ne delineano una possibile tendenza decrescente. L'esito '0' indica 'no trend'

Perciò nell'esempio di tabella 5.1, la variabile Z è:

$$Z = -1.983 \text{ per il M-K, } Z = \text{no trend per Spearman e } Z = -3.127 \text{ per C-S.}$$

Ciò indica che per la stazione di Montemonaco, il Mann-Kendall test e il Cox-Stuart hanno determinato nella serie un trend negativo, ovvero l'indice FD è diminuito negli anni, e quindi si è avuto un numero minore di giorni freddi, mentre lo Spearman non ha determinato un trend.

Tale valutazione è stata fatta per tutte le stazioni e per tutti gli indici di temperatura; i risultati finali sono riassunti nelle tabelle 5.3, 5.4, 5.5 e negli istogrammi delle figure 5.7, 5.8, 5.8, in valore percentuale, che sono relative agli indici annuali. Con '0' si indica la non significatività del trend (NO TREND), i valori evidenziati in rosso sono i trend significativi ma negativi, quindi tendenti a decrescere e i valori evidenziati in verde sono i trend significativi positivi, quindi tendenti alla crescita dell'indice specifico.

Capitolo 5 - Caso studio: calcolo e risultati

Tabella 5.3 - Risultati finali Mann-Kendall test, indici annuali - 19 stazioni

MANN-KENDALL TEST - serie temporale												
BACINO	STAZIONE	FD	SU	ID	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
ASO	MONTEMONACO	-2.63973	2.085942328	0	4.52401	0	-3.662645103	2.509146715	-4.277656	5.374887	0	-2.21942
CESANO	FORTE AVELLANA	0	4.132300659	0	2.700536	0	-3.5015613	4.580690876	0	0	2.227492	0
	PERGOLA	0	0	0	0	0	-2.430205322	0	0	0	0	0
CHIANTI	MACERATA MONTALBANO	0	4.625364962	0	5.673313	2.470934501	-3.169925935	4.29881519	-3.592192	5.579351	3.509316	0
ESINO	FABRIANO	0	3.039215672	0	0	0	-3.295774243	3.741759254	0	0	2.802282	0
	JESI	-2.85345	0	0	3.895187	2.43210207	0	0	-3.350685	3.771069	0	-3.04361
LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	-2.71376	5.127817683	0	5.799584	0	-3.935539931	5.768763808	-4.830242	5.627545	4.596645	-3.448191
METAURO	FANO	0	5.143098369	0	3.603075	2.748309682	-4.696763946	4.437801373	-4.075288	3.181188	2.510616	-2.402472
	URBINO	-2.84341	4.292180875	0	4.742919	2.796068908	-2.820295149	5.370439143	-2.987264	5.102652	3.5147	-2.354725
MISA	ARCEVIA	-2.29	3.813101068	0	5.12392	0	-2.914713236	4.248435845	-4.431084	5.606877	3.302106	-3.438731
MUSONE	CINGOLI	-2.33535	0	0	5.259282	0	0	0	-5.366454	5.90097	0	-3.685489
TENNA	SERVIGLIANO	4.326488	6.862906554	0	3.106257	0	-6.747118267	7.587103113	2.728386	0	6.673414	0
TRONTO	AMATRICE	0	3.186114505	0	0	0	-3.299613684	4.103792722	0	0	2.110806	0
	ASCOLI PICENO	0	2.167801509	0	4.950547	0	-3.270421094	3.261206397	-2.175346	4.081088	3.744875	-2.320521
FOGLIA	PESARO	0	5.298362089	0	3.897961	1.999471424	-5.406682754	5.83817021	-3.96127	3.999824	4.723912	-3.246684
METAURO	BARGNI	0	2.820051085	0	4.429284	2.130109571	-2.715955842	2.445942229	-3.715324	3.478372	0	0
	MERCATELLO	-2.1206	0	0	2.79585	0	-2.2422844	2.389279757	-4.503513	4.620947	0	0
METAURO	FOSSOMBRONE	0	0	0	3.012237	0	-3.318371026	2.620034383	-3.291884	2.043362	0	0
FOGLIA	CARPEGNA	-2.25942	5.541663836	-2.466280669	5.298827	2.080338489	-4.567344986	5.524196964	-5.142462	5.867915	5.448168	-2.568025
stazioni che rispettano requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	1	11	0	11	4	0	11	1	9	10	0
	trend positivo - %	7.143	78.571	0.000	78.571	28.571	0.000	78.571	7.143	64.286	71.429	0.000
	no trend - n. valori	7	3	14	3	10	2	3	4	5	4	6
	no trend - %	50.000	21.429	100.000	21.429	71.429	14.286	21.429	28.571	35.714	28.571	42.857
	trend negativo - n. valori	6	0	0	0	0	12	0	9	0	0	8
stazioni che rispettano parzialmente requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	1	14	0	16	7	0	16	1	14	12	0
trend positivo - %	5.263	73.684	0.000	84.211	36.842	0.000	84.211	5.263	73.684	63.158	0.000	
no trend - n. valori	10	5	18	3	12	2	3	4	5	7	9	
no trend - %	52.632	26.316	94.737	15.789	63.158	10.526	15.789	21.053	26.316	36.842	47.368	
trend negativo - n. valori	8	0	1	0	0	17	0	14	0	0	10	
trend negativo - %	42.105	0.000	5.263	0.000	0.000	89.474	0.000	73.684	0.000	0.000	52.632	

Tabella 5.4 - Risultati finali Spearman test, indici annuali - 19 stazioni

SPEARMAN-RHO TEST - serie temporale												
BACINO	STAZIONE	FD	SU	ID	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
ASO	MONTEMONACO	-2.80717	2.314172358	0	5.724489	0	-3.804451986	2.938170106	-4.735623	7.030968	2.528155	0
CESANO	FORTE AVELLANA	0	5.058919491	0	3.335954	0	-3.96424471	6.236927946	0	2.157713	3.32013	2.394866
	PERGOLA	0	0	3.012753141	0	0	-2.285849351	2.196297883	0	0	2.112771	3.950574
CHIANTI	MACERATA MONTALBANO	0	5.911278429	3.767795202	7.561933	2.815306875	-3.14285317	5.505469129	-3.818622	7.778867	5.578502	0
ESINO	FABRIANO	0	3.368702048	0	0	0	-3.396787982	4.385511581	0	0	4.341023	2.885506
	JESI	-2.91207	0	6.186444966	4.849874	2.822749979	0	0	-3.811668	4.935148	0	0
LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	-2.12663	6.996756712	6.88940654	7.970902	3.097033869	-4.64320666	8.44085859	-5.407253	7.857545	7.719061	0
METAURO	FANO	0	7.236479609	3.061640248	3.768872	3.188225767	-5.507495597	5.50646013	-4.68369	3.102671	5.010627	0
	URBINO	-2.83188	5.751672248	0	6.517379	3.386888909	-2.73052922	7.39810948	-2.945484	6.341414	4.855679	0
MISA	ARCEVIA	-2.31069	4.491993305	0	6.804282	2.186040599	-3.002881378	5.46008242	-5.537617	7.660875	4.360647	0
MUSONE	CINGOLI	-2.28337	0	0	7.132417	0	0	0	-6.933432	9.089286	0	0
TENNA	SERVIGLIANO	5.035583	10.98313719	4.919570532	5.515356	0	-9.9353171	12.97974821	2.515238	0	11.6623	3.232826
TRONTO	AMATRICE	0	3.583184464	0	7.631124	2.146848603	-3.640047404	5.018041986	0	0	3.14121	0
	ASCOLI PICENO	0	2.850771883	14.91043493	6.820704	0	-3.682274848	4.384105673	-2.309564	5.526695	5.575571	0
FOGLIA	PESARO	0	7.860175602	4.748221828	4.732599	2.258519635	-7.319730938	8.625349494	-4.299212	5.36012	7.772701	0
METAURO	BARGNI	-2.08186	3.184738648	0	5.524915	2.796149136	-2.79140481	2.66608575	-4.480484	4.467777	2.638198	0
	MERCATELLO	-2.23319	2.12414011	0	5.696747	0	-2.25781876	2.78946972	-5.138669	5.801389	3.0448	2.587651
METAURO	FOSSOMBRONE	0	0	4.794773987	3.681015	0	-3.461208935	2.501812799	-3.447284	2.486635	2.240181	2.289771
FOGLIA	CARPEGNA	-2.38745	8.058098917	0	8.231962	2.202857786	-5.946399569	7.58825259	-6.488769	8.819097	8.302393	0
stazioni che rispettano requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	1	11	7	12	7	0	12	1	10	12	4
	trend positivo - %	7.143	78.571	50.000	85.714	50.000	0.000	85.714	7.143	71.429	85.714	28.571
	no trend - n. valori	7	3	7	2	7	2	2	4	4	2	10
	no trend - %	50.000	21.429	50.000	14.286	50.000	14.286	14.286	28.571	28.571	14.286	71.429
	trend negativo - n. valori	6	0	0	0	0	12	0	9	0	0	0
stazioni che rispettano parzialmente requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	1	15	9	17	10	0	17	1	15	17	6
trend positivo - %	5.263	78.947	47.368	89.474	52.632	0.000	89.474	5.263	78.947	89.474	31.579	
no trend - n. valori	9	4	10	2	9	2	2	4	4	2	13	
no trend - %	47.368	21.053	52.632	10.526	47.368	10.526	10.526	21.053	21.053	10.526	68.421	
trend negativo - n. valori	9	0	0	0	0	17	0	14	0	0	0	
trend negativo - %	47.368	0.000	0.000	0.000	0.000	89.474	0.000	73.684	0.000	0.000	0.000	

Capitolo 5 - Caso studio: calcolo e risultati

Tabella 5.5 - Risultati finali Cox-Stuart, indici annuali - 19 stazioni

COX-STUART TEST - serie temporale												
BACINO	STAZIONE	FD	SU	ID	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
ASO	MONTEMONACO	-2.0788	2.738612788	0	2.834734	2.008316044	-2.738612788	3.212698021	-2.738613	4.199206	0	0
CESANO	FONTE AVELLANA	0	3.590662494	0	0	0	-3.212698021	4.724555913	0	2.456769	0	0
	PERGOLA	0	0	2.267786838	0	0	0	0	0	0	0	0
CHIANTI	MACERATA MONTALBANO	0	4.34659144	0	4.346591	2.456769075	-3.590662494	4.724555913	-2.834734	4.902903	2.906888	0
ESINO	FABRIANO	0	2.373464416	2.020725942	0	0	-2.008316044	2.373464416	0	0	2.157277	7.778175
	JESI	-2.83473	0	0	2.738613	2.834733548	0	0	-2.834734	2.738613	0	0
LITORALE TRA ESINO E MUSONE	ANCONA TORRETTE	0	3.849001795	0	5.003702	0	-3.464101615	5.003702333	-3.464102	4.233902	3.491486	2.065591
METAURO	FANO	0	3.753259453	0	3.079201	0	-2.694301256	3.849001795	-2.4	0	0	0
	URBINO	-2.59973	5.028948457	0	5.028948	2.873684832	-2.514474228	5.388159061	-3.232895	4.310527	3.342516	0
MISA	ARCEVIA	0	2.309401077	0	3.849002	2.309401077	-2.4	2.8	-3.464102	4.618802	2	2.218801
MUSONE	CINGOLI	0	0	0	3.198011	0	0	0	-2.941742	4.118439	0	0
TENNA	SERVIGLIANO	-4.0853	4.456688116	0	0	0	-4.456688116	4.828078793	-2.971125	0	4.828079	0
TRONTO	AMATRICE	0	0	0	0	0	-2.8	2	0	0	0	0
	ASCOLI PICENO	0	2.228344058	0	4	0	-2.694301256	3.342516087	0	3.342516	3.464102	0
FOGLIA	PESARO	0	4.4	10	3.491486	0	-3.6	4.170288281	-3.336231	4	3.05505	0
METAURO	BARGNI	0	2	0	2.085144	0	0	0	-2.8	2.8	2	0
	MERCATELLO	0	0	0	0	0	0	0	-3.2	3.849002	0	10
METAURO	FOSSOMBRONE	0	0	0	2.502173	0	-2.8	0	0	0	0	3.023716
FOGLIA	CARPEGNA	-2.08514	4.4	0	4	2	-4	4	-4	4.4	4.170288	0
stazioni che rispettano requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	0	10	2	9	5	0	11	0	9	7	3
	trend positivo - %	0.000	71.429	14.286	64.286	35.714	0.000	78.571	0.000	64.286	50.000	21.429
	no trend - n. valori	10	4	12	5	9	3	3	5	5	7	11
	no trend - %	71.429	28.571	85.714	35.714	64.286	21.429	21.429	35.714	35.714	50.000	78.571
	trend negativo - n. valori	4	0	0	0	0	11	0	9	0	0	0
stazioni che rispettano requisiti di completezza e omogeneità	trend negativo - %	28.571	0.000	0.000	0.000	0.000	78.571	0.000	64.286	0.000	0.000	0.000
stazioni che rispettano parzialmente requisiti di completezza e omogeneità	trend positivo - n. valori	0	13	3	13	6	0	13	0	13	10	5
	trend positivo - %	0.000	68.421	15.789	68.421	31.579	0.000	68.421	0.000	68.421	52.632	26.316
	no trend - n. valori	14	6	16	6	13	5	6	6	6	9	14
	no trend - %	73.684	31.579	84.211	31.579	68.421	26.316	31.579	31.579	31.579	47.368	73.684
	trend negativo - n. valori	5	0	0	0	0	14	0	13	0	0	0
stazioni che rispettano parzialmente requisiti di completezza e omogeneità	trend negativo - %	26.316	0.000	0.000	0.000	0.000	73.684	0.000	68.421	0.000	0.000	0.000

Confrontando le percentuali tra i due campioni di 14 e di 19 stazioni, si osserva che l'influenza della serie è minima, pertanto si riportano solo gli istogrammi ottenuti con lo studio delle 14 stazioni.

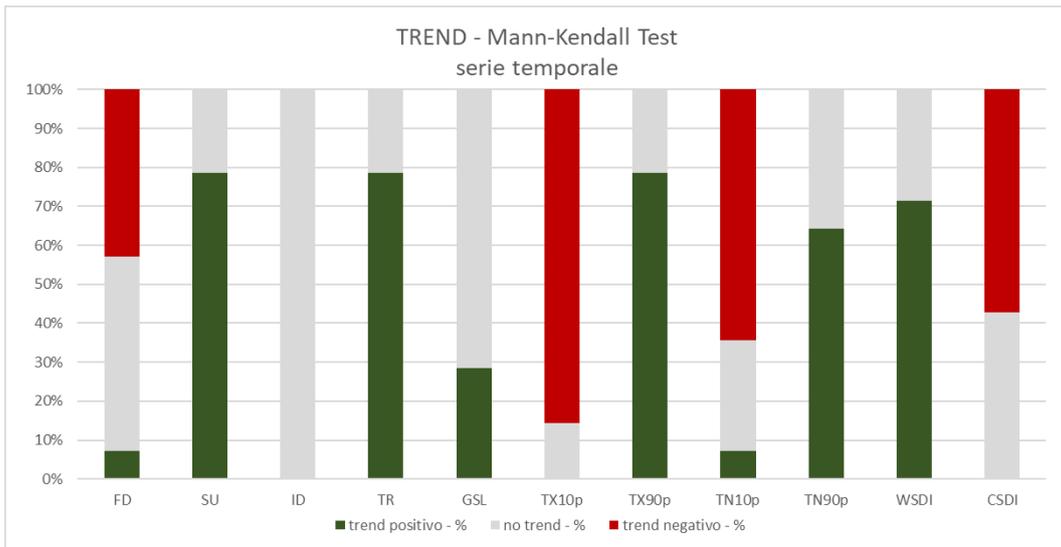


Figura 5.7 – Percentuale delle stazioni che mostrano trend positivo, negativo e no trend, M-K

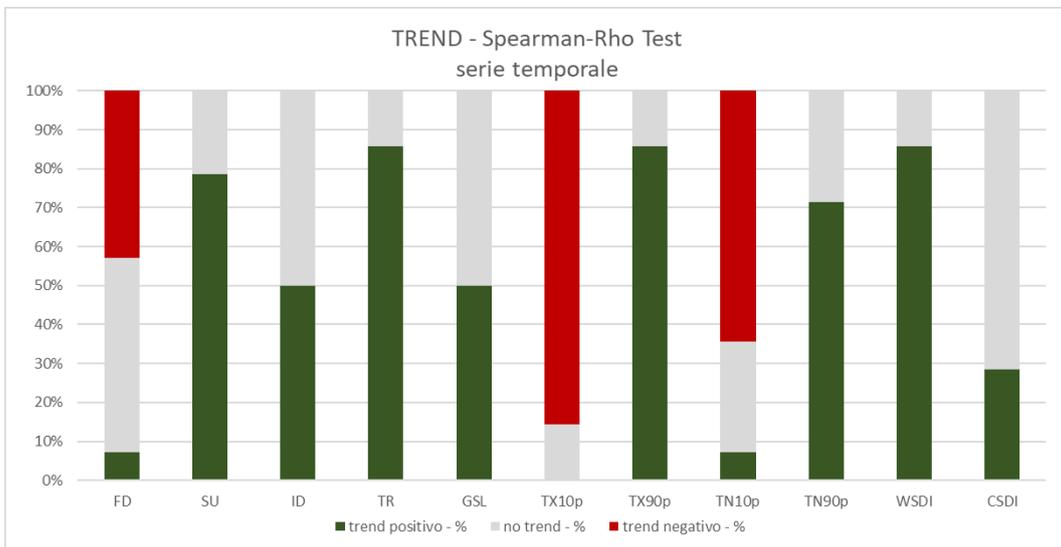


Figura 5.8 – Percentuale delle stazioni che mostrano trend positivo, negativo e no trend, Spearman

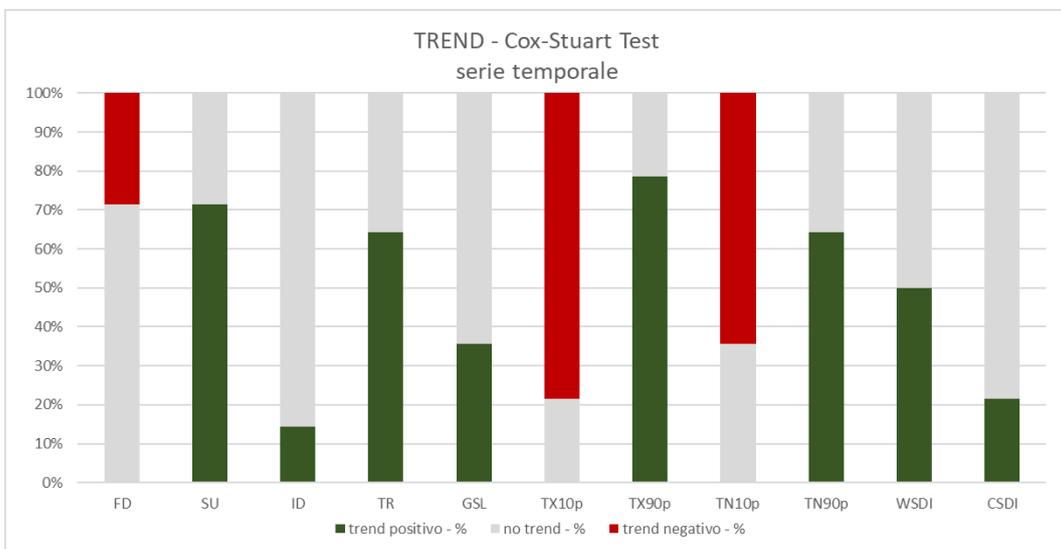


Figura 5.9 – Percentuale delle stazioni che mostrano trend positivo, negativo e no trend, C-S

5.1.4 Anomalie

Le anomalie sono state calcolate per gli indici climatici di temperatura.

Per ogni indice, è stata computata una singola serie temporale delle anomalie rappresentativa dell'intera regione Marche. La serie è stata ottenuta calcolando inizialmente il valore annuale della deviazione dell'indice rispetto alla media climatologica nel periodo di riferimento per ogni stazione, poi si è calcolata la media aritmetica delle anomalie di tutte le stazioni anno per anno (*Desiato et al. 2012*).

C'è la necessità di stabilire un periodo di riferimento per il calcolo della variabilità del clima a lungo termine e per il monitoraggio dei cambiamenti climatici. Storicamente, le normali climatologiche standard vengono calcolate di 30 anni in 30 anni (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 e così via). Per il monitoraggio a lungo termine del clima, le normali calcolate per il periodo 1° gennaio 1961 – 31 dicembre 1990 sono considerate stabili dal WMO, e dovrebbe essere mantenuto fino a quando non si presenta una ragione scientifica convincente per cambiarlo.

Per quanto riguarda invece il monitoraggio nel breve termine, data la necessità di un calcolo delle normali climatiche in un clima in continuo cambiamento, sempre il WMO il periodo 1981-2010 come trentennio di riferimento. Le normali climatologiche standard sono calcolate infatti ogni 10 anni per trentenni di riferimento all'inizio di ogni decade dall'anno che termina con uno, ad esempio fino al 2020 il trentennio di riferimento sarà il 1981-2010, a partire dal 2021 diventerà il 1991-2020.

L'ISPRA nei suoi rapporti annuali sul clima, a partire dal 2017 scrive di continuare ad utilizzare il trentennio 'principale' 1961-1990 per due principali motivazioni. La prima segue le indicazioni del WMO, relative alla stima delle variazioni climatiche nel medio e lungo periodo, e la seconda riguarda la disponibilità maggiore di dati per quel trentennio rispetto a quelli più recenti.

Quindi per il calcolo delle anomalie nel presente studio, si è lasciato come trentennio di riferimento il 1961-1990. Per eseguire un confronto, e capire quanto la scelta del trentennio influenzi i risultati ottenuti e quindi le stime sul clima, si è scelto di calcolare le anomalie anche rispetto al periodo di riferimento più recente.

Si riporta in Tabella 5.5 un esempio di calcolo delle anomalie dell'indice FD, i valori evidenziati in giallo sono le anomalie medie di tutte le stazioni effettuate anno per anno.

Tabella 5.6 - Esempio di calcolo delle anomalie dell'indice FDdel mese di Febbraio

STAZIONI	CARPEGNA	FERMO	DIGA DI CARASSAI	•••	RIPATRANSONE	AMATRICE	ARQUATA DEL TRONTO	ASCOLI PICENO	CROCE DI CASALE				
1951													
1952	0.854163083	1.025948	0.730355		0.501275139	-0.107387198	0.422800414	-0.330349823	-0.375898391				0.316582
1953	1.499595814	0.907742	0.722886		0.389329521	0.8112077	1.729519208	0.728441661	0.503840344				1.337852
1954	-0.316725466	0.933955	0.727555		0.586524656	-0.878490982	-0.1453179	-0.107792501	-0.003138335				-0.51959
1955	-0.880618016	0.295168	0.039103		0.736274895	-1.63862438	-1.126073634	0.488715276	0.21268386				-0.87716
1956	-0.500522232	-0.1385	-0.944		-1.304132298	-0.478336555	0.586560595	-0.696182657	-0.416300391				-0.30077
1957	0.476093967	2.399661	1.502833		1.376223395	-0.840232464	-0.466693483	0.340032067	0.517061469				0.870307
1958	-1.225214648	-0.63981	-0.75626		-0.84585634	-1.228127709	-0.49191529	-0.639195732	-1.111879272				-1.33873
1959	0.941997683	0.480307	1.15893		1.28739734	0.265856467	0.402568386	1.32022864	1.14827874				0.667634
1960	1.511583387	0.914312	0.670245		0.624288066	0.625926855	0.687190325	0.746809644	0.556483553				0.9938
1961	1.738359923	2.377329	1.947447		1.887466386	0.569764322	0.905015485	1.415220707	1.573783065				1.017252
1962	0.435365024	0.474779	1.630811		0.576392695	0.757316096	-0.038759968	1.143606865	1.35537075				0.79929
1963	0.879049246	-0.11105	0.315533		0.203748166	2.633593082	1.718254896	0.189093262	1.096338554				1.291784
1964	-0.035222717	-0.44758	-0.56777		-0.780103256	-0.48645778	-0.335738809	-0.860481082	-0.147962153				-0.34157
1965	0.244548588	0.091482	-0.01185		0.337497547	-0.862687518	-0.784927196	0.051737036	0.399120395				0.05875
1966	-0.243632454	-1.36149	-1.25172		-1.386188528	0.316076104	-0.372349435	-1.660665218	-0.517667341				-0.02493
1967	0.60862877	-0.59857	-0.58072		-1.046746879	0.297730951	-0.077251032	-0.810782765	0.247128774				-0.02245
1968	0.391111239	0.873069	1.329856		0.337497547	0.633671608	0.314472963	0.897268159	0.903809916				0.498506
1969	0.467981333	-0.32471	-0.28194		-0.253434735	0.664517537	-0.67694452	-0.683706039	0.042440474				-0.02126
1970	0.930208098	0.035463	0.386874		-0.00554961	0.953359868	0.597566742	-0.06206183	0.519535918				0.140041
1971	-0.169611804	-1.45456	-0.88121		-0.616849735	-0.157477005	-0.577232072	-0.774672337	-0.865893607				-0.37621
1972	0.51641289	-0.1363	0.286649		0.323072459	0.547730216	0.002343898	0.476245688	0.91890846				-0.07456
1973	-0.02597503	0.56943	0.624613		1.049555616	-1.731016039	-1.046445493	0.853682144	-0.38724966				-0.32158
1974	-1.128924798	-1.35136	-1.05233		-1.019521481	-1.823254962	-1.497498341	-0.884308938	-0.938680148				-1.37466
1975	-1.735520593	-1.55491	-0.76992		-1.244879722	-1.701845687	-1.238705901	-0.666321667	-0.480387195				-1.61549
1976	-0.798657372	-1.57328	-1.01976		-1.10336807	-0.604138014	-0.840155842	-0.573581195	-1.237403189				-0.99872

Vengono di seguito riportati in Figura 5.10 i grafici delle anomalie degli indici annuali.

In linea di massima i risultati tracciati dai grafici mostrano un irregolare comportamento dei dati oscillante tra valori positivi e valori negativi, e non si nota nessuna particolare evidenza di aumento o diminuzione.

Capitolo 5 - Caso studio: calcolo e risultati





Figura 5.10 – Anomalie indici annuali, con trentennio 1961-1990

5.2 Scenari futuri

In questo capitolo si illustrano le proiezioni climatiche delle temperature massime e minime per la Regione Marche riferite a due scenari RCP (RCP4.5 e RCP8.5) e simulate attraverso il modello regionale CMCC-CM, sviluppato dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, del programma EURO-CORDEX, con lo scopo di fornire una valutazione qualitativa degli scenari climatici futuri della regione.

5.2.1 Dati

Ricordiamo che i dati considerati per questa particolare analisi sono relativi a 3 specifici dataset. Il primo contiene le serie storica con periodo di osservazione 1950-2005, il secondo e il terzo raccolgono i dati di previsione futura dagli anni 2021-2100, rispettivamente con RCP4.5 e RCP8.5.

Inoltre, sei 6 maglie della griglia MED-44 ricadono all'interno della Regione Marche, le cui coordinate sono riportate in Tabella 5.1 (Fig. 4.23). I punti 1, 2, 3 si trovano nella settentrionale rispettivamente zona interna, centrale e costiera. Mentre i punti 4 e 5 sono localizza nella parte centro meridionale delle Marche, il punto 6 è situato nella zona sud montana.

Tabella 5.7 - Coordinate maglie della griglia MED-44 per la Regione Marche

ZONA	LONGITUDINE	LATITUDINE	Long Rot	Lat Rot
1	12.48°	43.64°	-5.18	-1.98
2	12.92°	43.64°	-4.74	-1.98
3	13.36°	43.64°	-4.3	-1.98
4	12.92°	43.2°	-4.74	-2.42
5	13.36°	43.2°	-4.3	-2.42
6	13.36°	42.76°	-4.3	-2.86

I valori di temperatura massima e minima di ciascun dataset risultano medi mensili e in Kelvin come unità di misura. Le misurazioni sono state trasformate in °C, un esempio è riportato in Tabella 5.2. Questi dati sono stati rielaborati in ambiente Matlab per ricavarne i valori medi annuali (Tabella 5.3).

Capitolo 5 - Caso studio: calcolo e risultati

Tabella 5.8 - Esempio: Temperature massime mensili, periodo di osservazione 1950-2005 per la Regione Marche

t max serie storica - Valori mensili												
data	zona 1		zona 2		zona 3		zona 4		zona 5		zona 6	
	tmax (K)	tmax (°C)										
01/01/1950	277.8	4.65	278	4.85	278	4.85	274.7	1.55	277.8	4.65	274.7	1.55
01/02/1950	271.5	-1.65	271.8	-1.35	271.9	-1.25	270.8	-2.35	271.9	-1.25	270.8	-2.35
01/03/1950	275.4	2.25	275.7	2.55	276	2.85	274.9	1.75	275.8	2.65	274.9	1.75
01/04/1950	284.6	11.45	284.8	11.65	285.1	11.95	282.3	9.15	284.8	11.65	282.3	9.15
01/05/1950	290	16.85	290.7	17.55	291.4	18.25	288.8	15.65	290.9	17.75	288.8	15.65
01/06/1950	288.5	15.35	288.9	15.75	289.3	16.15	285.8	12.65	288.4	15.25	285.8	12.65
01/07/1950	294.2	21.05	294.5	21.35	295.2	22.05	292.2	19.05	293.9	20.75	292.2	19.05
01/08/1950	291.7	18.55	291.7	18.55	291.9	18.75	289.3	16.15	291	17.85	289.3	16.15
01/09/1950	285.4	12.25	285.8	12.65	286.3	13.15	283.5	10.35	285.5	12.35	283.5	10.35
01/10/1950	282.3	9.15	282	8.85	281.8	8.65	283.8	10.65	282.8	9.65	283.8	10.65
01/11/1950	278.9	5.75	278.8	5.65	278.7	5.55	276.1	2.95	278.9	5.75	276.1	2.95
01/12/1950	275.5	2.35	275.1	1.95	274.9	1.75	273.7	0.55	275.5	2.35	273.7	0.55
01/01/1951	273.8	0.65	273.7	0.55	273.7	0.55	273	-0.15	274.2	1.05	273	-0.15
01/02/1951	273	-0.15	273	-0.15	272.9	-0.25	272.5	-0.65	273.1	-0.05	272.5	-0.65
01/03/1951	276.8	3.65	277	3.85	277.3	4.15	275.3	2.15	276.8	3.65	275.3	2.15
01/04/1951	287.4	14.25	287.5	14.35	287.8	14.65	285.7	12.55	287.7	14.55	285.7	12.55
01/05/1951	288.7	15.55	289.3	16.15	290	16.85	286.3	13.15	289	15.85	286.3	13.15
01/06/1951	290.2	17.05	290.7	17.55	291	17.85	287.1	13.95	290	16.85	287.1	13.95
...
...
01/01/2005	272.3	-0.85	272.3	-0.85	272.1	-1.05	272.6	-0.55	272.6	-0.55	271.5	-1.65
01/02/2005	274.2	1.05	274.2	1.05	273.7	0.55	274.5	1.35	274.2	1.05	273	-0.15
01/03/2005	276.7	3.55	276.7	3.55	276.8	3.65	276.4	3.25	276.4	3.25	274.9	1.75
01/04/2005	280.5	7.35	280.5	7.35	281.6	8.45	279.9	6.75	280.5	7.35	277.7	4.55
01/05/2005	285.6	12.45	285.6	12.45	286.2	13.05	284.2	11.05	284.5	11.35	281.1	7.95
01/06/2005	289.8	16.65	289.8	16.65	290.3	17.15	289.2	16.05	289.4	16.25	286.9	13.75
01/07/2005	291.2	18.05	291.2	18.05	291.9	18.75	291.1	17.95	291.4	18.25	289.4	16.25
01/08/2005	290.3	17.15	290.3	17.15	291	17.85	290	16.85	290.3	17.15	289.1	15.95
01/09/2005	288.9	15.75	288.9	15.75	289.4	16.25	289.1	15.95	289.2	16.05	288.6	15.45
01/10/2005	282.2	9.05	282.2	9.05	282.5	9.35	281.9	8.75	282.1	8.95	279.8	6.65
01/11/2005	276.3	3.15	276.3	3.15	277.3	4.15	276.4	3.25	277	3.85	274.3	1.15
01/12/2005	276.3	3.15	276.3	3.15	276.5	3.35	275.9	2.75	276.2	3.05	273.2	0.05

Tabella 5.9 - Esempio: Temperature massime annuali, periodo di osservazione 1950-2005 per la Regione Marche

t max serie storica - Valori annuali						
anno	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
	tmax (°C)					
1950	9.83	10.00	10.23	8.18	9.95	8.18
1951	9.65	9.82	10.03	8.11	9.77	8.11
1952	8.95	8.94	9.08	7.55	9.13	7.55
1953	9.50	9.74	9.85	7.59	9.58	7.59
1954	9.61	9.92	10.19	7.47	9.59	7.47
1955	9.67	9.98	10.28	7.50	9.69	7.50
1956	8.54	8.70	8.91	6.68	8.63	6.68
1957	9.18	9.38	9.72	7.40	9.33	7.40
1958	8.48	8.69	8.90	6.63	8.63	6.63
1959	8.91	9.01	9.27	7.18	8.96	7.18
1960	7.84	7.91	8.05	6.36	7.90	6.36
1961	9.41	9.58	9.81	7.19	9.33	7.19
1962	7.30	7.58	7.87	5.96	7.77	5.96
1963	8.86	9.13	9.41	6.94	8.87	6.94
1964	9.55	9.73	9.91	7.41	9.48	7.41
1965	9.13	9.36	9.68	7.32	9.25	7.32
...
...
1992	8.39	8.58	8.58	8.49	8.60	6.92
1993	9.11	9.28	9.28	9.08	9.23	7.42
1994	7.04	7.15	7.15	7.02	7.11	5.36
1995	9.00	9.18	9.18	8.89	9.08	6.94
1996	7.88	7.95	7.95	7.88	7.96	6.30
1997	9.45	9.55	9.55	9.30	9.47	7.65
1998	8.56	8.78	8.78	8.49	8.67	6.72
1999	8.88	9.08	9.08	8.86	9.01	7.27
2000	8.88	9.18	9.18	8.86	9.03	6.81
2001	10.71	10.68	11.18	10.54	10.73	8.43
2002	10.88	10.88	11.24	10.84	10.99	8.76
2003	10.48	10.48	10.82	10.22	10.37	8.19
2004	9.98	9.98	10.28	9.78	9.83	8.20
2005	8.19	8.19	8.59	7.93	8.12	6.10

Capitolo 5 - Caso studio: calcolo e risultati

Tabella 5.10 - Esempio: Temperature massime mensili, periodo di osservazione 2021-2100 per la Regione Marche, scenario RPC4.5

data	t max RPC45 - Valori mensili											
	zona 1		zona 2		zona 3		zona 4		zona 5		zona 6	
	tmax (K)	tmax (°C)	tmax (K)	tmax (°C)	tmax (K)	tmax (°C)	tmax (K)	tmax (°C)	tmax (K)	tmax (°C)	tmax (K)	tmax (°C)
01/01/2021	274.6	1.45	274.4	1.25	274.1	0.95	274.5	1.35	274.8	1.65	273.4	0.25
01/02/2021	272.5	-0.65	272.6	-0.55	272.5	-0.65	272.4	-0.75	272.5	-0.65	270.8	-2.35
01/03/2021	279.3	6.15	279.5	6.35	279.6	6.45	279.5	6.35	279.6	6.45	278	4.85
01/04/2021	282.1	8.95	282.3	9.15	282.9	9.75	281.6	8.45	281.9	8.75	279.3	6.15
01/05/2021	288	14.85	288.5	15.35	289	15.85	287.3	14.15	287.8	14.65	284.4	11.25
01/06/2021	288.4	15.25	288.9	15.75	289.3	16.15	288	14.85	288.4	15.25	286	12.85
01/07/2021	293.5	20.35	293.8	20.65	294	20.85	292.7	19.55	292.7	19.55	290.8	17.65
01/08/2021	291	17.85	291.3	18.15	291.5	18.35	290.5	17.35	290.6	17.45	289.1	15.95
01/09/2021	288.7	15.55	288.7	15.55	289	15.85	288.4	15.25	288.7	15.55	286.9	13.75
01/10/2021	283.5	10.35	283.9	10.75	284.1	10.95	283.8	10.65	284	10.85	282.2	9.05
...
...
01/05/2099	296.3	23.15	294.1	20.95	294.6	21.45	293.1	19.95	293.7	20.55	291.2	18.05
01/06/2099	296.5	23.35	296.8	23.65	297.7	24.55	296.1	22.95	296.7	23.55	293.7	20.55
01/07/2099	305.2	32.05	296.5	23.35	296.6	23.45	295.5	22.35	295.5	22.35	292.3	19.15
01/08/2099	295.1	21.95	305.2	32.05	305.2	32.05	304.7	31.55	304.4	31.25	302.2	29.05
01/09/2099	283.6	10.45	295.4	22.25	295.7	22.55	294.6	21.45	294.9	21.75	292	18.85
01/10/2099	280	6.85	283.7	10.55	284.1	10.95	284.1	10.95	284	10.85	283.2	10.05
01/11/2099	275.4	2.25	280.1	6.95	280.3	7.15	280	6.85	280.2	7.05	277.7	4.55
01/12/2099	279.3	6.15	275.5	2.35	275.6	2.45	275.3	2.15	275.3	2.15	273.2	0.05
01/01/2100	276.1	2.95	279.3	6.15	279.3	6.15	279.2	6.05	279.3	6.15	276.8	3.65
01/02/2100	279.7	6.55	276.1	2.95	276.5	3.35	275.3	2.15	275.7	2.55	273.2	0.05
01/03/2100	285.4	12.25	279.8	6.65	280	6.85	279.7	6.55	279.8	6.65	277	3.85
01/04/2100	290.4	17.25	286	12.85	286.9	13.75	285.4	12.25	285.8	12.65	284.8	11.65
01/05/2100	293.2	20.05	290.9	17.75	291.5	18.35	290.4	17.25	291	17.85	289.1	15.95
01/06/2100	293.4	20.25	293.5	20.35	293.7	20.55	292.8	19.65	292.9	19.75	290.7	17.55
01/07/2100	294.2	21.05	293.5	20.35	293.6	20.45	292.7	19.55	293	19.85	290.9	17.75
01/08/2100	288.3	15.15	294.6	21.45	295	21.85	294	20.85	294.4	21.25	292.9	19.75
01/09/2100	281.9	8.75	288.8	15.65	289.2	16.05	288.4	15.25	288.6	15.45	286.5	13.35
01/10/2100	275.9	2.75	282.3	9.15	282.6	9.45	281.8	8.65	281.9	8.75	280.5	7.35
01/11/2100	277.4	4.25	275.7	2.55	275.5	2.35	276.8	3.65	276.7	3.55	277.2	4.05
01/12/2100	277.4	4.25	277.3	4.15	277.3	4.15	277.3	4.15	277.4	4.25	274.8	1.65

Tabella 5.11 - Esempio: Temperature massime annuali, periodo di osservazione 1950-2005 per la Regione Marche, scenario RPC4.5

t max RPC45 - Valori annuali						
anno	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
	tmax (°C)					
2021	9.58	9.78	9.93	9.33	9.52	7.62
2022	11.03	11.13	11.43	10.93	11.09	9.33
2023	9.53	9.73	9.94	9.62	9.75	8.04
2024	10.77	10.92	11.16	10.50	10.64	8.85
2025	8.75	8.98	9.18	8.79	8.97	6.92
2026	8.68	8.87	9.03	8.58	8.78	6.89
2027	10.39	10.50	10.65	10.50	10.53	8.74
2028	8.36	8.57	8.88	8.24	8.44	6.66
2029	9.12	9.31	9.52	8.95	9.10	6.94
2030	8.20	8.29	8.43	8.33	8.36	6.87
...
...
2084	11.86	12.04	12.22	11.68	11.81	9.80
2085	10.52	10.64	10.79	10.33	10.40	8.95
2086	11.47	11.49	11.65	11.34	11.47	9.73
2087	11.13	11.33	11.51	10.97	11.12	8.90
2088	9.69	9.98	10.34	9.61	9.83	7.73
2089	11.21	11.43	11.56	11.23	11.36	9.80
2090	11.91	12.03	12.25	11.73	11.82	9.76
2091	12.04	12.27	12.43	12.04	12.12	10.31
2092	12.17	12.30	12.51	12.00	12.05	10.08
2093	11.60	11.74	11.98	11.48	11.60	9.88
2094	11.09	11.26	11.53	10.92	11.03	9.25
2095	11.63	11.77	11.93	11.68	11.76	10.18
2096	11.78	11.80	11.93	11.78	11.83	10.33
2097	11.64	11.78	11.94	11.56	11.69	9.76
2098	10.62	10.78	11.06	10.44	10.61	8.94
2099	12.40	12.60	12.88	12.36	12.52	10.53
2100	11.45	11.67	11.94	11.33	11.56	9.72

5.2.1.1 Serie storica e scenario futuro

Sia per la temperatura massima che per la temperatura minima, sono state rappresentate le 3 serie di dati (storica, scenario RCP4,5 e scenario RCP8.5), in ordine temporale. In particolare, si è scelto di rappresentarne i valori medi annuali, mediati nelle 6 maglie per avere un quadro generale sull'evoluzione degli scenari futuri rispetto al passato.

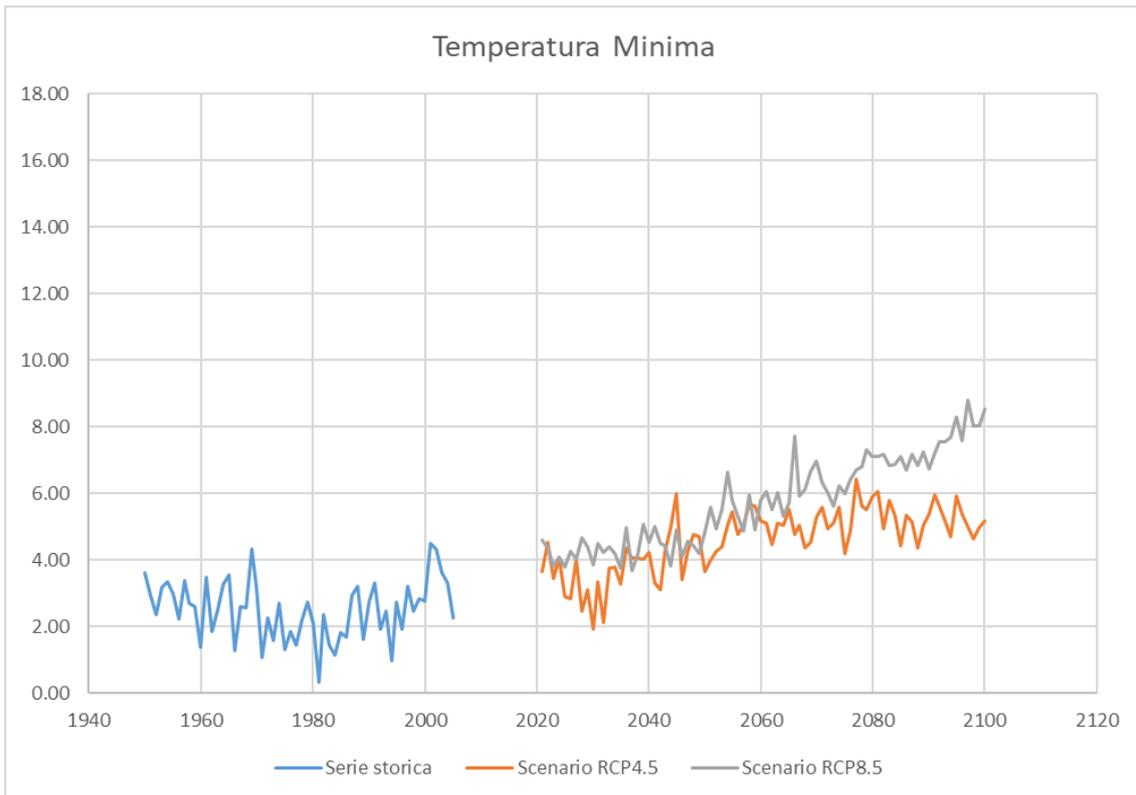


Figura 5.11 - Andamento temporale della temperatura minima annuale, periodo di osservazione 1950-2100

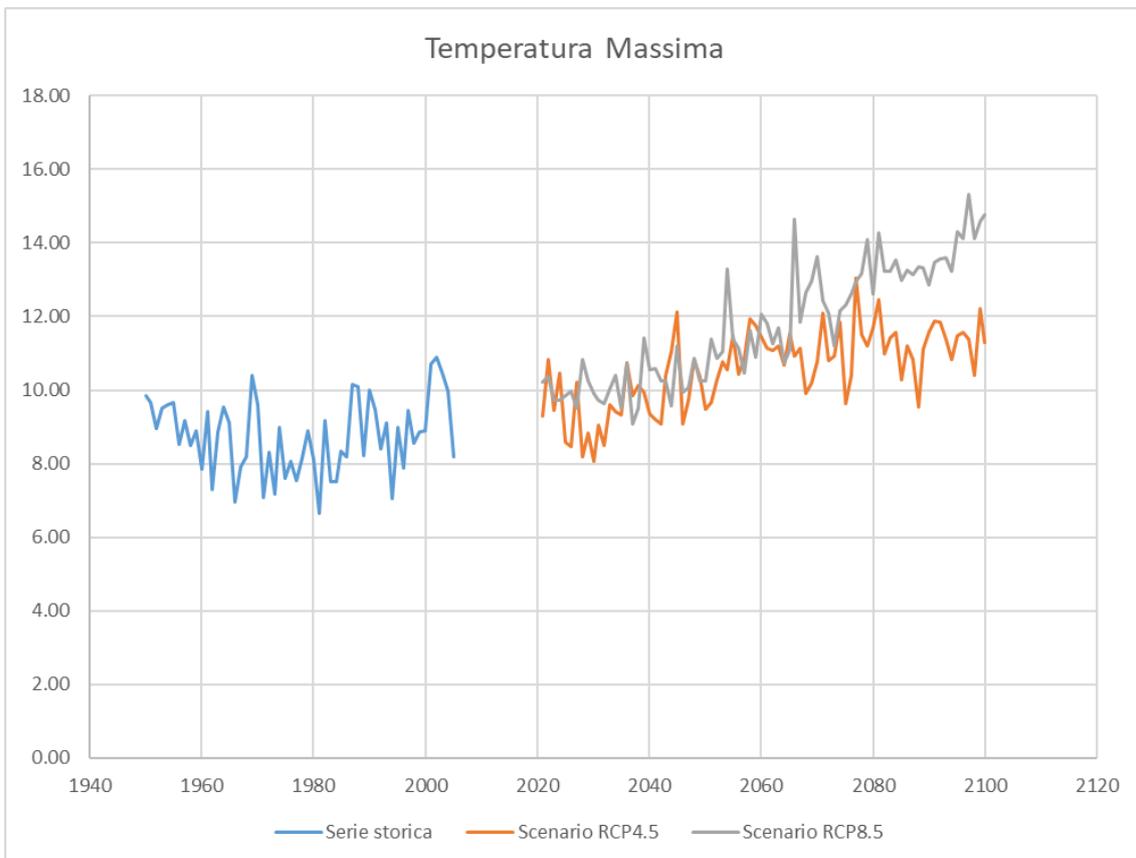


Figura 5.12 - Andamento temporale della temperatura massima annuale, periodo di osservazione 1950-2100

Dai grafici precedenti è evidente l'interruzione temporale tra il 2005 e il 2021, a causa della non disponibilità dei dati nella raccolta Med-CORDEX.

Nella serie storica è possibile osservare un andamento delle variabili lievemente decrescente dal 1950 al 1981, dove si presentano i minimi di temperatura massima e minima (0.33 °C per la minima e 6.64 °C per la massima). Successivamente la serie dal 1981 al 2002 ha una tendenza in crescita. Per entrambe le temperature, massima e minima, presentano dei picchi di massimo in corrispondenza degli anni 1969 e 2002. In corrispondenza di quest'ultimo anno si sono verificati i valori massimi delle due variabili pari rispettivamente a 4.34 °C (temperatura minima) e a 10.88 °C (temperatura massima).

Per lo scenario RCP4.5, l'andamento tende a decrescere dal 2021 al 2030 (punto di minimo delle serie) e successivamente a quest'ultimo anno oscilla assestandosi intorno ad un valore costante di circa 5 °C per le temperature minime e 11 °C per le temperature massime.

Lo scenario RCP8.5 risulta sempre crescente sia per le temperature massime, sia per le temperature minime. Entrambe le temperature risultano maggiori rispetto alla serie precedente, raggiungendo per il 2100 un delta di temperatura di circa 3 °C.

5.2.2 Scenari futuri a confronto

Sono state confrontate anche le serie di dati per i 2 scenari futuri considerati (RCP4.5 e RCP8.5) relative ai punti della maglia MED-44 che ricadono all'interno della Regione Marche sia per le temperature massime che per le temperature minime. Ricordiamo che la risoluzione della griglia è di circa 50 km, quindi si hanno solamente 6 punti di interesse. Per ciascun punto, è stata quindi rappresentata la successione temporale delle variabili oggetto di studio. I grafici sono riportati in Fig. 5.3, Fig. 5.4, Fig. 5.5 e Fig. 5.6 e viene riportata anche la tendenza lineare delle serie.

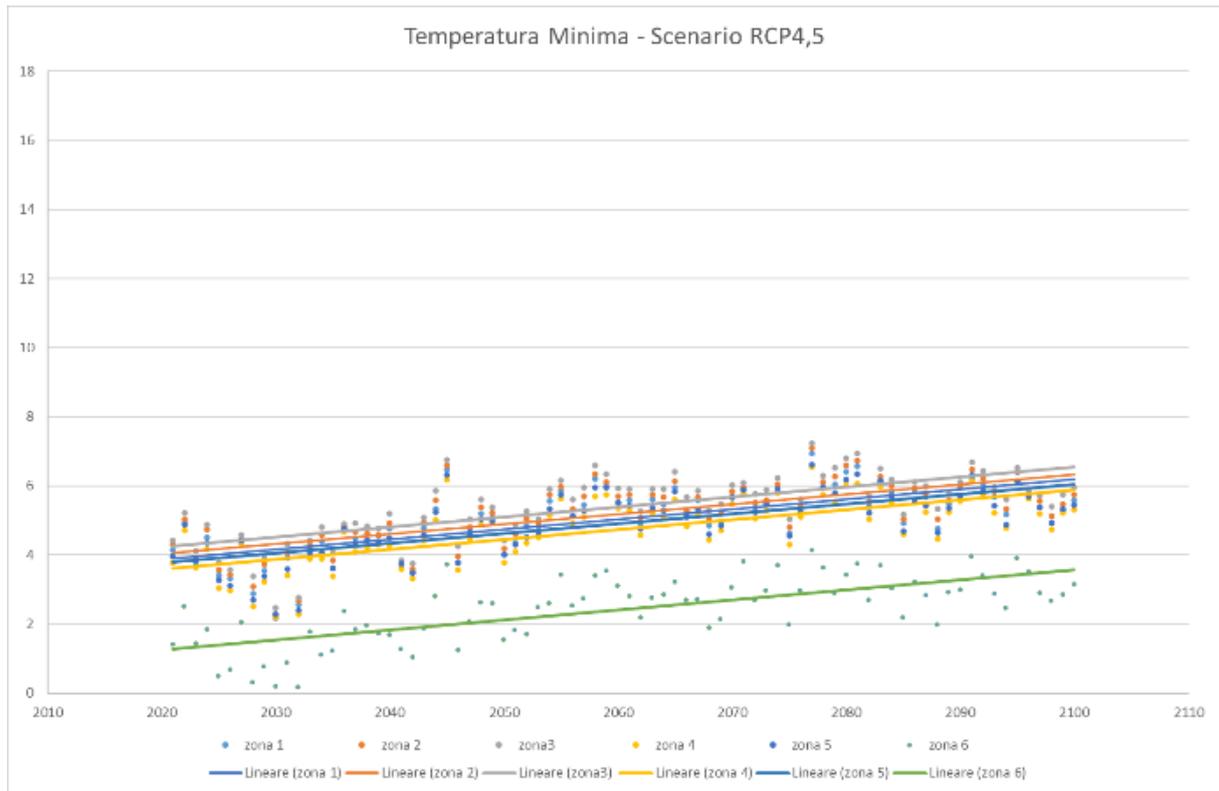


Figura 5.13 - Andamento temporale della temperatura minima annuale RCP4.5, periodo di osservazione 2021-2100 per la Regione Marche

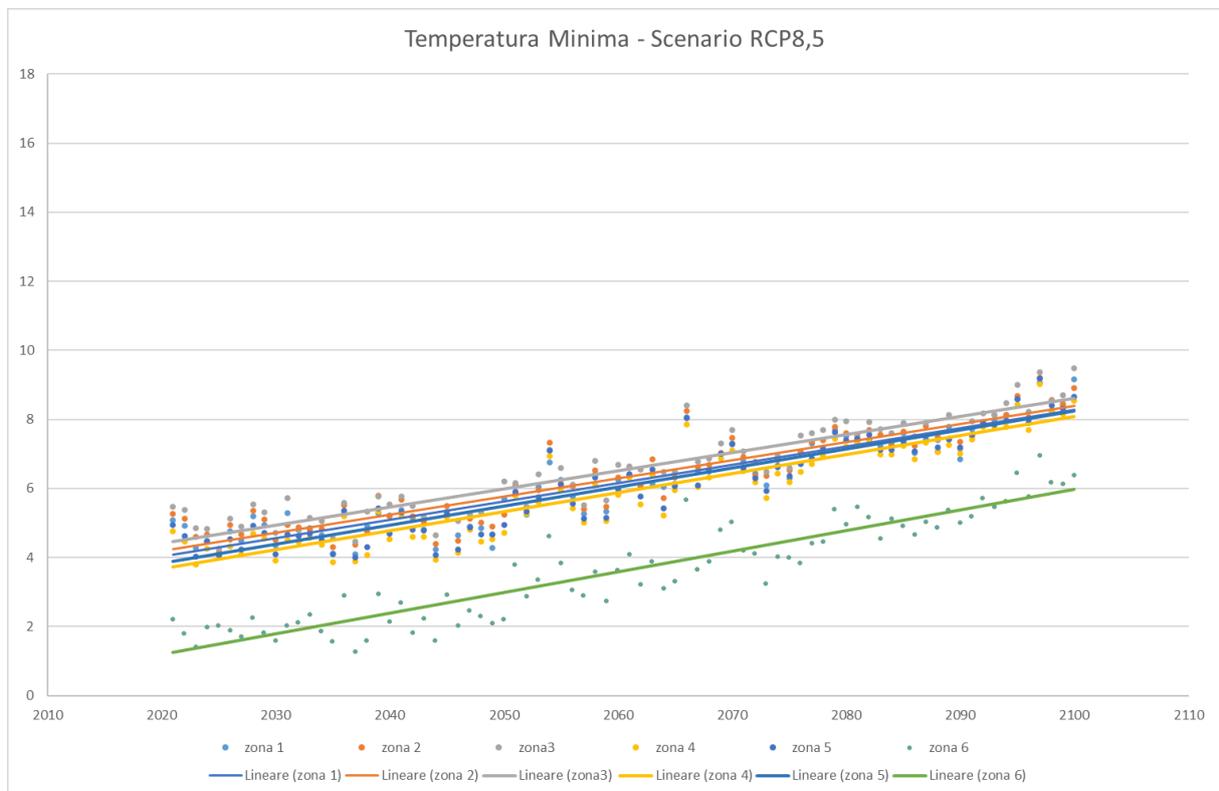


Figura 5.14 - Andamento temporale della temperatura minima annuale RCP8.5, periodo di osservazione 2021-2100 per la Regione Marche

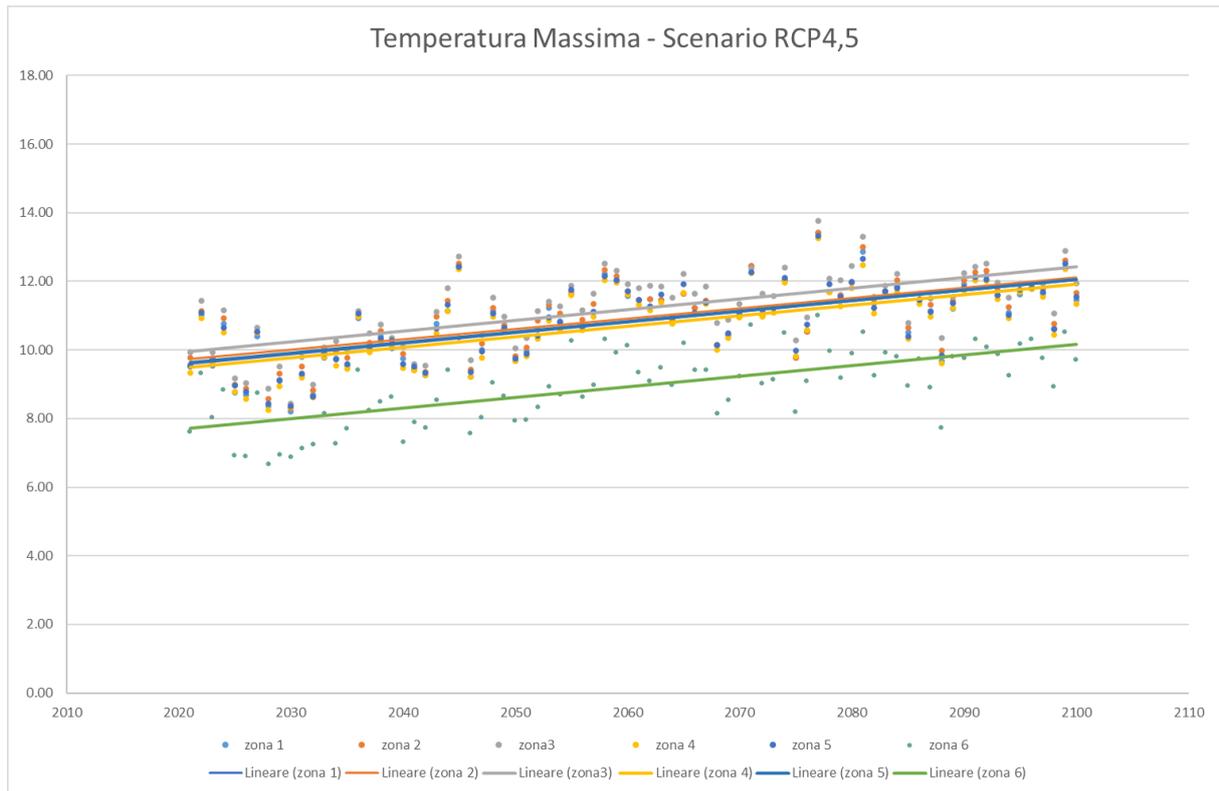


Figura 5.15 - Andamento temporale della temperatura massima annuale RCP4.5, periodo di osservazione 2021-2100 per la Regione Marche

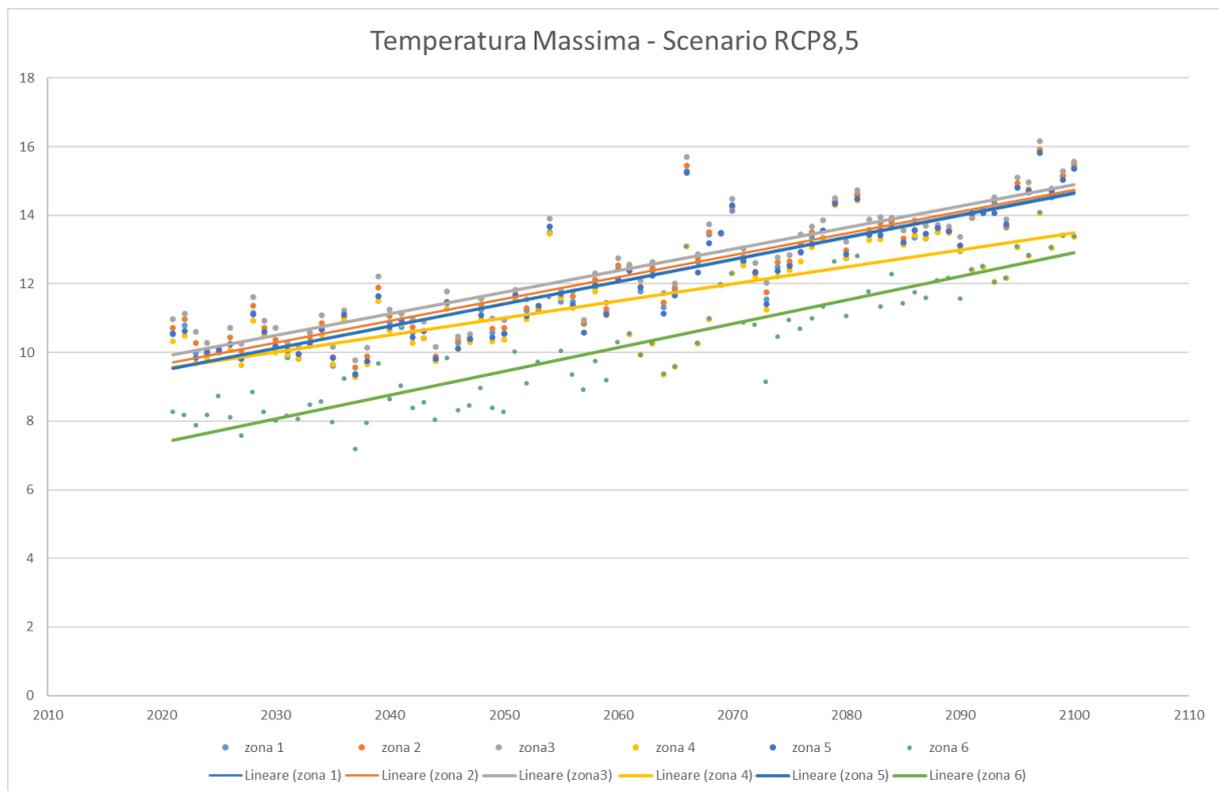


Figura 5.16 - Andamento temporale della temperatura massima annuale RCP8.5, periodo di osservazione 2021-2100 per la Regione Marche

In tutti i grafici si osserva un comportamento climatico simile per tutte le zone considerate. Quindi, sia per entrambe le variabili di temperatura, sia per i due diversi scenari, si prevede una tendenza all'aumento della temperatura uniforme nei punti della maglia che ricadono all'interno delle Marche. Soltanto nella figura che descrive l'andamento delle temperature massime RCP8.5, si osserva un andamento diverso per la località 4.

In 80 anni è previsto un aumento delle temperature minime di circa 2.2 °C nel caso di RCP4.5 e di ben 4.2 °C nel caso di RCP8.5. Mentre per le temperature massime si attende un incremento di temperatura rispettivamente di 2.4 °C e di 4.4 °C, rispettivamente per i casi sopra descritti.

Il punto 6 dimostra di avere una temperatura inferiore di circa 2 °C in tutti i casi. Questo dato è confermato dal fatto che tale specifico punto della maglia ricade nella zona montana meridionale della Regione Marche che, come descritto nei capitoli precedente, è soggetta ai minimi sia temperature massime che minime della regione Marche.

5.2.2.1 Analisi climate normals

Per ciascuna variabile presa in considerazione, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio regionale. Per sei orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2031-2060, 2041-2070, 2051-2080, 2061-2090, 2071-2100), sono stati calcolati i valori medi di temperatura. (Tabella 5.7,

Le variazioni climatiche future sono state valutate in termini di differenze tra il valore di una variabile e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento 1961-1990, valido per le osservazioni nel lungo periodo. Valori riportati in Tabella 5.6.

Per gli obiettivi di questo lavoro, attraverso le differenze rispetto ai valori di riferimento, è possibile analizzare e mettere a confronto i segnali climatici evidenziati dai modelli, indipendentemente dall'abilità del modello nel riprodurre i valori assoluti di una certa variabile nell'area geografica di interesse. Gli scostamenti precedentemente descritti sono riportati negli istogrammi in Fig. 5.7.

Tabella 5.12 - Temperatura media massima e minima nel periodo di riferimento 1961-1990

T min - Trentennio storico di riferimento 1961-1990						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
1961-1990	2.63	2.78	2.98	1.64	2.56	0.91
T max - Trentennio storico di riferimento 1961-1990						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
1961-1990	8.44	8.57	8.73	7.81	8.56	6.67

Tabella 5.13 - Temperatura media minima RCP4.5 negli orizzonti temporali futuri

Temperatura Minima RCP4.5 - Trentenni futuri						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
2021-2050	4.17	4.32	4.51	3.90	4.07	1.57
2031-2060	4.72	4.88	5.09	4.44	4.61	2.09
2041-2070	5.13	5.30	5.51	4.83	5.01	2.47
2051-2080	5.51	5.68	5.89	5.20	5.38	2.86
2061-2090	5.60	5.76	5.96	5.29	5.46	2.92
2071-2100	5.69	5.84	6.04	5.41	5.57	3.10

Tabella 5.14 - Temperatura media minima RCP8.5 negli orizzonti temporali futuri

Temperatura Minima RCP8.5 - Trentenni futuri						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
2021-2050	4.80	4.94	5.17	4.46	4.62	2.05
2031-2060	5.22	5.35	5.58	4.93	5.07	2.57
2041-2070	5.82	5.96	6.17	5.56	5.70	3.24
2051-2080	6.48	6.61	6.82	6.21	6.36	3.91
2061-2090	6.94	7.09	7.30	6.69	6.85	4.44
2071-2100	7.50	7.62	7.84	7.27	7.43	5.08

Tabella 5.15 - Temperatura media massima RCP4.5 negli orizzonti temporali futuri

Temperatura Massima RCP4.5 - Trentenni futuri						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
2021-2050	9.88	10.03	10.25	9.80	9.92	8.05
2031-2060	10.47	10.61	10.83	10.35	10.47	8.56
2041-2070	10.89	10.99	11.29	10.77	10.90	8.97
2051-2080	11.29	11.34	11.70	11.17	11.31	9.36
2061-2090	11.35	11.40	11.75	11.22	11.37	9.43
2071-2100	11.53	11.63	11.89	11.41	11.55	9.67

Tabella 5.16 - Temperatura media massima RCP8.5 negli orizzonti temporali futuri

Temperatura Massima RCP8.5 - Trentenni futuri						
trentennio	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6
2021-2050	10.40	10.56	10.79	10.28	10.41	8.40
2031-2060	10.85	10.99	11.20	10.75	10.87	8.93
2041-2070	11.71	11.83	12.01	10.96	11.68	9.75
2051-2080	12.46	12.58	12.76	11.70	12.43	10.50
2061-2090	13.08	13.19	13.39	12.32	13.05	11.20
2071-2100	13.68	13.78	13.96	13.01	13.67	11.89

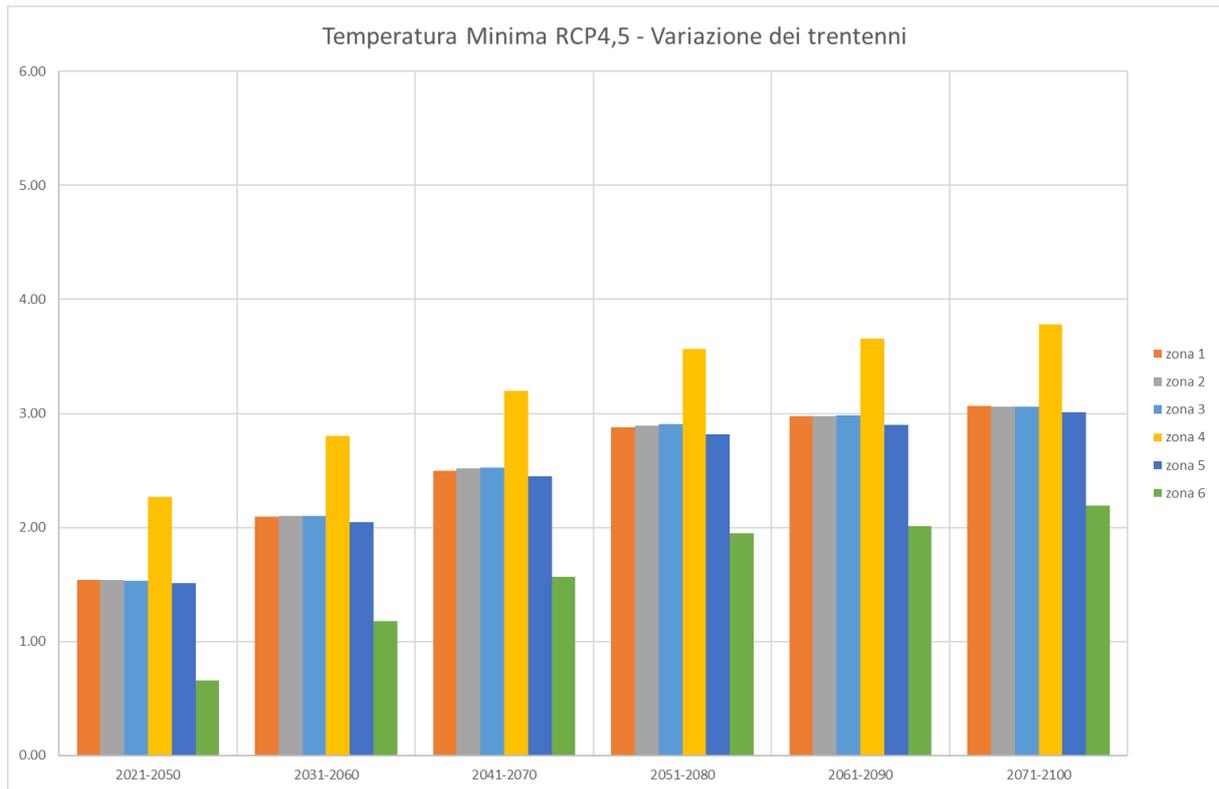


Figura 5.17 - Scostamento trentenni futuri di T min RCP4.5 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990

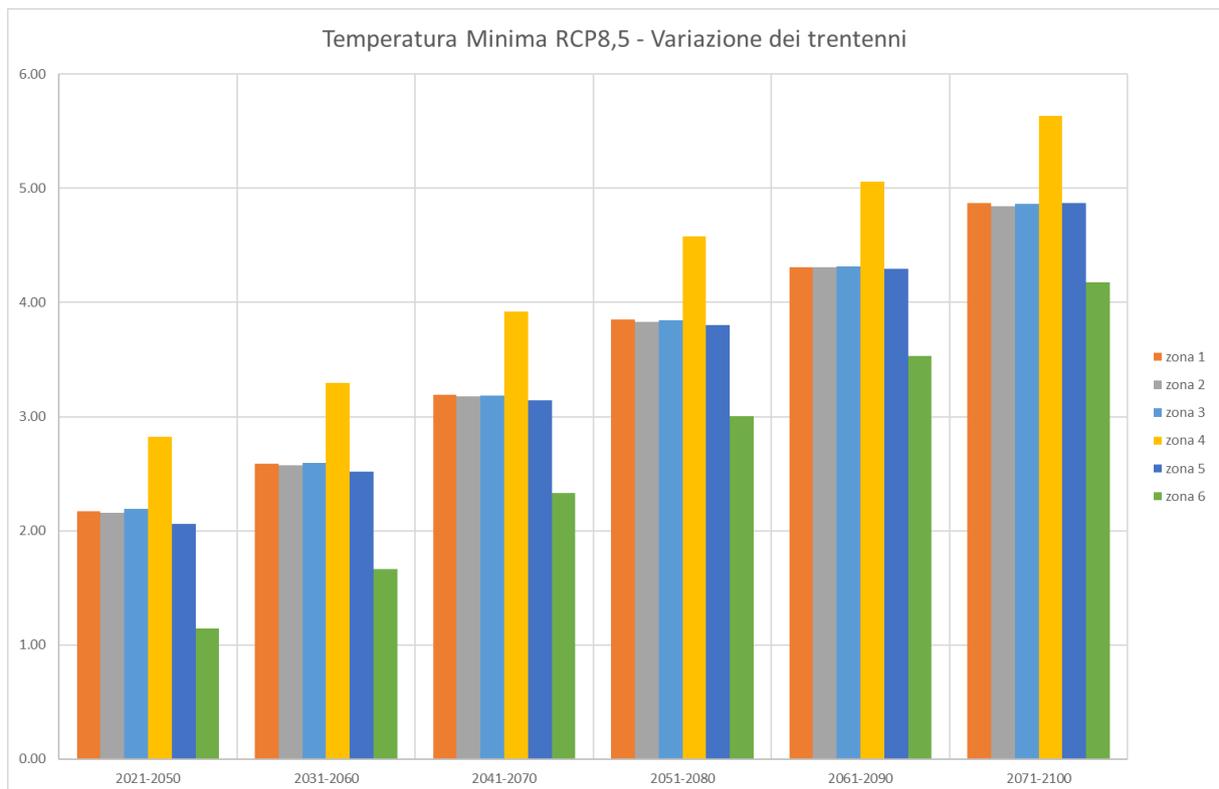


Figura 5.18 - Scostamento trentenni futuri di T min RCP8.5 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990

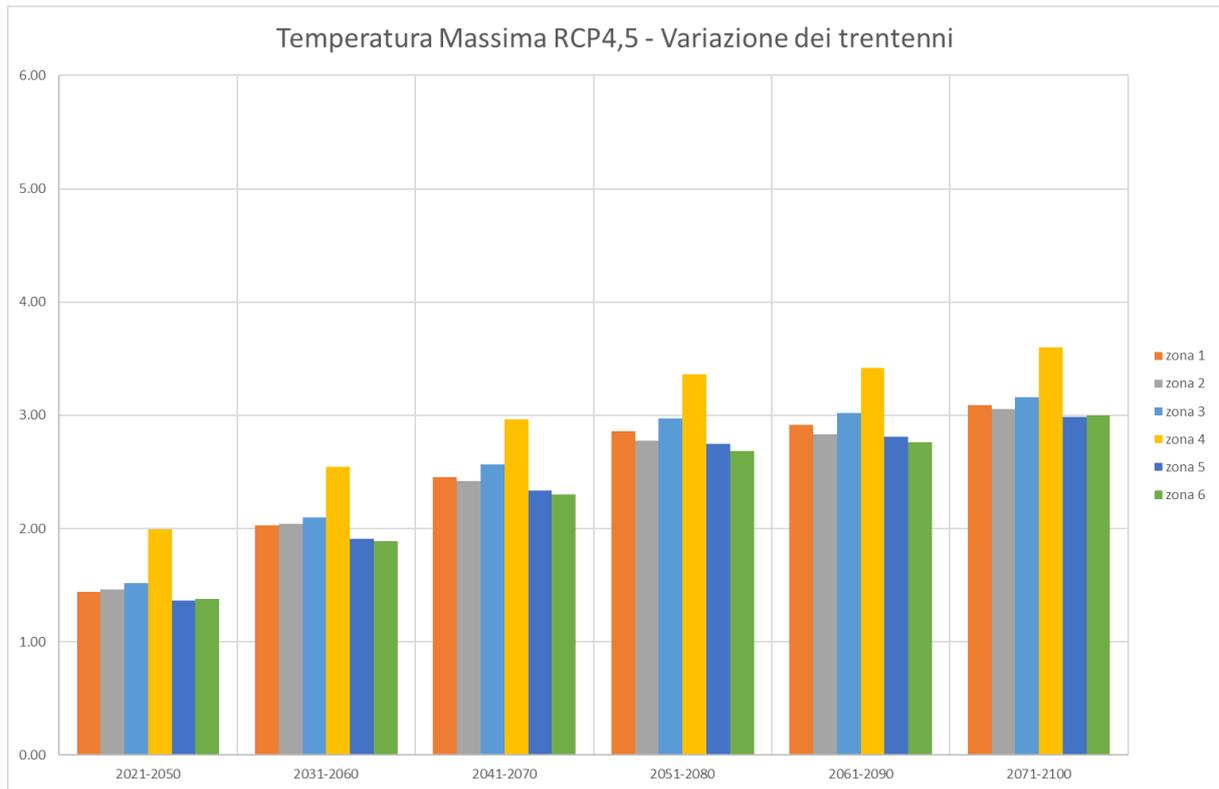


Figura 5.19 - Scostamento trentenni futuri di T min RCP4.5 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990

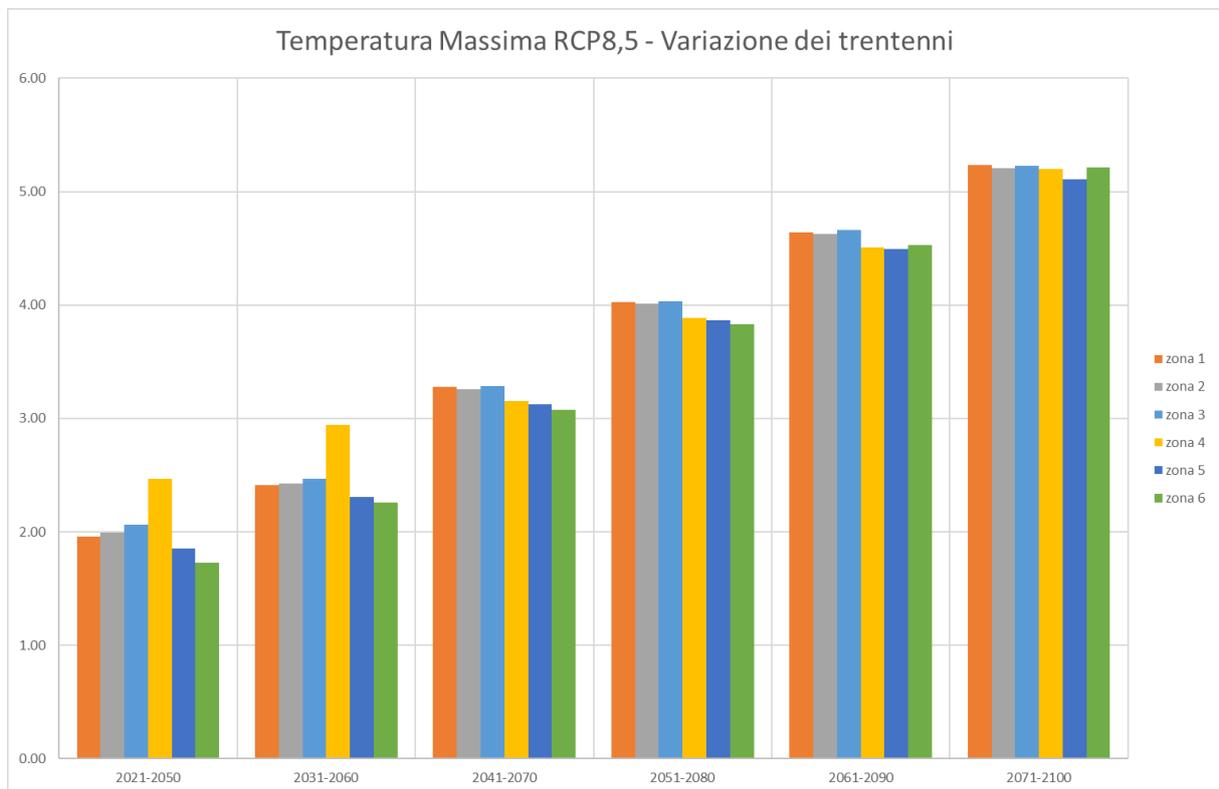


Figura 5.20 - Scostamento trentenni futuri di T max RCP8.5 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990

Negli istogrammi relativi alle sole temperature minime, per ciascun trentennio futuro si osserva il maggiore scostamento rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990 nella località 4 e il minore per la località 6. Anche in questo caso i 6 punti localizzati hanno una evoluzione climatica uniforme. Le differenze tra le varie zone, per un dato trentennio, tendono a mantenersi costanti anche per gli altri trentenni futuri.

Il modello regionale CMCC prevede nel caso delle temperature minime RCP4.5 un incremento dello scostamento di circa 1,4 °C tra il 2021-2051 e il 2041-2070, rispetto al periodo 1961-1990. Successivamente, tale differenza tende ad attenuarsi attorno ad un valore di 3 °C. Per la stessa variabile, nel caso di scenario RCP8.5, lo scostamento cresce in maniera piuttosto uniforme passando da un valore di 2 °C a uno di 4,8 °C. I due scenari rappresentano un comportamento climatico notevolmente diverso per la regione. Considerando il periodo di 30 anni 2071-2100, i due scenari differiscono di circa 2.2 °C.

Per quanto riguarda le temperature massime, lo scostamento per un determinato trentennio di ciascuna località tende ad uniformarsi rispetto al caso delle temperature minime. L'evoluzione nel tempo della differenza di temperatura nello scenario con meno emissioni sembra del tutto simile a quella che ci si aspetta per la temperatura minima. Mentre nel caso in cui di possano verificare più emissioni (RCP8.5) la tendenza risulta ancora simile a quella delle temperature minime nel trentennio ma il trentennio 2071-2100 supera i 5 °C la temperatura media che si è verificata nel periodo 1961-1990.

Conclusioni

Non vi è dubbio che ritardare l'azione di contrasto e adattamento ai cambiamenti climatici allontanerebbe la prospettiva di uno sviluppo sostenibile contribuendo a impatti sempre più negativi e rischi sempre più accentuati. Sulla base delle conoscenze attuali è necessario, quindi, intraprendere azioni a breve e lungo termine al fine di costruire capacità individuali e istituzionali, accelerare il trasferimento delle conoscenze, migliorare il trasferimento e l'implementazione della tecnologia, abilitare i meccanismi finanziari, attuare sistemi di allerta precoce e migliorare la gestione dei rischi.

Le analisi svolte sulle serie di temperature storiche, misurate a partire dal 1957, sia sulle serie di dati fornite dal modello climatico regionale, che proiettano lo stato climatologico di una specifica regione fino al 2100, dimostrano che è in atto un forte aumento delle temperature anche nella Regione Marche. Questo innalzamento delle temperature sarà maggiore se non si intraprendono azioni immediate volte alla riduzione dei gas serra.

Il presente lavoro si dimostra importante per molteplici aspetti. Infatti, non era mai stata elaborata una analisi approfondita delle serie storiche di temperatura massima e minima nella Regione Marche. I dati di temperatura, malgrado il numero limitato di stazioni sul territorio, possono arricchire le serie storiche di precipitazione in modo da rendere possibile il computo di indici di siccità, definiti recentemente, che tengono conto di entrambi i parametri.

Per approfondire lo studio relativo alla previsione degli scenari futuri, che in questa tesi si limitano all'osservazione della distribuzione temporale dei dati, potrebbe essere effettuata una elaborazione maggiore, andando a ricavare dalle serie climatiche future gli indici di valutazione dei cambiamenti climatici e di siccità.

Bibliografia

Master ADAPT, “Linee guida, principi e procedure standardizzate per l’analisi climatica e la valutazione della vulnerabilità a livello regionale e locale”.

Alexander L. V., Zhang X., et al. (2006). “Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation” *J. Geophys. Res.*, 111, D05109.

Diffenbaugh N.S., Pal J.S., Giorgi F., & Xuejie G. (2007), “Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot”. *Geoph. Res. Letters*, 34, L11706.

EEA (2017). “Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - An indicator-based report”, EEA Report N.1 2017.

Peterson T.C. et al. (2001). “Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001”, World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.

Provincia autonoma di Trento, Dipartimento Protezione Civile e Fondazione Edmund Mach, (2012). “Analisi di serie giornaliere di temperatura e precipitazione in trentino nel periodo 1958-2010”.

Donat M.G., Alexander L.V. et al. (2013). “Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset”, *J. Geophys. Res.*, 118: 2098-2118.

Xuebin Zhang, Yang Feng, (2018). “*RCLimDex User Manual*”. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada.

Zhang et al. (2004). “Avoiding Inhomogeneity in Percentile-Based Indices of Temperature Extremes”

Luciano Soldini e Giovanna Darvini (2017). “Extreme rainfall statistics in the Marche region”, Italy, *Hydrology Research* 48.3:686-700.

Cox, D. R., & Stuart, A. (1955). “Some quick sign tests for trend in location and dispersion.” *Biometrika*, 42(1/2), 80-95.

Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (1990). “Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency” (No. 49). ILRI.

Conover, W. J. (1998). “*Practical nonparametric statistics*” (Vol. 350). John Wiley & Sons.

Khaliq, M. N., Ouarda, T. B., Gachon, P., Sushama, L., & St-Hilaire, A. (2009). “Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers”. *Journal of Hydrology*, 368(1-4), 117-130.

Desiato, F., Fioravanti, G., Frascchetti, P., Perconti, W., & Piervitali, E. (2012). “Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche”. *Rapporto ISPRA, Stato dell’Ambiente*, 32, 2012.

IPCC (2000). “*Special Report on Emissions Scenarios*”. Nakicenovic N. & Swart R. (eds), Cambridge University Press, Cambridge.

Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J. & Rose S.K. (2011). “The representative concentration pathways: an overview”, *Clim. Change*, 109: 5-31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.

Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Marras, S., Trabucco, A., Adinolf, M., ... & Zavatarelli, M. (2020). “Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia”. *CMCC, doi*, 10.

Desiato, F., Fioravanti, G., Frascchetti, P., Perconti, W., & Piervitali, E. (2015). *“Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali”*. ISPRA Stato dell’Ambiente, 58, 2015.

ISPRA, Manuali e Linee Guida 60/2010 (2010). *“Metodologie di misura e specifiche tecniche per la raccolta e l’elaborazione dei dati”*.

Veronica Calvaresi, (2019). *“Analisi dei valori estremi delle precipitazioni nella regione marche”*, Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche.

ARPA Piemonte: *“Le precipitazioni intense in Piemonte. Distribuzione regionale delle piogge e caratterizzazione statistica dei valori estremi cinquantennio 1961-2010”*.

http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

https://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_projections.php

<http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>

ww.medcordex.eu