



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

AGENZIA REGIONALE PRO S'AMPARU DE S'AMBIENTE DE SARDIGNA
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA

ARPAS

Dipartimento Meteorologico
Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi

RELAZIONE TECNICA

Elaborazione della climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010

Risultati preliminari

Dicembre 2019

A cura di

Michele Fiori, Alessandro Delitala, Piero Cau, Giuliano Fois del Dipartimento Meteorologico dell'ARPAS
Guido Fioravanti del Settore Climatologia Operativa dell'ISPRA

Hanno collaborato

Luigi di Carlo, Giovanna Mannu, Ilaria Peana, Andrea Motroni, Alessandro Serra e Paolo Boi del
Dipartimento Meteorologico dell'ARPAS

ARPAS – Dipartimento Meteorologico
Viale Porto Torres 119, 07100 Sassari
tel. +39 079 258600 fax +39 079 262681
dipartimento.imc@arpa.sardegna.it dipartimento.imc@pec.arpa.sardegna.it



INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive l'attività svolta dal gruppo di lavoro per l'aggiornamento della climatologia nel corso dell'anno 2019, durante il quale si è completata la raccolta, il controllo e l'integrazione delle serie di dati storici di temperatura e precipitazione provenienti dai due database, quello in dotazione al Dipartimento e quello fornito dal Servizio Idrogeologico ed Idrografico, i controlli di qualità dei dati nonché la produzione di un set preliminare di indicatori climatici per il trentennio 1981-2010.

In particolare il lavoro svolto, che ha visto coinvolti di volta in volta diversi colleghi del Dipartimento Meteorologico nonché la collaborazione esterna del dott. Fioravanti del Settore Clima e Meteorologia applicata dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispra), si è articolato nelle seguenti fasi:

- definizione del database delle serie giornaliere,
- controlli di qualità sulle serie giornaliere di precipitazione e temperatura,
- analisi di omogeneità per le singole serie,
- calcolo delle normali climatiche e realizzazione di un set preliminare di tabelle, grafici e mappe.

Di seguito è riportata una descrizione di maggior dettaglio dell'attività svolta nell'ambito delle singole fasi.

DEFINIZIONE DEL DATABASE DELLE SERIE GIORNALIERE

Preliminarmente a questa fase, sono state importate tutte le tavole del database in dotazione al Servizio Idrografico (Zeus database) all'interno del database Climatologico (Oracle database) del Dipartimento Meteorologico, omogeneizzando i dati rispetto alle grandezze ed equiparando i codici delle stazioni al fine di ottenere un database unico che integrasse tutte le stazioni di diversa provenienza (es. Università, Idrografico, Aeronautica, ecc..), operando nel contempo una prima verifica e selezione dei dati corretti.

In precedenza era stata effettuata la consultazione dell'anagrafica degli osservatori degli ultimi decenni, sui libri storici del Servizio Idrografico, allo scopo di individuare variazioni intervenute nella localizzazione delle stazioni e per meglio interpretare situazioni di disomogeneità riscontrate nelle serie di dati. Si è inoltre verificata l'esatta ubicazione dei singoli punti stazione e sono state aggiornate le relative informazioni geografiche, anche sulla base delle schede riportate in "Monografia delle Stazioni Idrotermopluviometriche Tradizionali".

In questa fase e per ciascuna stazione si è operato un confronto sui singoli dati giornalieri, a partire dal 1922 e per le grandezze pioggia, temperatura minima (Tmin) e massima giornaliera (Tmax), analizzando e valutando di volta in volta le differenze riscontrate tra i due database, anche attraverso il raffronto con i dati pubblicati sugli annali idrologici. In alcuni casi si sono evidenziati errori sugli stessi annali. Questa fase, piuttosto complessa, ha richiesto tempi relativamente lunghi, in particolare per le precipitazioni e ha permesso inoltre di ricostruire le serie continue di dati precedentemente attribuiti a stazioni diverse, o al contrario "spezzare" alcune serie erroneamente attribuite ad una stessa stazione. In questa fase è stata utile la consultazione dell'analisi storica degli osservatori relativi alle singole stazioni, di cui si è detto in precedenza.

Al termine di questa fase si sono ottenute le tavole di sintesi per le grandezze climatiche in esame nelle quali sono confluite le serie integrate e corrette provenienti dai due database. Nelle **Figure 1 e 2** è riportato il numero di stazioni presenti nei due database di origine, nei singoli anni per le piogge e le temperature, nonché la consistenza nel database finale al termine del processo di integrazione (linea verde).

Figura 1. Numero di stazioni con misure di precipitazione presenti nei database originali e in quello finale di sintesi.

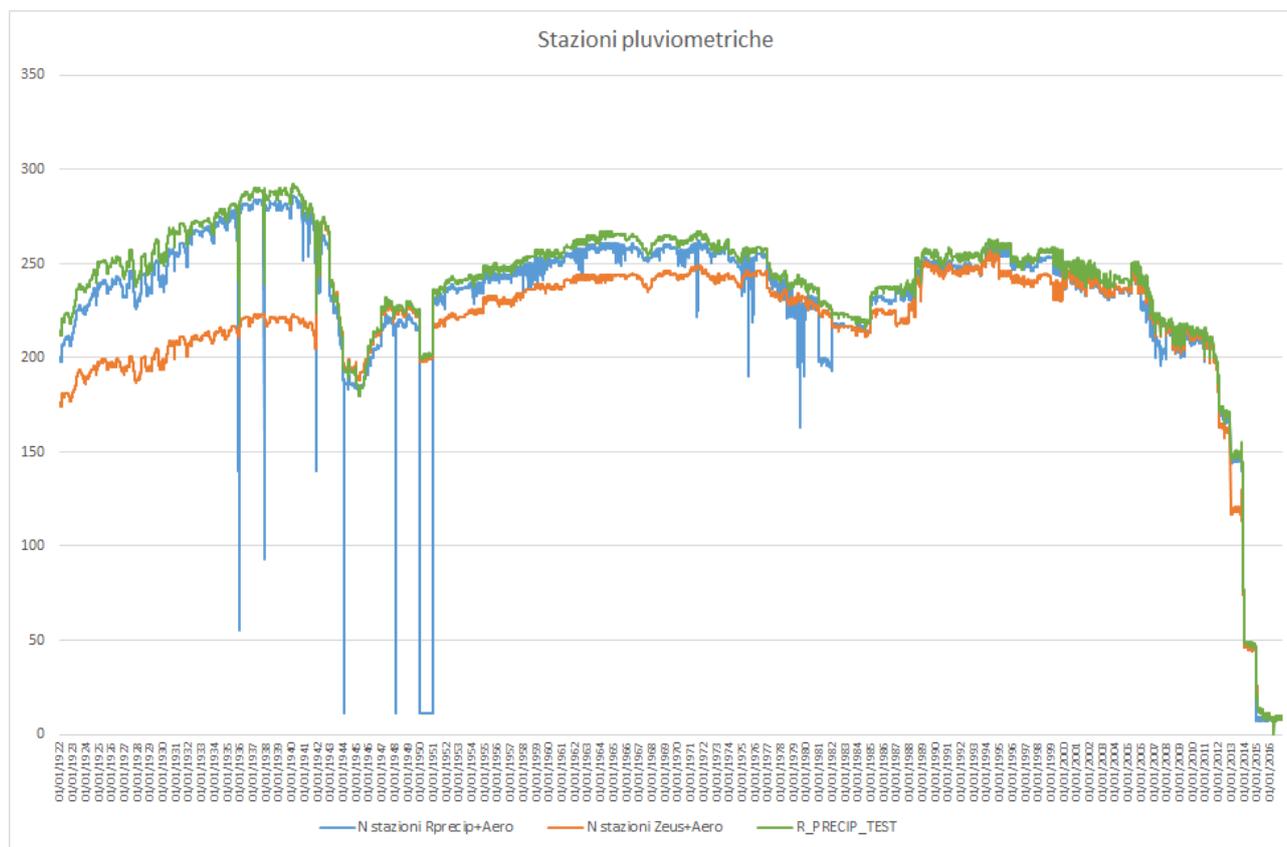
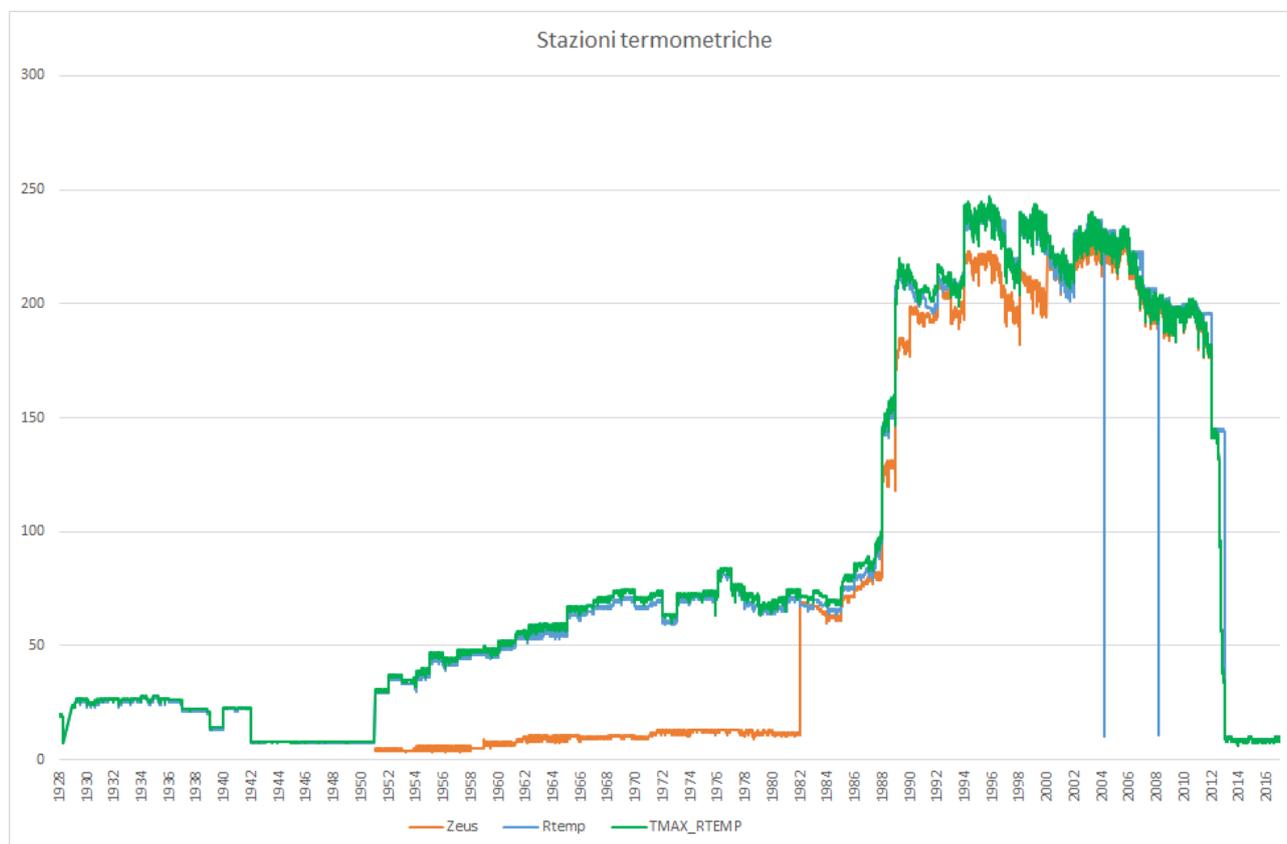


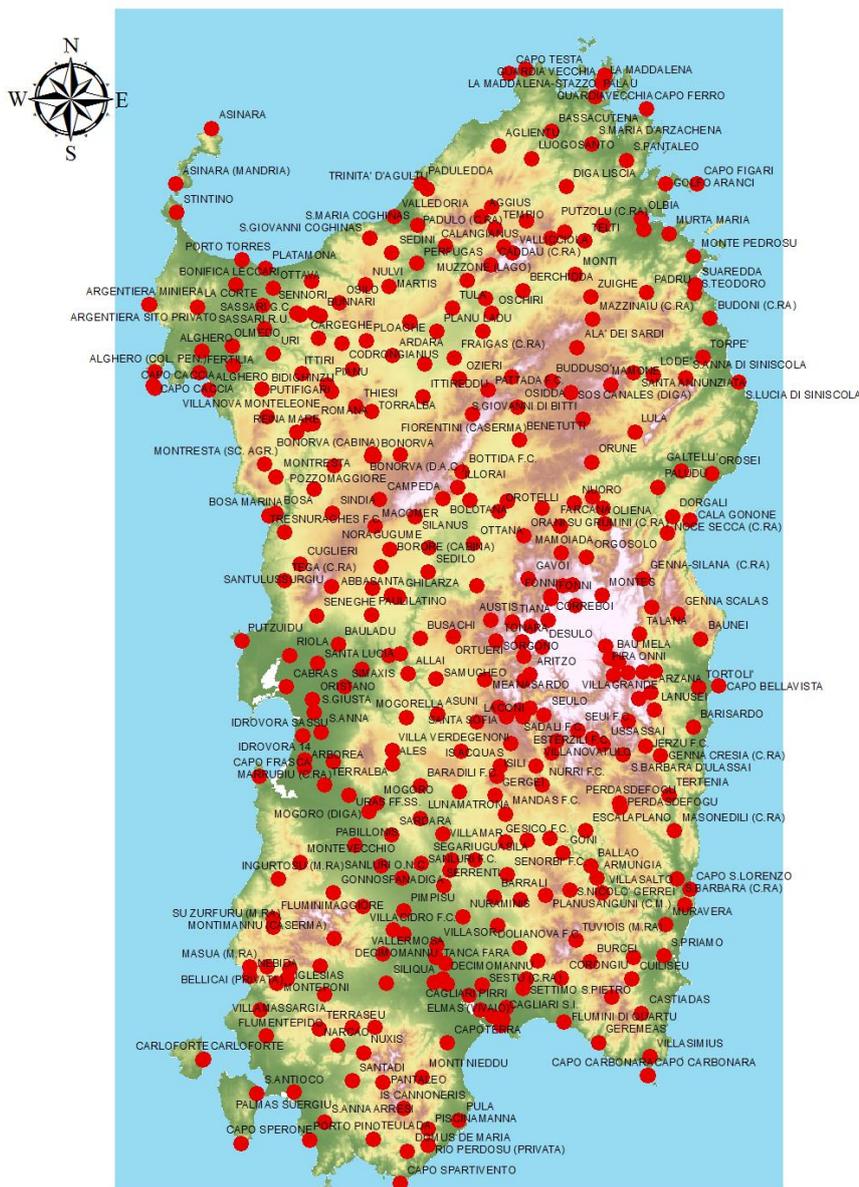
Figura 2. Numero di stazioni con misure di temperatura presenti nei database originali e in quello finale di sintesi.



Questa fase ha consentito di selezionare circa 370 stazioni dotate di pluviometro per il periodo 1922 – 2016 (Figura 3). In un numero inferiore di casi è presente anche il termometro.

Figura 3. Ubicazione delle stazioni considerate nell'analisi climatologica.

Stazioni Climatiche



CONTROLLI DI QUALITÀ SULLE SERIE GIORNALIERE DI PRECIPITAZIONE E TEMPERATURA

In questa fase sono stati eseguiti i controlli di qualità sull'intero database realizzato nella fase precedente. Si sono utilizzate delle procedure sviluppate da ISPRA in ambiente R che prevedono una sequenza di controlli, mutuati da quelli applicati al dataset globale di osservazioni meteorologiche giornaliere (Global Historical Climatological Network – GHCN) del National Climatic Data Center (NCDC) della NOAA, opportunamente modificati tenendo conto di alcune caratteristiche peculiari del clima italiano (Fioravanti et al., 2019; Fioravanti et al., 2016)¹.

Ciascun controllo contrassegna con un *flag* di dato errato i dati che non superano il test prestabilito e li esclude da tutti i controlli successivi. La sequenza dei test è stata stabilita in modo da individuare il maggior numero di errori e ridurre al minimo il rischio di eliminare dati validi (falsi positivi). Dopo le procedure automatiche si è operata una valutazione manuale dei dati sospetti evidenziati allo scopo di valutare di volta in volta le azioni da intraprendere e salvaguardare gli eventuali falsi positivi.

L'insieme dei controlli si può dividere in quattro categorie generali e viene eseguito secondo l'ordine seguente:

- test di integrità di base,
- test per l'identificazione dei valori anomali,
- test di consistenza interna e temporale,
- test di consistenza spaziale.

Per l'**integrità di base** delle serie storiche si è analizzata la presenza di valori ripetuti, mesi o anni duplicati, le lunghe serie di valori sospetti uguali a zero e valori impossibili.

Nel caso delle temperature vengono ricercate sequenze di 20 o più valori di valori identici, saltando gli eventuali dati mancanti. Nel caso delle serie di precipitazione, il controllo ha evidenziato le sequenze di 180 o più valori nulli consecutivi. I risultati sono stati esaminati per ciascuna stazione individuata, invalidando le serie verosimilmente errate e conservando quelle meno dubbie, ritenute compatibili attraverso un confronto tra stazioni prossime.

Il test successivo identifica le duplicazioni di sequenze di dati giornalieri in diversi periodi di tempo, in particolare: due anni diversi che hanno esattamente gli stessi dati oppure due mesi diversi (nello stesso anno o in anni diversi) che hanno esattamente gli stessi dati. Il test si applica sia alla temperatura (minima e massima), che alla precipitazione. In quest'ultimo caso, per evitare di contrassegnare erroneamente come duplicati due periodi asciutti, si richiede la presenza di almeno cinque valori non nulli. Questo test ha permesso di evidenziare mesi duplicati sia nello stesso anno ma anche su anni molto distanti, causati da errori nella fase di inserimento dei dati nei database di origine. Si è apportata la necessaria correzione (invalidando i dati errati) attraverso una verifica con gli annali idrologici corrispondenti, oppure, in caso di dati erronei anche in questi ultimi, attraverso un raffronto con le stazioni vicine.

L'ultimo controllo individua i valori di temperatura e precipitazione impossibili: temperatura massima superiore a 50 °C o inferiore a -30 °C, temperatura minima superiore a 40 °C o inferiore a -40 °C, precipitazione cumulata superiore a 800 mm o con valore negativo. Queste soglie sono state fissate in

¹ Fioravanti G., Piervitali E., Desiato F., 2019. A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy. International Journal of Climatology, <https://doi.org/10.1002/joc.6177>.

Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F., 2016. Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. Rapporto ISPRA 66/2016.

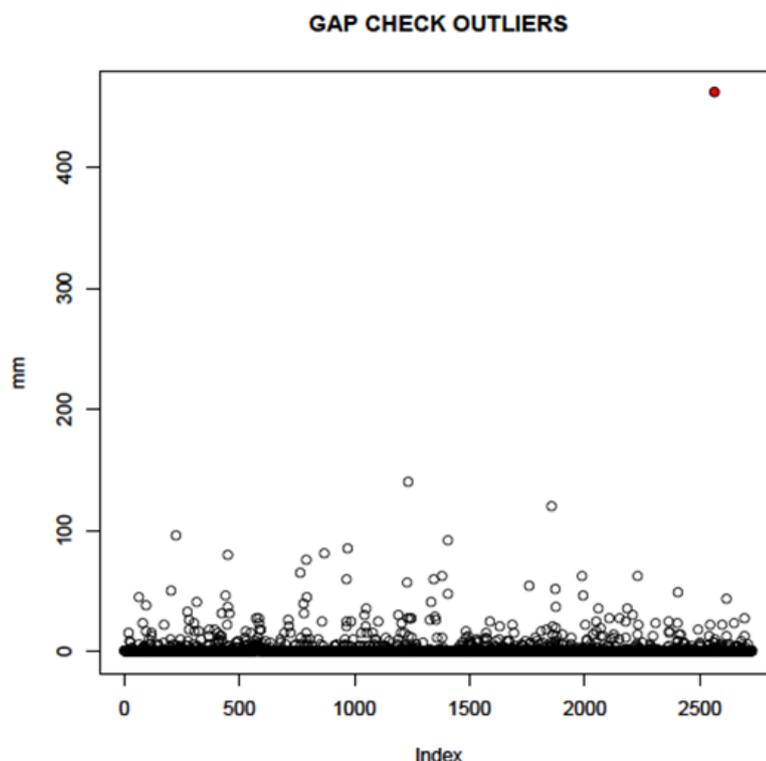
base ai valori massimi e minimi assoluti di temperatura e precipitazione massima giornaliera presenti nel dataset delle osservazioni giornaliere italiane, validati manualmente anche tramite il confronto con i valori registrati nelle stazioni limitrofe. Nel nostro caso sono stati individuati solo 3 valori di questo tipo, riguardanti la temperatura minima.

Per identificare i **valori anomali** sono stati utilizzati due metodi diversi: un test che individua un eventuale salto nella serie di dati (*gap check*) e un controllo climatologico.

Il *gap check*, che si applica sia alle serie di temperatura sia a quelle di precipitazione, identifica i valori che si trovano nelle code della corrispondente distribuzione, quando sono eccessivamente distanti dal resto dei valori e quindi probabilmente errati. Per ciascun mese, il *gap check* esamina la distribuzione di frequenza dei dati su tutti gli anni disponibili. Il test individua i valori alle code della distribuzione che risultano eccessivamente distanti e quindi separati in maniera poco realistica dal resto della distribuzione. L'algoritmo prima di tutto ordina tutti i valori dal più piccolo al più grande e calcola le differenze tra ogni coppia di valori consecutivi. Se un valore è separato dal valore precedente di una quantità superiore alla soglia fissata (*gap*) allora tutti gli elementi successivi vengono contrassegnati come errati.

Per la precipitazione il massimo *gap* consentito è stato fissato a 300 mm. La **Figura 4** mostra l'applicazione del test ad una serie di precipitazione e l'individuazione di un *outlier*, in questo caso un falso positivo (Stazione di Capoterra 22-10-2008 461.4 mm).

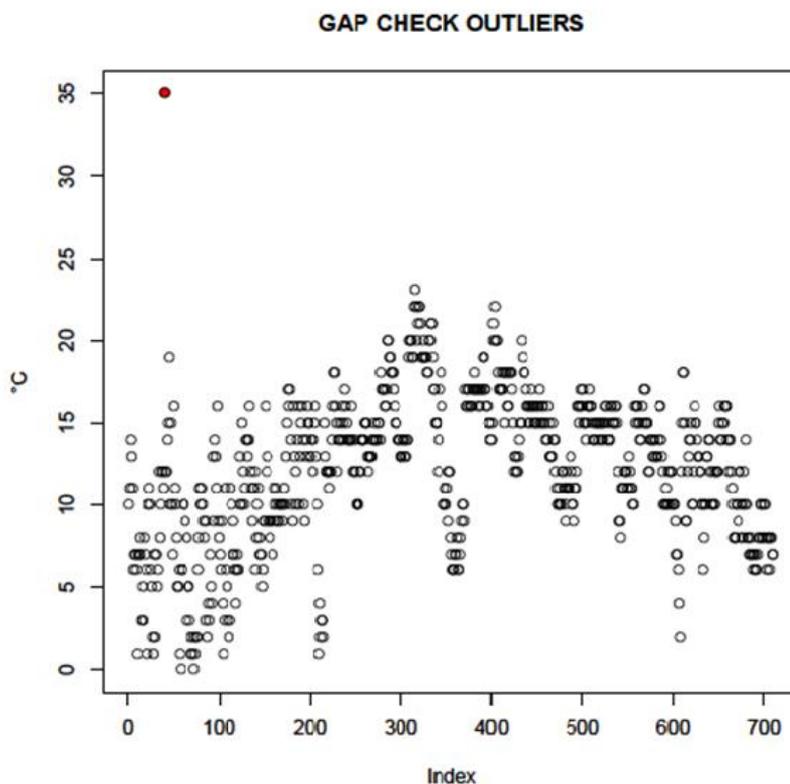
Figura 4. Outlier di precipitazione evidenziato col Gap Check test - Stazione di Capoterra 22-10-2008, 461.4 mm.



Per la temperatura il test analizza separatamente le due metà della distribuzione: dalla mediana verso i valori superiori e dalla mediana verso i valori inferiori. In questo caso la differenza massima fra due valori

consecutivi è fissata a 10 °C. Nella **figura 5** è raffigurato a titolo esemplificativo l'esito del gap check per la temperatura massima della stazione Taroni (C.ra).

Figura 5. Outlier di temperatura massima evidenziato col Gap Check test - Stazione Taroni (C.ra) 11-12-1989, 35 °C.



Il controllo climatologico si basa invece sul confronto di ogni valore della serie da testare con alcuni parametri ricavati dall'intera serie, per lo stesso periodo dell'anno: test *z-score* per la temperatura e test basato sui percentili per la precipitazione. Il test *z-score*, la tecnica più comune per identificare i valori anomali (*outlier*) nei dati meteo-climatici consiste nel normalizzare i dati (utilizzando la media e la deviazione standard relativa ad uno specifico intervallo di tempo) e individuare i valori il cui *z-score* (valore normalizzato) eccede una soglia prefissata. Questa metodologia può essere applicata solo a serie sufficientemente lunghe, perché nel caso di distribuzioni anche leggermente asimmetriche potrebbe determinare un numero eccessivo di falsi positivi (*overflagging*). Il test è stato applicato solo alla temperatura massima e minima, per le quali è generalmente plausibile un'approssimazione mediante la distribuzione normale.

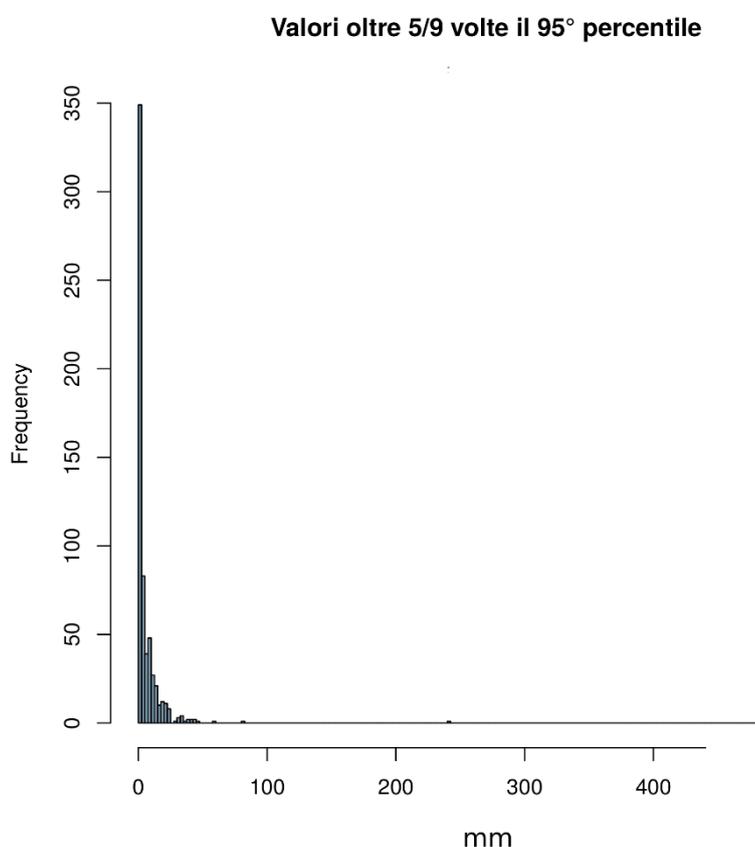
Per la temperatura massima e minima la media (*biweight mean*) e la deviazione standard (Lanzante, 1996) richiesti per il test *z-score* sono calcolati su tutti i dati che cadono all'interno di una finestra di 15 giorni centrata sul giorno in esame, su tutto il periodo a disposizione. Affinché il controllo sia valido si richiede un totale di almeno 100 valori. Un valore di temperatura viene invalidato se supera di 6 deviazioni standard la media di lungo periodo. Il valore di questa soglia è stato scelto abbastanza alto allo scopo di individuare il maggior numero possibile di errori e nel contempo limitare il rischio di falsi positivi.

Alle serie di precipitazione è stato applicato un test basato sui percentili. Per ogni giorno dell'anno viene definita una finestra di 29 giorni centrata sul giorno in esame e viene calcolato il 95° percentile della

distribuzione di tutti i valori diversi da zero che cadono all'interno della finestra, su tutto il periodo disponibile (si richiede la presenza di almeno 20 valori).

Nel caso della precipitazione la finestra è più ampia rispetto a quella definita per la temperatura (15 giorni), perché vengono presi in considerazione solo i valori di precipitazione non nulli. Il test identifica i valori di precipitazione che eccedono un multiplo prefissato del 95° percentile. Il multiplo dipende dalla temperatura: se la temperatura media giornaliera, $(T_{min} + T_{max})/2$, è maggiore o uguale a zero o non è disponibile, allora il multiplo viene fissato uguale a 9 volte il 95° percentile, se invece la temperatura media è inferiore allo zero, il multiplo viene fissato uguale a 5. In **Figura 6** è mostrato un esempio di applicazione di questo test per la stazione di Sos Canales (Diga).

Figura 6. Outlier di precipitazione evidenziato col controllo climatologico - Stazione Sos Canales (Diga), 241.2 mm del 01-11-2013.



I test di **consistenza interna e temporale** si riferiscono alle serie di temperatura massima e minima e controllano sia le violazioni fisiche fra due o più parametri sia le variazioni eccessivamente ampie del valore di una variabile con quello del giorno precedente e successivo.

Il primo test identifica i valori di temperatura (massima o minima) che sono almeno 18 °C più alti o più bassi del valore registrato nel giorno precedente o successivo (**Figura 7**). Il secondo test individua e contrassegna come dati errati i valori di temperatura massima e minima che verificano la condizione $T_{max} < T_{min}$ (**Figura 8**).

Il terzo e ultimo test (*lagged range test*), individua le variazioni eccessive e repentine nelle serie di temperatura tramite il confronto tra temperatura massima e minima nel giorno in esame, nel giorno precedente e in quello successivo. Se applicato alla serie di temperatura massima, il test calcola la

differenza tra la temperatura massima in un giorno $T_{max}(0)$ e la più alta temperatura minima fra quelle riportate nel giorno precedente, $T_{min}(-1)$, lo stesso giorno, $T_{min}(0)$ e il successivo, $T_{min}(1)$. Se la differenza supera i 35°C vengono contrassegnati come dati errati il valore di temperatura massima $T_{max}(0)$ e i tre valori di temperatura minima considerati.

Figura 7. Valore anomalo nelle temperature massime per la stazione di Nuraminis, 12-07-1998.

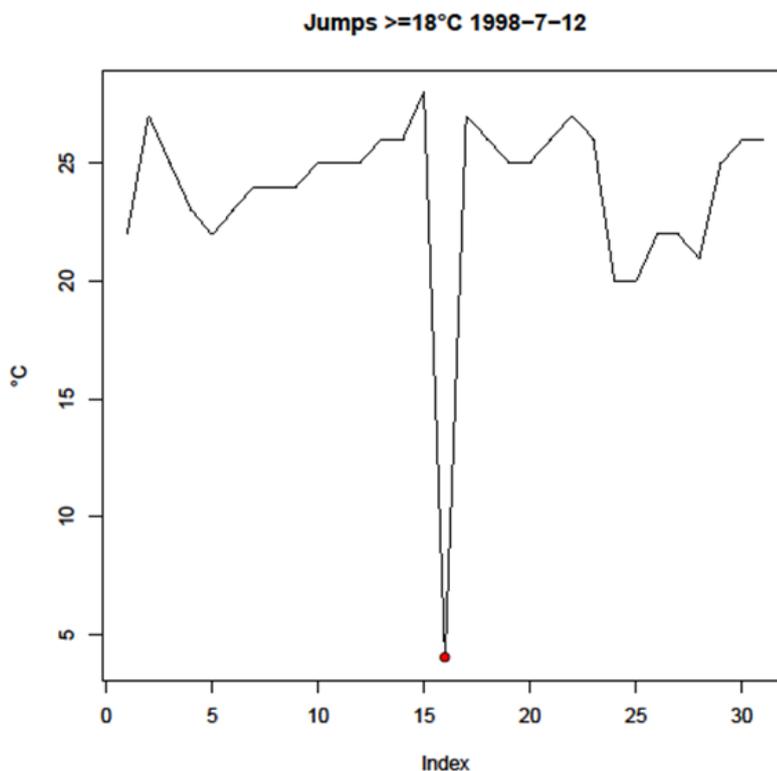
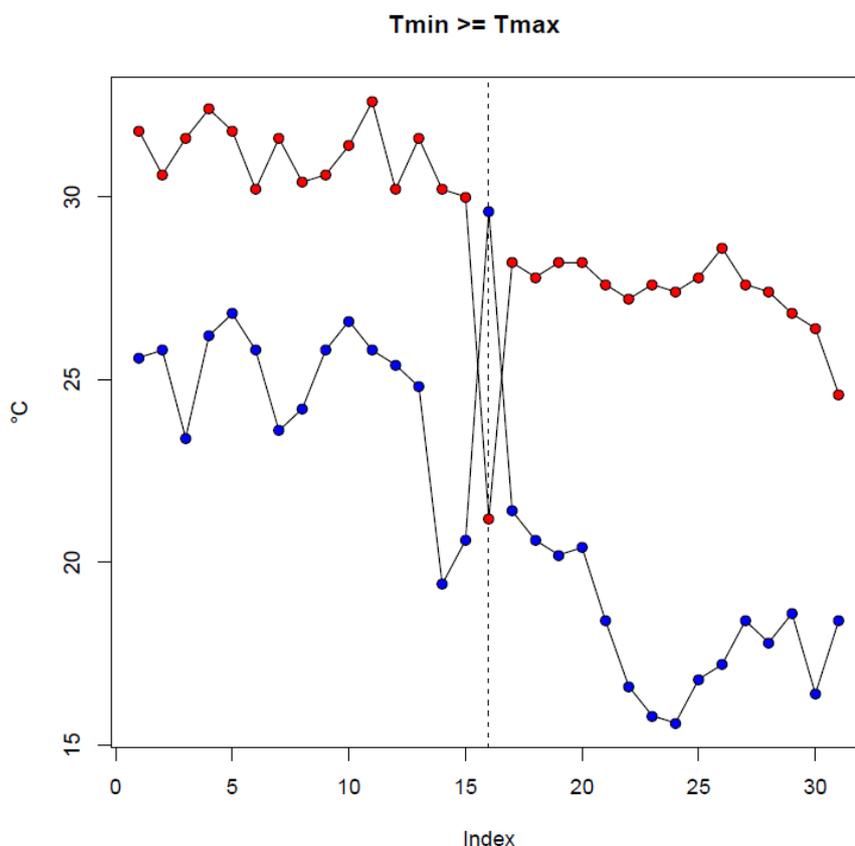


Figura 8. Temperatura minima superiore alla massima - Stazione di Corongiu, 10-09-1989.



I test di **consistenza spaziale**, hanno l'obiettivo di identificare i valori anomali non individuati dai precedenti test, tramite il confronto tra il valore registrato nella stazione target e le osservazioni rilevate nelle stazioni limitrofe. Questo approccio utilizza generalmente tecniche statistiche (quali la regressione) per stimare la variabile climatica nella stazione target, utilizzando i valori osservati nelle stazioni limitrofe e individuare poi le osservazioni che si discostano eccessivamente da questa stima.

Per la temperatura, in particolare, le stime basate sulla regressione sono solitamente più accurate di quelle prodotte usando altri metodi (Hubbard et al., 2007).

Un'alternativa è rappresentata dal *corroboration* test, che si basa sul confronto a due a due tra il valore osservato nella stazione target e quello delle stazioni limitrofe, contrassegnando come dato anomalo il valore target se non viene confermato (corroborato) da tutte le osservazioni delle stazioni vicine.

Le serie di temperatura massima e minima sono state sottoposte sia al test di regressione spaziale sia al *corroboration* test. I controlli spaziali non sono stati applicati alle serie di precipitazione.

Il **test di regressione** identifica per ogni mese di ciascun anno un modello di regressione tra la serie di temperatura (minima o massima) nella stazione target e una corrispondente serie di temperatura, stimata a partire dalle serie delle stazioni limitrofe opportunamente selezionate.

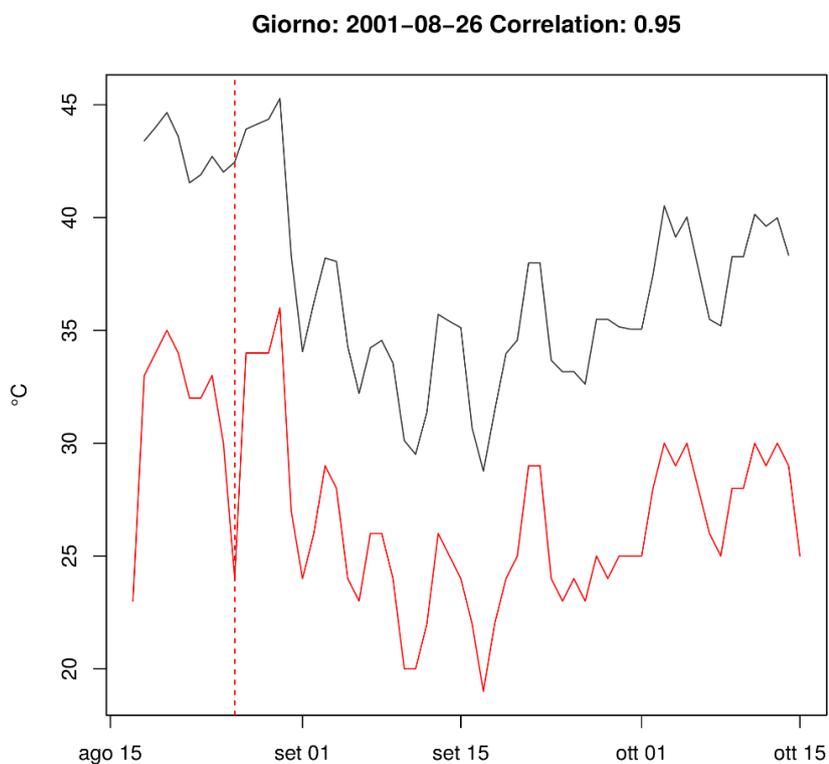
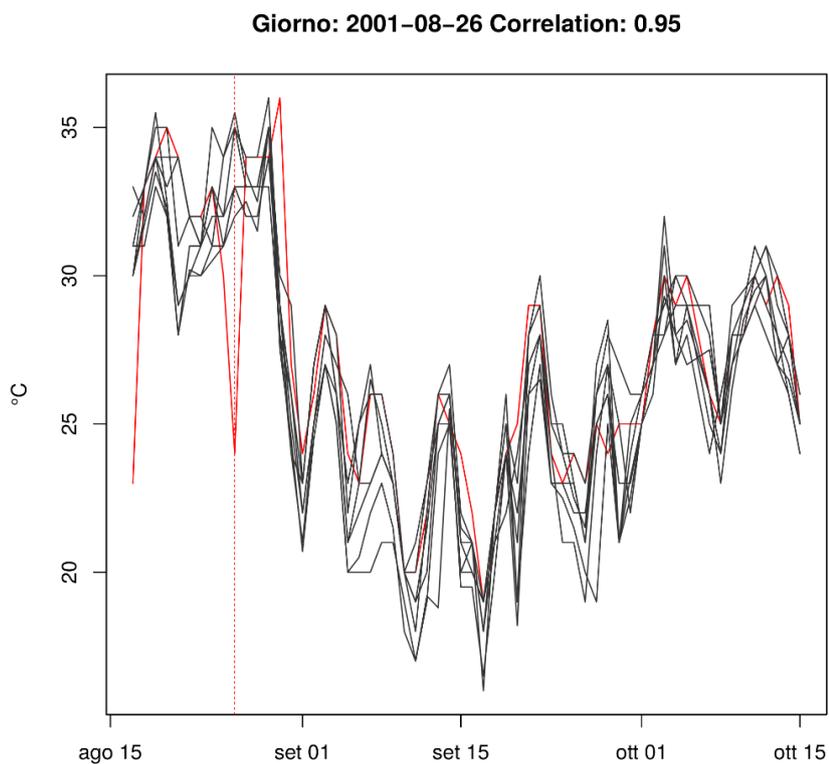
Le stazioni limitrofe (da un minimo di tre a un massimo di sette) vengono individuate in base alla loro completezza, alla distanza dalla stazione target (massimo 35 Km) e ad un indice di *agreement*, che valuta l'accordo tra le osservazioni di ogni stazione con quelle della stazione target.

Per ogni giorno dell'anno, il valore di temperatura nella stazione target viene stimato come media dei valori osservati nelle stazioni limitrofe, nella finestra di tre giorni centrata sul giorno in esame, pesati con i

coefficienti di regressione lineare semplice (rispetto alla serie target) e l'indice di *agreement*. I dati così stimati (variabile indipendente) vengono utilizzati per costruire un modello di regressione rispetto alla serie target (variabile dipendente). I residui della serie target rispetto al modello di regressione vengono quindi utilizzati per identificare eventuali dati anomali. Il valore osservato nella stazione target viene contrassegnato come dato anomalo se sia il residuo, sia il residuo standardizzato eccedono determinate soglie (rispettivamente 8°C per il residuo e 4 per il residuo standardizzato). Il test può essere applicato se il coefficiente di correlazione tra la serie osservata e la serie stimata è maggiore o uguale a 0.8. Per un approfondimento di questo test si rimanda a Durre et al. (2010).

Un esempio di dato anomalo individuato dal test di regressione spaziale, relativo alla stazione di Thiesi, è mostrato nelle **Figure 9a-b**.

Figura 9a-b. Analisi di consistenza spaziale per Temperatura massima della stazione di Thiesi, 26-08-2001.



Il *corroboration* test verifica se il valore da testare cade significativamente fuori dall'intervallo dei valori registrati nelle stazioni vicine.

Le stazioni limitrofe (da un minimo di tre a un massimo di sette) in questo caso sono selezionate solo in base alla loro maggiore vicinanza alla stazione target e alla disponibilità di dati; si ammette una distanza massima dalla stazione target di 20 Km e una differenza massima di quota di 100 m. Ogni osservazione della stazione target viene confrontata con le osservazioni delle stazioni limitrofe all'interno di una finestra di tre giorni centrata sul giorno in esame.

Il *corroboration* test e il controllo di regressione spaziale per la temperatura si completano a vicenda in quanto il primo può essere applicato in giorni e luoghi in cui il controllo di regressione spaziale non può essere utilizzato, per esempio per mancanza di serie sufficientemente complete per il calcolo della regressione, oppure nei casi in cui si ottiene una correlazione troppo bassa fra la serie osservata della stazione target e quella stimata.

D'altra parte il test di regressione spaziale, quando applicabile, riesce a rilevare inconsistenze spaziali di ampiezza minore rispetto a quelle che riesce ad individuare il *corroboration* test.

Tramite le procedure di controllo sono stati esclusi un insieme di dati palesemente errati, ottenendo un sottoinsieme da sottoporre ai test di omogeneità al fine di selezionare le serie omogenee nelle quali le variazioni sono da attribuire esclusivamente a fattori climatici.

ANALISI DI OMOGENEITÀ PER LE SINGOLE SERIE

Al termine dei controlli di qualità, prima di procedere al calcolo degli indicatori climatici si è proceduto ad analizzare l'omogeneità delle serie di dati all'interno del trentennio climatico 1981-2010. Si definisce "omogenea" una serie temporale in cui la variabilità del segnale dipende esclusivamente da fattori climatici (Aguilar et al., 2003)². Tuttavia non è insolito che fattori esterni, anche di natura antropica, possano alterare il segnale di una serie, con evidenti ripercussioni sulla stima dei trend. Le cause più frequenti di disomogeneità artificiali (*breakpoint*) nelle serie temporali sono lo spostamento della stazione di misura, la sostituzione della strumentazione, cambiamenti nell'esposizione dello strumento, adozione di nuove procedure di elaborazione dei dati. Le informazioni che documentano la storia delle stazioni di rilevamento (metadati) costituiscono un importante supporto per lo studio dell'omogeneità di una serie.

Sono state proposte varie tecniche statistiche per valutare l'omogeneità delle serie mensili e annuali (Domonkos and Coll, 2017; Guijarro, 2017; Aguilar et al., 2003)³, con particolare riguardo alle serie di temperatura. Nonostante l'ampia letteratura prodotta, nessuna delle metodologie finora proposte si è imposta come la migliore in assoluto. Alcune tecniche di analisi sono comunque ben consolidate e riconosciute dalla comunità scientifica come "standard" (Reeves et al., 2007). Poiché due diversi metodi applicati a una stessa serie di dati possono produrre risultati differenti, se non addirittura discordanti, si ritiene di buon senso prendere in esame i risultati di più tecniche di analisi, con il supporto dei metadati se disponibili (Wijngaard et al., 2003). Il problema dell'omogeneizzazione si complica ulteriormente quando si

² Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T. C., Wieringa J., 2003: "Guidelines on climate metadata and homogenisation". World Meteorological Organization, WMO-TD No. 1186, WCDMP No. 53, Geneva, Switzerland, 55 pp.

³ Guijarro, J.A. (2017) Daily series homogenization and gridding with Climatol v.3. In: Ninth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Fourth Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 3–7 April, 2017. Geneva: WMO, WCDMP- No. 85.

Domonkos, P. and Coll, J. (2017a) Homogenisation of temperature and precipitation time series with ACMANT3: method description and efficiency tests. International Journal of Climatology, 37, 1910–1921. <https://doi.org/10.1002/joc.4822>.

passa dalla scala annuale e mensile a quella giornaliera. Infatti, l'elevata variabilità che caratterizza le serie dei dati giornalieri può produrre nella serie discontinuità climatiche difficilmente distinguibili da discontinuità artificiali. In mancanza di una metodologia condivisa per l'identificazione e, soprattutto, per la correzione delle disomogeneità su scala giornaliera, il World Meteorological Organization (WMO) (Klein Tank et al., 2009) suggerisce di escludere dall'analisi climatologica le serie che presentano evidenti discontinuità artificiali o, in alternativa, di considerarne solo la parte omogenea.

I test statistici permettono di individuare l'istante temporale in cui potrebbe esistere una discontinuità (*breakpoint*) nel segnale climatico della serie oggetto di analisi (serie candidata).

I test di omogeneità possono essere distinti in: metodi assoluti (Wijngaard et al., 2003)⁴ e metodi relativi (Dunn et al., 2014)⁵. I primi valutano l'autoconsistenza di ciascuna serie di dati (senza il supporto di serie di riferimento esterne), mentre i secondi valutano la consistenza del segnale climatico della serie candidata utilizzando una o più stazioni limitrofe di "riferimento". Solitamente i parametri impiegati per la ricerca delle stazioni di riferimento sono la distanza dalla stazione candidata, la differenza di quota e il coefficiente di correlazione fra le serie di valori medi annuali o stagionali, o cumulate annuali o stagionali.

Sulla base del lavoro Wijngaard et al. (2003), l'omogeneità delle serie di precipitazione giornaliera è stata valutata mediante l'utilizzo di test assoluti di omogeneità applicati alle serie annuali del numero di giorni con pioggia (*wet days*). I test applicati sono:

- lo standard normal homogeneity test (SNHT) per un singolo break (Alexandersson, 1986);
- il Buishand range test (Buishand, 1982);
- il test di Pettitt (Pettitt, 1979) ;
- il test di rapporto di Von Neumann (Von Neumann, 1941).

L'uso congiunto dei 4 test consente di classificare ciascuna serie come:

useful — serie disomogenea per uno o nessun test.

doubtful — serie disomogenea per due test.

suspect — serie disomogenea per tre o quattro test.

Va osservato che per le serie di precipitazione non è stata operata alcuna correzione delle disomogeneità a livello giornaliero. L'uso dei quattro test assoluti ha invece come obiettivo quello di identificare un sottoinsieme di serie potenzialmente omogenee a livello annuale per le serie dei giorni piovosi (e quindi prive di grosse disomogeneità a livello di serie giornaliere di precipitazione).

Le serie di precipitazione su cui applicare il test di omogeneità (che rispettano i criteri di completezza per il calcolo del valore climatologico 1981-2010 del WMO) sono 181. Di queste serie 160 rientrano nella categoria *useful*, 8 sono *doubtful* e 13 sono *suspect*.

Nelle **Figure 10-12** sono riportati a titolo di esempio i risultati relativi alle stazioni di Villasor (*useful*), Orgosolo (*doubtful*) e Ittiri (*suspect*), mentre nella **Figura 13** è rappresentata la distribuzione delle stazioni nelle tre classi.

⁴ Wijngaard A. M., Klein Tank G., Konnen G. P., 2003: "Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series". Int. J. Climatol. 23, 679–692.

⁵ Dunn R. J. H., Willett K. M., Morice C. P., Parker D. E. 2014. Pairwise homogeneity assessment of HadISD. Clim. Past, 10, 1501–1522, 2014

Figura 10. Risultati dell'analisi di omogeneità per la stazione di Villasor nel trentennio 1981-2010 (*useful*).

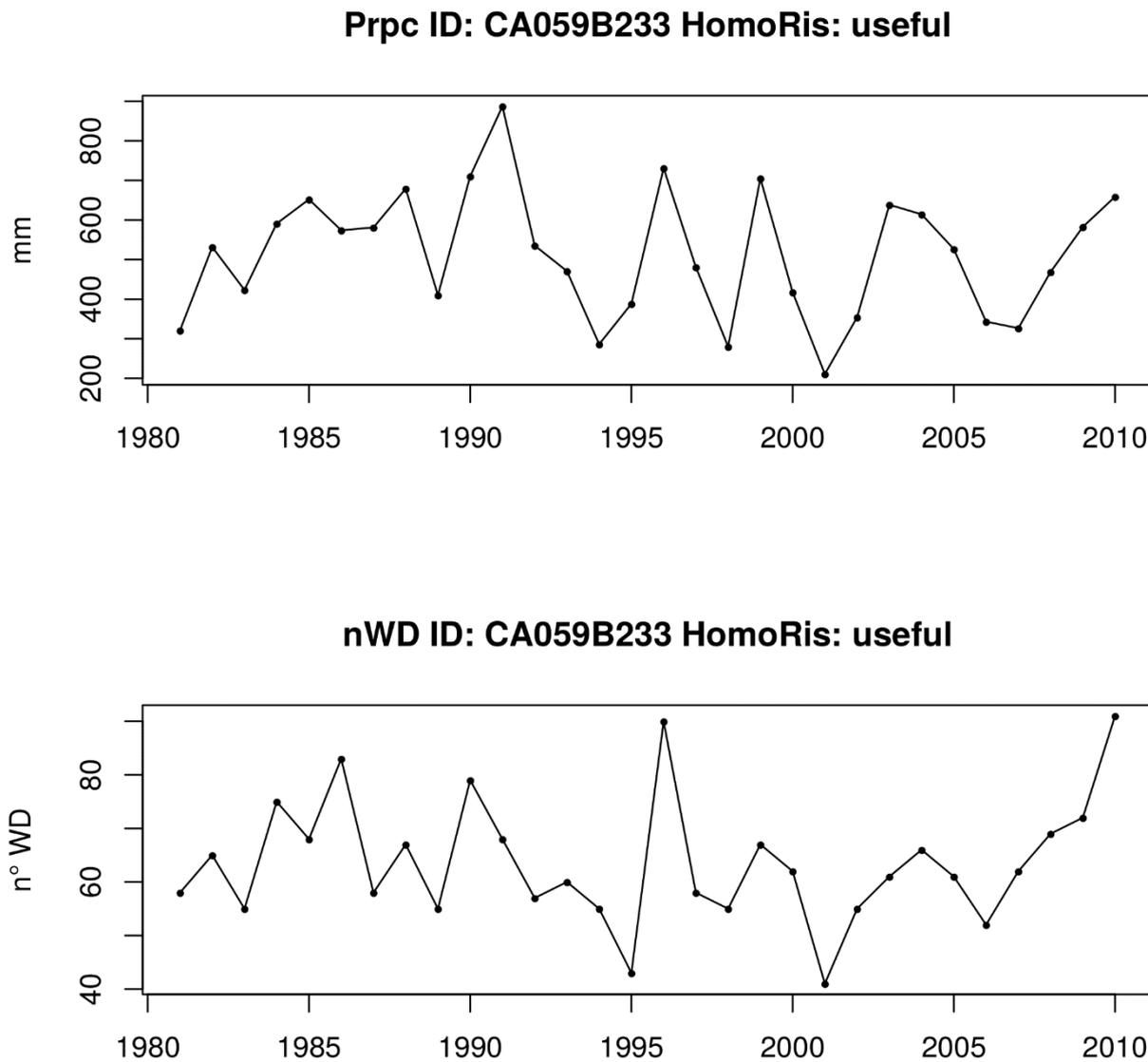


Figura 11. Risultati dell'analisi di omogeneità per la stazione di Orgosolo nel trentennio 1981-2010 (*dubtful*).

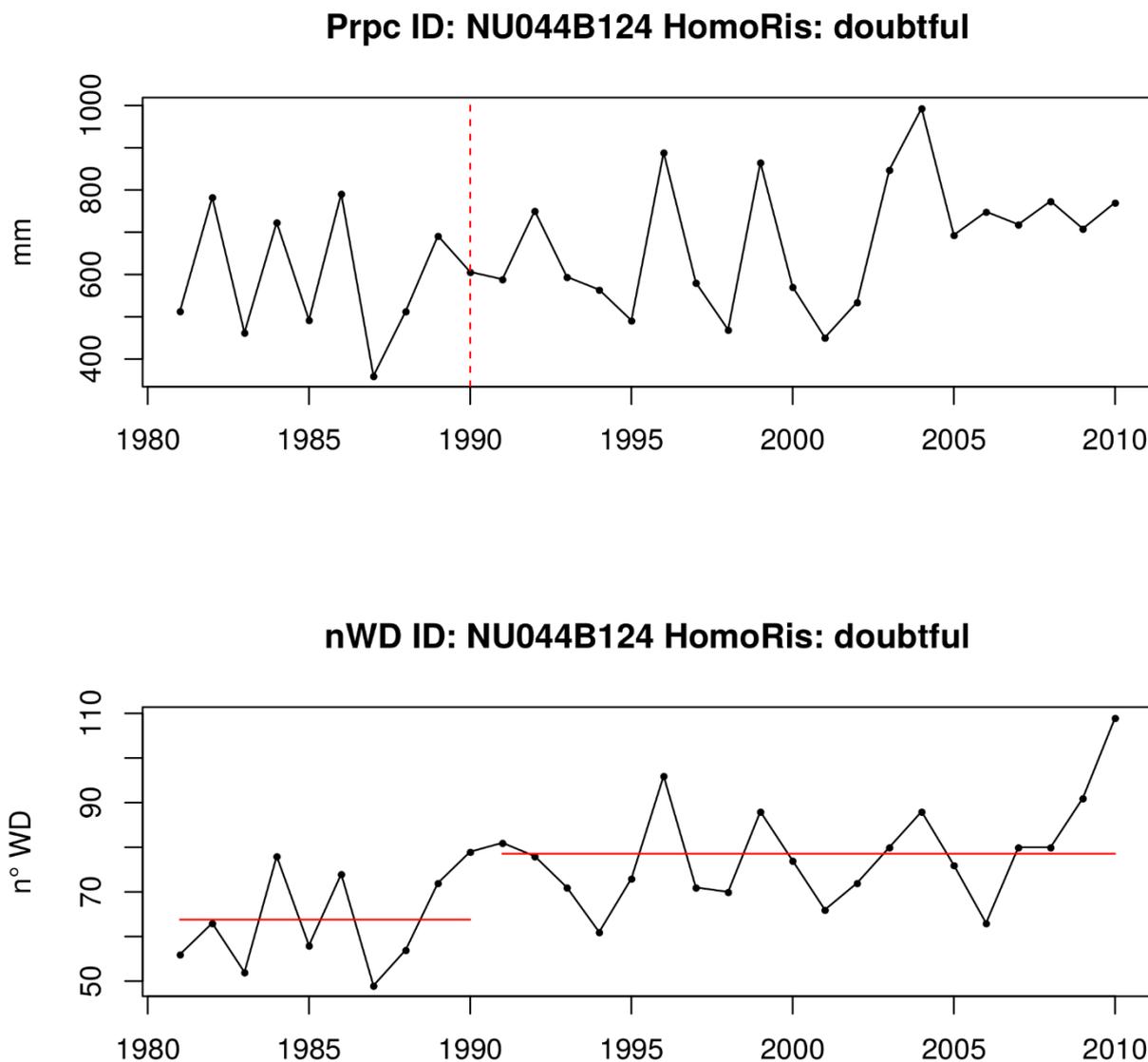
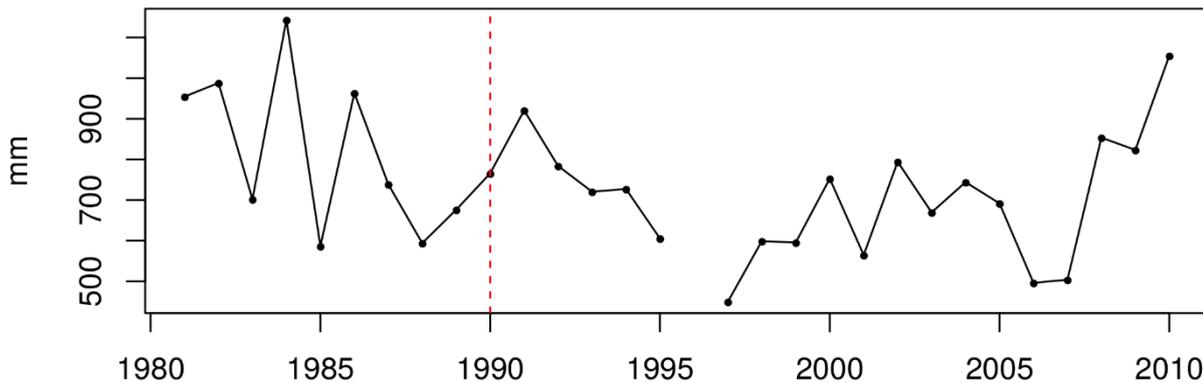


Figura 12. Risultati dell'analisi di omogeneità per la stazione di Ittiri nel trentennio 1981-2010 (*suspect*).

Prpc ID: SS051B087 HomoRis: suspect



nWD ID: SS051B087 HomoRis: suspect

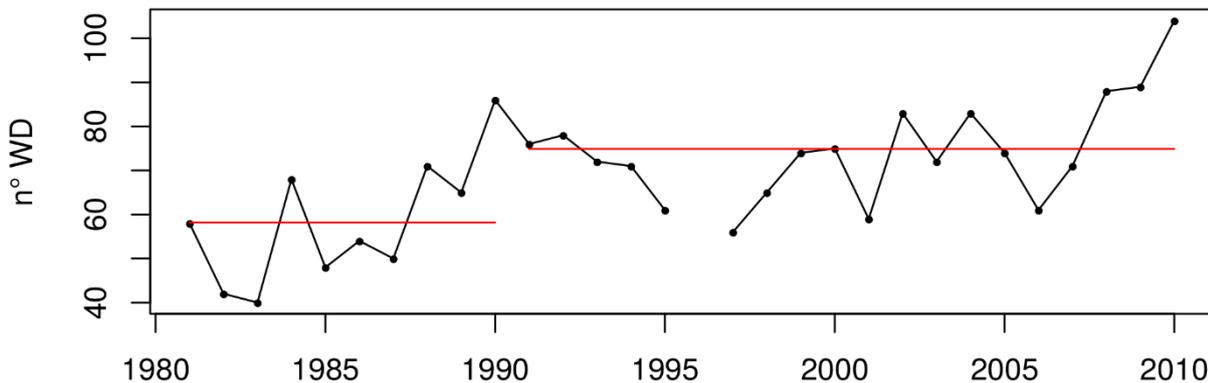
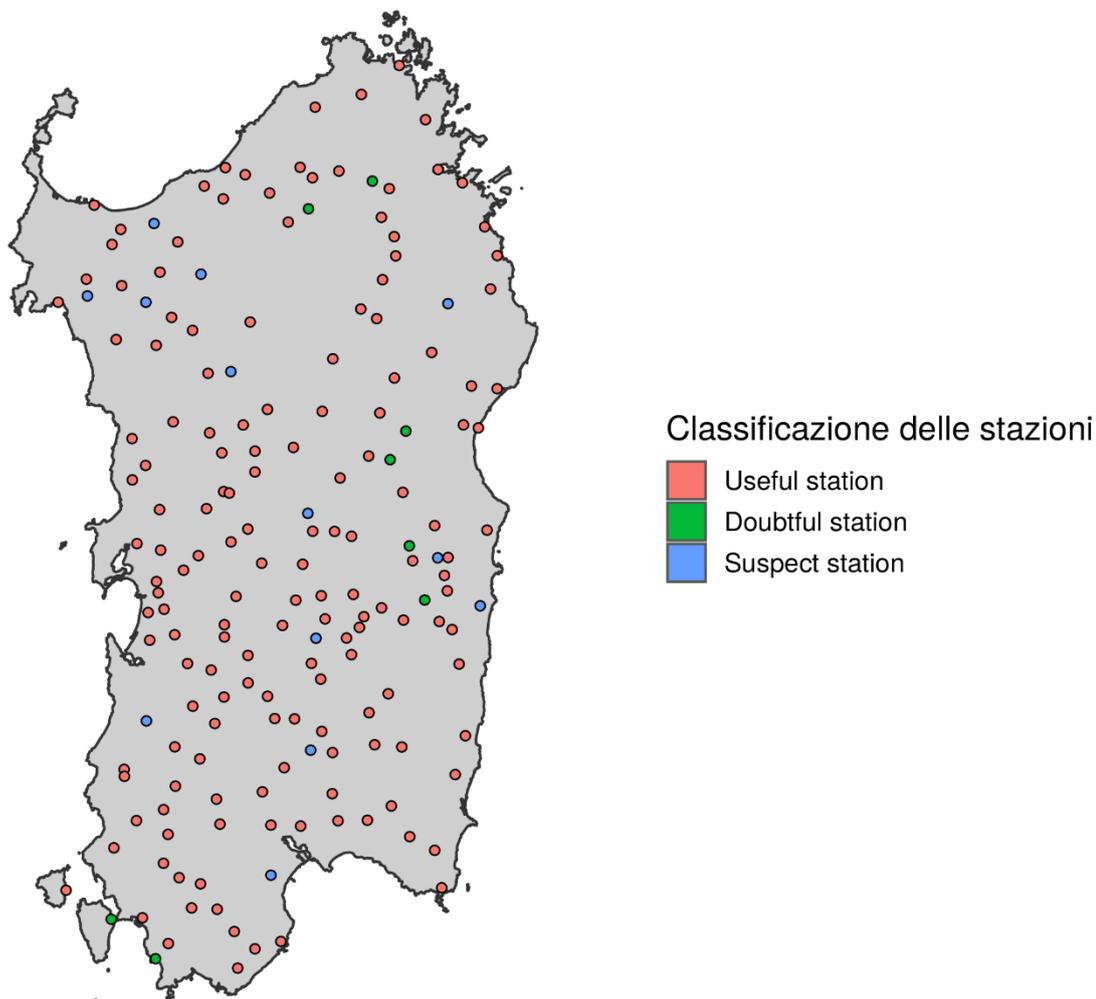


Figura 13. Distribuzione spaziale delle stazioni ricadenti nelle tre classi *useful*, *dubtful* e *suspect*.



Per la temperatura si è analizzata l'omogeneità delle serie e laddove possibile si è condotta una omogeneizzazione.

L'omogeneizzazione delle serie di temperatura consiste sostanzialmente nell'individuazione dei *breakpoint* e nella correzione della serie. Poiché gli effetti tipici dei *breakpoint* riguardano principalmente il valore medio della serie (Wang, 2003), gli approcci presi in esame assumono che in corrispondenza di un *breakpoint* non vi siano cambiamenti nel trend della serie.

L'analisi di omogeneità e di omogeneizzazione dei valori giornalieri di temperatura è stata condotta mediante il pacchetto Climatol di R, per la cui descrizione si rimanda a Guijarro (2019) e Fioravanti (2019). Climatol individua i potenziali *breakpoint* nella serie candidata utilizzando più stazioni di riferimento relativamente vicine, rappresentative della regione climatica a cui appartiene la serie candidata. Le stazioni sono state selezionate tenendo conto della distanza (non superiore ai 200 km), della differenza di quota (non oltre i 400 m) e del grado di correlazione con la serie candidata (coefficiente di correlazione non inferiore a +0.6). Tali requisiti rappresentano un compromesso tra la necessità di disporre di un numero sufficiente (minimo tre, massimo cinque) di serie utili alla costruzione della serie di riferimento e la necessità che tali serie siano rappresentative della climatologia della serie candidata, considerando la variabilità spaziale media della temperatura.

Al termine di questa fase si è individuato un set preliminare di circa 30 stazioni per le quali sono state successivamente calcolate le normali climatologiche.

Dopo questa prima preliminare selezione, tuttavia, è opportuna un'indagine più approfondita allo scopo di riconsiderare alcune stazioni escluse in questa fase, in particolare quelle per le quali non è stato possibile individuare la serie di riferimento.

CALCOLO DELLE NORMALI CLIMATICHE E REALIZZAZIONE DI UN SET PRELIMINARE DI TABELLE, GRAFICI E MAPPE.

Il WMO definisce come “normali climatici standard” le medie di una variabile climatica calcolate per i seguenti periodi consecutivi di 30 anni: dal 1 gennaio 1901 al 31 dicembre 1930, dal 1 gennaio 1931 al 31 dicembre 1960, dal 1 gennaio 1961 al 31 dicembre 1990 e così via (WMO, 2012). I normali climatici standard restano validi a livello internazionale fino alla fine del successivo periodo standard. Oltre ai normali standard, che restano validi per monitorare la variabilità climatica a lungo termine, il WMO suggerisce di calcolare anche i valori normali relativi all'ultimo trentennio disponibile e di aggiornarli alla fine di ogni decennio. Per gli anni in corso il 1981-2010 rappresenta quindi il periodo base fino al 2021, quando il 1991-2020 sarà il nuovo periodo di riferimento. Per quanto riguarda la temperatura, che ha avuto un trend positivo negli ultimi decenni, il periodo 1961-1990 ha infatti perso di validità come base per la valutazione delle condizioni climatiche nel prossimo futuro, mentre i nuovi normali descrivono più fedelmente il clima attuale e rappresentano una base migliore per valutare il clima atteso nei prossimi anni. Il WMO ha inoltre stabilito la procedura di calcolo dei normali, che prevede diversi requisiti di completezza e continuità delle serie (WMO, 2017)⁶ ed è riassunta in quanto segue.

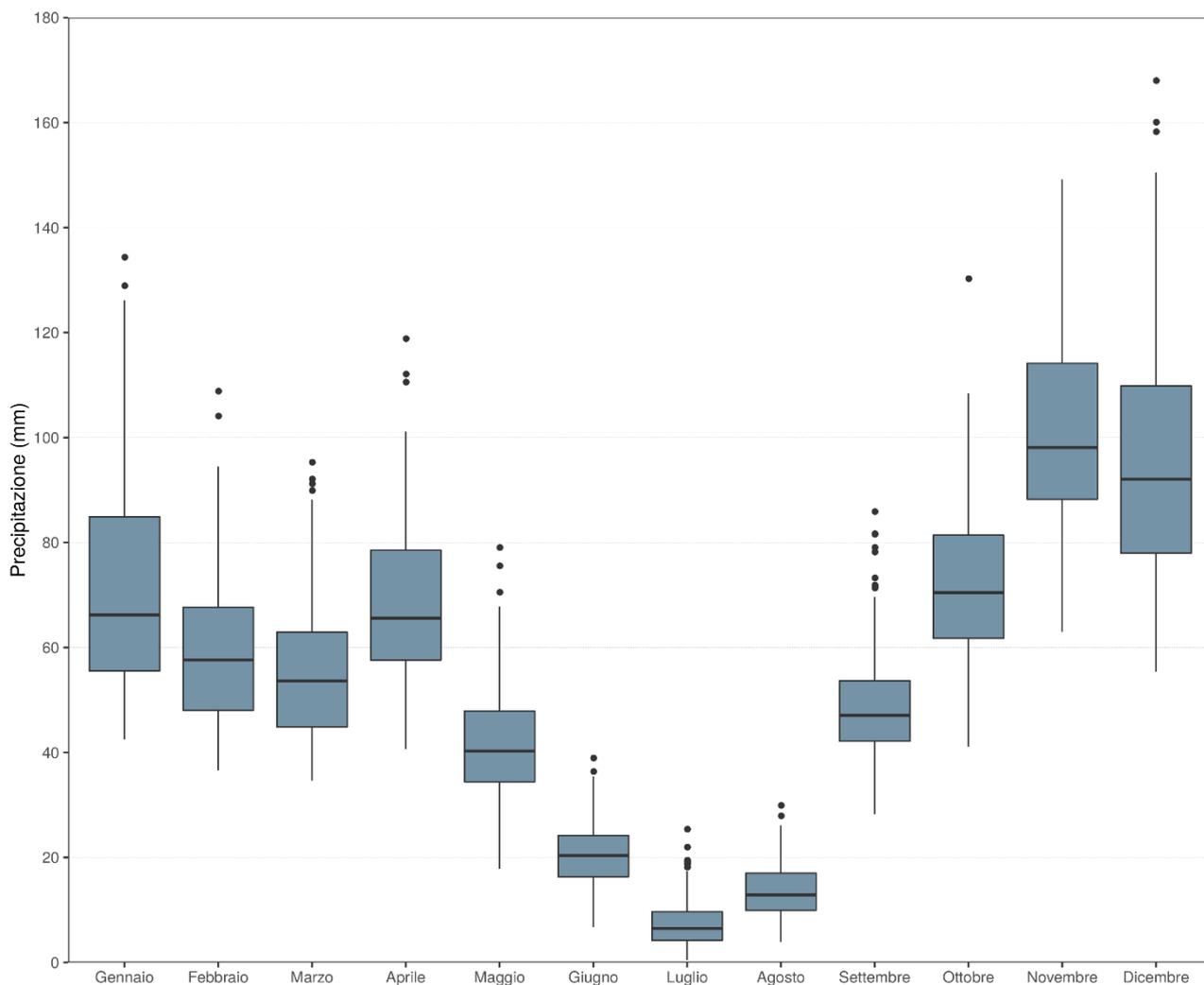
Per i parametri climatici rappresentati dal valore medio come la temperatura, il normale mensile deve essere calcolato sulla base della media dei valori giornalieri del mese, in ogni anno. Un mese è considerato valido se mancano non più di 5 giorni in totale e non più di 3 giorni consecutivi. Per i parametri rappresentati dalla somma, come la precipitazione cumulata, un mese è valido solo se sono presenti i dati di tutti i giorni. Per poter calcolare il normale mensile, sia di temperatura che di precipitazione, è richiesto l'80% dei valori della serie del trentennio.

Il normale annuale deve essere calcolato a partire dai normali mensili come media (o come somma nel caso della precipitazione) dei 12 valori normali mensili, senza considerare la diversa lunghezza dei mesi. Se manca uno dei normali mensili non può essere calcolato il normale annuale. Di seguito sono riportati, in forma grafica e tabellare, i valori climatici trentennali calcolati per le precipitazioni e le temperature minime e massime, per le stazioni selezionate secondo le diverse procedure di controllo precedentemente descritte.

Nella **Figura 14** sono raffigurate, in forma di *boxplot*, le distribuzioni dei dati mensili di precipitazione per le stazioni selezionate (*useful* e *dubtful*).

⁶ WMO, 2017 Guidelines on the Calculation of Climate Normals, (WMO-No. 1203).

Figura 14. Distribuzione dei cumulati di precipitazione mensili per il trentennio 1981-2010 in forma di *boxplot*



Nella **Figure 15 e 16** è rappresentata la distribuzione sulla mappa dei cumulati di precipitazione medi climatici nei singoli mensili per l'intero anno.

Figura 15. Cumulati di precipitazione medi mensili per il trentennio 1981-2010.

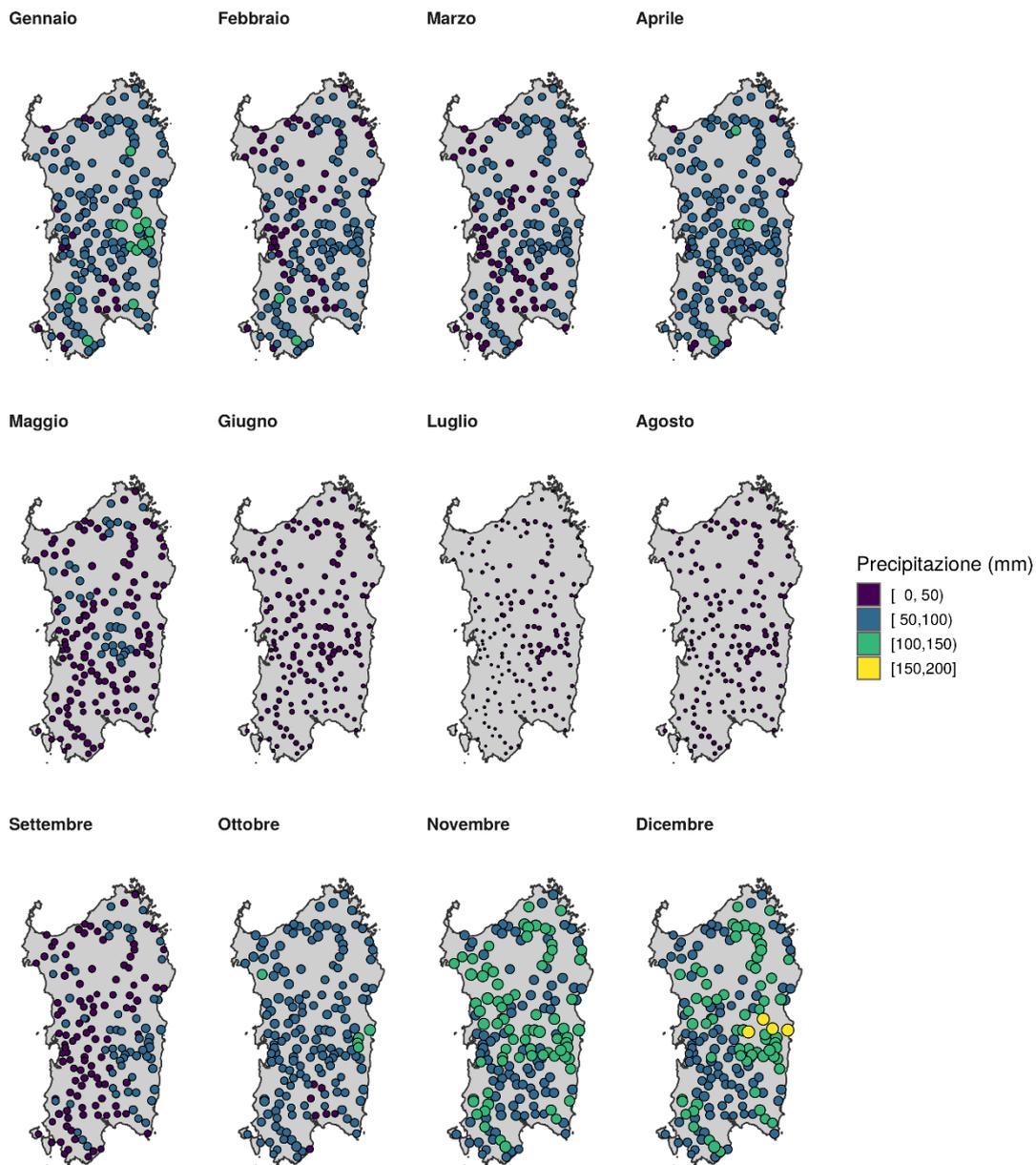
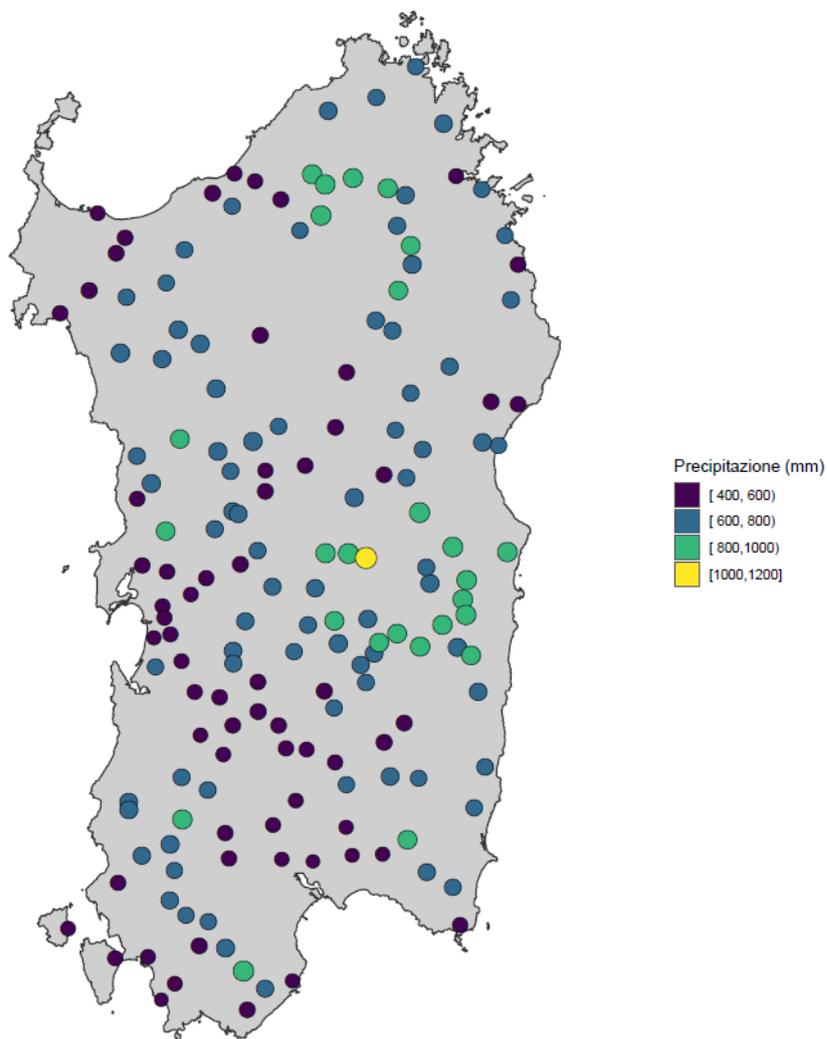
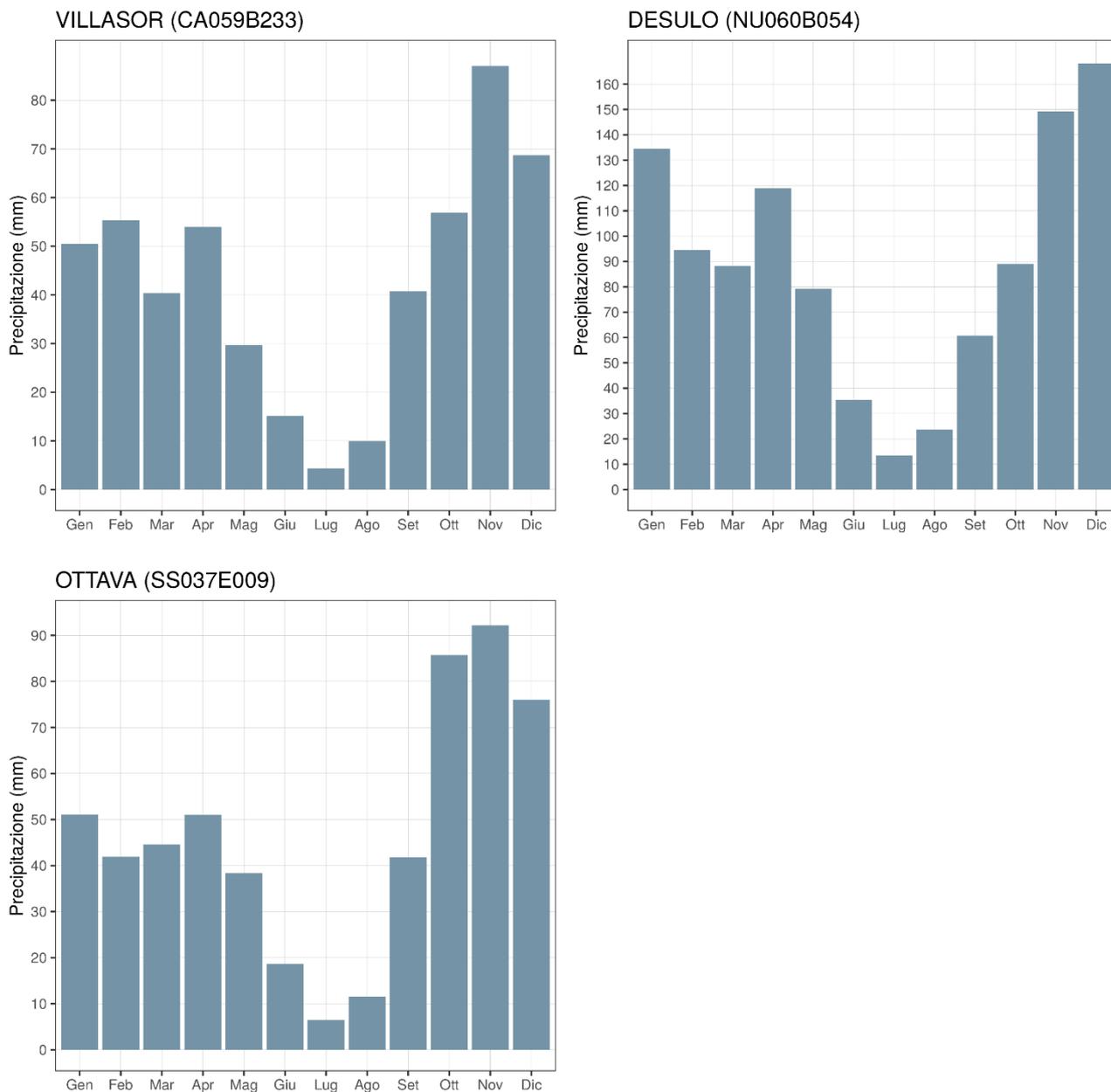


Figura 16. Cumulati di precipitazione medi annuali per il trentennio 1981-2010.



Nella **Figura 17** sono riportati a titolo esemplificativo i barplot dei cumulati medi mensili per tre stazioni rappresentative.

Figura 17. Rappresentazione grafica dei cumulati medi mensili del trentennio 1981-2010, per le stazioni di Villasor, Desulo e Ottava.



Nelle tabelle seguenti sono riportati i cumulati di precipitazione medi climatici mensili e annuali per le stazioni selezionate **Tabella 1a-c**.

Tabella 1a – Cumulati di precipitazione medi climatici mensili e annuali - trentennio 1981-2010.

Stazione	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	ANNO
ABBASANTA	74.2	68.1	55.6	76.6	46.7	25.9	9.7	11.8	50.2	75.6	115.5	98.8	708.6
AGGIUS	92.8	70.6	75.9	85.6	64.9	26.1	8.7	23.2	59.9	91.4	137.4	135.8	872.1
AGLIENTU	73.1	52.0	62.7	84.9	55.2	23.7	6.6	16.1	58.3	85.9	113.8	104.3	736.7
ALA' DEI SARDI	100.1	71.4	80.1	80.3	49.7	32.9	12.5	21.9	46.9	71.1	114.2	131.4	812.5
ALES	75.1	65.8	55.5	75.5	47.9	23.8	4.1	12.9	40.8	78.0	102.5	96.2	678.2
ARBOREA	65.3	52.6	46.5	63.9	34.4	15.5	2.2	6.2	45.1	82.6	105.5	85.1	604.9
ARZANA	97.4	88.7	92.2	72.0	36.0	21.1	8.6	18.5	86.0	103.1	137.6	135.3	896.6
BACU ABIS (FLUMENT.)	56.0	58.3	40.9	56.0	31.8	16.7	1.1	7.2	37.0	68.2	92.6	82.2	548.1
BANCALI (MACCIADOSA)	47.8	43.5	43.7	54.0	39.7	18.5	5.9	13.8	42.6	83.3	93.6	81.2	567.6
BARADILI F.C.	59.3	50.2	46.2	62.1	36.9	21.4	5.4	9.8	41.2	65.3	82.1	75.3	555.1
BASSACUTENA	59.6	50.8	53.9	63.7	47.9	20.7	6.5	16.3	47.9	81.8	94.5	92.1	635.5
BAU MELA	102.4	61.1	54.4	51.1	33.8	18.1	13.7	15.4	33.9	70.7	84.7	122.2	661.4
BAU MUGGERIS	99.0	68.1	53.9	64.6	44.0	19.0	17.1	25.2	62.0	77.3	101.5	132.0	763.7
BAUNEI	90.4	74.8	72.7	71.9	29.3	15.7	6.3	20.3	81.8	130.4	146.9	160.2	900.9
BENETUTTI	53.4	45.0	40.1	62.7	46.9	23.7	11.9	17.1	43.1	62.1	86.9	76.4	569.2
BIDIGHINZU	71.8	61.6	59.9	79.4	55.9	27.3	4.3	12.9	45.5	97.7	120.4	106.9	743.5
BOLOTANA	73.3	51.1	49.3	74.0	35.7	24.5	8.7	9.7	28.3	54.4	108.2	104.8	622.1
BONORVA	75.5	62.5	60.4	78.1	58.2	31.5	10.3	13.5	48.1	88.2	123.9	102.3	752.5
BORORE (CABINA)	66.6	58.5	49.5	73.9	44.4	23.7	5.7	12.6	41.0	69.1	105.5	90.9	641.6
BUDDUSO'	86.6	54.8	59.8	71.0	48.7	35.1	17.4	19.7	45.8	54.6	103.9	107.1	704.6
BUDONI (C.RA)	50.3	41.0	47.7	52.8	37.1	16.3	4.7	12.9	39.0	77.5	100.6	81.0	560.9
BURCEI	106.8	85.8	79.3	78.7	51.9	18.9	15.3	16.7	69.6	77.5	113.4	126.1	840.1
BUSACHI	63.7	57.6	52.7	69.9	47.6	23.7	6.9	9.7	49.2	76.7	101.6	87.2	646.5
CADDAU (C.RA)	95.6	72.7	90.0	101.1	67.8	29.1	8.6	30.0	58.5	93.3	130.0	127.9	904.8
CALA GONONE	57.8	45.5	43.4	43.9	31.6	13.7	9.1	18.4	57.6	84.1	97.4	99.7	602.3
CALANGIANUS	99.2	65.7	73.2	89.8	51.9	31.0	12.6	20.0	58.6	79.9	131.9	138.5	852.4
CAMPUOMU (CASERMA)	91.5	66.5	58.4	59.3	39.4	13.4	8.1	12.8	53.7	67.8	101.4	101.3	673.6
CARGEGHE	60.2	48.4	47.9	59.7	39.8	22.2	6.3	13.5	41.7	76.3	100.0	89.2	605.1
CARLOFORTE	49.8	47.0	37.5	52.2	24.9	11.7	1.2	10.4	38.6	59.8	81.0	72.4	486.5
CASTIADAS	66.5	61.2	59.3	69.9	34.2	10.9	5.2	10.4	57.3	70.8	93.9	101.4	640.9
COGHINAS (C.RA)	50.1	45.7	50.7	58.2	46.0	21.4	3.7	16.2	41.0	61.8	92.1	84.2	571.0
COL.PENALE SARCIDANO	74.9	70.5	63.2	89.0	60.7	32.2	11.2	17.2	55.3	77.7	110.6	106.5	768.8
CORONGIU	50.5	47.6	43.8	45.4	26.8	11.7	6.4	7.6	40.4	41.1	65.4	76.2	463.0
CUGLIERI	79.4	64.5	63.1	74.8	53.2	24.5	6.0	12.1	48.9	92.6	138.6	107.9	765.7
DECIMOMANNU (VIVAIO)	42.7	48.1	34.7	46.3	22.3	12.5	3.8	6.4	41.4	55.1	95.9	61.0	470.3
DESULO	134.5	94.5	88.2	119.0	79.2	35.4	13.5	23.6	60.7	89.0	149.2	168.1	1054.9
DOLIANOVA F.C.	43.6	41.0	43.0	47.8	31.4	11.5	6.7	8.1	43.7	50.5	67.5	63.7	458.7
DOMUS DE MARIA	70.5	61.4	56.0	60.6	29.2	9.3	3.7	10.0	42.7	61.1	79.9	83.0	567.5
DORGALI	79.4	63.0	65.6	65.8	35.3	20.3	7.3	13.9	57.8	79.3	115.8	131.7	735.3
ESCALAPLANO	60.3	54.6	45.4	59.3	39.4	17.3	13.3	19.5	52.2	50.8	83.4	78.6	574.1
ESTERZILI F.C.	81.2	65.0	56.0	78.9	58.3	25.2	17.3	18.7	55.8	67.2	96.5	90.2	710.2
FERTILIA	54.6	43.1	41.3	52.7	41.3	19.8	5.1	7.6	38.9	74.7	108.6	75.7	563.4
FLUMINIMAGGIORE	88.6	70.2	58.0	79.8	40.7	22.0	2.2	8.5	49.2	83.1	121.7	108.6	732.7
GAIRO TASQUISARA	126.1	75.6	64.9	87.2	44.1	18.0	18.3	20.2	67.8	84.3	126.0	131.6	864.0
GALTELLI'	61.1	50.3	53.1	47.3	30.5	13.9	8.9	9.6	43.4	62.3	99.8	96.2	576.4
GAVOI	86.8	56.6	58.8	83.5	59.8	28.6	19.3	20.8	52.1	77.2	111.7	116.7	771.8
GENNA CRESIA (C.RA)	93.8	79.4	76.0	69.2	33.8	17.1	12.6	11.0	79.2	96.9	142.7	124.5	836.2
GENONI	67.3	58.6	53.3	73.2	50.8	21.8	4.0	12.1	42.4	64.5	101.7	83.6	633.3
GERGEI	63.2	51.7	47.9	64.4	41.8	27.3	8.8	12.3	48.6	59.4	88.9	80.9	595.1
GHILARZA	66.5	65.5	55.6	80.2	46.9	21.8	12.6	12.5	47.7	89.0	117.2	105.5	721.2
GONI	61.5	58.1	48.7	68.3	38.2	16.9	11.2	16.6	49.5	57.5	84.9	86.9	598.3
GONNOSFANADIGA	78.2	68.0	62.4	71.4	37.7	20.5	2.7	9.9	46.3	68.1	105.3	97.8	668.3
GUASILA	49.3	47.6	46.7	57.6	36.4	20.4	6.1	11.6	42.3	47.0	78.0	70.2	513.2
IDROVORA SASSU	46.6	40.4	35.3	49.9	27.7	11.2	2.0	3.9	35.0	61.7	85.4	63.7	462.7
IGLESIAS	80.4	71.8	56.7	73.6	35.2	19.8	1.6	7.5	49.3	78.2	111.5	102.2	687.7
IS CANNONERIS	122.6	109.0	95.4	110.7	49.6	21.6	4.5	17.0	61.8	96.7	133.9	146.8	969.5

Tabella 1b – Cumulati di precipitazione medi climatici mensili e annuali - trentennio 1981-2010.

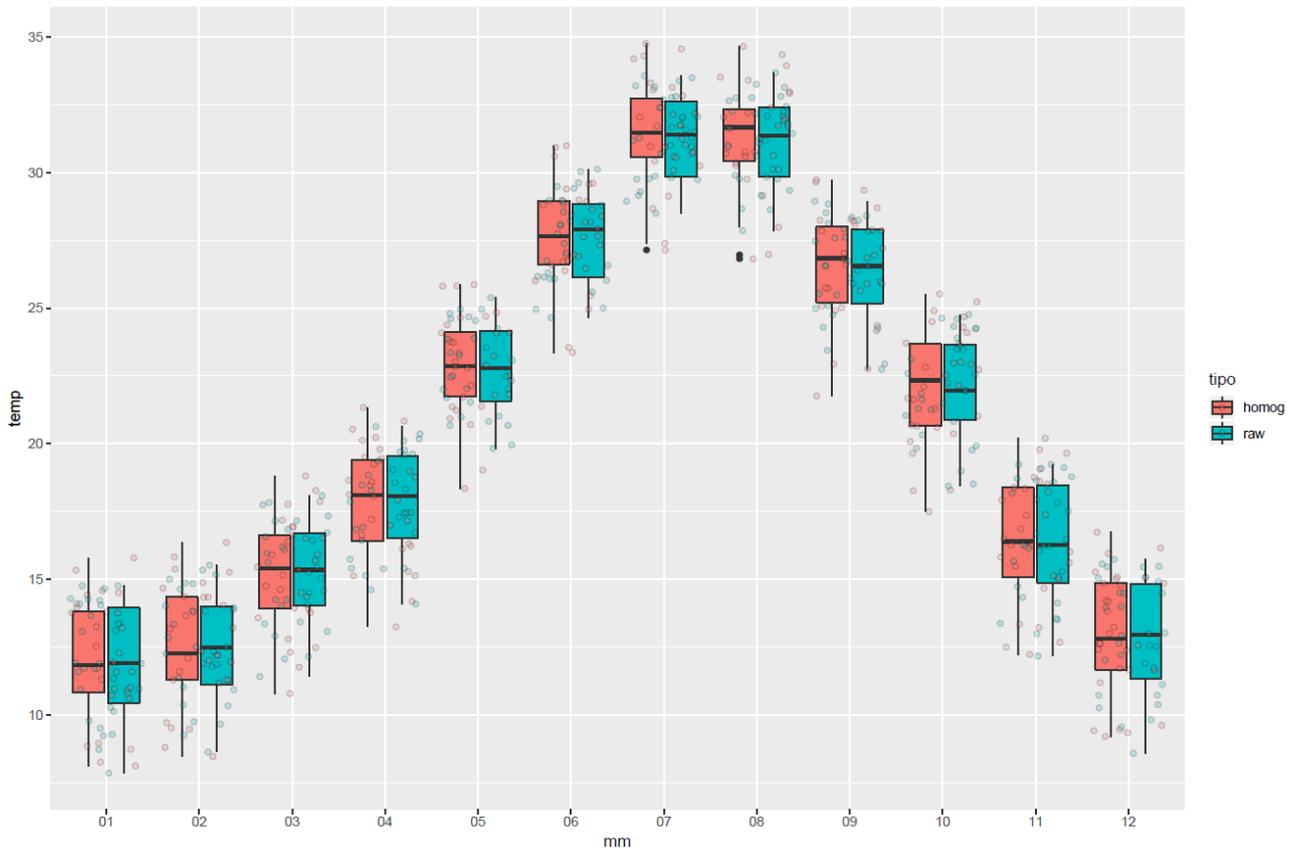
Stazione	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	ANNO
ITTIREDDU	57.3	45.1	48.6	63.9	48.0	20.0	11.8	17.5	46.9	75.9	84.8	74.9	594.8
JERZU F.C.	90.7	77.7	73.4	73.0	32.4	13.7	9.0	20.3	71.8	68.1	130.2	120.1	780.3
LACONI	65.7	59.4	56.1	78.5	55.4	24.4	10.2	13.1	50.9	68.3	97.2	84.4	663.7
LANUSEI	103.0	84.1	83.7	85.7	39.2	20.3	9.4	20.2	81.7	101.8	144.2	138.2	911.5
LULA	88.4	60.8	61.0	64.1	35.8	24.5	12.6	17.5	44.4	66.1	96.8	109.0	680.9
LUNAMATRONA	60.9	56.3	53.9	68.7	43.2	22.4	4.8	11.0	43.1	59.9	89.3	82.6	596.1
MACOMER	80.6	69.5	62.9	83.1	56.5	27.1	6.7	15.7	47.1	75.2	117.1	110.4	751.8
MAMOIADA	58.0	47.8	43.2	65.3	38.2	20.5	9.6	15.1	39.9	61.1	84.1	90.1	573.0
MANDAS F.C.	64.7	57.6	52.9	73.7	44.7	22.9	7.3	11.8	50.4	61.4	91.6	88.4	627.4
MARRUBIU (C.RA)	54.5	45.4	40.1	55.1	28.9	15.9	2.1	4.9	38.5	71.3	83.8	71.4	511.8
MAZZINAIU (C.RA)	91.6	63.1	73.9	81.6	45.6	25.2	9.3	20.7	47.3	75.5	104.9	123.4	762.1
MEANASARDO	70.5	62.0	58.4	85.2	59.1	28.4	9.2	14.4	44.0	75.3	105.7	96.3	708.4
MOGORELLA	69.7	61.2	55.4	79.9	48.4	26.4	5.2	11.6	47.6	76.7	105.0	92.2	679.4
MOGORO	55.4	50.7	48.4	59.3	39.3	16.9	2.5	7.2	42.7	62.5	93.8	76.9	555.6
MONTES	129.1	92.6	82.3	92.3	51.8	22.8	14.4	19.9	59.0	82.4	127.7	158.4	932.6
MONTI	78.6	48.7	66.5	71.9	39.6	21.2	6.3	18.5	50.6	68.2	99.4	107.4	677.0
MONTIMANNU (CASERMA)	109.4	104.2	77.5	93.8	42.7	22.0	5.4	10.9	51.4	84.0	131.8	140.3	873.2
MURAUVERA	57.5	53.7	52.4	59.3	26.2	9.6	7.3	12.1	66.6	82.4	110.6	88.5	626.0
MURTA MARIA	56.7	46.6	62.0	52.7	40.3	18.1	7.8	17.1	49.0	69.8	99.5	89.8	609.5
MUZZONE (LAGO)	58.2	47.3	56.7	64.3	45.5	22.8	4.5	17.9	44.6	64.2	91.7	86.6	604.1
NARCAO	69.2	67.5	52.6	59.6	31.5	15.2	2.8	11.9	43.0	67.8	93.7	90.3	605.1
NORAGUGUME	55.7	45.1	36.7	59.7	40.2	23.4	11.5	13.3	36.7	51.9	81.6	70.6	526.3
NUORO	73.9	56.5	52.3	65.8	40.7	20.4	9.5	20.6	47.0	61.0	75.7	91.2	614.6
NURAGHE PRANU ANTONI	54.9	49.6	46.6	66.7	39.2	20.3	4.5	8.2	45.3	67.4	91.4	79.6	573.7
NURAMINIS	47.8	49.0	42.9	52.6	32.7	15.0	2.8	9.7	44.6	46.2	86.4	69.6	499.3
NURRI F.C.	67.6	60.5	50.0	72.4	53.1	21.7	12.9	15.1	51.5	63.6	83.7	88.9	640.9
NUXIS	69.1	62.5	50.1	60.3	34.7	17.0	2.8	11.3	51.3	65.8	93.5	95.2	613.7
OLBIA	55.9	38.5	51.2	49.7	35.2	16.7	6.3	13.9	35.1	57.2	82.7	77.0	519.5
OLIANA	88.8	59.2	53.4	59.4	35.0	20.3	8.4	11.2	49.6	69.0	78.4	108.1	640.8
OLMEDO	52.7	47.8	48.9	54.0	41.6	18.0	3.8	10.4	46.1	86.6	101.6	78.1	589.4
ORGOSOLO	81.6	59.2	54.8	79.5	42.0	19.3	12.3	12.4	41.7	61.9	86.3	100.4	651.3
ORISTANO	51.6	48.1	39.3	56.2	32.3	14.1	2.6	6.5	33.5	62.6	91.1	70.0	507.8
OROSEI	51.7	45.0	41.6	44.6	31.7	16.3	6.5	10.9	45.8	77.5	99.7	87.5	558.8
ORUNE	89.0	53.3	51.7	74.9	42.2	20.3	11.9	14.1	33.9	53.4	90.4	101.1	636.2
OSILO	62.4	53.8	50.6	62.8	47.5	24.3	4.5	11.9	47.9	85.7	101.9	96.3	649.7
OTTANA	53.1	47.4	42.6	58.7	42.6	24.2	18.9	11.8	45.6	61.9	82.4	69.0	558.2
OTTAVA	51.1	41.9	44.6	51.0	38.4	18.7	6.5	11.5	41.8	85.7	92.2	76.0	559.3
PABILLONIS	52.5	42.4	43.7	49.8	29.4	13.0	2.2	7.6	41.0	54.2	71.8	66.7	474.3
PALAU	61.1	45.3	63.9	58.0	42.2	22.9	5.6	16.5	49.5	76.8	99.1	89.9	630.8
PALMAS SUERGIU	49.8	52.6	43.1	55.2	27.0	10.9	1.0	5.6	42.2	62.7	84.1	74.8	509.3
PANTALEO	92.8	82.0	63.9	71.6	44.0	21.3	5.0	18.0	58.0	82.9	107.8	112.0	759.4
PAULILATINO	66.0	60.0	51.8	72.3	42.4	27.2	6.9	10.4	42.9	76.1	114.1	101.5	671.7
PISCINAMANNA	80.2	74.7	63.2	87.8	35.8	13.6	6.0	13.0	47.4	62.9	91.1	106.3	681.9
PORTO PINO	48.9	47.3	41.4	40.6	17.8	6.7	0.5	8.2	36.5	51.6	63.0	55.4	417.8
PORTO TORRES	44.5	37.3	41.8	47.6	33.3	13.6	3.3	9.8	42.6	82.9	89.4	65.9	511.9
PULA	56.7	52.6	39.1	49.2	23.5	9.5	3.5	8.2	34.3	47.8	63.8	78.4	466.7
RIOLA	55.1	49.8	46.4	57.9	35.9	17.1	2.6	8.2	40.4	71.5	96.7	78.4	560.1
ROMANA	72.8	56.9	56.3	81.1	43.1	27.0	7.7	12.5	46.5	86.5	128.6	99.6	718.7
S.ANDREA FRIUS	53.9	58.9	53.1	73.6	43.7	18.1	8.3	13.4	53.7	59.9	88.5	87.6	612.6
S.ANNA	45.6	47.9	39.1	56.6	38.1	16.1	2.8	7.7	40.6	69.7	87.8	70.1	522.2
S.ANNA ARRESI	50.7	54.6	47.5	47.8	26.8	10.6	1.0	10.5	43.9	58.7	78.6	72.3	502.9
S.ANTIOCO	56.2	57.1	42.2	53.3	28.6	12.1	0.6	7.4	41.9	60.3	83.5	73.9	517.1
S.BARBARA (C.RA)	59.1	54.5	50.8	59.2	25.3	11.6	7.5	10.7	78.3	85.8	99.2	96.6	638.5
S.GAVINO MONREALE	52.0	44.1	41.0	53.1	31.4	13.1	2.0	7.9	44.6	52.6	77.9	67.1	486.9
S.GIOVANNI COGHINAS	60.4	43.8	47.3	55.4	42.9	24.3	4.2	12.0	47.8	74.1	98.9	87.1	598.2
S.GIOVANNI DI DOMUSNOVAS	89.9	84.4	66.5	77.5	39.6	19.1	3.2	10.5	48.6	73.0	117.8	115.3	745.1

Tabella 1c – Cumulati di precipitazione medi climatici mensili e annuali - trentennio 1981-2010.

Stazione	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	ANNO
S.GIUSTA	52.9	46.8	37.7	54.8	34.5	13.5	1.5	5.5	39.6	71.8	95.3	74.6	528.4
S.MARIA COGHINAS	46.2	39.6	42.8	51.3	38.6	17.0	6.2	16.5	41.9	67.6	84.2	78.3	530.2
S.NICOLO' GERREI	82.3	74.3	68.9	78.0	44.5	19.2	10.8	16.7	63.3	67.5	95.7	119.0	740.2
S.PANTALEO	76.9	59.8	67.7	68.8	52.8	24.9	5.9	21.5	52.4	76.8	119.2	103.1	729.9
SA PIRA (CASERMA)	45.2	45.0	40.0	50.9	28.6	11.4	6.8	9.0	41.5	45.7	66.0	62.9	452.9
SA TEULA CENTRALE	103.2	83.1	82.5	75.1	34.3	20.3	12.0	18.2	72.0	108.4	138.1	146.4	893.7
SADALI F.C.	95.9	80.0	67.4	86.6	62.9	31.4	18.9	20.2	56.5	72.3	115.0	120.2	827.3
SAMUGHEO	66.4	60.9	55.8	80.1	51.7	24.8	7.6	14.2	45.1	71.4	104.0	92.0	674.0
SANTA LUCIA	50.4	47.2	40.1	54.5	36.1	16.6	3.9	7.9	38.9	69.5	97.5	74.1	536.7
SANTA SOFIA	86.8	78.6	71.2	94.7	64.1	36.5	12.1	14.0	55.6	81.3	122.8	120.0	837.7
SANTA VITTORIA	50.8	44.8	42.4	58.5	34.4	18.0	4.7	7.2	40.5	69.2	96.0	74.9	541.4
SANTADI	64.0	63.3	56.0	59.8	33.7	14.7	2.0	16.5	43.1	63.3	83.8	88.5	588.6
SARDARA	56.2	50.5	50.7	62.0	38.1	20.2	2.8	6.8	47.1	59.4	80.9	74.7	549.5
SEDILO	58.3	45.0	44.9	65.4	41.1	23.6	7.7	13.7	42.8	65.1	91.0	78.6	577.2
SEDINI	63.6	50.4	54.1	68.0	42.0	22.0	4.9	16.1	47.2	71.5	96.1	95.1	631.0
SEGARIU	53.6	50.9	44.6	59.7	35.1	21.0	5.7	11.3	38.7	52.8	88.3	73.8	535.5
SENEGHE	89.2	74.3	66.7	84.8	57.6	21.9	5.3	7.7	58.6	81.2	140.6	128.9	816.8
SENBORBI F.C.	49.2	49.0	41.8	63.7	38.1	14.5	7.0	13.3	52.1	47.7	74.4	74.1	525.0
SESTU (C.RA)	42.5	38.8	34.6	42.5	25.7	10.2	1.3	7.0	33.6	44.1	67.2	56.5	404.1
SEUI F.C.	100.7	78.0	64.7	86.1	59.0	32.1	25.5	28.1	60.3	69.3	108.4	122.4	834.7
SEULO	83.8	73.6	62.0	77.7	54.5	29.7	22.1	20.0	51.0	65.4	96.0	105.2	741.1
SIG.MARTA (C.RA)	61.2	47.6	43.6	61.4	50.3	22.6	15.3	16.8	39.7	60.1	86.8	75.3	580.7
SILANUS	87.9	72.4	65.7	94.9	52.2	25.9	12.4	18.8	43.4	75.8	124.3	109.7	783.4
SILIQUA	57.7	54.4	38.1	58.9	27.9	18.8	5.2	7.7	43.0	57.8	93.2	77.2	539.9
SIMAXIS	49.0	43.1	37.6	55.5	32.6	15.1	2.8	6.9	39.3	60.8	85.8	70.4	499.0
SINDIA	77.4	64.8	66.4	88.4	58.0	26.9	8.3	15.0	63.9	96.4	142.4	110.6	818.6
SORGONO	93.6	74.7	71.0	100.2	70.7	32.2	11.8	13.5	55.3	87.0	128.6	124.9	863.6
SOS CANALES (DIGA)	84.7	63.0	62.3	70.8	47.8	24.3	14.5	20.6	38.6	60.0	92.7	107.7	687.1
SU ZURFURU (M.RA)	85.5	75.4	62.7	79.9	43.6	19.7	2.4	8.1	53.0	88.2	122.2	115.5	756.3
SUAREDDA	57.8	47.1	56.7	57.5	40.7	21.0	5.6	11.1	53.4	76.3	96.4	87.5	611.3
TALANA	115.0	92.3	76.0	97.5	44.1	17.8	12.8	18.0	73.4	97.1	127.1	150.5	921.7
TARONI (C.RA)	99.5	72.0	91.3	84.7	50.8	31.5	11.6	22.7	59.5	77.1	114.3	137.0	852.3
TEGA (C.RA)	48.9	43.0	42.5	54.6	35.2	18.2	2.7	7.5	42.2	68.0	93.3	77.7	533.8
TEITI	84.2	54.1	75.9	71.5	43.9	20.9	8.3	15.1	56.5	71.0	100.0	115.0	716.3
TEMPIO	96.5	74.3	77.1	83.6	61.0	27.7	9.6	26.1	62.2	88.7	135.2	140.0	882.1
TERRASEU	76.5	76.3	59.4	76.0	35.8	20.3	2.7	10.9	48.0	70.2	108.1	105.4	689.6
TERTENIA	87.5	65.9	66.1	58.6	26.7	12.3	8.6	10.6	71.5	86.1	111.7	113.8	719.5
THIESI	72.1	66.2	60.3	87.3	50.1	26.2	6.7	17.0	50.9	94.8	114.0	110.8	756.4
TONARA	101.2	79.6	77.1	112.2	75.7	39.1	12.9	20.3	56.9	86.3	136.6	144.6	942.6
TORPE'	64.2	52.0	61.1	59.6	35.8	18.7	5.5	15.3	53.7	76.1	114.3	100.4	656.7
TRESNURAGHES F.C.	62.8	51.5	52.6	63.2	44.1	21.6	6.8	13.8	43.2	89.8	122.7	94.9	667.0
URAS FF.SS.	54.4	43.8	42.2	55.3	32.1	15.8	2.0	5.9	40.6	58.6	93.5	73.4	517.6
URI	55.6	48.3	47.2	61.6	42.0	22.8	5.8	15.4	53.6	93.4	109.4	83.9	638.9
USSASSAI	112.9	86.9	77.4	91.4	49.1	24.2	19.6	22.7	65.3	72.3	115.6	135.6	873.1
VALLEDORIA	46.4	36.6	42.2	54.3	36.7	18.8	6.9	11.6	41.0	68.7	88.1	71.7	523.0
VALLERMOSA	63.8	62.1	48.7	55.3	29.2	13.8	4.2	12.1	41.2	54.4	88.9	82.0	555.8
VILLA VERDE	79.5	69.6	62.3	78.2	47.6	22.3	4.9	14.0	46.6	78.8	108.5	108.4	720.7
VILLACIDRO F.C.	69.1	69.2	61.4	73.3	35.4	18.4	5.4	9.7	44.7	60.7	98.5	98.0	643.9
VILLAMAR	56.7	52.7	49.5	59.5	37.5	23.5	5.2	11.8	43.0	57.2	83.5	73.4	553.4
VILLAMASSARGIA	66.9	62.5	51.6	69.4	35.2	16.4	1.6	7.2	48.7	66.7	94.1	91.3	611.7
VILLANOVA MONTELEONE	76.8	66.9	62.8	82.8	55.6	24.0	6.0	12.5	50.8	103.2	140.8	115.5	797.7
VILLANOVA TULO	75.9	62.8	58.6	78.1	54.7	26.9	13.5	17.1	55.0	63.5	97.7	101.5	705.3
VILLASALTO	59.6	60.3	48.0	58.3	33.7	14.4	9.4	17.4	58.6	64.3	90.6	88.7	603.2
VILLASIMIUS	60.7	50.5	44.8	60.5	28.0	9.1	4.8	11.0	42.6	57.5	77.7	88.7	535.9
VILLASOR	50.5	55.4	40.4	54.0	29.7	15.1	4.4	9.9	40.7	56.9	87.0	68.7	512.6
ZUIGHE	95.9	59.8	73.3	83.7	45.5	25.5	7.7	17.4	49.6	82.3	118.0	143.1	802.1

Nella **Figura 18** è riportato il *boxplot* relativo alla distribuzione dei valori climatici medi mensili per le temperature massime delle serie selezionate, prima e dopo la omogeneizzazione.

Figura 18 – Boxplot per le medie mensili di temperatura massima, pre e post omogeneizzazione.



Di seguito, nelle **Figure 19 - 22** è rappresentata la distribuzione sulla mappa dei valori medi climatici per le temperature minime e massime relative alle stazioni selezionate, calcolati per i singoli mesi e per l'intero anno.

Figura 19. Medie mensili delle temperature minime per il trentennio 1981-2010.

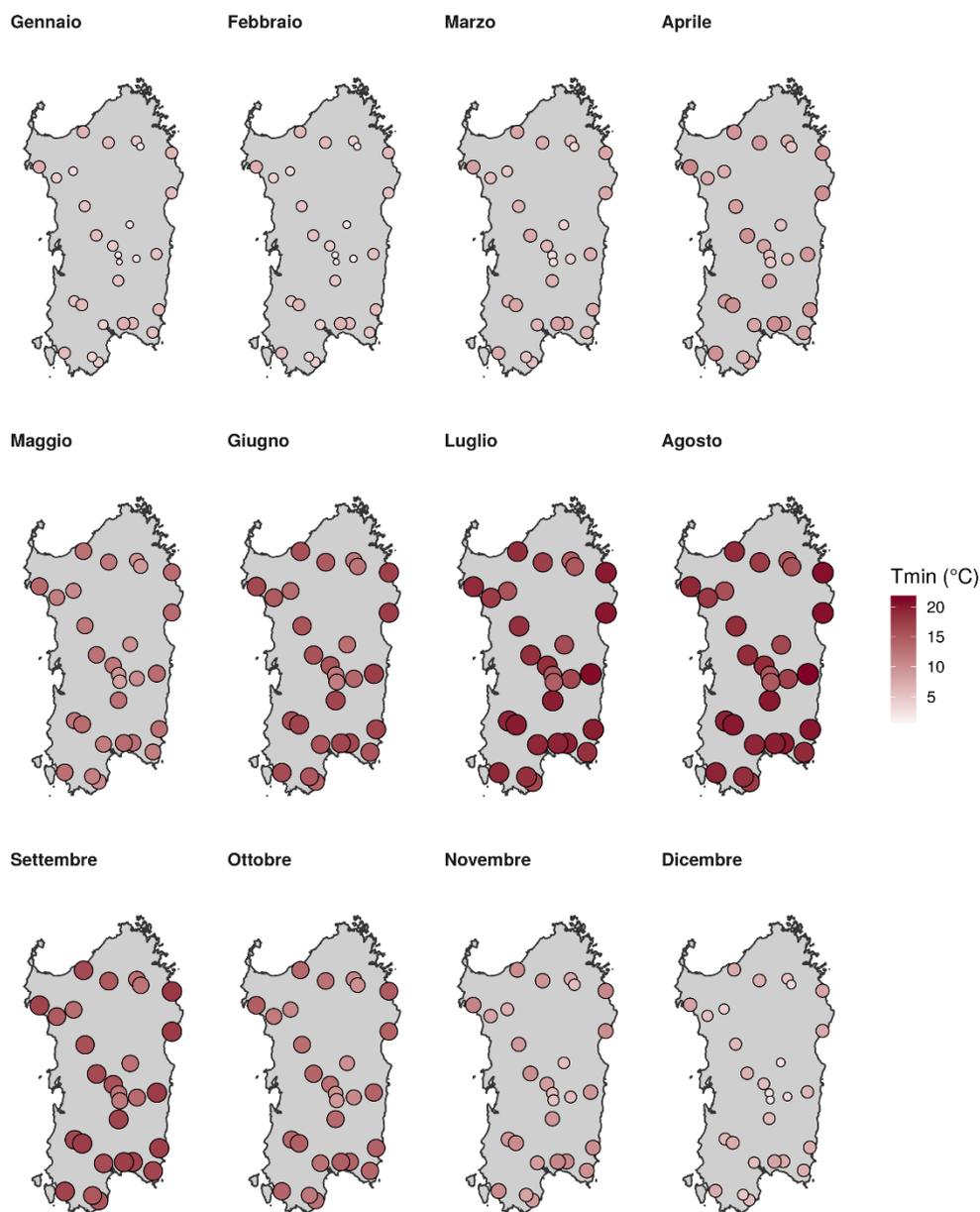
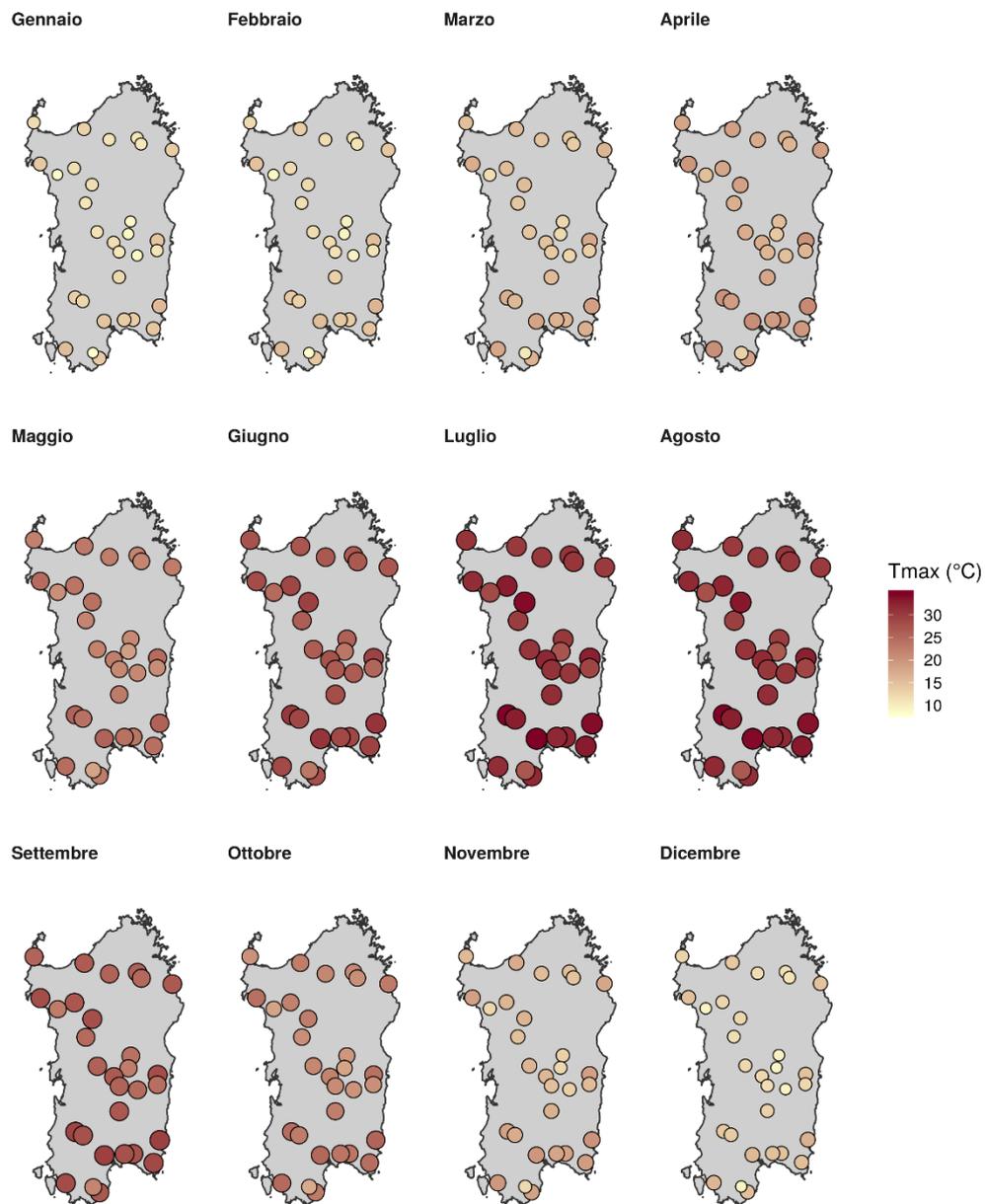


Figura 21. Medie mensili delle temperature massime per il trentennio 1981-2010.



Nelle **Figure 23** e **24** sono riportati a titolo esemplificativo i barplot dei valori medi mensili per quattro stazioni rappresentative, rispettivamente per le temperature minime e per le massime.

Figura 23. Rappresentazione grafica delle medie mensili di temperatura minima del trentennio 1981-2010, per le stazioni di Mandas, Budoni, Busachi e S. Giovanni Coghinias.

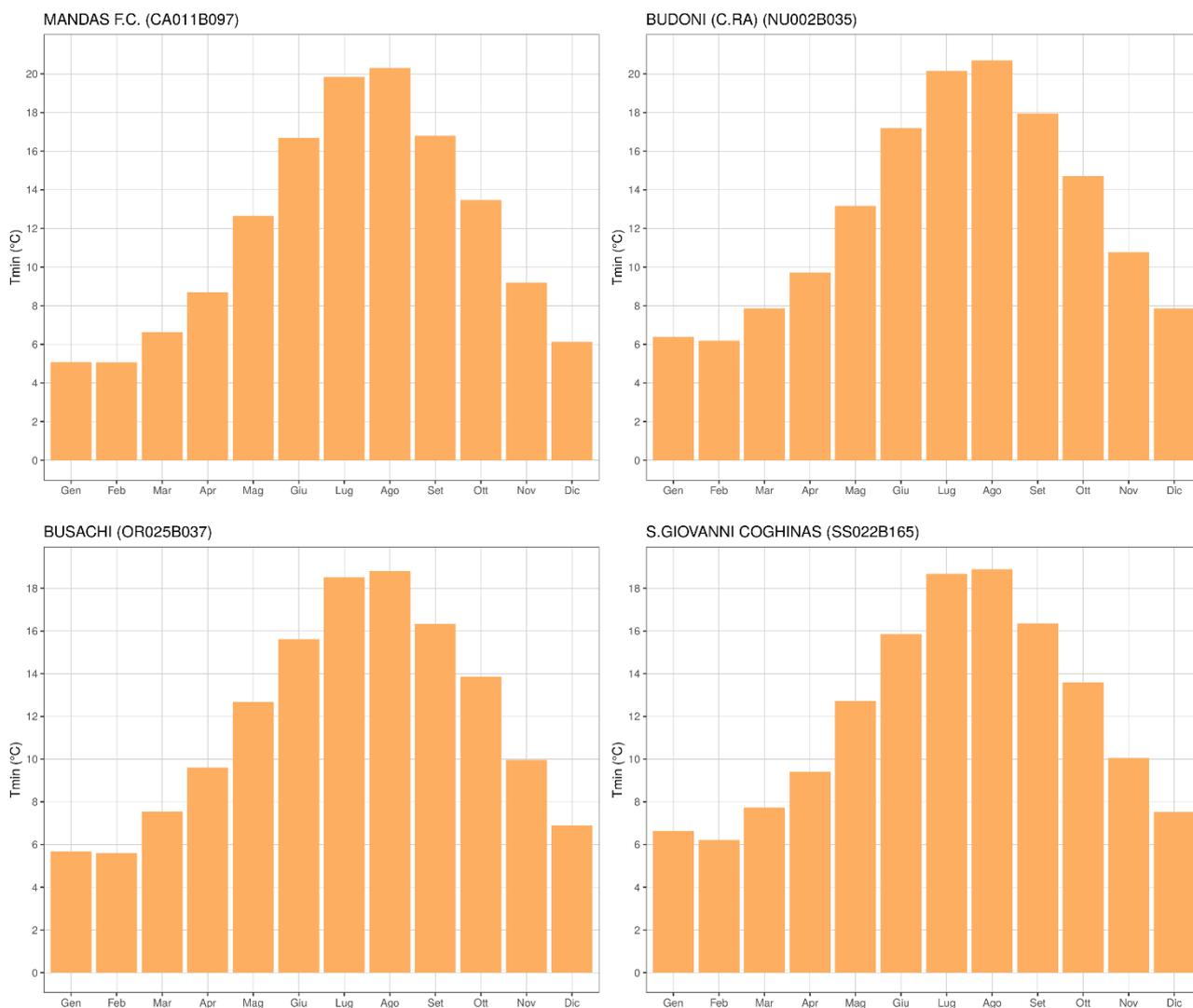
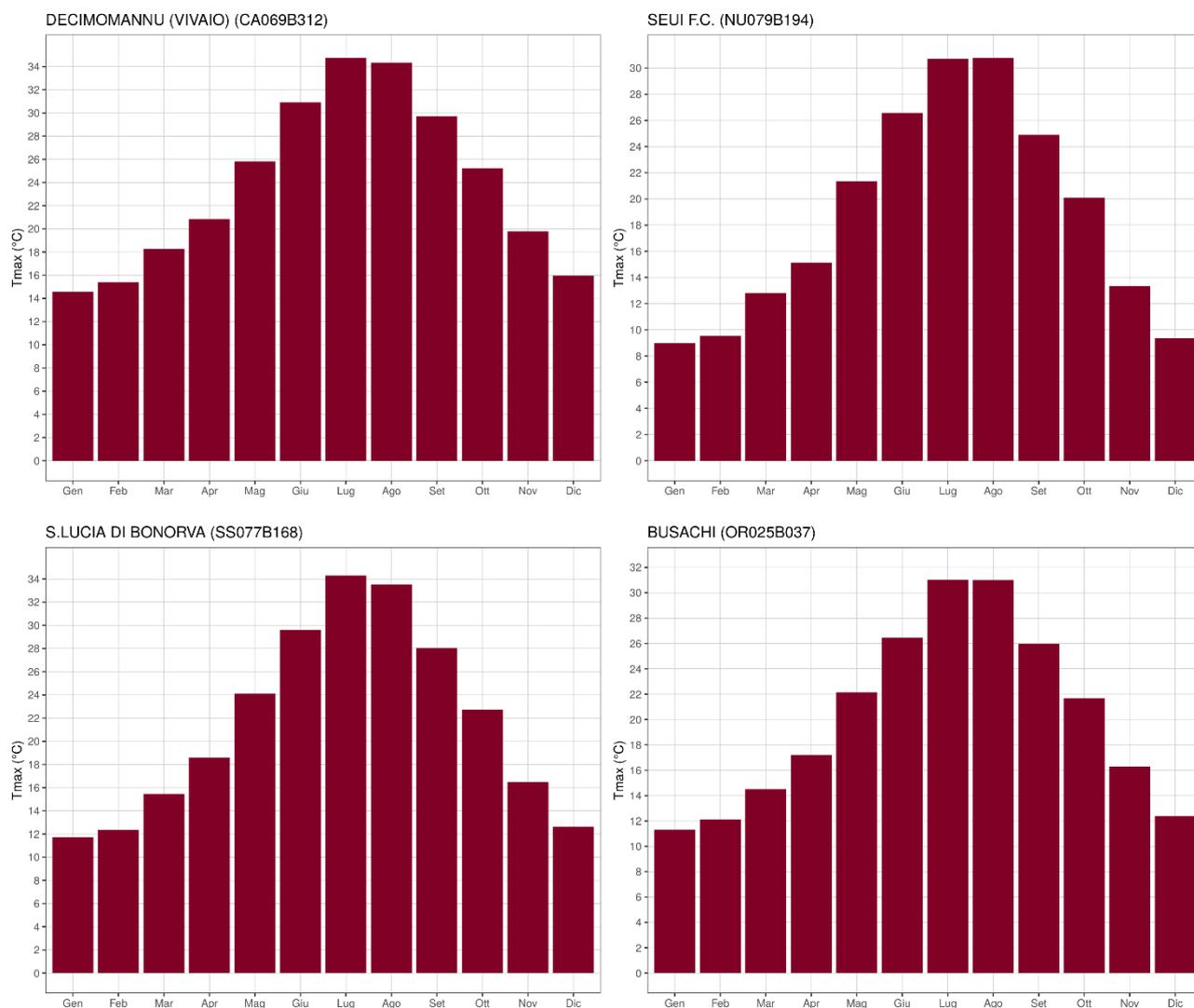


Figura 24. Rappresentazione grafica delle medie mensili di temperatura massima del trentennio 1981-2010, per le stazioni di Decimomannu, Seui F.C., S. Lucia di Bonorva e Busachi.



Nelle **Tabelle 2a-b** sono riportati i valori medi mensili trentennali relativi rispettivamente alle temperature minime e massime, per le stazioni selezionate.

Tabella 2a – Medie mensili delle temperature minime calcolate sul trentennio 1981-2010.

Stazione	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
BIDIGHINZU	3.1	3.2	5.0	7.0	10.5	13.2	15.5	15.9	13.1	10.6	7.1	4.4
BUDONI (C.RA)	6.4	6.2	7.9	9.7	13.2	17.2	20.2	20.7	18.0	14.7	10.8	7.9
BUSACHI	5.7	5.6	7.5	9.6	12.7	15.6	18.5	18.8	16.3	13.9	10.0	6.9
CASTIADAS	5.5	5.2	6.6	8.5	11.6	15.3	18.4	19.1	16.7	13.8	9.8	7.0
COL.PENALE SARCIDANO	1.2	1.3	2.7	4.8	8.3	11.6	14.5	14.9	12.1	9.2	5.3	2.5
CORONGIU	6.2	6.0	7.3	9.3	12.8	16.7	19.8	20.1	17.1	14.2	10.4	7.3
DECIMOMANNU (VIVAIO)	4.0	4.2	6.4	8.0	11.7	15.4	19.3	19.4	16.1	12.7	8.6	5.7
DESULO	-1.7	-1.5	0.3	2.1	6.2	9.5	12.7	13.0	9.6	6.6	2.6	-0.3
FERTILIA	6.9	7.0	8.4	10.4	13.5	16.5	19.0	19.3	16.9	14.5	10.9	8.2
FONNI	2.1	2.3	4.0	5.7	9.8	12.9	16.2	16.5	12.7	9.8	5.8	3.1
GONNOSFANADIGA	5.0	4.8	6.5	8.5	12.2	15.8	19.4	19.7	16.7	13.6	9.3	6.3
IS CANNONERIS	3.8	3.7	5.3	7.1	11.2	15.1	18.6	18.7	15.1	12.1	8.1	5.1
LANUSEI	5.3	5.4	7.1	9.0	13.2	17.5	20.9	21.3	17.6	14.1	9.4	6.6
MACOMER	5.2	5.2	6.6	8.4	12.2	15.5	18.5	18.9	15.7	13.1	9.1	6.3
MANDAS F.C.	5.1	5.1	6.6	8.7	12.7	16.7	19.8	20.3	16.8	13.5	9.2	6.1
MEANASARDO	4.7	4.5	6.2	8.0	12.0	15.5	18.7	18.9	15.6	12.7	8.7	5.9
MONTI	4.5	4.2	5.6	7.0	9.6	12.2	14.7	14.8	12.7	10.6	7.4	5.3
MURAVERA	6.0	5.9	7.4	9.4	12.9	16.7	19.9	20.4	17.4	14.2	10.1	7.3
MUZZONE (LAGO)	5.9	5.9	7.2	9.2	12.0	14.8	17.2	17.6	15.0	12.7	9.4	7.0
PALMAS SUERGIU	6.1	6.0	7.4	9.7	12.9	16.3	19.1	19.5	17.0	13.9	10.3	7.5
PISCINAMANNA	4.3	4.2	5.5	7.6	10.6	13.9	16.8	17.6	15.4	12.6	8.9	6.0
S.GIOVANNI COGHINAS	6.6	6.2	7.7	9.4	12.7	15.9	18.7	18.9	16.4	13.6	10.0	7.5
SA PIRA (CASERMA)	6.9	6.7	8.2	9.9	13.3	16.7	19.5	20.0	17.3	14.5	10.7	8.0
SANTA SOFIA	1.6	1.5	3.4	5.4	9.2	12.1	14.9	15.0	12.3	9.5	5.9	2.9
SEUI F.C.	2.1	2.1	4.0	5.8	10.1	13.7	16.7	17.1	13.3	10.5	6.1	3.1
VILLACIDRO F.C.	6.1	6.2	7.8	9.7	13.2	16.9	20.0	20.3	17.5	14.3	10.4	7.4
VILLANOVA MONTELEONE	4.3	4.1	5.7	7.6	11.5	14.8	17.8	17.9	14.7	11.9	8.1	5.4
ZUIGHE	2.0	2.0	3.3	5.3	9.3	12.5	15.1	15.5	12.5	9.8	5.8	3.4

Tabella 2b – Medie mensili delle temperature massime calcolate sul trentennio 1981-2010.

Stazione	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
BIDIGHINZU	11.6	12.2	15.4	17.9	23.7	29.0	33.1	32.4	27.2	22.2	16.3	12.7
BUDONI (C.RA)	13.8	14.3	16.4	18.8	22.9	27.1	30.2	30.3	26.8	23.0	17.9	14.9
BUSACHI	11.3	12.1	14.5	17.2	22.1	26.5	31.0	31.0	26.0	21.7	16.3	12.4
CASTIADAS	14.4	14.7	16.9	19.5	24.4	29.6	33.3	33.4	28.7	24.5	19.1	15.3
CORONGIU	13.8	13.8	16.5	19.4	23.8	28.9	32.4	32.2	27.8	23.6	18.5	14.8
DECIMOMANNU (VIVAIO)	14.6	15.4	18.3	20.8	25.8	30.9	34.7	34.3	29.7	25.2	19.8	16.0
DESULO	8.7	9.5	12.3	14.2	19.0	23.6	27.4	27.0	22.8	18.3	12.5	9.5
FERTILIA	14.1	14.9	17.2	19.8	24.7	28.4	31.7	32.0	28.2	24.3	18.6	15.1
FONNI	8.9	9.7	12.5	15.3	21.2	26.0	30.6	30.1	24.2	19.6	13.2	9.6
GONNOSFANADIGA	13.3	14.0	17.0	20.1	25.8	30.6	34.6	34.6	29.3	24.7	18.4	14.2
IS CANNONERIS	8.1	8.5	10.8	13.3	18.3	23.4	27.1	26.8	21.8	17.5	12.2	9.2
LANUSEI	11.0	11.2	13.6	16.1	20.9	25.5	29.1	29.1	24.4	20.6	15.6	12.4
MACOMER	10.9	11.6	14.4	17.0	21.8	26.4	30.1	29.8	25.0	20.7	15.0	11.7
MANDAS F.C.	12.3	13.2	15.7	18.1	23.0	28.2	31.7	31.6	27.0	22.5	16.9	13.2
MEANASARDO	11.6	12.0	14.8	17.2	22.5	27.6	32.2	31.9	26.8	22.1	16.0	12.6
MONTI	10.8	11.3	13.9	16.6	21.8	26.7	31.0	30.6	25.9	21.3	15.1	11.6
MURAVERA	15.8	16.4	18.8	21.3	25.9	31.0	34.2	33.9	29.6	25.5	20.2	16.7
MUZZONE (LAGO)	11.0	12.0	14.6	17.5	22.8	27.0	30.5	30.6	25.7	21.6	15.5	11.7
PALMAS SUERGIU	15.3	15.8	17.9	20.5	24.7	28.6	31.7	32.0	28.3	24.9	19.7	16.2
PISCINAMANNA	14.0	14.3	16.5	18.5	22.8	27.9	32.0	31.7	26.9	23.0	18.4	15.1
S.GIOVANNI COGHINAS	13.2	13.7	15.9	18.6	23.2	27.3	30.4	30.3	26.6	22.8	17.4	14.2
S.LUCIA DI BONORVA	11.7	12.4	15.5	18.6	24.1	29.6	34.3	33.5	28.0	22.7	16.5	12.6
SA PIRA (CASERMA)	13.8	14.4	16.6	19.2	24.1	28.8	32.1	32.1	27.9	23.7	18.2	15.0
SA TEULA CENTRALE	14.5	15.3	17.8	20.2	24.8	29.4	32.8	32.9	28.2	24.1	18.8	14.9
SANTA SOFIA	10.7	11.3	13.9	16.2	21.4	26.7	31.2	30.7	25.7	21.0	15.1	11.7
SEUI F.C.	9.0	9.5	12.8	15.1	21.4	26.6	30.7	30.8	24.9	20.1	13.4	9.4
STINTINO	11.9	12.2	15.2	18.1	22.3	27.6	30.9	31.7	25.6	20.4	15.8	13.0
VILLACIDRO F.C.	12.5	13.2	15.9	19.0	24.1	29.0	33.0	33.0	27.9	22.9	17.4	13.8
VILLANOVA MONTELEONE	8.3	8.8	11.8	15.1	20.7	25.0	28.7	28.0	22.9	18.3	12.7	9.4
ZUIGHE	10.6	11.3	13.8	16.3	21.7	26.9	30.7	30.7	25.1	20.6	14.7	11.2

CONCLUSIONI

Un preliminare lavoro di analisi ed elaborazione delle serie storiche di precipitazione e temperatura, provenienti dalle stazioni meteorologiche distribuite sul territorio regionale, ha permesso di determinare i valori normali climatici per il trentennio 1981-2010, relativi ad una selezione di stazioni che hanno mostrato idonee caratteristiche di completezza e omogeneità, qui presentati in forma grafica e tabellare.

Per quanto riguarda le stazioni meteorologiche non incluse in questa fase preliminare, il lavoro è ancora in corso, e a breve permetterà di estendere ulteriormente l'analisi climatologica ampliando la base dati, in particolare per quanto riguarda le temperature. L'analisi verrà ulteriormente ampliata attraverso l'elaborazione di altri indicatori, al fine di rendere più organica la descrizione delle caratteristiche climatiche per l'intero territorio regionale.

Tale lavoro, impostato seguendo tutte le linee guida stabilite dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale e tutti gli standard internazionali, è stato svolto in collaborazione con l'ISPRA e ha anche permesso di migliorare significativamente la qualità dei dati climatologici a disposizione dell'ARPAS.