



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 Meteoclimatico
Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi

Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna

Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale
nel periodo ottobre 2022 - settembre 2023

INDICE

INTRODUZIONE	4
1. ANALISI METEOROLOGICA GENERALE	5
2. LE PRECIPITAZIONI DELL'ANNATA	12
2.1. Andamento complessivo dell'annata.....	12
2.2. Andamento della stagione piovosa	15
2.3. Analisi della neve	17
3. LE PRECIPITAZIONI SU GRUPPI DI MESI	19
3.1. Il trimestre ottobre-dicembre	19
3.2. Il quadrimestre gennaio-aprile	20
3.3. Il quinquemestre maggio-settembre.....	22
4. TEMPERATURE ANNUALI	24
4.1. Temperature medie dei singoli mesi	27
4.2. Indicatori di condizioni termiche particolari	28
4.2.1. Giorni di gelo	29
4.2.2. Notti tropicali.....	30
4.2.3. Giornate estive	31
5. ANOMALIA DEL LIVELLO DEL MARE IN SARDEGNA	34
6. VENTO	35
7. ELABORAZIONI AGROMETEOROLOGICHE SPECIFICHE	38
7.1. Evapotraspirazione e bilancio idroclimatico	38
7.2. Indice di precipitazione standardizzata - SPI	41
7.3. Sommatorie termiche.....	47
7.4. Wind Chill Index (WCI).....	52
7.5. Temperature Humidity Index (THI).....	55
7.6. Heat Waves – Onde di calore	58
8. BIOMETEOROLOGIA - HEAT INDEX	62



La presente analisi si basa principalmente sui dati delle reti meteorologiche dell'ARPAS, integrati con quelli della rete del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e dell'Ente Nazionale Assistenza al Volo.

A cura di

Michele Fiori
Ilaria Peana
Pier Luigi Trudu
Alessandro Delitala

Hanno collaborato

Paolo Boi, Gianni Ficca, Giuliano Fois, Salvatore Natale

Si ringraziano tutti i colleghi del Dipartimento Meteorologico che a vario titolo hanno contribuito alla realizzazione del presente rapporto.

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

L'Annata ottobre 2022-settembre 2023 è stata caratterizzata da temperature eccezionalmente elevate e precipitazioni complessivamente in linea con la media, ma con una stagionalità piuttosto anomala.

L'anomalia della media delle temperature massime è stata superiore a +1.5 °C rispetto alla climatologia 1981-2010 e anche la media delle temperature minime ha superato la climatologia.

Un'anomalia delle temperature massime fortemente positiva si è registrata in parecchi mesi dell'anno, sia nell'autunno 2022 sia nell'estate 2023.

Nel luglio 2023, in particolare, le anomalie delle temperature massime hanno superato i +3 °C con frequenti giornate con punte molto superiori ai 40 °C. Il mese, inoltre, è stato esposto a onde di calore di forte intensità che hanno portato alle temperature massime più elevate mai registrate in Sardegna: 48.2 °C il 24 luglio 2023.

Questa peculiarità del clima dell'Annata 2022-2023 si ripercuote anche sui gradi giorno, sia quelli su base 0 °C sia quelli su base 10 °C. Entrambi questi, indicatori, infatti, sono risultati sempre molto elevati e, soprattutto, molto più alti della media climatologica.

Considerazioni analoghe si possono fare per gli indici di disagio fisiologico legati al caldo.

Le precipitazioni dell'annata sono risultate nel complesso in linea con la media climatologica, con valori generalmente superiori alla media sulla metà settentrionale della Sardegna e valori inferiori alla media nel Sud, in particolare l'Ogliastra, il Gerrei e il Sarrabus.

Una peculiarità delle precipitazioni dell'annata è stata la stagionalità anomala. Le piogge, infatti, sono risultate lievemente o fortemente deficitarie sia nell'autunno 2022 sia nell'inverno 2023, mentre sono risultate molto abbondanti nella primavera 2023. Il cumulato annuale in linea con la climatologia, dunque, deriva dalla compensazione dei due fattori contrapposti.

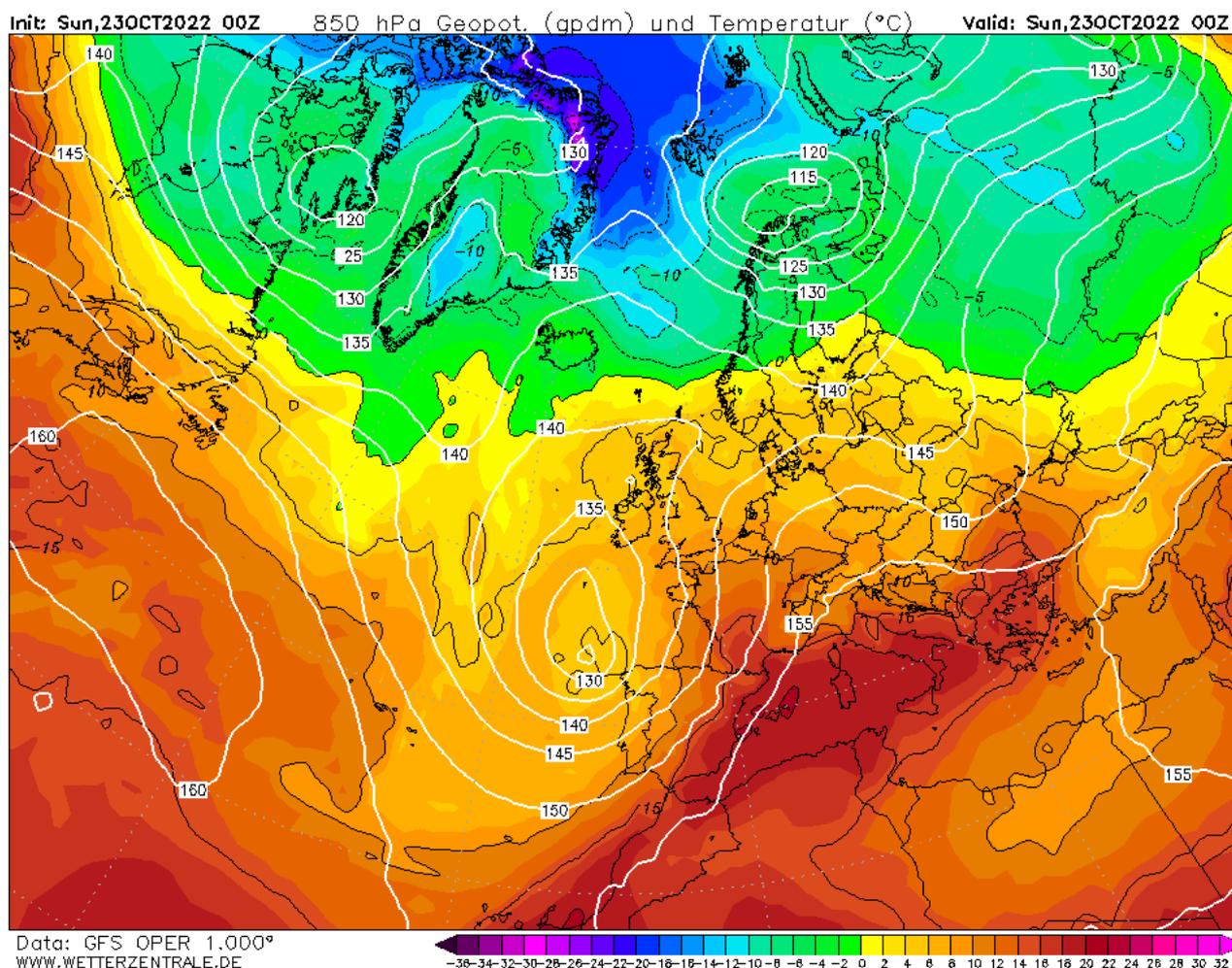
Questa peculiarità nella stagionalità delle precipitazioni si osserva anche nello SPI. Lo SPI a 3 mesi, infatti, si mostra altalenante con alternanze di trimestri secchi e trimestri piovosi, gli SPI su periodi più lunghi, invece, si mostrano in linea con la media per l'intera annata.

L'Annata 2022-2023, infine, ha avuto in prevalenza dei mesi poco ventosi a eccezione di novembre 2022 e di gennaio 2023.

1. ANALISI METEOROLOGICA GENERALE

Il mese di ottobre 2022 è stato prettamente anticiclonico, con scarsi eventi precipitativi che hanno tuttavia portato a cumulati mensili significativi. Le temperature sono state generalmente al di sopra della media climatica di riferimento. In questo periodo la temperatura a 850 hPa era compresa tra 12 °C e 15 °C, con rispettive temperature massime al suolo diffusamente sopra circa 25 °C e localmente sino a 33 °C, soprattutto nel Sud-Est dell'Isola. La stabilità è stata interrotta a partire dal giorno 9 del mese. In particolare il passaggio di un'onda depressionaria il giorno 12 ha determinato precipitazioni in generale moderate e localmente sino a molto elevate (117.8 mm a Olbia) che segnano l'inizio della stagione autunnale. Successivamente si è osservata una rimonta anticiclonica sul Mediterraneo Centro-Occidentale sfociata in una configurazione di blocco anticiclonico, che ha garantito stabilità atmosferica sino alla fine del mese e ha favorito avvezione di aria calda di origine sub-tropicale a partire dal Mediterraneo, in ulteriore espansione su Europa Occidentale e Meridionale. Si è così tornati a temperature estive nella seconda metà del mese (**Figura 1**).

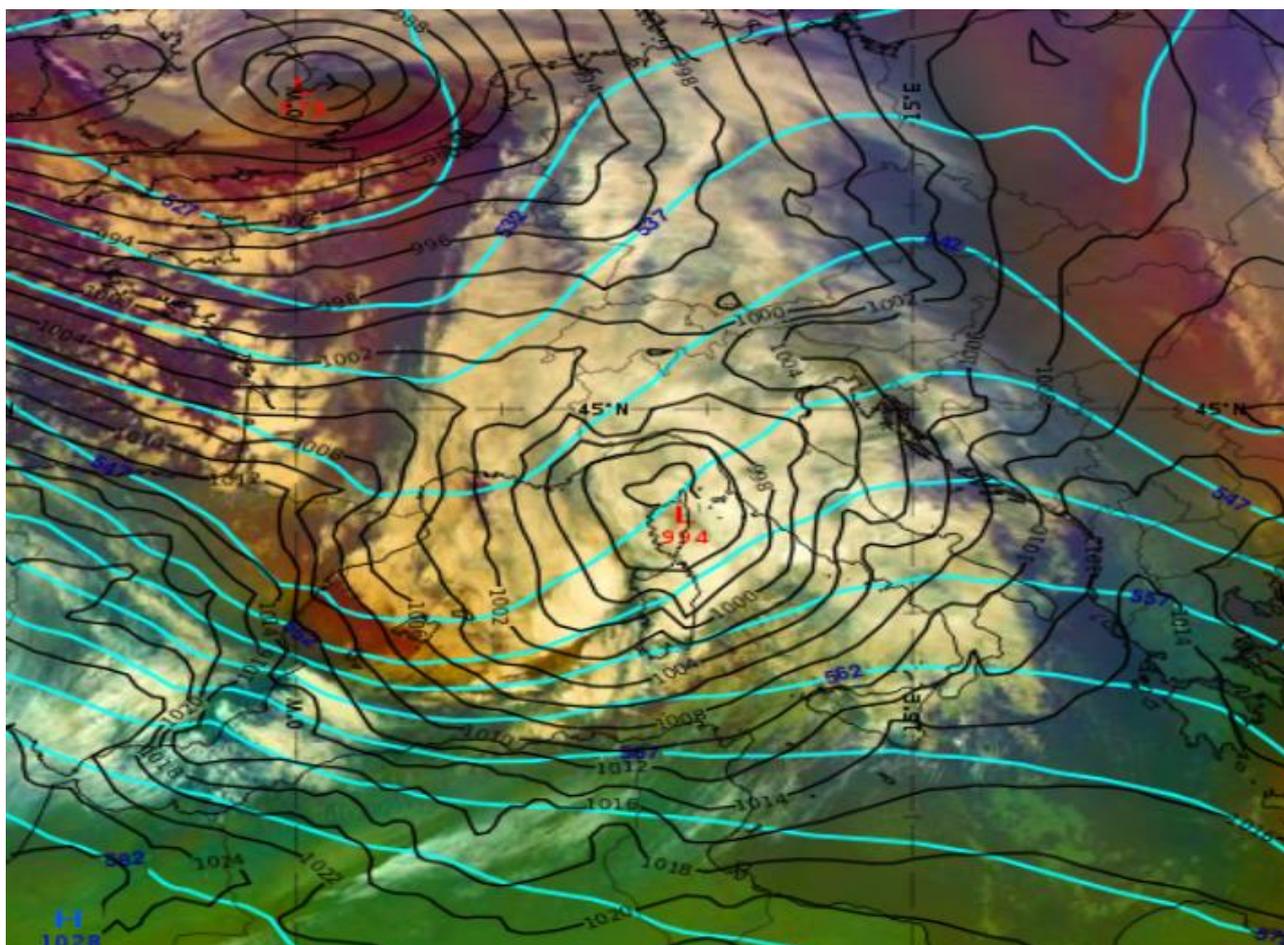
Figura 1: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 850 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) - 23 ottobre 2022.



Novembre 2022 è stato invece tipicamente autunnale, con frequenti perturbazioni in passaggio da ovest verso est che hanno causato precipitazioni, ventilazione sostenuta dai quadranti occidentali e diminuzioni di temperatura al suolo verso valori tipici del periodo.

Le precipitazioni nella prima parte del mese di novembre hanno interessato più intensamente il settore orientale dell'Isola mentre nella seconda parte del mese e fino a circa la metà del mese di dicembre si sono maggiormente concentrate su quello occidentale (**Figura 2**). In entrambi i casi hanno raggiunto valori mensili molto elevati.

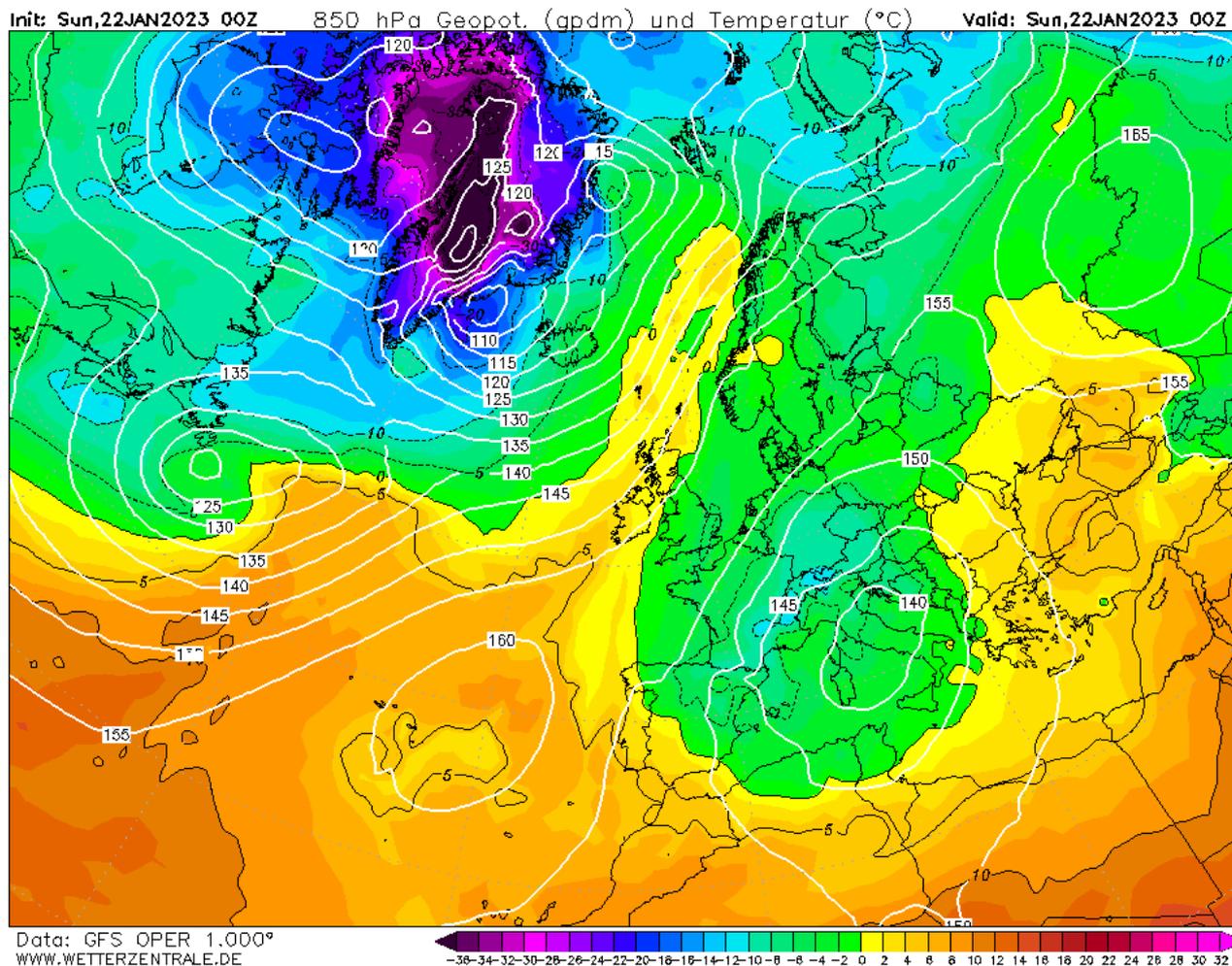
Figura 2: Composizione RGB airmass, geopotenziale a 500 hPa [gpdam] (linee azzurre), pressione al livello del mare [hPa] (linee nere) del 22 novembre 2022, ore 00 UTC.



Nella seconda parte del mese di dicembre il campo depressionario si rilassa lasciando il posto ad una fase dominata dall'alta pressione e da una prolungata avvezione di aria calda di origine nordafricana.

Con il mese di gennaio entriamo decisamente nell'inverno. Bassa pressione, freddo e precipitazioni caratterizzano il mese. Lo scenario sinottico è influenzato da una saccatura che dall'Artico scende nel Vicino Atlantico fino a latitudini marocchine. Questa si porta lentamente verso est interessando la Sardegna prima nella sua fase ascendente e successivamente in quella discendente dominata da masse di aria molto fredde (**Figura 3**). Il tutto apporta nell'Isola precipitazioni mensili elevate sul settore occidentale e molto elevate su quello orientale. Compaiono anche le prime nevicate in particolare sulla Sardegna centro-orientale.

Figura 3: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 850 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) - 22 gennaio 2023.



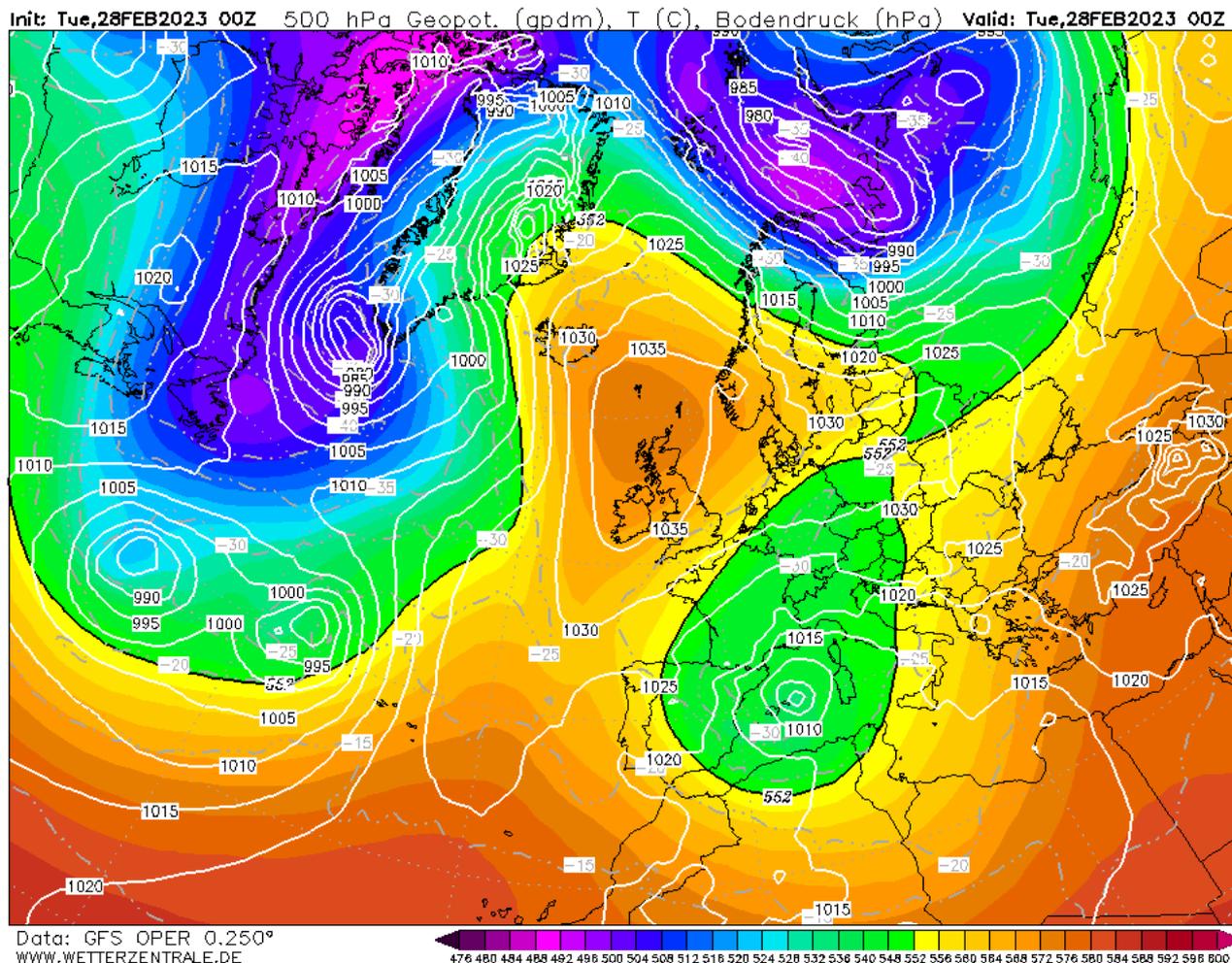
Febbraio 2023 in Sardegna è stato invece un mese con marcate variazioni termiche, modeste precipitazioni e ventilazione fiacca. Il mese inizia con il proseguimento della timida rimonta anticiclonica dal Vicino Atlantico, ma il Mediterraneo Occidentale ritorna preda delle basse pressioni e di temperature gelide in particolare nei giorni 9 e 10, caratterizzati da precipitazioni sparse a carattere temporalesco. Dopodiché ha inizio una nuova rimonta barica, molto più decisa della precedente. Il giorno 21 la situazione inizia a cambiare con l'affermazione di una grande saccatura atlantica che si avvicina da occidente al Mediterraneo. Tra il 25 e il 26 il richiamo di aria umida da libeccio mette fine alla lunga parentesi secca e dà inizio alle più importanti piogge del mese con cumulati giornalieri moderati e fulminazioni sparse. Successivamente il passaggio del ramo freddo del sistema depressionario continua a determinare instabilità e precipitazioni temporalesche specie nella fascia tirrenica (**Figura 4**).

Il mese di marzo 2023 è stato mediamente perturbato ma relativamente poco piovoso. Le temperature hanno fatto registrare un'ampia escursione termica con minime basse e massime alte. La ventilazione è stata spesso sostenuta dai quadranti occidentali.

Ancora più secco è stato il mese di aprile, poco perturbato e con poche precipitazioni. Le temperature massime giornaliere sono state mediamente sopra i 20 °C e sino a 30 °C durante alcuni eventi di avvezione di aria calda nei bassi strati. Le temperature minime sono state inizialmente basse con valori medi intorno o inferiori allo zero e sono aumentate progressivamente verso la fine del mese. La

ventilazione è stata in prevalenza dai quadranti occidentali. In controtendenza, il mese di maggio 2023 è stato abbastanza piovoso con frequenti circolazioni depressionarie originate nell'Oceano Atlantico che hanno dominato il tempo atmosferico europeo (Figura 5).

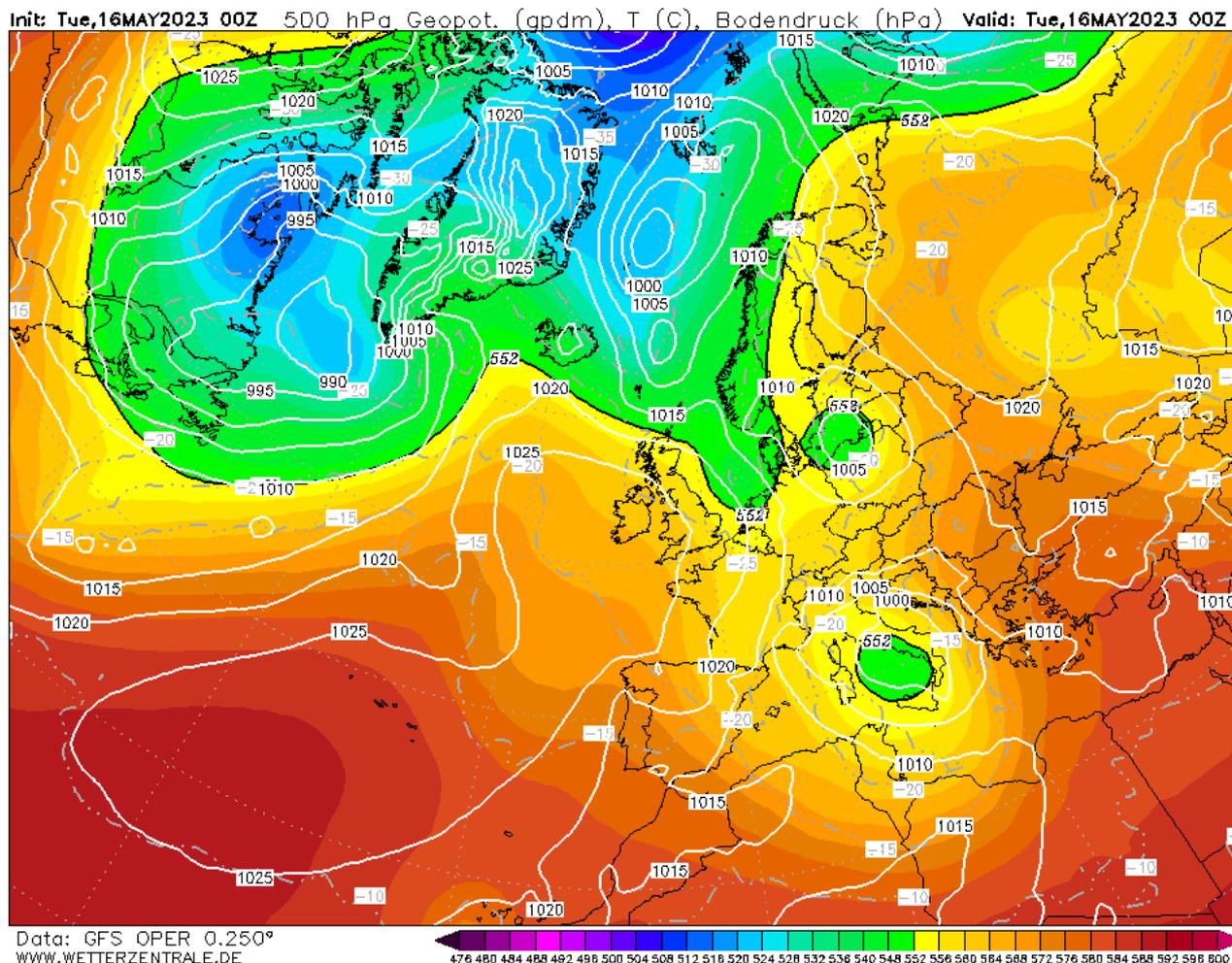
Figura 4: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 500 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) – 28 febbraio 2023.



Le precipitazioni sono state in prevalenza convettive di natura mista termica e sinottica. I cumulati sono stati in generale abbondanti per un mese convenzionalmente secco, con massimi puntuali superiori a 300 mm (massimo a Dorgali di 373.2 mm). Le temperature sono state leggermente inferiori o in linea con la media, con massimi giornalieri poco sopra i 30 °C e minimi localmente sotto i 3 °C. Al suolo il campo barico si è presentato spesso livellato, con assenza di gradienti barici di rilievo. Tali condizioni hanno garantito ventilazione prevalentemente a regime di brezza sulla nostra Isola.

Anche il mese di giugno 2023 si apre con il Mediterraneo saldamente nella morsa delle basse pressioni polari a media troposfera. La forte instabilità atmosferica riesce a creare cumuli imponenti a frequente sviluppo temporalesco fino alla metà del mese. Successivamente una rimonta anticiclonica si fa presto potente tenendo la Sardegna su alti valori di pressione per la restante metà del mese e segnando l'inizio dell'estate. L'avvezione di aria sahariana ai bassi strati (Figura 6) culmina nella prima onda di calore estiva, con temperature che dal 20 al 22 superano localmente i 40 °C.

Figura 5: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 500 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) – 16 maggio 2023.

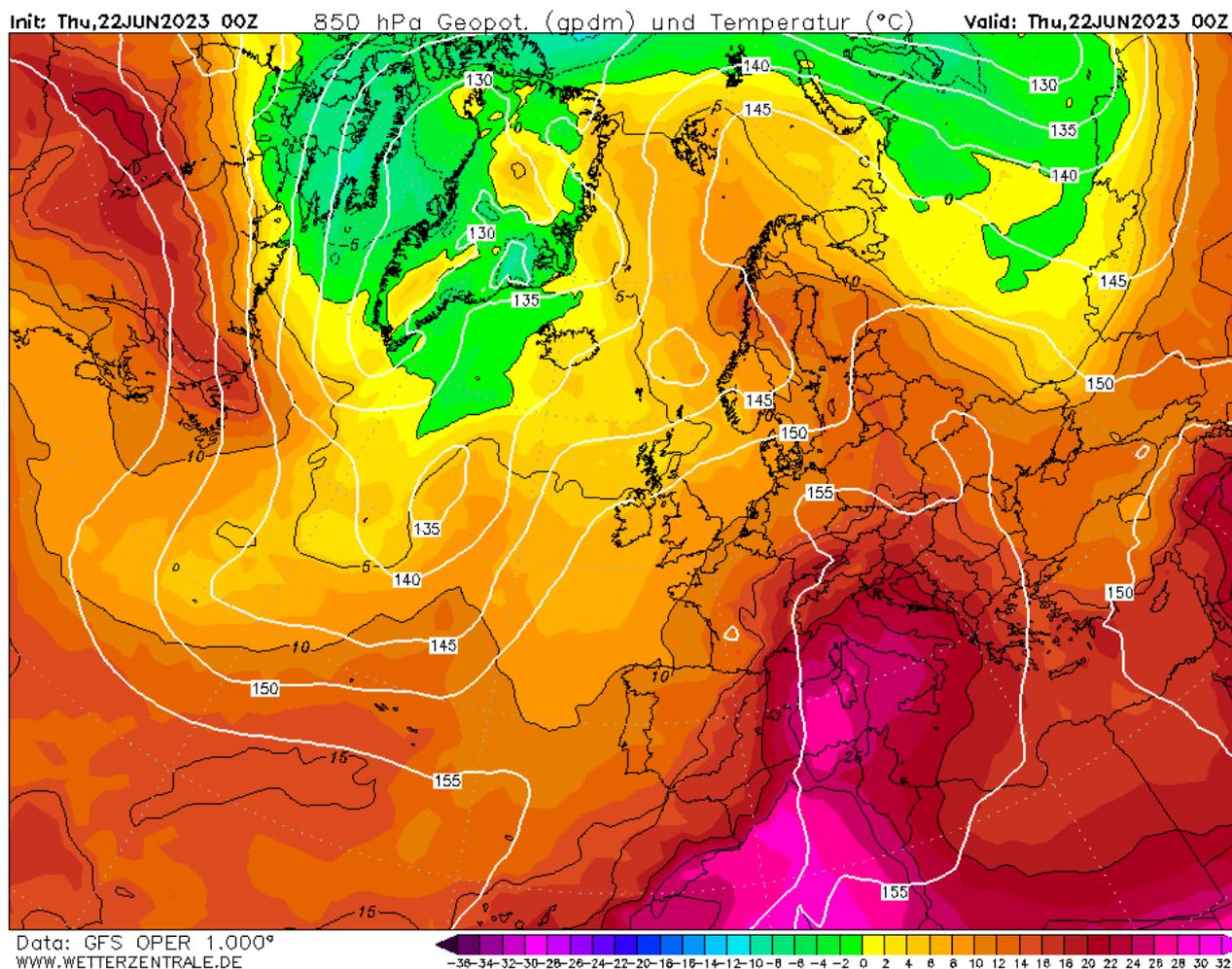


L'alta pressione resiste per tutta la settimana seguente, tenendo le temperature ancora parecchio alte. L'ultimo giorno del mese vede invece una saccatura atlantica riuscire a elongarsi e penetrare sul Mediterraneo Occidentale, suscitando numerose fulminazioni in area sardo-corsa e isolati temporali pomeridiani sull'oriente sardo fino ai primi giorni del mese di luglio. In seguito una lunga e progressiva rimonta anticiclonica dal Mediterraneo Occidentale verso la nostra Isola caratterizza gran parte del mese.

Tra il giorno 18 e il 19 l'anticiclone africano risulta centrato sull'Isola, e con lui la bolla di aria calda ai livelli medio-bassi (**Figura 7**).

Poi la struttura collassa nuovamente verso sud-est, stavolta in maniera marcata, e la Sardegna riceve avvezione di aria fresca dai quadranti settentrionali fino al 22. La restante parte del mese rimane caratterizzata da timide rimonte anticicloniche con flussi prevalentemente zonali.

Figura 6: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 850 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) – 22 giugno 2023.



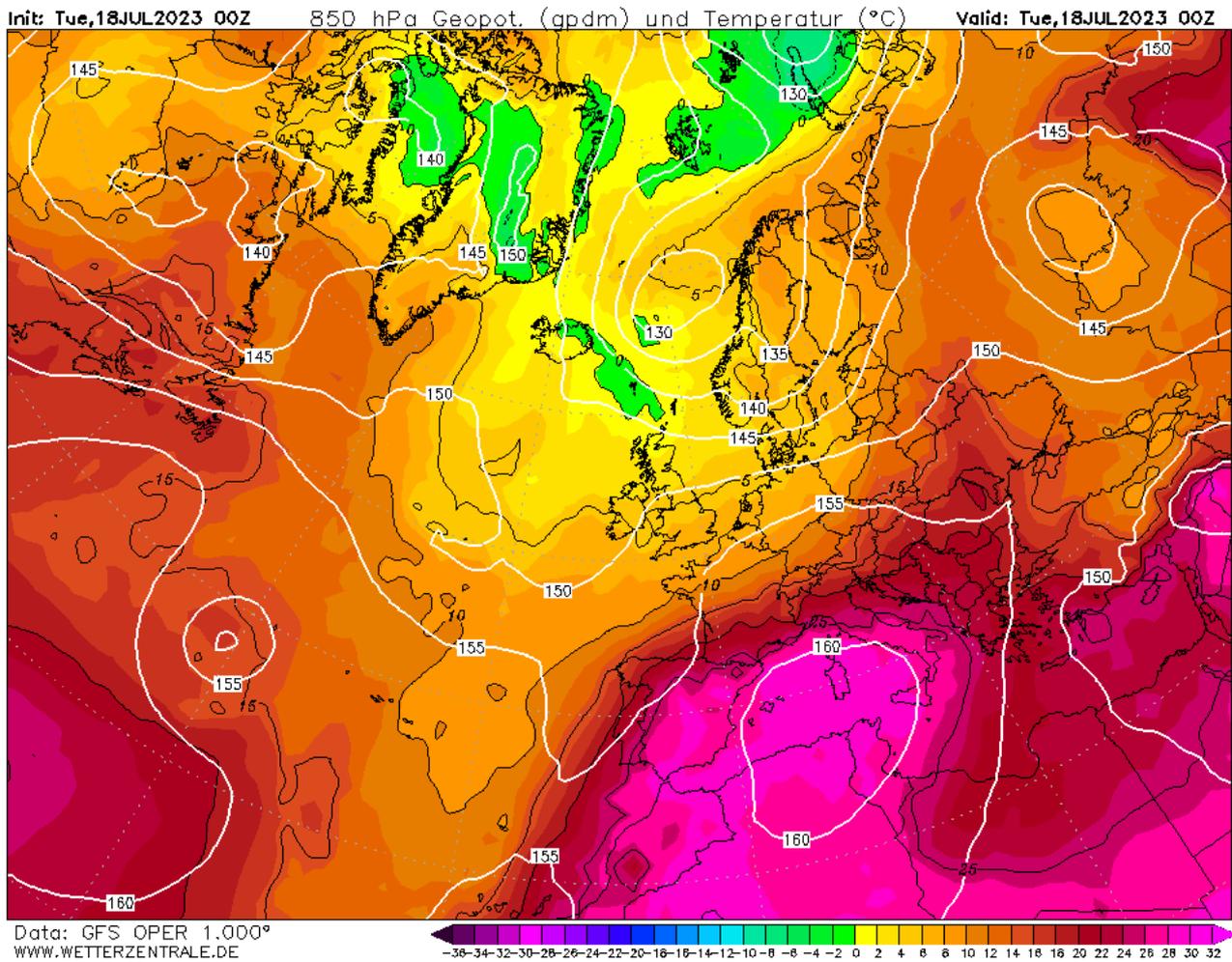
Anche il mese di agosto si apre con l'Isola dominata da flussi zonali alla media troposfera, cieli limpidi e temperature piacevolmente estive. Nei giorni seguenti del mese una saccatura di origine atlantica si approfondisce fino al Mediterraneo Occidentale. Sulla Sardegna i cieli si coprono pesantemente e si registrano precipitazioni sparse a carattere temporalesco e cumulati deboli. Inizia poi una ventilazione da Maestrale accompagnata da una sostenuta avvezione fredda che abbassa le temperature in modo marcato. A partire dal giorno 8 si osserva una lunga rimonta anticiclonica che, nella sua progressiva espansione verso settentrione, trascina con sé ai bassi livelli atmosferici aria calda e secca dal deserto del Sahara.

Verso la fine del mese una saccatura dal Vicino Atlantico riesce a penetrare sul Mediterraneo Occidentale portando cieli molto nuvolosi e precipitazioni diffuse ed a carattere temporalesco sul settore occidentale. Si instaura così una sostenuta ventilazione da Maestrale ed una diminuzione delle temperature.

Dal punto di vista sinottico settembre 2023 è stato un mese estivo prevalentemente anticiclonico. La stabilità è stata interrotta da due transienti fasi perturbate durate solo alcuni giorni che non hanno tuttavia determinato effetti significativi al suolo. La prima di queste, una saccatura isolatasi sul Mediterraneo centrale, ha poi assunto caratteristiche quasi-tropicali e si è diretta verso la Libia ove ha determinato precipitazioni molto elevate ed il conseguente danneggiamento di due dighe a monte della città di Derna con pesanti riversamenti d'acqua verso la città. Le temperature sono state relativamente alte, su valori tipicamente estivi. L'evento caratterizzante del mese è stato un'onda di calore con il suo apice nella

giornata del 17 che ha determinato localmente temperature massime intorno a 40 °C e minime anche superiori a 25 °C.

Figura 7: Altezza del campo di geopotenziale (gpdam) e Temperatura (°C) al livello di 850 hPa e Pressione al livello del mare (hPa) – 18 luglio 2023.



2. LE PRECIPITAZIONI DELL'ANNATA

2.1. Andamento complessivo dell'annata

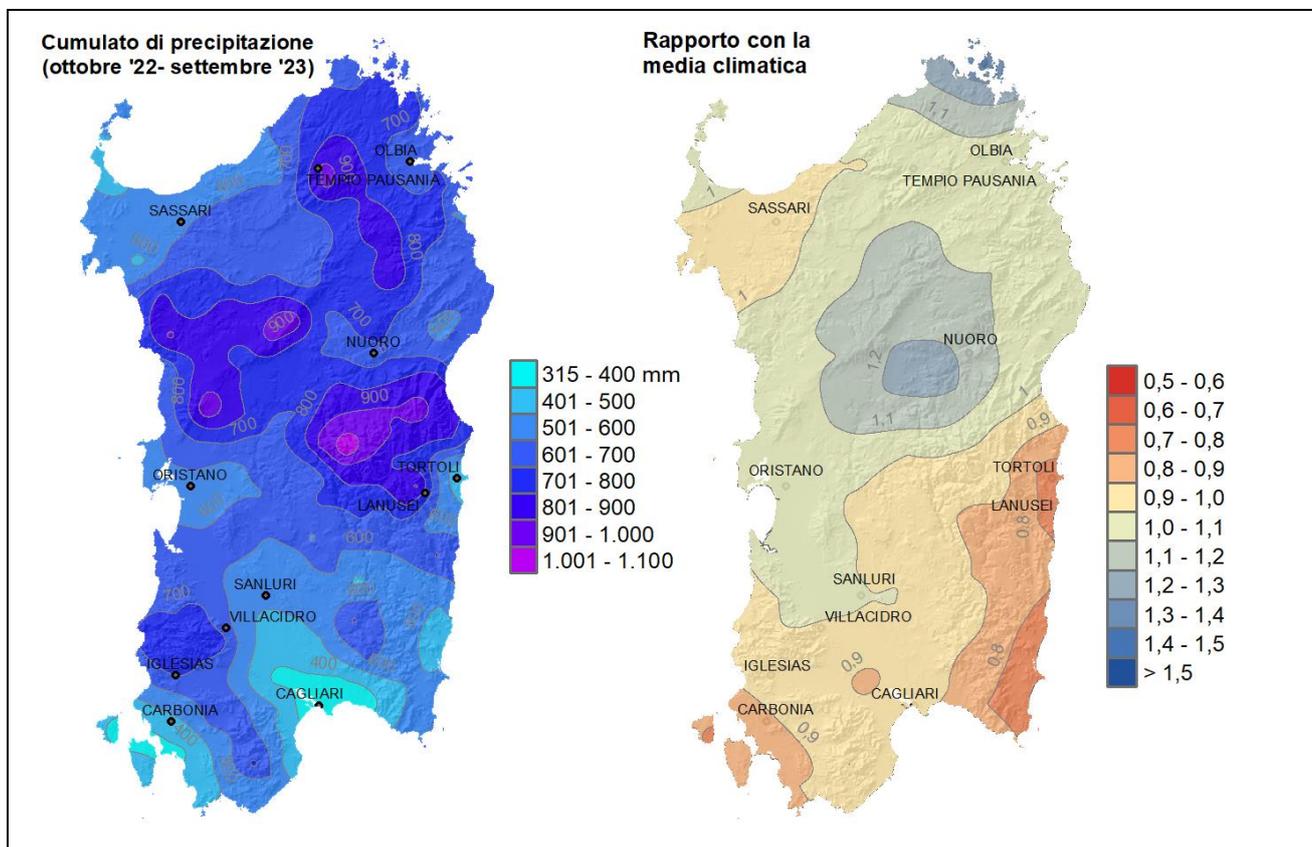
L'analisi delle precipitazioni che segue si basa sulle precipitazioni dell'annata e su determinati sottoperiodi. La climatologia di riferimento utilizzata per i confronti è quella relativa al periodo 1981-2010.

In **Figura 8** si riportano i cumulati totali dell'annata agraria 2022-2023 e il relativo rapporto con la media climatica. I cumulati massimi hanno interessato i rilievi principali dei settori centro-settentrionali, con valori intorno a 1000 mm su Gennargentu, Montiferru, Marghine e Limbara. Tre stazioni pluviometriche hanno registrato cumulati superiori a 1000 mm: 1167.8 mm a Perdu Abes (Desulo), 1053.8 mm a Santu Lussurgiu, 1028.8 mm sul Monte Rasu (Bono). Per il resto, su gran parte dell'Isola i cumulati hanno superato generalmente i 600 mm.

Le zone in cui si sono registrati i cumulati più bassi, inferiori a 400 mm sono il Cagliaritano e una ristretta zona tra Sulcis, Carloforte e Sant'Antioco. Proprio a Cagliari è stato registrato uno dei cumulati più bassi dell'annata, pari a 210.8 mm.

I cumulati sopra descritti sono stati in media o leggermente al di sopra della media climatica sui settori centro-settentrionali a esclusione della Nurra, con valori del rapporto superiori a 1 e sino a 1.3 sulla Sardegna Centrale e Alta Gallura. Sulla Sardegna Meridionale il rapporto è stato inferiore a 1, con minimi tra 0.7 e 0.8 lungo la costa sud-orientale e localmente a Carloforte.

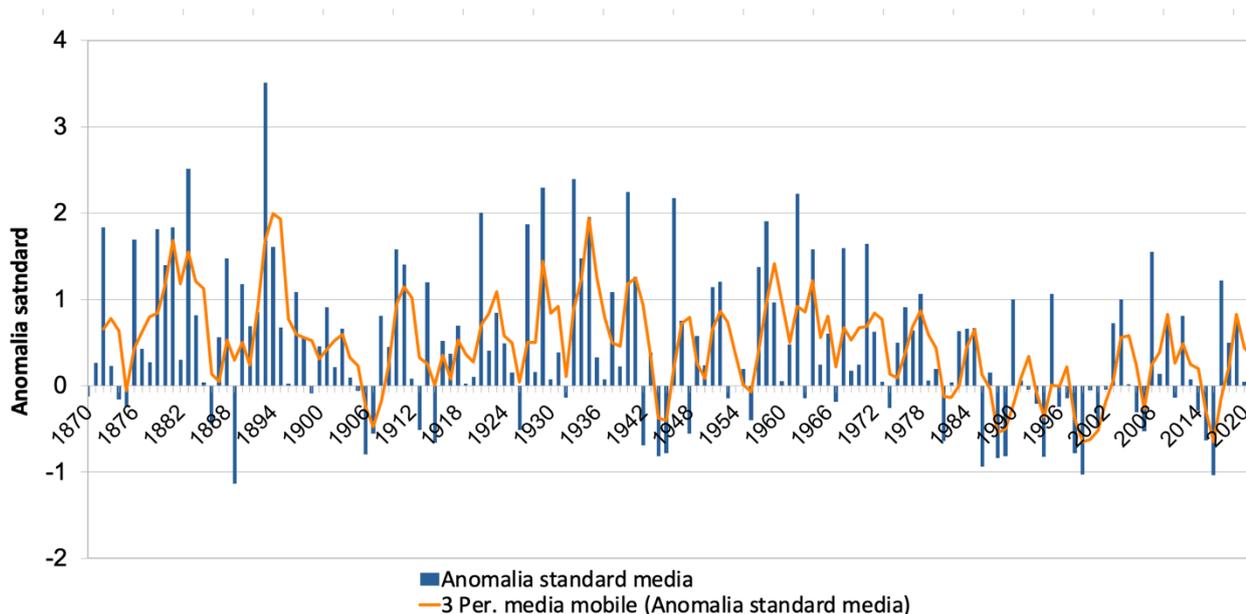
Figura 8: Cumulato di precipitazione in Sardegna da ottobre 2022 a settembre 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatica.



In **Figura 9** si riporta l'andamento ultrasecolare dell'anomalia standard media del cumulato di precipitazione nel periodo ottobre-settembre. L'anomalia standard è calcolata come la differenza tra il cumulato misurato e la relativa media climatica sul periodo di riferimento analizzato normalizzata sulla deviazione standard climatica. Le anomalie calcolate su ciascuna stazione vengono poi mediate per ottenere un valore unico per tutta la regione. L'elaborazione comprende un numero di stazioni variabile per ogni annata. Le anomalie relative al periodo 1870-1922 sono costruite su un numero di stazioni relativamente basso rispetto al periodo successivo.

Sino agli anni '80 del '900, l'anomalia standard di precipitazione ha seguito oscillazioni periodiche ma si è mantenuta mediamente su valori superiori alla media, eccetto per alcuni brevi sottoperiodi. Negli ultimi 40 anni invece l'anomalia ha mantenuto l'oscillazione ma ha assunto più spesso valori negativi. La tendenza per gli anni successivi al 2017 (anno particolarmente poco piovoso) è quella del mantenimento di un'anomalia leggermente positiva in decrescita nelle ultime tre annate, con l'ultima che si attesta su valori in media con la climatologia.

Figura 9: Andamento ultrasecolare del cumulato di precipitazione in Sardegna nel periodo ottobre-settembre.



La **Figura 10** mostra la distribuzione dei giorni di pioggia e il relativo rapporto con la media climatica. La mappa dei giorni di pioggia trova una buona corrispondenza con quella dei cumulati totali vista in precedenza. Infatti, i massimi valori di frequenza si trovano in corrispondenza dei massimi cumulati, con massimi superiori a 90 giorni su Gennargentu e Marghine e solo di poco inferiori sul Limbara. Sul Montiferru invece i giorni di pioggia sono stati inferiori a 75, per cui evidentemente le precipitazioni sono state meno frequenti ma relativamente più intense rispetto alle altre zone più piovose.

Le precipitazioni sono state invece meno frequenti su quasi tutti i settori costieri con valori in generale inferiori a 65 giorni e sino a 50 giorni sulle coste meridionali e sud-orientali.

Il rapporto con la media è stato in linea o di poco inferiore, tra 0.9 e 1.0 su gran parte dell'Isola, con massimi tra 1.0 e 1.25 localmente sui settori centro-settentrionali, mentre localmente tra 0.75 e 0.9 sui settori meridionali.

Figura 10: Numero di giorni piovosi da ottobre 2022 a settembre 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatologica.

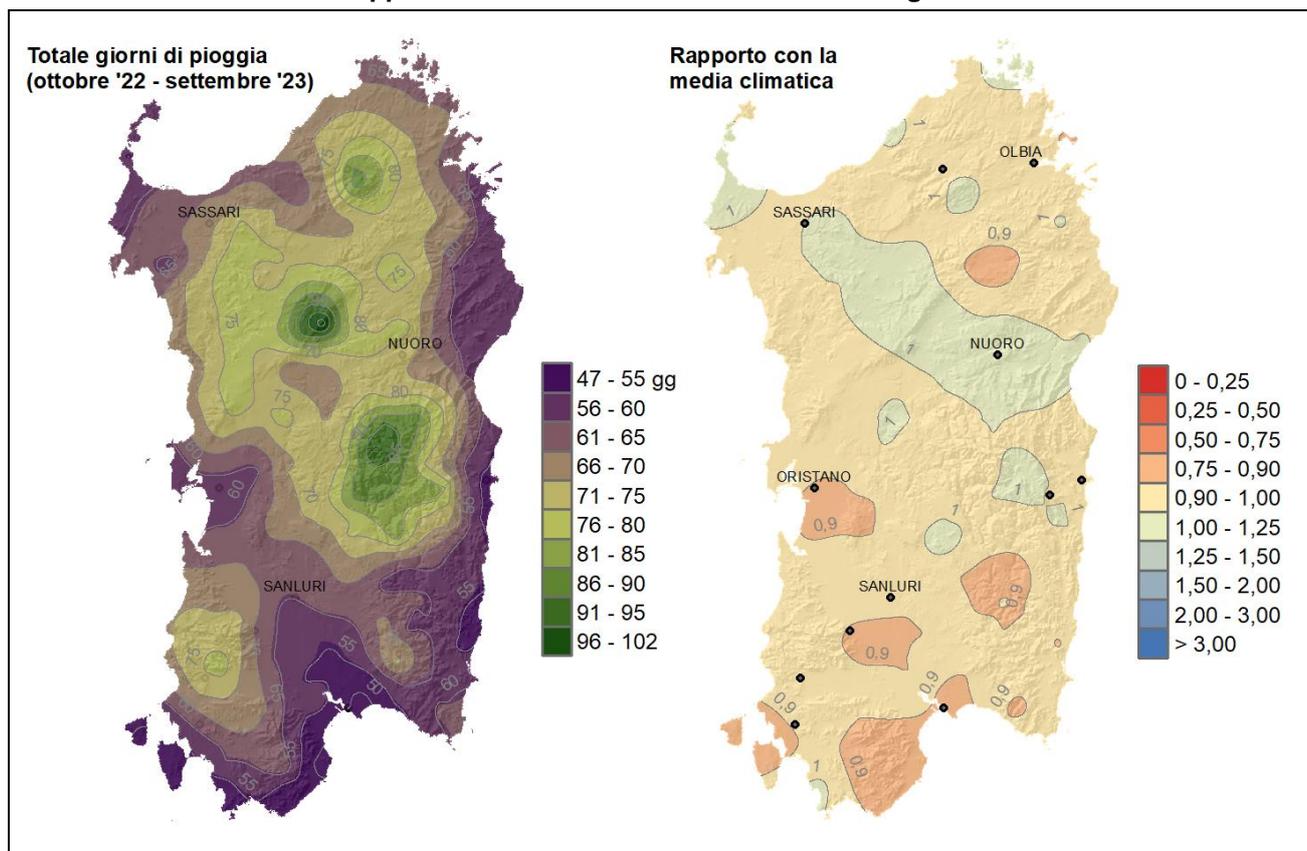
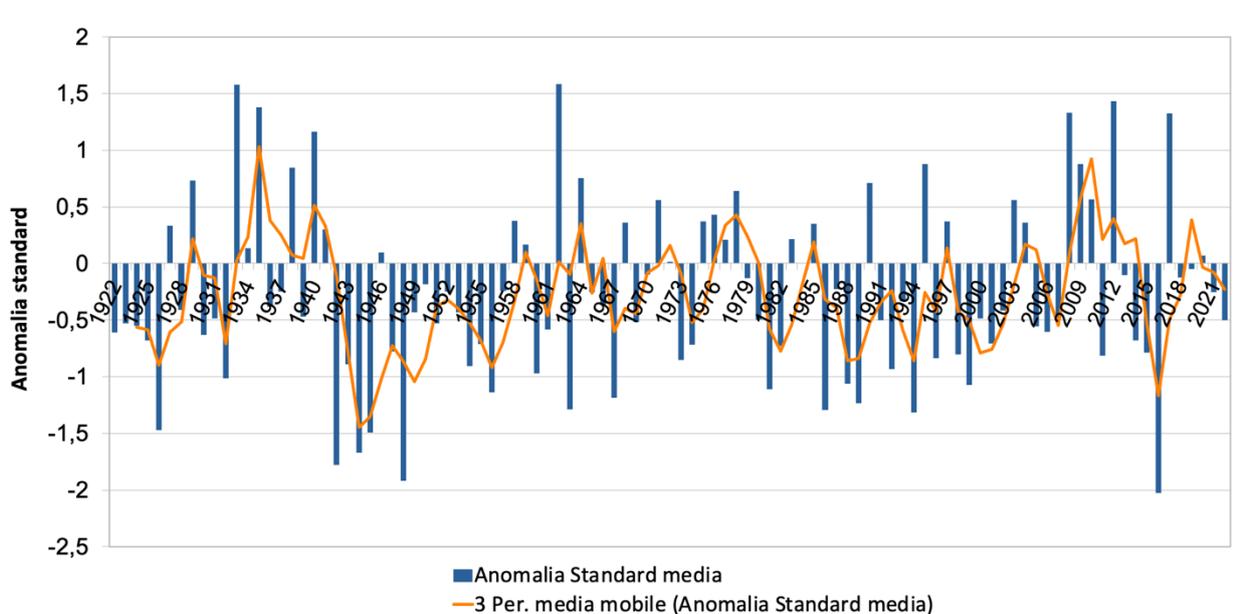


Figura 11: Andamento secolare del numero di giorni piovosi in Sardegna



In **Figura 11** è mostrato l'andamento dell'anomalia standard media dei giorni di pioggia tra ottobre e settembre dal 1922 al 2022. L'andamento secolare dell'anomalia è oscillante e alterna periodi sotto media a periodi sopra media, con i primi in genere più lunghi dei secondi. Per gli ultimi anni successivi al 2018 ci sono state due annate con valori vicini a zero mentre nelle ultime due si sono osservate anomalie negative con tendenza decrescente.

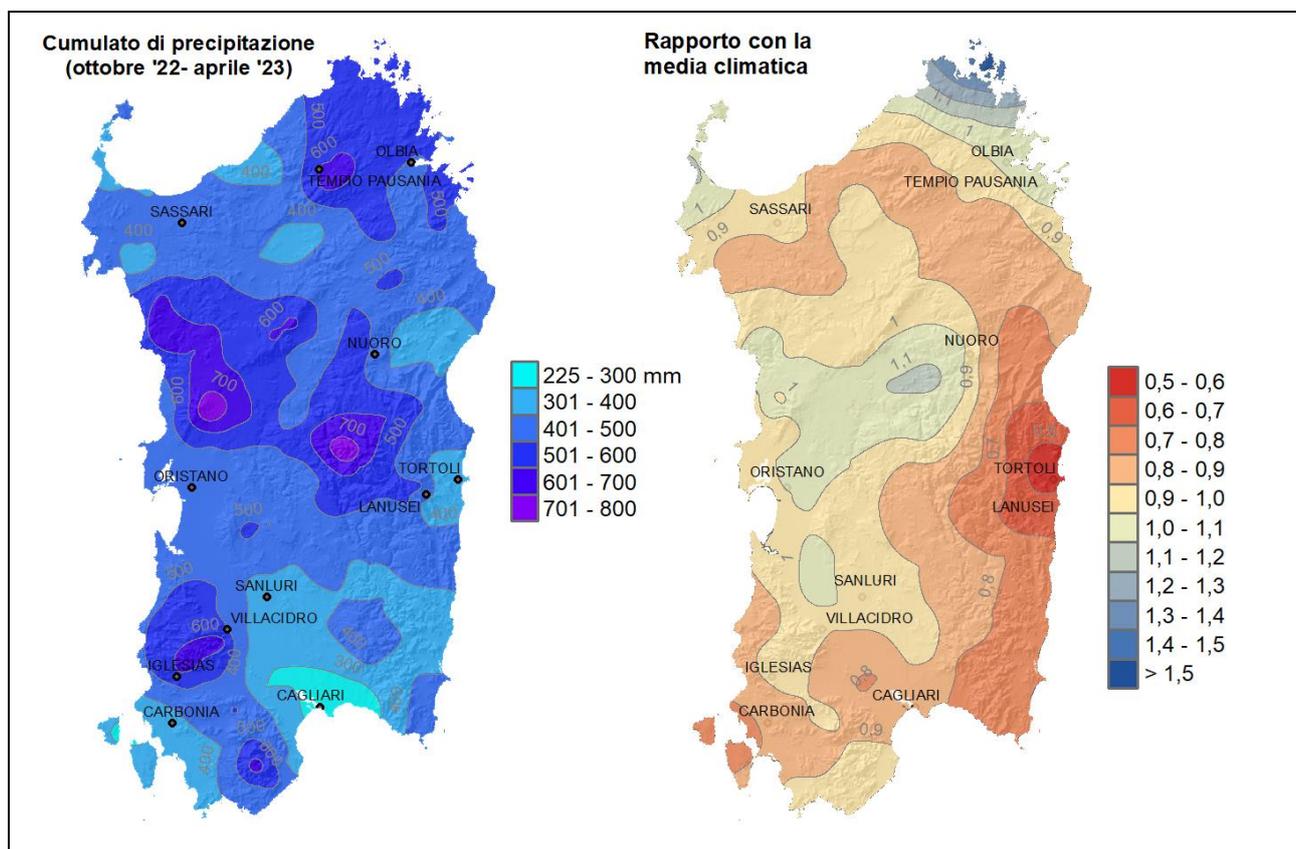
2.2. Andamento della stagione piovosa

La stagione piovosa in Sardegna convenzionalmente è il periodo compreso tra ottobre e aprile. In **Figura 12** si riporta la mappa dei cumulati del periodo ottobre 2022 – aprile 2023 e il relativo rapporto con la media climatica.

La distribuzione dei cumulati di precipitazione della stagione piovosa ricalca piuttosto bene il cumulato sull'intera annata, indice del fatto che la stagione piovosa dà un contributo importante al cumulato totale. I cumulati massimi della stagione, superiori a 700 mm, sono stati osservati sui rilievi principali della Sardegna Centrale, in particolare su Montiferru e Gennargentu. Seguono Limbara, Linas e Sulcis con cumulati localmente superiori a 600 mm. I valori minimi sono stati registrati nel Cagliaritano, in generale inferiori a 300 mm.

Rispetto alla media climatica, la maggior parte della regione ha ricevuto cumulati inferiori, con valori del rapporto anche inferiori a 0.6 in Ogliastra. Nelle zone dei massimi cumulati il rapporto è stato invece leggermente sopra 1 e in Alta Gallura ha superato localmente 1.2.

Figura 12: Cumulato di precipitazione in Sardegna da ottobre 2022 ad aprile 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatologica.



In **Figura 13** si riporta la mappa dei giorni di pioggia del periodo ottobre 2022 – aprile 2023 e il relativo rapporto con la media climatica. Le precipitazioni della stagione sono state frequenti sui rilievi principali dell'Isola con valori anche superiori a 60 giorni. Gran parte della regione ha registrato precipitazioni in più di 45 giorni. I valori minimi, inferiori a 40 giorni, sono stati osservati nel Basso Campidano e lungo le coste ogliastrine. Tali frequenze sono state per lo più inferiori alla media, con valori del rapporto tra 0.75 e 0.9 e localmente tra 0.9 e 1. Solo molto localmente nel Goceano ci sono stati valori poco sopra 1.

Figura 13: Numero di giorni piovosi da ottobre 2022 a aprile 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatologica.

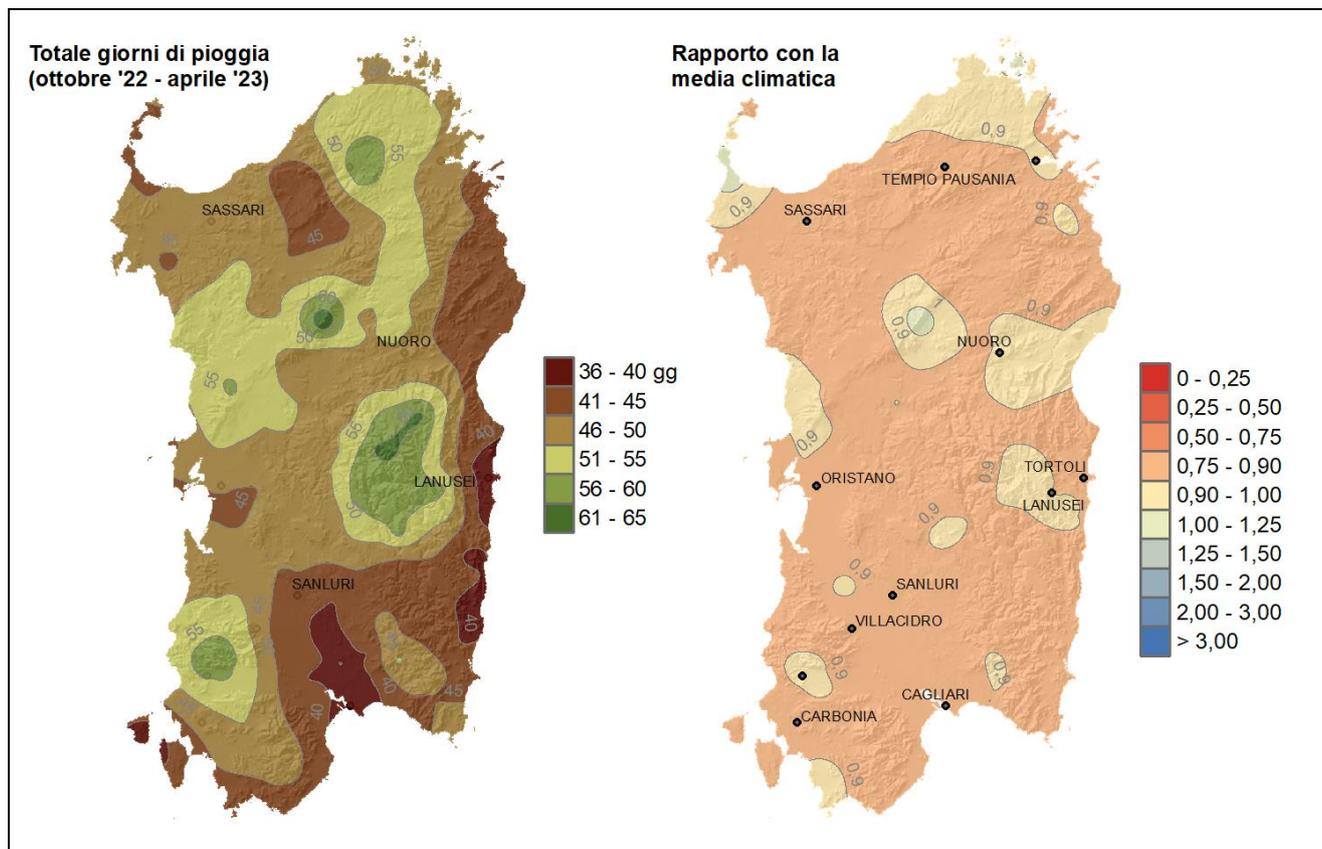
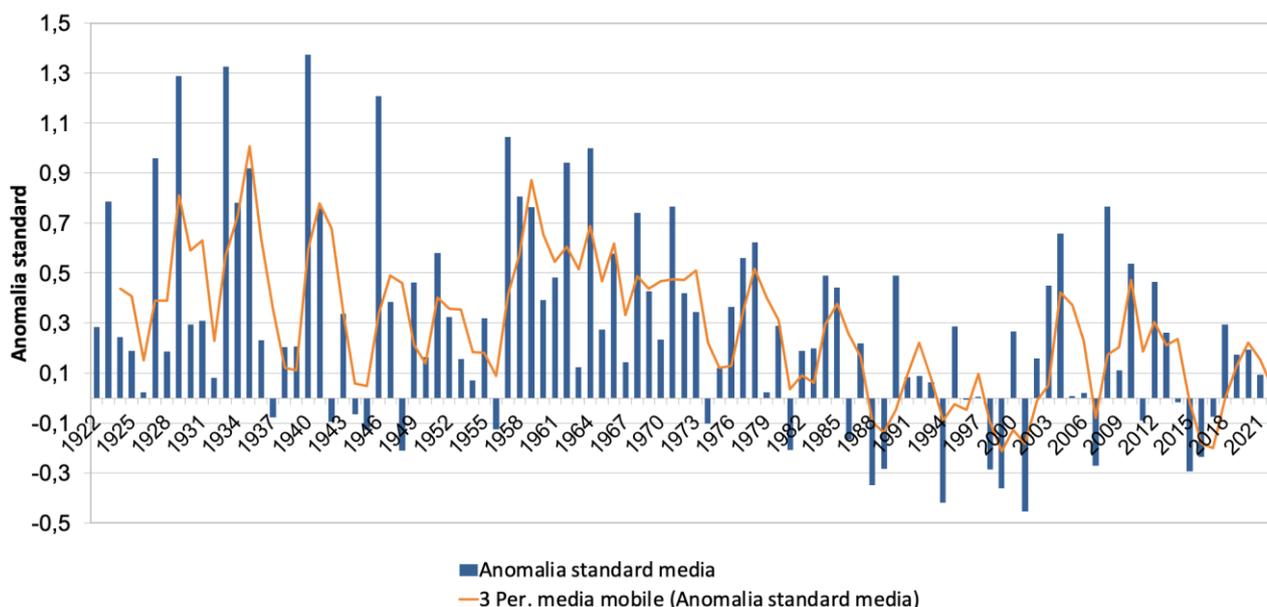


Figura 14: Andamento secolare del cumulato di precipitazione in Sardegna nel periodo ottobre – aprile.



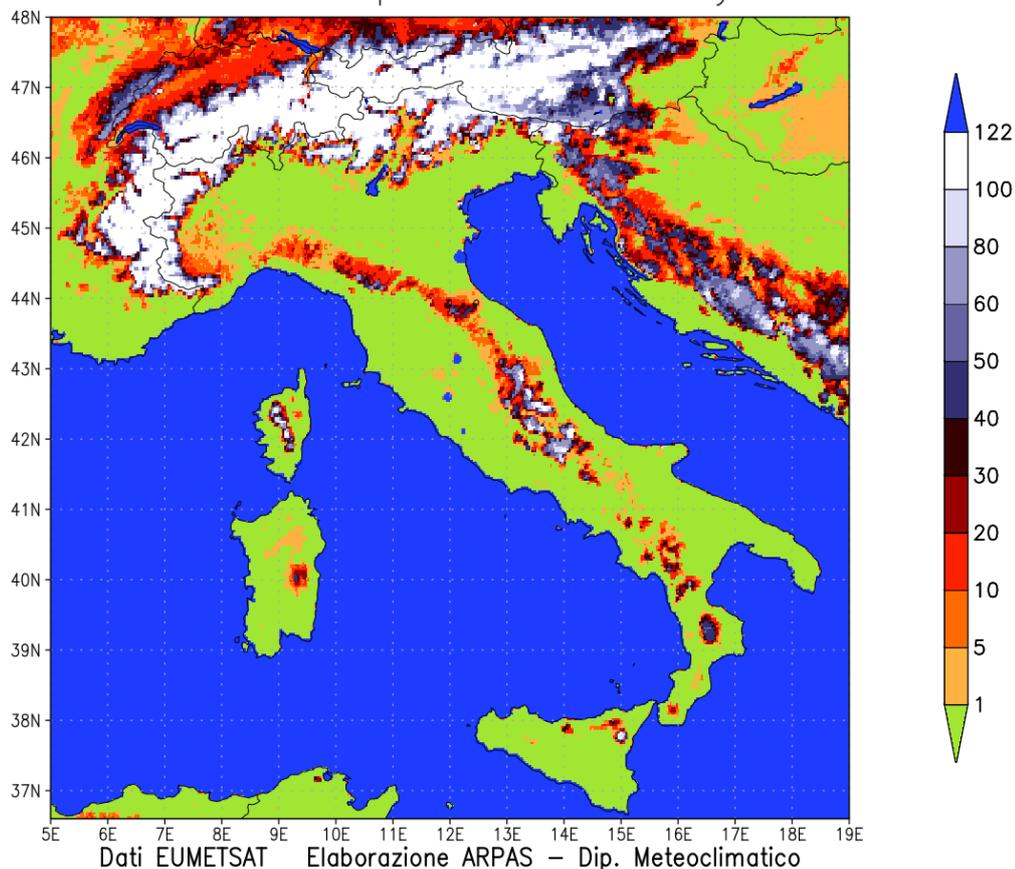
In **Figura 14** si riporta l'andamento dell'anomalia standard media della precipitazione tra ottobre e aprile dal 1922 al 2023. Nella prima metà del secolo analizzato l'anomalia è stata spesso positiva con serie di stagioni piovose sopra media lunghe anche un decennio. Dalla fine degli anni '70 l'anomalia si è tenuta su valori più bassi rispetto al periodo precedente e ha avuto una forte variabilità inter-annata. Negli anni successivi al 2017 si è registrato un lieve aumento dell'anomalia che ha però subito una diminuzione nelle ultime due annate e proprio nella 2022-2023 l'anomalia è stata leggermente negativa.

2.3. Analisi della neve

Nell'annata 2022-2023 le precipitazioni nevose sono iniziate tardi, con i primi eventi registrati a partire dal 18 gennaio 2023, anche a quote collinari. Le basse temperature di gennaio hanno permesso una significativa permanenza del manto nevoso per la seconda metà del mese. A febbraio si sono osservati due principali eventi nevosi con accumuli anche a quote collinari, con manto nevoso che sulle cime più alte del Gennargentu è perdurato per tutto il mese. Durante i primi giorni di marzo si sono avuti accumuli significativi osservabili da satellite sopra i 1200 m circa. Anche quest'anno si sono osservate nevicate tardive ad aprile ma in località di alta montagna, il cui manto è rimasto visibile solo per tre giorni, dal 4 al 6.

Figura 15: Numero di giorni con copertura nevosa sulla base delle informazioni estratte dalle immagini del satellite MSG: quadrimestre dicembre 2022 - aprile 2023.

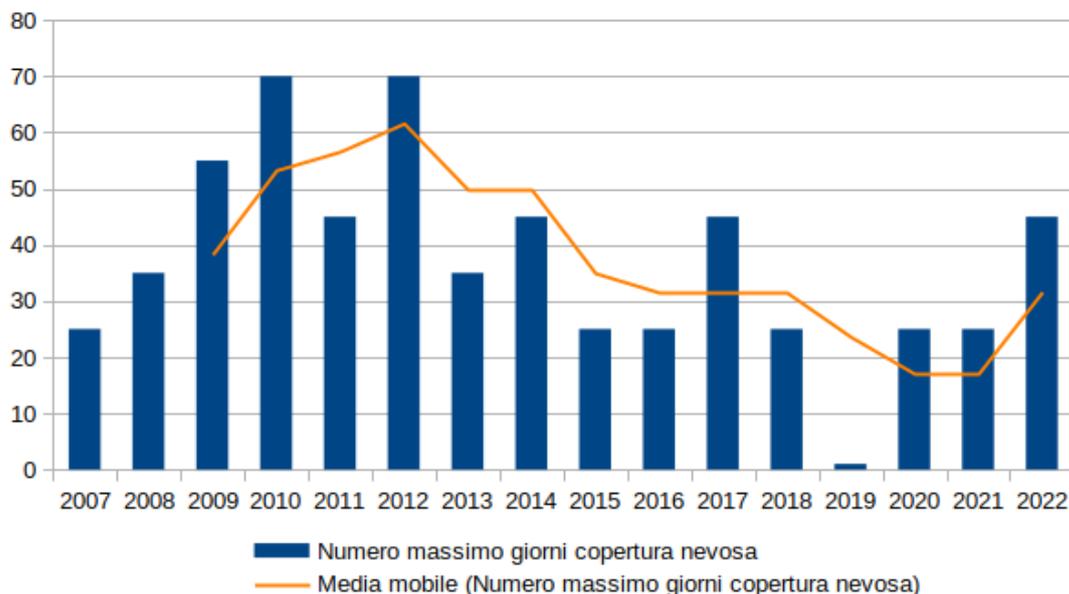
DEC22-APR23 Giorni di copertura nevosa-Days of snowcover



GrADS/COLA

2024-02-05-10:49

Figura 16: Numero massimo di giorni con copertura nevosa sulla Sardegna in base alle informazioni di Figura 13. Ogni valore rappresenta la media di una classe della scala di figura 15: ad esempio, 35 indica la classe 30-40, mentre 70 indica la classe 60-80.



In **Figura 15** si mostra la mappa dei giorni di copertura nevosa in Italia. Sulle cime del Gennargentu i giorni di copertura nevosa sono stati tra 40 e 50 mentre sul resto dei rilievi si sono avute permanenze di manto nevoso inferiori con minimi tra 1 e 5 giorni sui rilievi settentrionali.

La **Figura 16** mostra la tendenza del numero massimo di giorni nevosi in Sardegna dall'inverno 2007-2008 all'inverno 2022-2023. Il numero massimo osservato nell'inverno 2022-2023 è stato pari a 45, in aumento rispetto agli inverni precedenti.

3. LE PRECIPITAZIONI SU GRUPPI DI MESI

3.1. Il trimestre ottobre-dicembre

La **Figura 17** mostra la distribuzione delle precipitazioni sul trimestre ottobre-dicembre 2022 e il relativo rapporto con la media climatica. I cumulati del trimestre hanno interessato principalmente i settori occidentali e settentrionali, con valori anche sopra i 240 mm. I massimi sono stati misurati tra Planargia, Montiferru e Gennargentu, localmente anche superiori a 400 mm. Sulla costa orientale, dalle Baronie di Sarrabus e sulla parte orientale del Golfo di Cagliari i cumulati sono stati minimi, localmente anche inferiori 120 mm.

I cumulati decritti sono stati in gran parte sotto media ad esclusione dei settori centro-occidentali e l'Alta Gallura. Localmente nel Margine le precipitazioni sono state leggermente sopra media, sino al 25% superiori. Sulla costa orientale, in particolare in Ogliastro, le precipitazioni del trimestre sono state tra il 50% e il 75% meno abbondanti rispetto al clima.

In **Figura 18** viene riportato l'andamento secolare dell'anomalia standard di precipitazione per il periodo ottobre-dicembre dal 1922 al 2022 in base alla climatologia 1981-2010.

Anche in questo caso l'andamento è oscillante con solo alcuni intervalli più o meno lunghi in cui l'anomalia si è mantenuta positiva per diverse annate, come ad esempio dal 1958 al 1969, oppure negativa come tra il 1986 e il 1989. Per gli ultimi anni, dopo la persistenza di valori negativi tra il 2014 e il 2018, si sono registrate anomalie positive sino al 2021, mentre nell'ultima annata l'anomalia è stata leggermente negativa.

Figura 17: Cumulato di precipitazione in Sardegna da ottobre a dicembre 2022 e rapporto tra il cumulato e la media climatica.

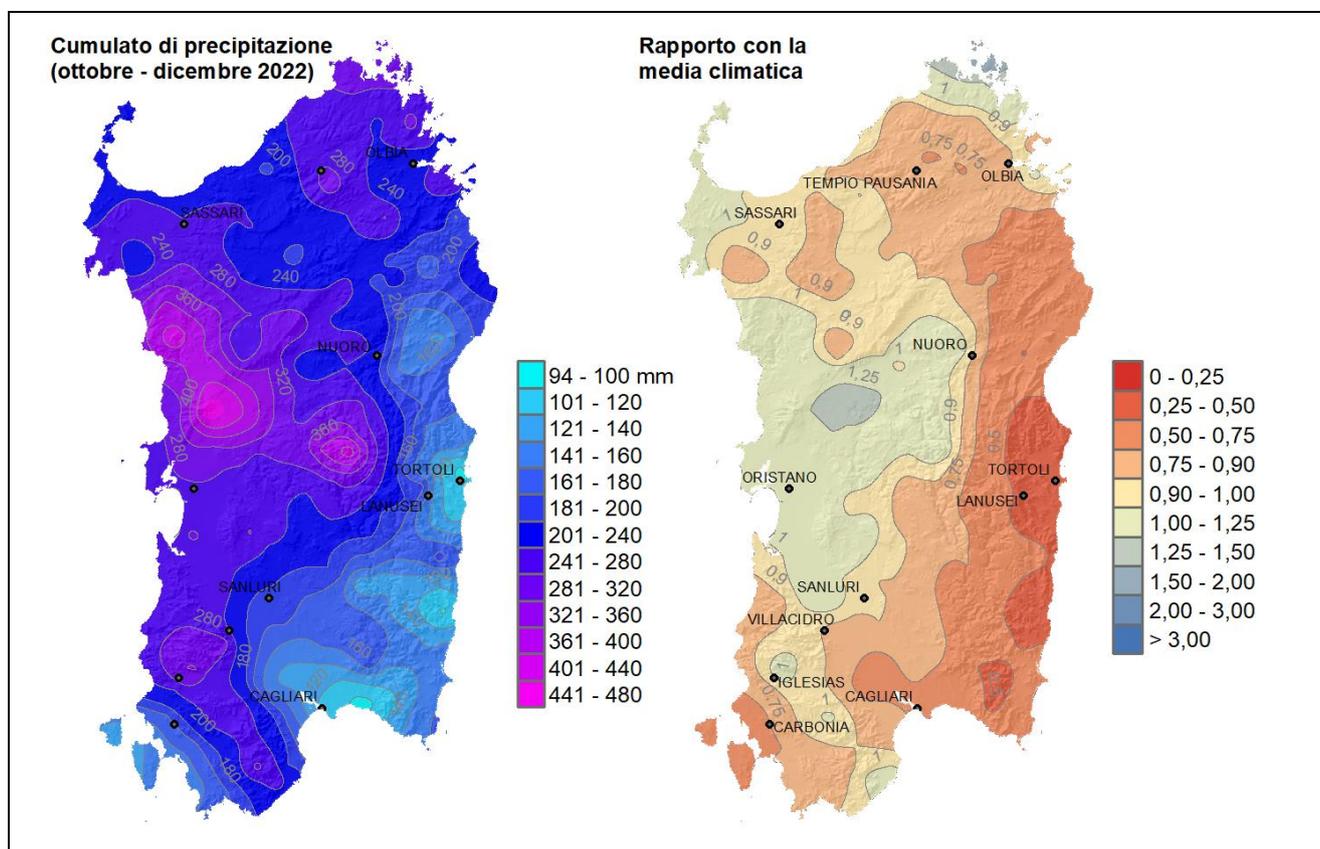
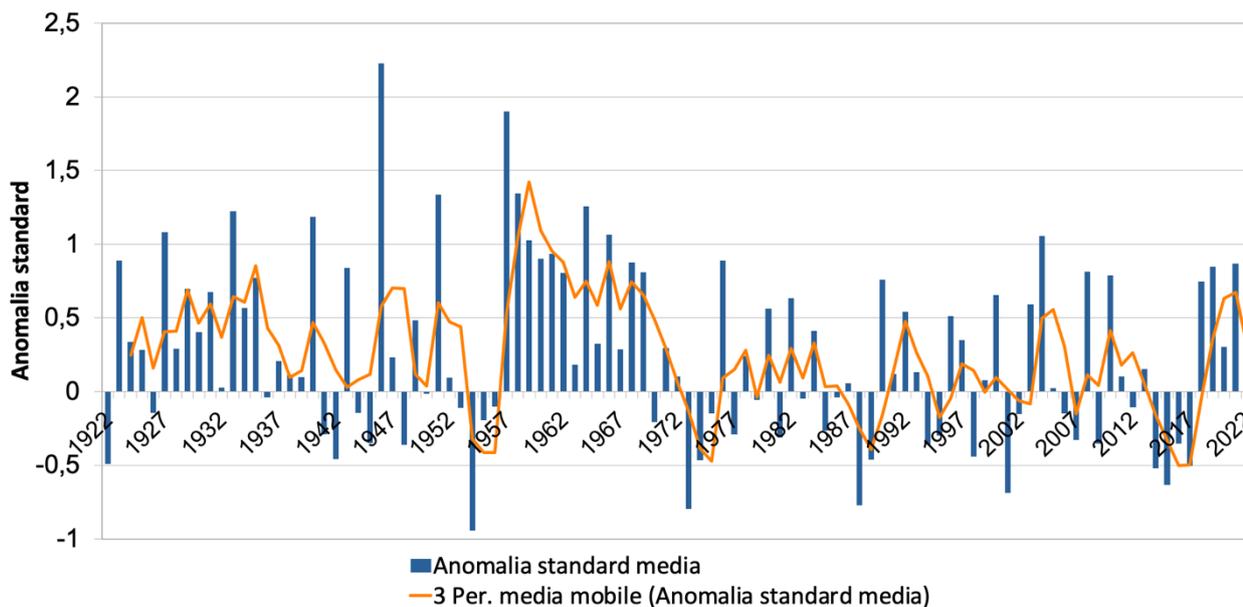


Figura 18: Andamento secolare del cumulato di precipitazione in Sardegna nel periodo ottobre-dicembre.



3.2. Il quadrimestre gennaio-aprile

La **Figura 19** mostra i cumulati di precipitazione nel quadrimestre gennaio-aprile 2023 e il relativo rapporto con la media climatica. Durante questo quadrimestre le precipitazioni hanno interessato principalmente i settori orientali dell'Isola, con cumulati localmente superiori a 320 mm sul Gennargentu e in Gallura. Altri minimi relativi sono stati osservati nel Sulcis, Linas e Marghine. Le zone più deficitarie sono invece state il Nord-Ovest e il Cagliariitano, con valori anche inferiori a 140 mm.

Rispetto alla media climatica i valori descritti sono stati generalmente inferiori sui settori occidentali, anche del 25%, mentre su quelli orientali, a eccezione dell'Ogliastra, sono stati in media o leggermente sopra, anche sopra il 25% in Gallura.

L'andamento secolare dell'anomalia standard di precipitazione in base alla climatologia 1981-2010 è mostrato in **Figura 20**. L'anomalia gennaio-aprile si è mantenuta quasi sempre positiva dal 1922 al 1979, eccetto alcune annate isolate in cui è stata negativa. A partire dagli anni '80 si è osservata una frequenza di oscillazione tra valori positivi e negativi maggiore, in cui ricadono due sottoperiodi: i) dal 1990 al 2002 con anomalie negative; ii) dal 2003 al 2018 con anomalie spesso positive e solo in alcune annate negative. Per gli ultimi anni dopo il 2017 si sono osservate anomalie negative sebbene quella dell'ultima annata sia molto vicina allo zero.

Figura 19: Cumulato di precipitazione in Sardegna da gennaio ad aprile 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatologica.

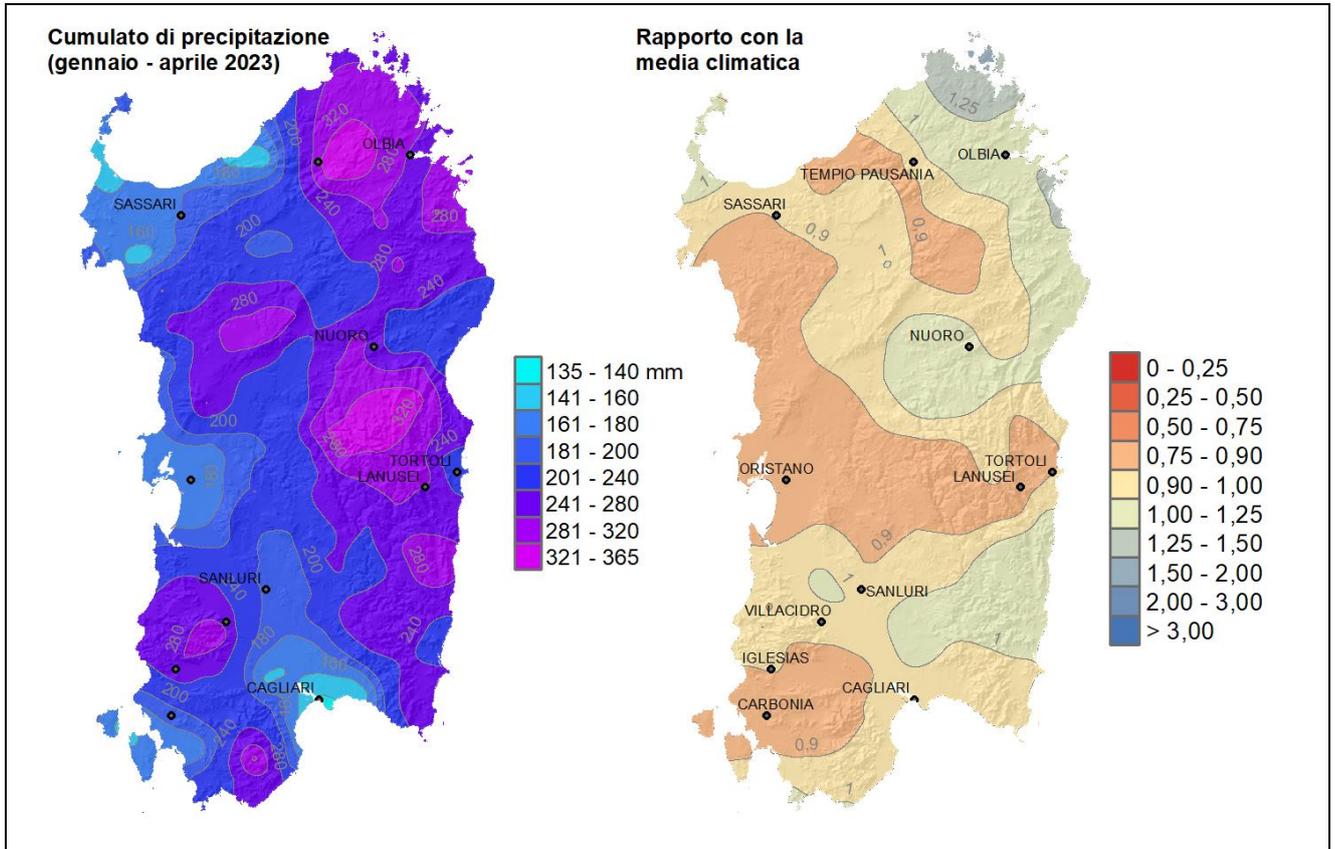
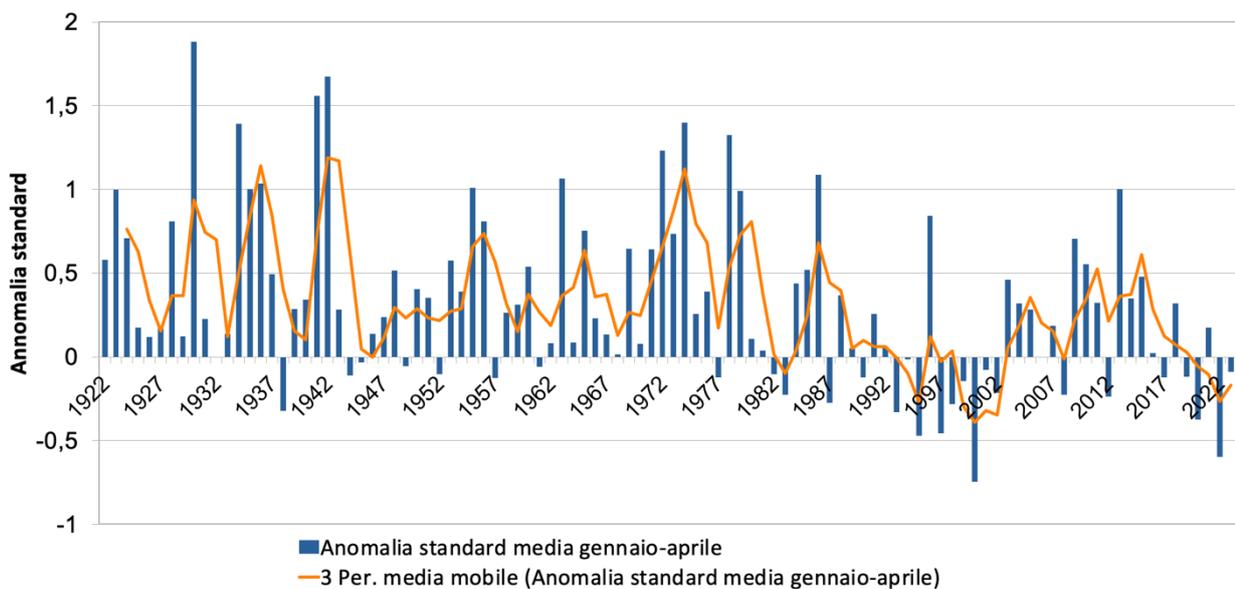


Figura 20: Andamento secolare del cumulato di precipitazione in Sardegna nel periodo gennaio-aprile.



3.3. Il quinquemestre maggio-settembre

Il quinquemestre maggio-settembre in Sardegna è convenzionalmente un periodo secco, caratterizzato da scarse precipitazioni. I cumulati di precipitazione per tale periodo sono riportati in **Figura 21**. I cumulati massimi del periodo sono stati registrati nella Sardegna Centro-Settentrionale, in genere superiori a 200 mm e anche sopra i 360 mm sul Supramonte. Sui settori meridionali e localmente nel Nord-Ovest i cumulati sono stati minimi, inferiori a 100 mm e più localmente a 80 mm.

In confronto alla media climatica i cumulati sono stati superiori nelle zone centro-settentrionali, dal 100% al 200%. I valori minimi del rapporto riguardano invece il Sud, soprattutto nel Capoterrese e le due isole di Sant'Antioco e Carloforte dove il rapporto è anche inferiore a 0,5, mentre nel Sarrabus i cumulati sono stati sino al 25% più bassi della media.

L'andamento secolare dell'anomalia standard di precipitazione è mostrato in **Figura 22**. Tale andamento è fortemente oscillante tra valori positivi e negativi, quasi sempre nel range (-0,5;0,5) eccetto qualche annata isolata in cui l'anomalia ha raggiunto valori intorno a 1. Nelle ultime due annate l'anomalia si è comunque mantenuta su valori crescenti e positivi.

Figura 21: Cumulato di precipitazione in Sardegna da maggio a settembre 2023 e rapporto tra il cumulato e la media climatologica.

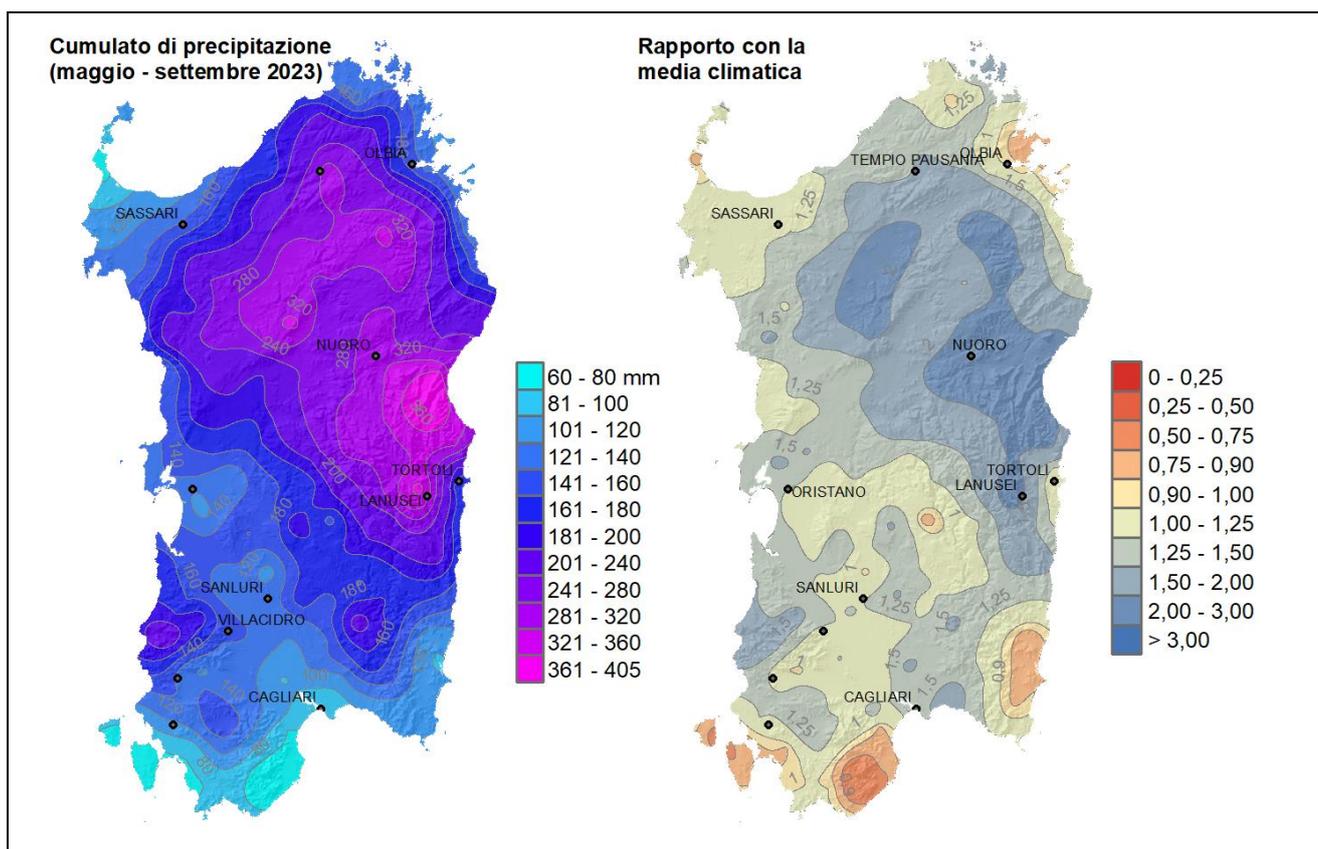
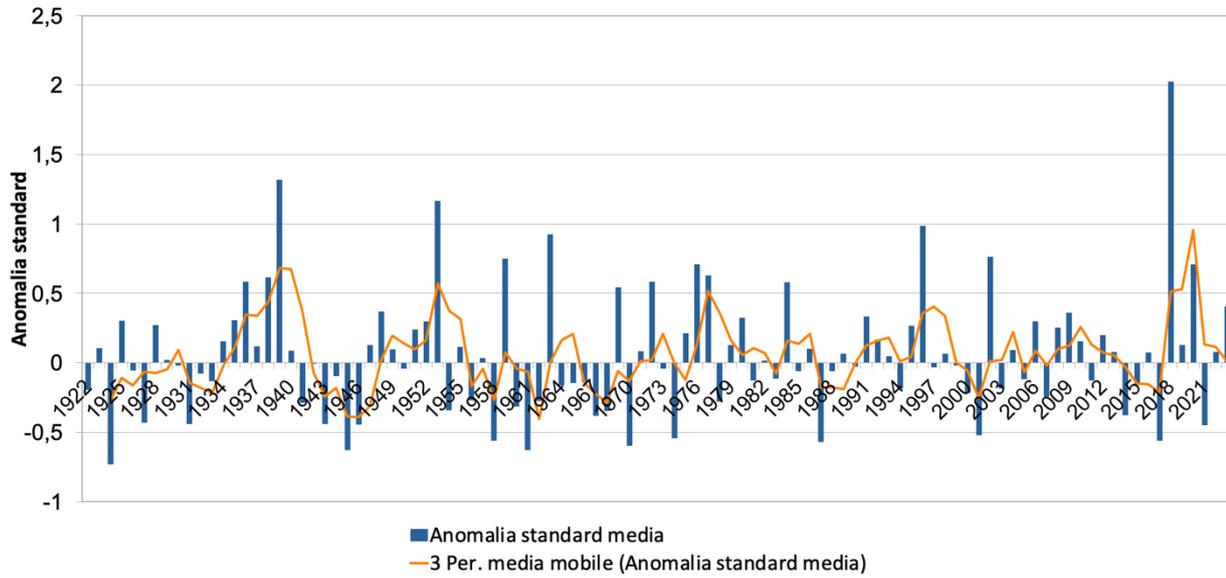


Figura 22: Andamento secolare del cumulo di precipitazione in Sardegna nel periodo maggio-settembre.



4. TEMPERATURE ANNUALI

Le temperature medie dell'annata 2022-2023 sono state particolarmente elevate.

In molte delle zone interne (**Figura 23**), in particolare il Campidano, la Media Valle del Tirso, il Sulcis-Iglesiente, le medie delle massime hanno superato i 24 °C. Su quasi tutto il resto dell'Isola le massime si sono assestate tra i 20 °C e i 24 °C. Solo nelle zone di montagna le medie annuali delle massime sono state inferiori ai 20 °C. Si è trattato di valori molto elevati, quasi ovunque tra +1 °C e +2 °C rispetto alla media del ventennio recente (1995-2014).

Le medie annuali delle temperature minime della Sardegna sono risultate anch'esse poco basse (**Figura 24**). Lungo le coste hanno superato i 12 °C, con punte superiori ai 14 °C in alcune parti della costa meridionale. Anche nelle zone di montagna le medie delle minime sono state alte, con valori intorno ai 6/8 °C. Le anomalie rispetto alle medie storiche risultano positive, con valori tra +0.5 °C e +1 °C, su tutto il territorio regionale.

Figura 23: Media annuale delle temperature massime 2022-2023 e anomalia rispetto alla media 1995-2014.

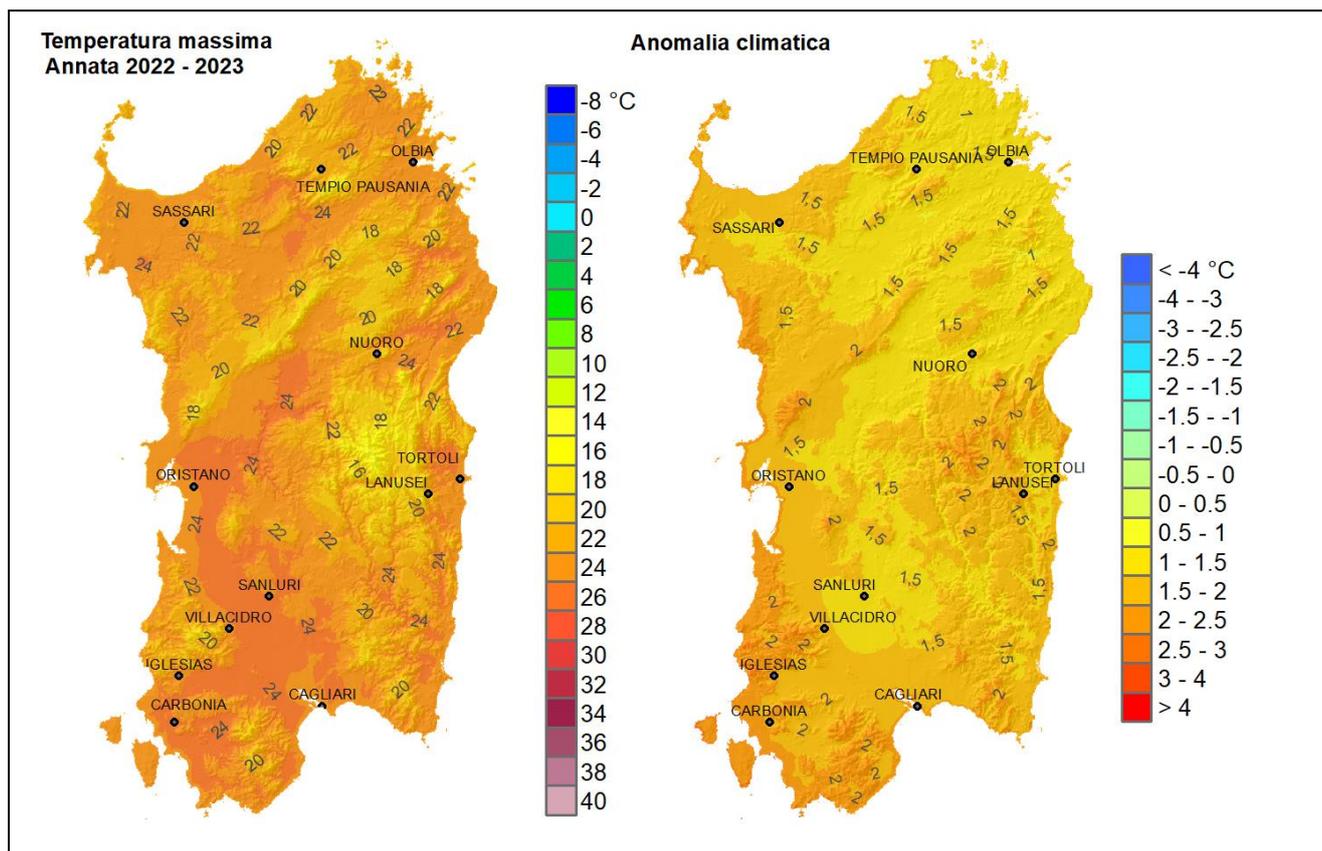
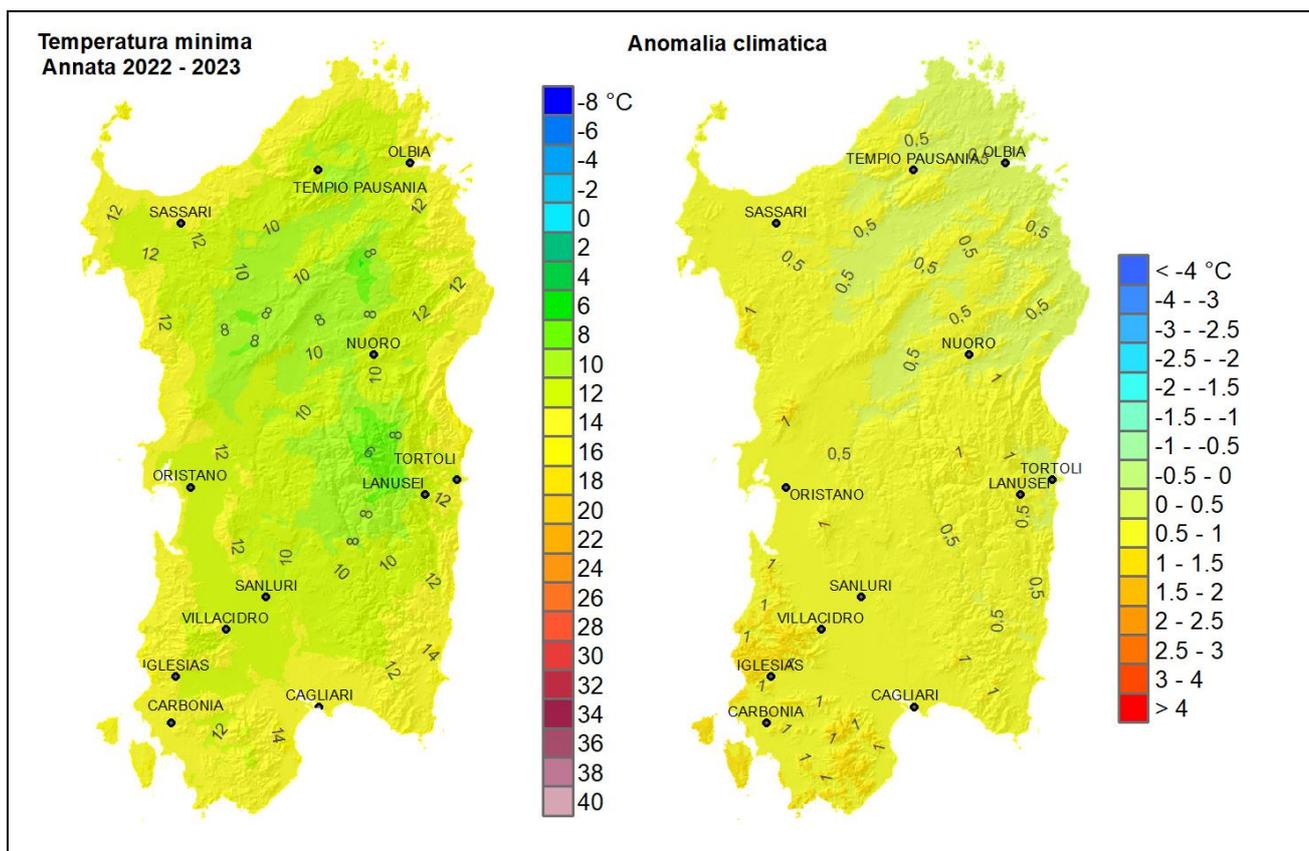


Figura 24: Media annuale delle temperature minime 2022-2023 e anomalia rispetto alla media 1995-2014.



Nel presente riepilogo annuale l'analisi della variabilità secolare è stata rifatta per adeguarla alla nuova climatologia 1981-2010 e per riesaminare le serie storiche alla base dell'analisi. I grafici riportati, dunque, mostrano numerose differenze rispetto a quelli dei riepiloghi precedenti.

L'andamento secolare dell'anomalia della temperatura massima è riportato nella **Figura 25**. Come si può evincere, il 2023 è stato il più caldo di sempre con un'anomalia pari a +1.7 °C, di poco superiore al 2017 quando l'anomalia fu di +1.6 °C.

La **Figura 26** riporta l'andamento secolare della temperatura minima. Il valore del 2013 non è stato riportato per problemi sui dati che richiedono ulteriori approfondimenti. Dal grafico si evince che, mentre per le temperature massime l'andamento secolare crescente appare in maniera netta, per le temperature minime questo andamento è meno evidente. Non è escluso che i due cambi di strumentazione occorsi degli ultimi decenni possano avere avuto un impatto sulle misure delle temperature minime.

Figura 25: Anomalia delle temperature massime della Sardegna dal 1880 rispetto alla climatologia 1981-2010.

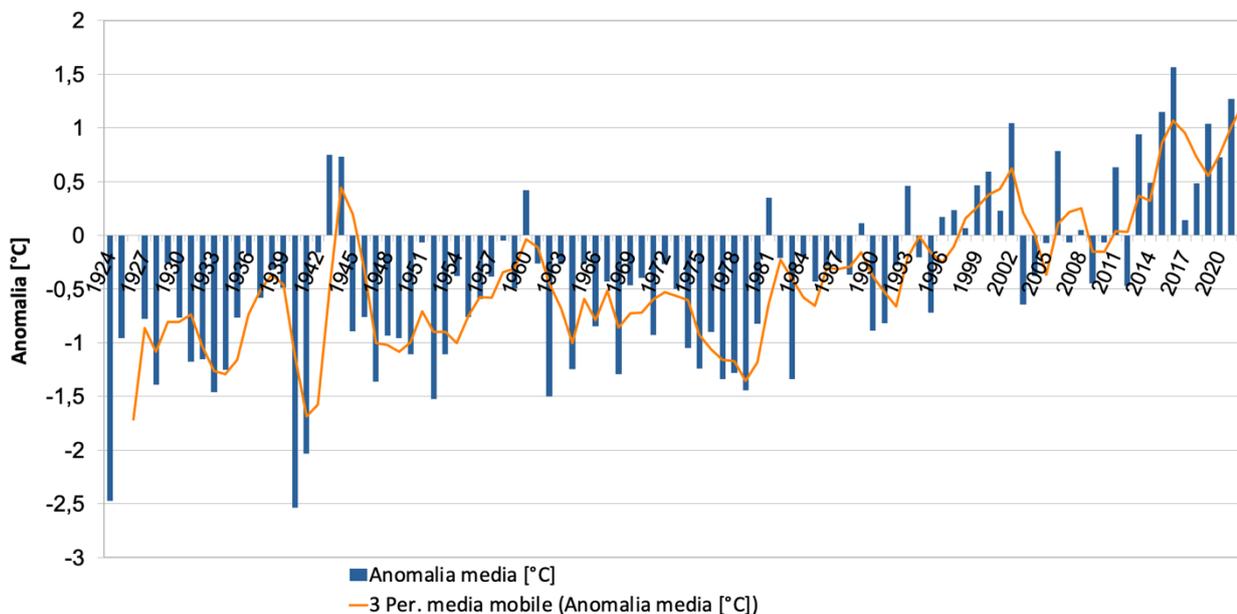
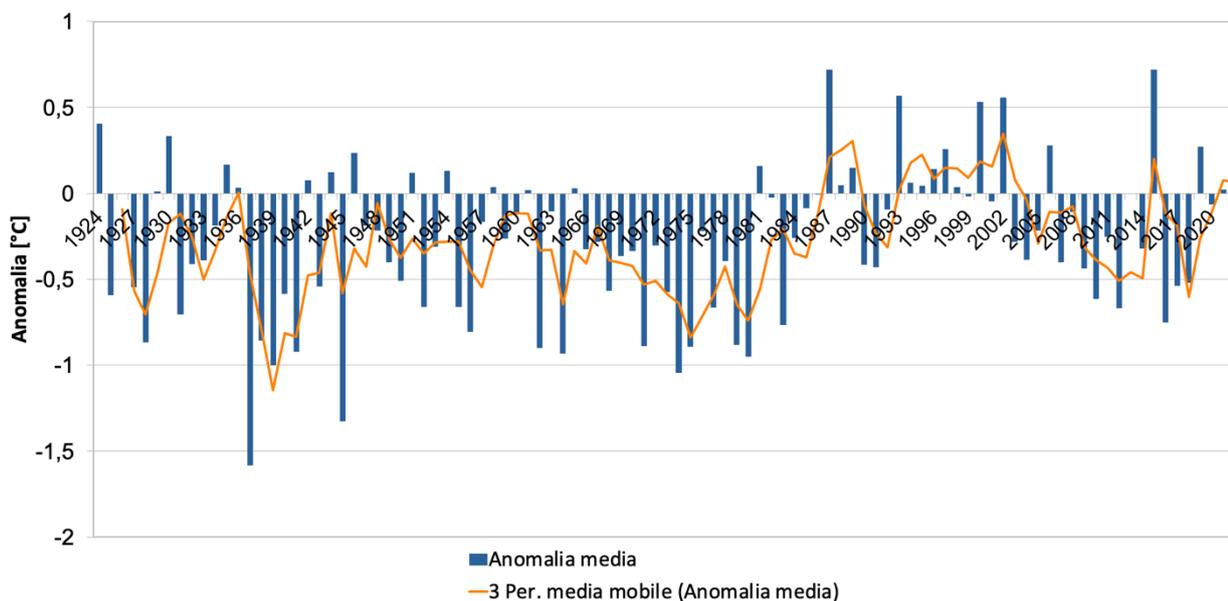


Figura 26: Anomalia delle temperature minime della Sardegna dal 1880 rispetto alla climatologia 1981-2010.



4.1. Temperature medie dei singoli mesi

Il mese con le temperature in assoluto più alte (**Figura 27**) è stato luglio 2023 che ha fatto registrare medie delle temperature massime di 30 °C sui monti del Gennargentu, massime di 32 °C sulle coste e valori sino ai 36/38 °C delle zone interne più calde. Anche le minime sono state particolarmente elevate, con valori medi tra i 18 °C e i 22 °C.

All'interno del mese si sono avuti numerosissimi episodi di temperature massime superiori ai 40 °C, tra le quali si segnala la temperatura massima più alta di sempre mai registrata in Sardegna: 48.2 °C registrati a Jerzu e a Lotzorai il 24 luglio.

Si è trattato di valori eccezionali sia in termini assoluti sia in termini di anomalie. Queste ultime, infatti, sono risultate comprese tra +2 °C e +5 °C al di sopra della media climatologica, sia per le minime sia per le massime.

Per quanto meno elevate in valori assoluti, anche le medie di settembre 2023 sono risultate molto elevate, con anomalie delle temperature massime sino a +4 °C.

Nel 2022-2023, infine, non ci sono stati dei mesi davvero freddi. Le medie delle temperature minime dei singoli mesi sono state in linea con la media oppure superiori. Gli unici due mesi con delle anomalie medie inferiori alla media sono stati febbraio e marzo 2023. Il primo dei due, in particolare, ha avuto delle anomalie sino a -2 °C sul Nord-Est della Sardegna (**Figura 28**). In quel mese le medie mensili sono state comprese tra -2 °C nelle zone di montagna e +6 °C in alcune aree costiere.

Figura 27: Media delle massime del mese più caldo in assoluto (luglio 2023).

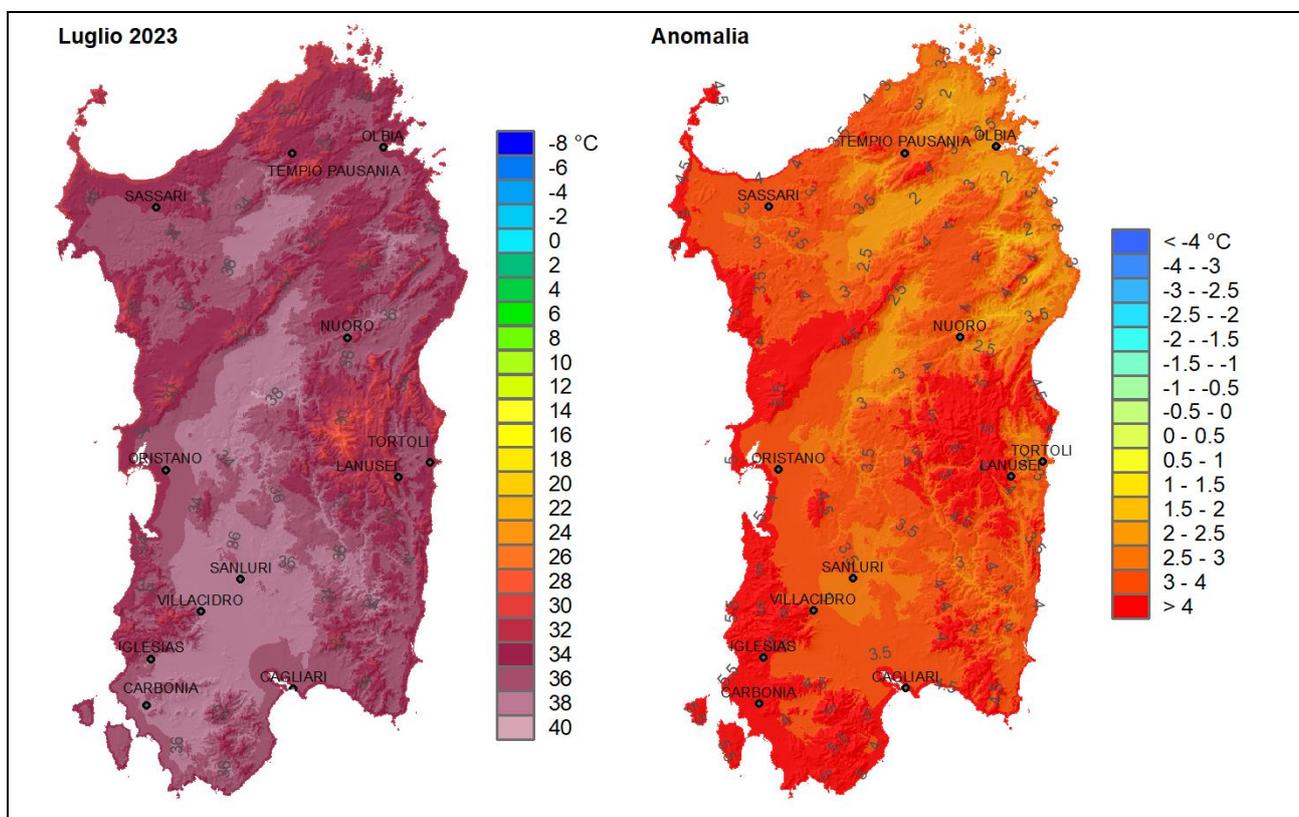
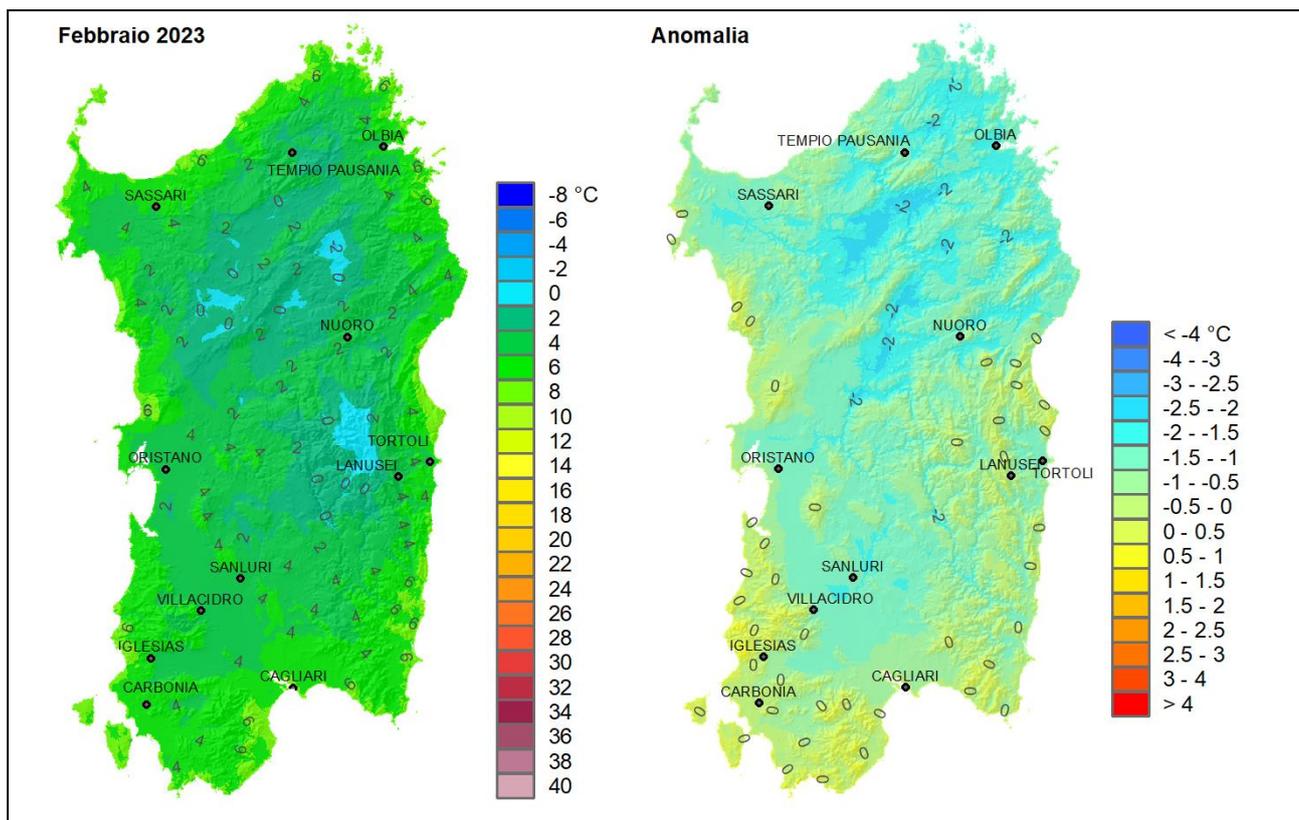


Figura 28: Media delle minime del mese più freddo (febbraio 2023).



4.2.Indicatori di condizioni termiche particolari

L’analisi delle temperature estreme è effettuata attraverso l’elaborazione di indici proposti dal “CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection”, basati sui valori minimi e massimi giornalieri, i giorni con gelo, le notti tropicali e le giornate estive¹.

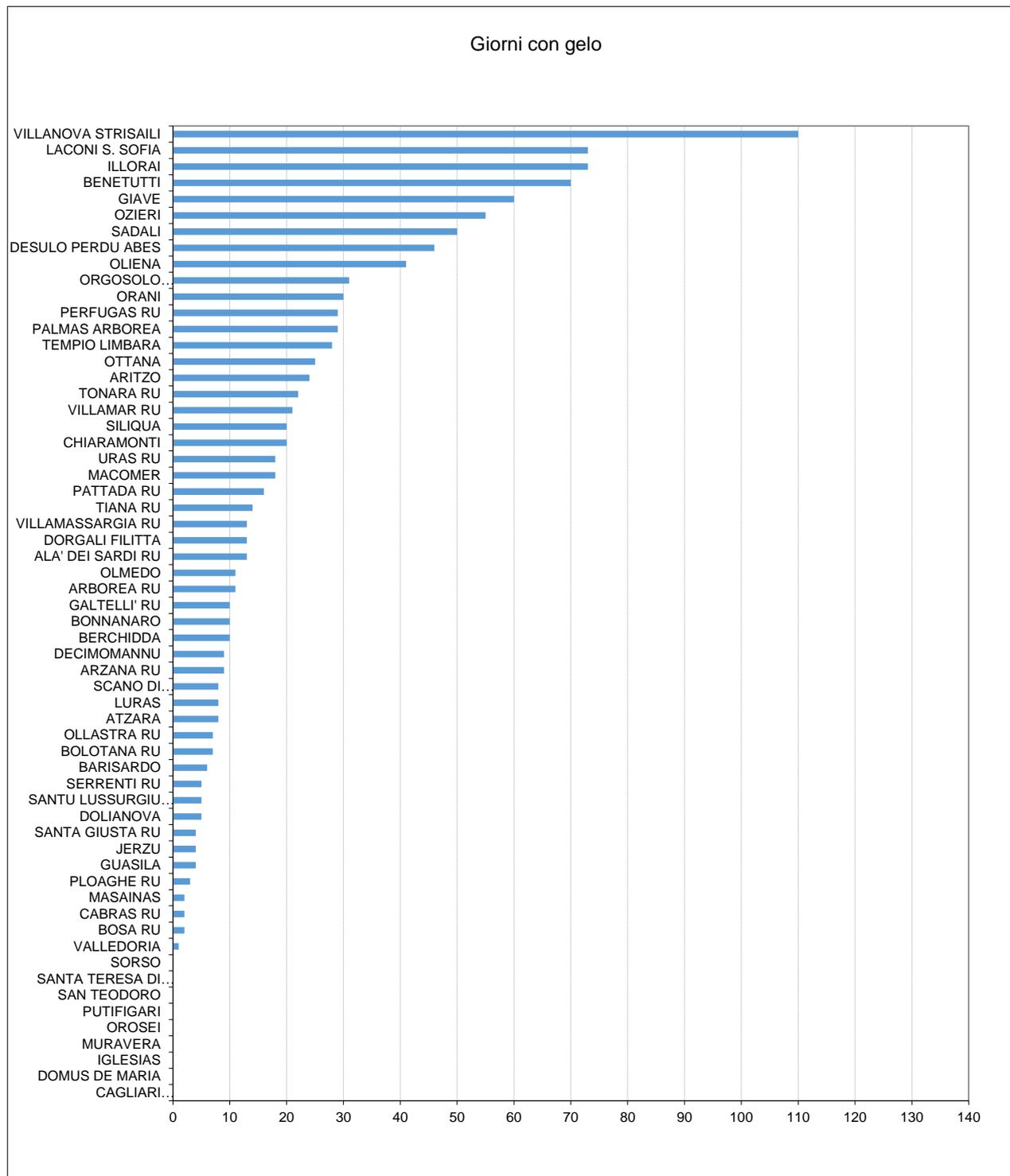
¹ Le *giornate estive* sono definite *convenzionalmente* come le giornate con temperature massime > 25°C; tuttavia nella presente analisi la soglia è stata elevata a 30°C per rendere questo indicatore più coerente con il clima della Sardegna.

4.2.1. Giorni di gelo

Dall'analisi dei giorni di gelo emerge che il 2022-2023 ha avuto in generale pochi episodi freddi, con la sola eccezione delle zone tipicamente esposte alle gelate radiative, come Villanova Strisaili (

Figura 29).

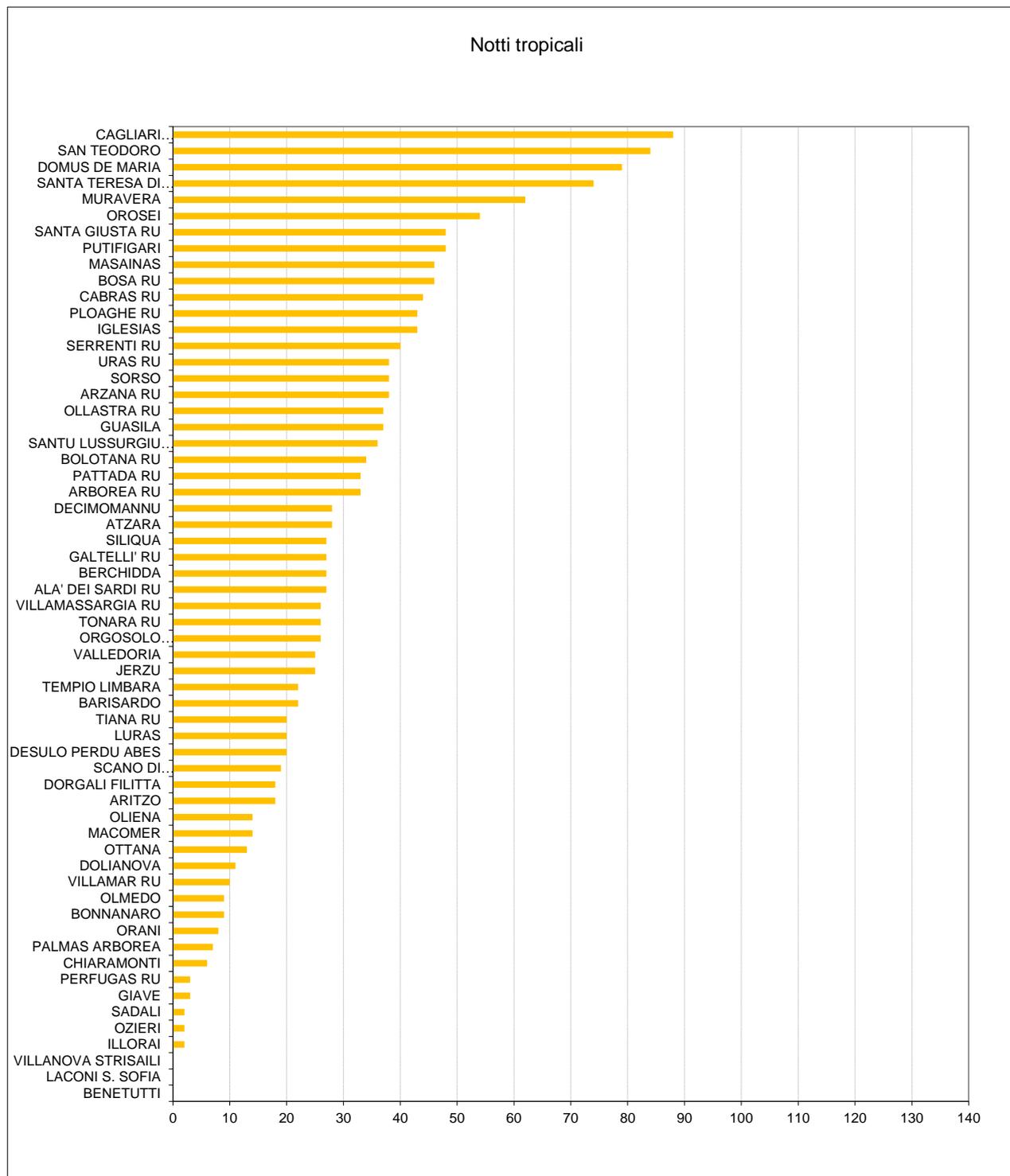
Figura 29: Numero di giorni con gelo ($T_{min} \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) registrati nell'annata 2022-2023.



4.2.2. Notti tropicali

L'analisi delle notti tropicali mostra che questo fenomeno è stato più frequente in alcune realtà della Sardegna meridionale e orientale, come Cagliari, San Teodoro e Domus de Maria, dove si sono avute anche 80 notti con temperature minime superiori a 20 °C (Figura 30).

Figura 30: Numero di notti tropicali (Tmin > 20 °C) registrati nel periodo aprile-ottobre 2023.

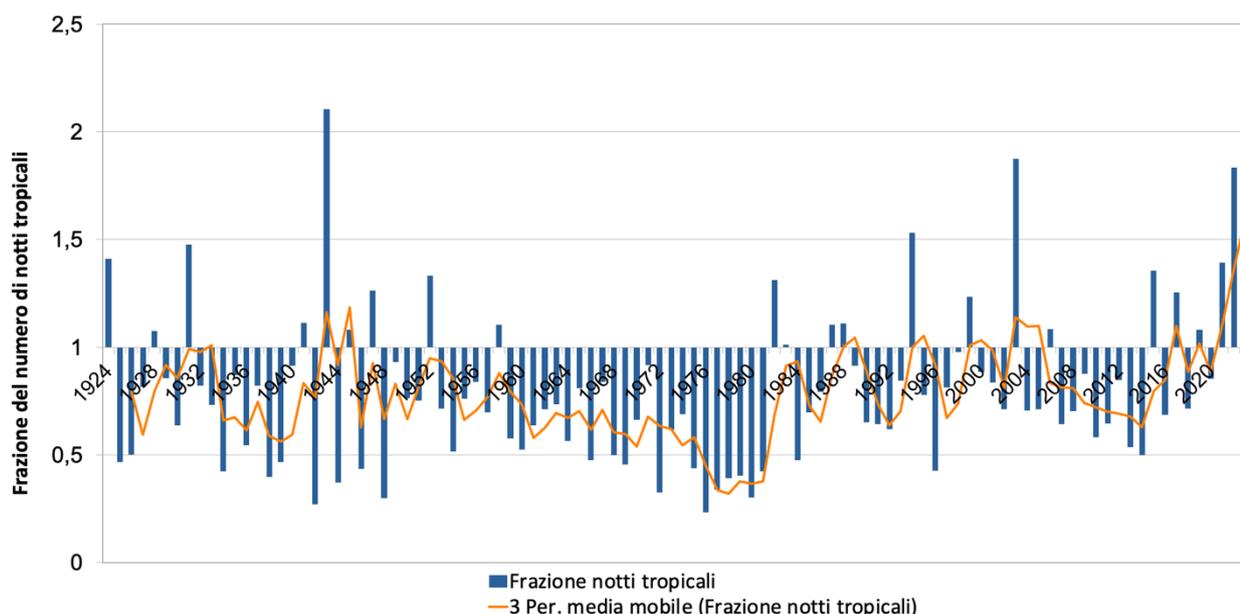


Il fenomeno non ha risparmiato neppure le zone di montagna, con 20 notti tropicali a Desulo Perdu Abes e 22 a Tempio Limbara.

Anche il conteggio del numero di notti tropicali (**Figura 31**, revisionata come negli altri casi) mostra che il 2023 è stato uno dei più alti con un numero di notti tropicali superiore del 60% rispetto al numero medio del trentennio. Anche in questo caso si osserva che il 2003 e il 2022 hanno avuto un numero di notti tropicali più elevato rispetto al 2023.

Dall'analisi secolare emerge anche un massimo storico nel 1943. Si deve però far presente che in quegli anni erano attive poche stazioni, con dati difficilmente verificabili a distanza di ottant'anni, per cui si tratta di un valore record da considerare con cautela.

Figura 31: Andamento secolare della frazione del numero di notti tropicali (giorni con temperatura minima > 20 °C da aprile a ottobre rispetto alla media 1971-2000). Il valore 1 indica i valori nella media del periodo 1971-2000.



4.2.3. Giornate estive

Nel 2023 il numero delle giornate estive (**Figura 32**) è variato dalle 21 di Desulo Perdu Abes alle 117 di Austis Diga Benzone. Sebbene siano interessanti gli oltre 100 giorni con temperature massime superiori ai 30 °C di molte zone interne, sono sicuramente più peculiari gli oltre 20 giorni delle zone di montagna come, appunto, Desulo Perdu Abes (sui monti del Gennargentu) oppure Tempio Limbara. Questi numeri stanno a indicare che le temperature molto elevate del 2023 hanno interessato diffusamente l'intera Sardegna.

Il grafico degli andamenti secolari del numero di notti tropicali è stato revisionato in maniera analoga a quelli delle temperature.

Dal nuovo grafico delle giornate estive (**Figura 33**) emerge che per questo indicatore l'anno 2023, nonostante l'estate caratterizzata da temperature estreme, non è stato quello coi valori più elevati in assoluto, ma è stato solo il terzo, dopo il 2022 e il 2003. Questa peculiarità deriva dal fatto che il 2023 ha effettivamente avuto le temperature più alte in valore assoluto, mentre il 2022 ha avuto un maggior numero complessivo di giornate caratterizzate da temperature molto alte.

Figura 32: Numero di giornate estive (Tmax > 30 °C) registrate nell'anno 2023.

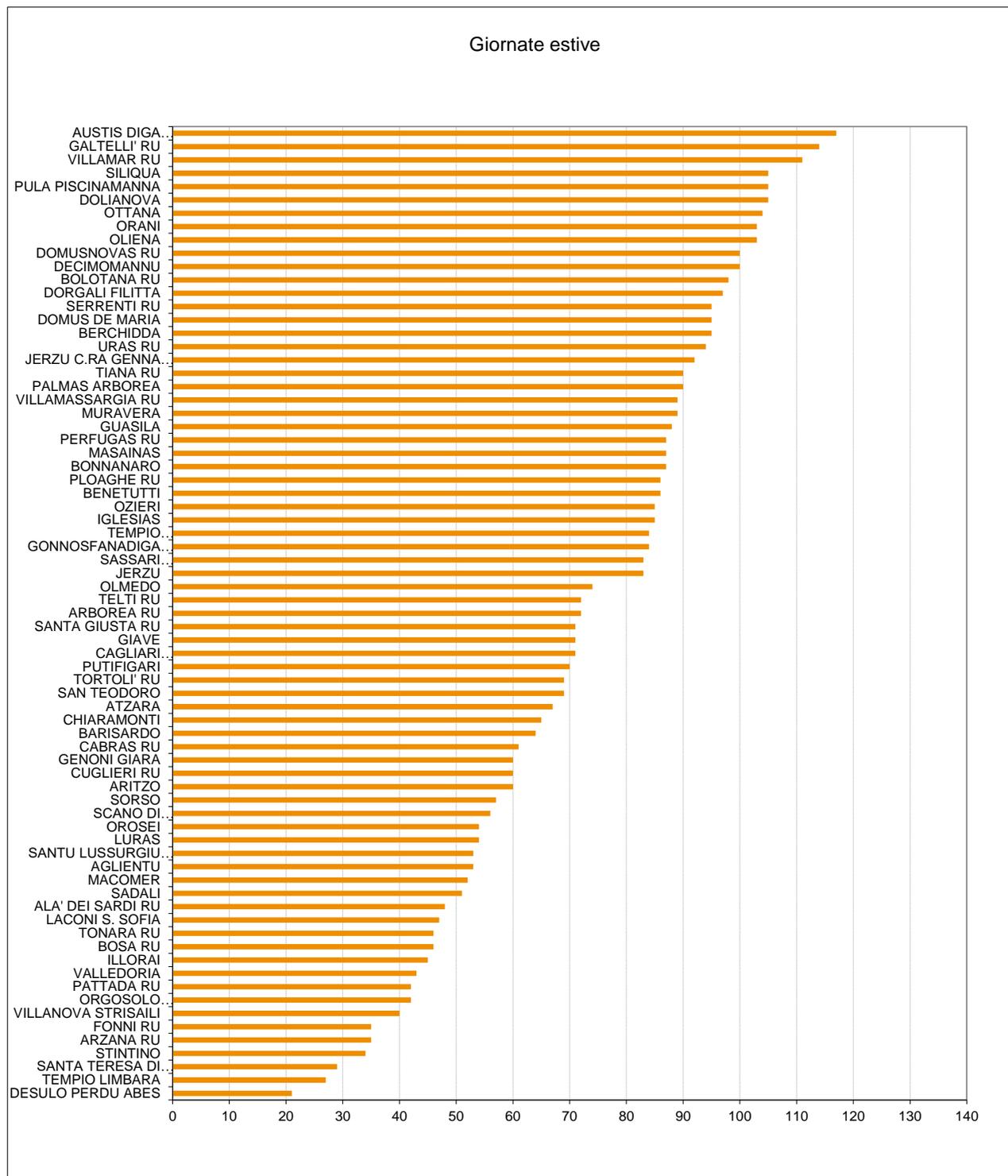
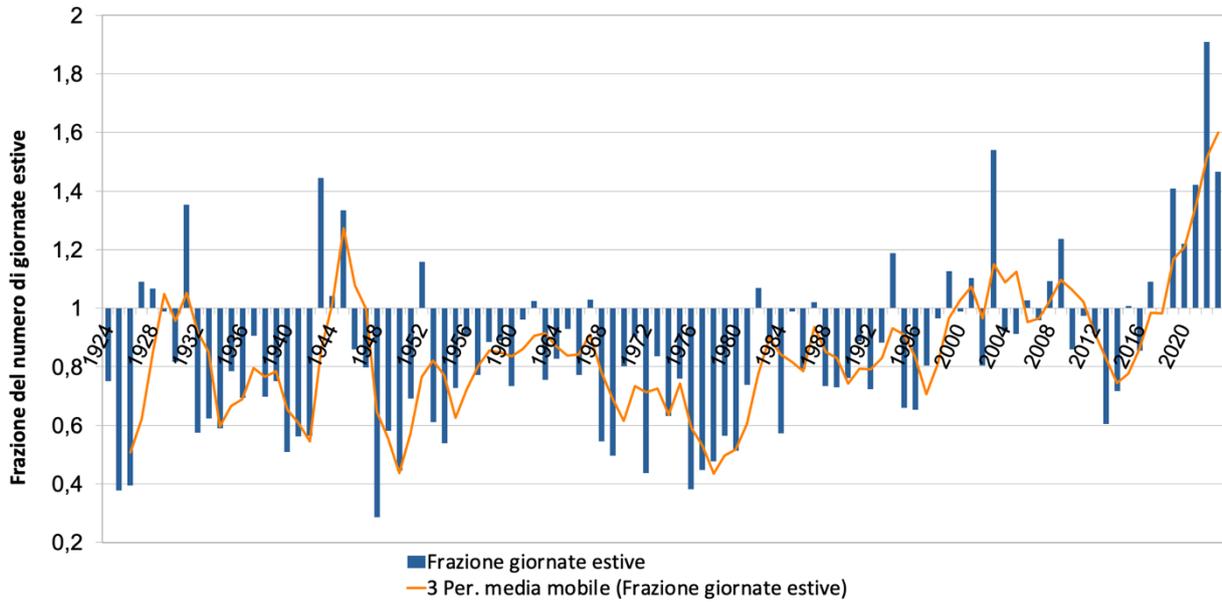


Figura 33: Andamento secolare della frazione del numero di giornate estive (numero di giornate con temperatura massima > 30 °C da aprile a ottobre rispetto alla media 1971-2000). Il valore 1 indica i valori nella media del periodo 1971-2000.

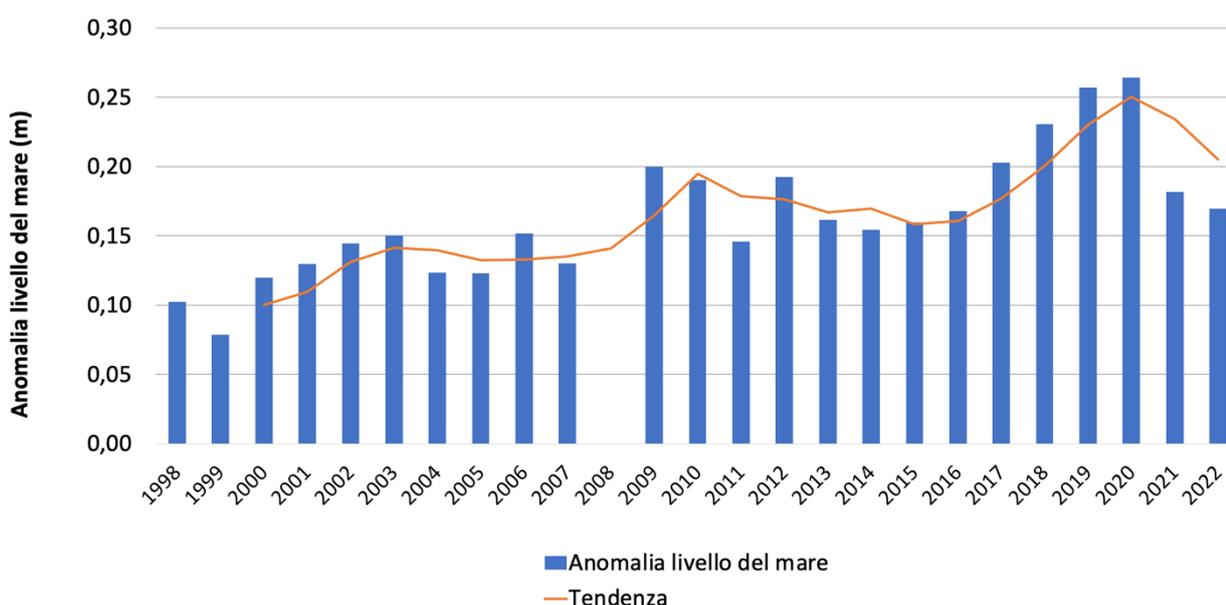


5. ANOMALIA DEL LIVELLO DEL MARE IN SARDEGNA

La **Figura 34** riporta l'anomalia media del livello del mare in Sardegna relativa al periodo 1999-2000 – 2022-2023, misurata dai mareografi della Rete Mareografica Nazionale: Porto Torres, Carloforte e Cagliari. I valori indicano l'anomalia rispetto al livello medio del mare di Genova che costituisce il riferimento nazionale per questo indicatore.

Nel periodo riportato in figura il livello medio del mare è in anomalia positiva rispetto al riferimento nazionale. L'andamento di tale indice climatologico ha subito tuttavia variazioni di anno in anno. La tendenza sul lungo periodo segnala comunque un generale aumento dell'anomalia. Dopo la tendenza positiva dal 2014-2015 al 2020-2021, le ultime due annate hanno registrato valori decrescenti un'anomalia più bassa, pari a 17 cm, tornando sui livelli antecedenti il 2016.

Figura 34: Anomalia media annuale del livello del mare in Sardegna.



6. VENTO

L'annata 2022-2023 ha visto l'alternanza di mesi con ventilazioni spesso sostenute dai quadranti occidentali, tipiche della Sardegna, e mesi con intensità in generale deboli e circolazioni a regime di brezza in alcuni mesi tra la primavera e l'estate.

I primi cinque mesi dell'annata, da ottobre a febbraio, hanno visto l'alternanza di ventilazione debole e sostenuta. Nei mesi di ottobre, dicembre e febbraio, sono state registrate per lo più intensità deboli ($1.5 \text{ m/s} < U < 5.4 \text{ m/s}$), con regime di brezza durante il mese di ottobre. Novembre e gennaio sono stati invece ventosi, con intensità sino a tempesta ($24.4 \text{ m/s} < U < 28.4 \text{ m/s}$) e burrasca ($17.1 \text{ m/s} < U < 24.4 \text{ m/s}$), rispettivamente. I mesi di marzo e aprile sono stati i più ventosi dell'annata, con ventilazione da ovest e nord-ovest e intensità sino a fortunale ($28.5 \text{ m/s} < U < 32.6 \text{ m/s}$). Da maggio si è osservata una progressiva diminuzione seppur con qualche evento di vento forte da ovest ($10.7 \text{ m/s} < U < 17.1 \text{ m/s}$). Il mese successivo, giugno, è continuata la diminuzione verso valori deboli, in prevalenza a regime di brezza. Luglio è stato invece relativamente ventoso con isolati eventi da nord-ovest e ventilazione da scirocco durante in periodi più caldi dell'anno. Ad agosto la ventilazione ha continuato ad aumentare con eventi da nord-ovest di intensità sino a tempesta. A settembre la circolazione è tornata a regime di brezza con sporadici eventi forti.

Per la descrizione della ventilazione dell'annata sono state anche costruite delle rose dei venti su stazioni selezionate in modo da dare una visione complessiva su tutto il territorio regionale. Data l'orografia complessa dell'Isola, le rose dei venti presentate sono rappresentative di fenomeni di varia natura, attinenti a condizioni sinottiche legate alle configurazioni bariche principali al suolo, e a fenomeni locali, come termiche o brezze di valle.

Le rose dei venti in **Figura 35** e **Figura 36** mostrano la classica direzionalità est-ovest della ventilazione sulla nostra regione, in particolare più sulla direttrice nord-ovest - sud-est nelle stazioni ubicate al Centro-Sud e a San Teodoro, mentre al Centro-Nord si osserva più variabilità con occorrenze significative di sud-ovest e nordest. Le intensità più elevate, sino a tempesta, sono state osservate in numero significativo nelle stazioni di Santa Teresa, San Teodoro e Seui dai quadranti occidentali. Nelle stazioni di Ozieri, Cabras, Seui, Iglesias, Serrenti e Cagliari le intensità maggiori sono state invece forti da ovest nord-ovest. Nelle restanti stazioni la ventilazione è stata al più moderata. Il 22 novembre 2022 si è registrato il massimo di vento medio al livello del mare dell'annata a Stintino dove l'anemometro ha misurato 26.1 m/s (tempesta) e anche la raffica massima, pari a 39.1 m/s a Santa Teresa (uragano).

Figura 35: Distribuzione dell'intensità del vento nelle diverse direzioni per l'annata 2022-23.

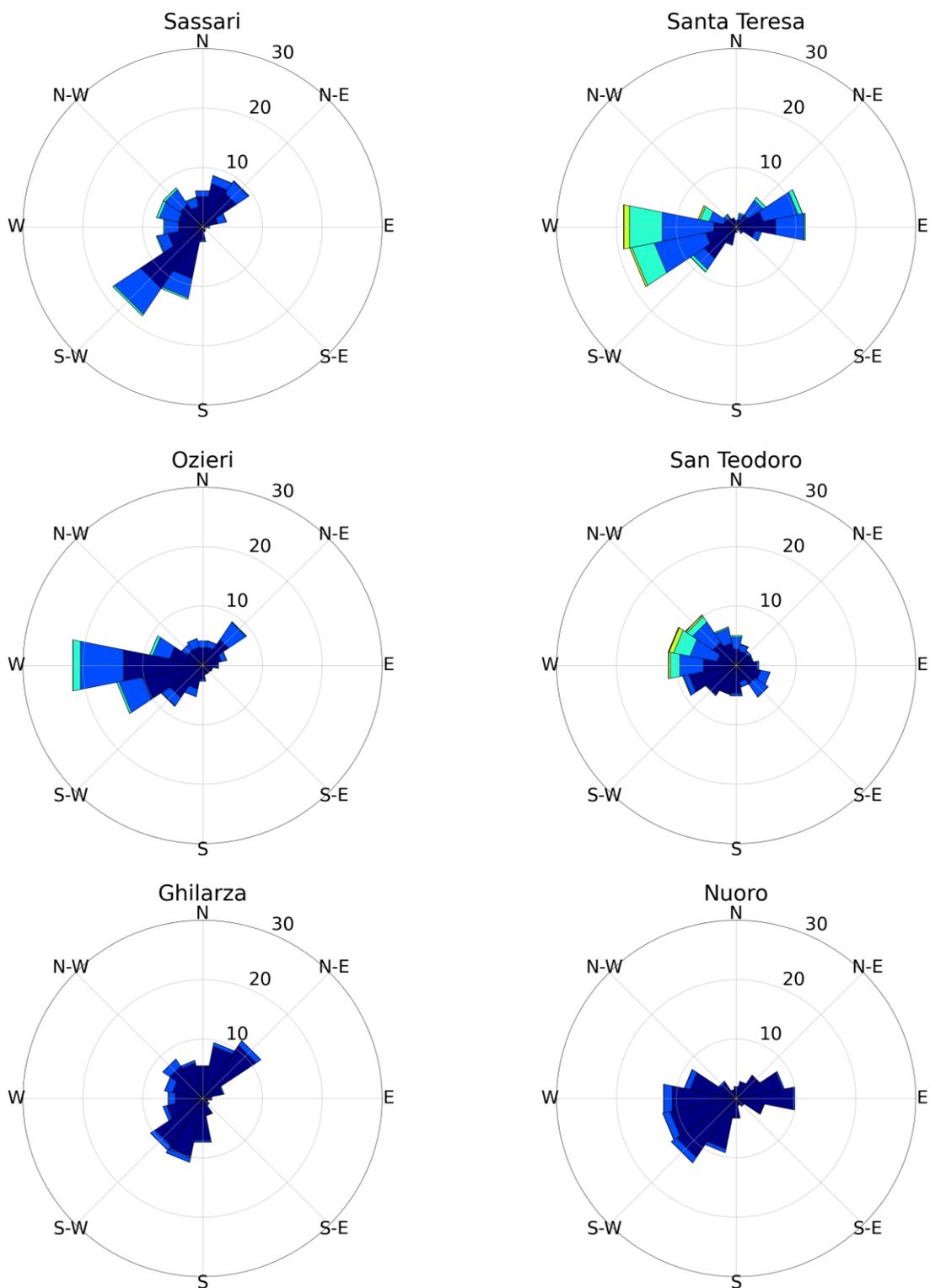
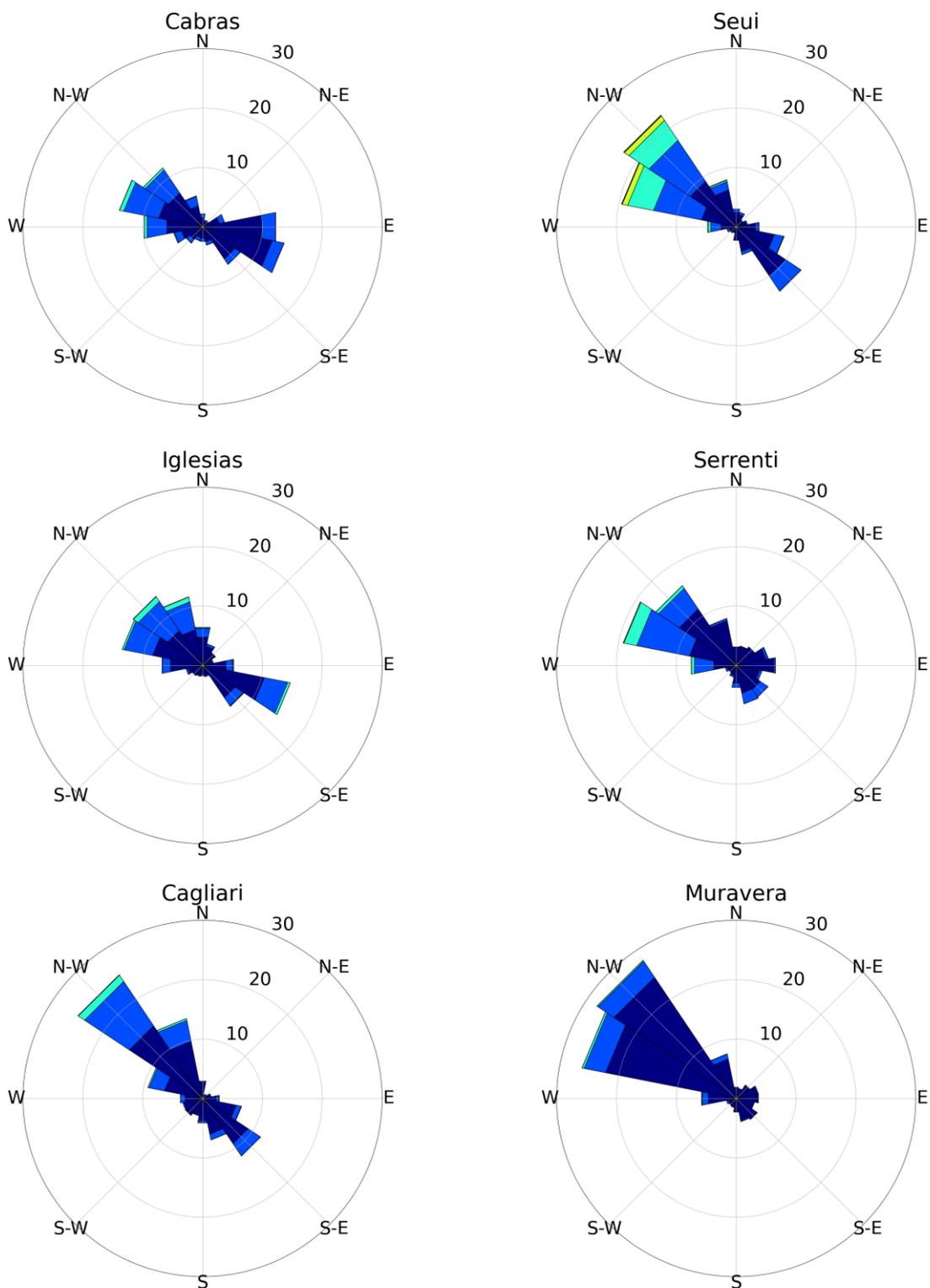


Figura 36: Distribuzione dell'intensità del vento nelle diverse direzioni per l'annata 2022-23.



7. ELABORAZIONI AGROMETEOROLOGICHE SPECIFICHE

7.1. Evapotraspirazione e bilancio idroclimatico

L'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) è stata calcolata applicando il metodo di Hargreaves-Samani ai dati medi mensili di temperatura minima, massima e media.

L'evapotraspirazione totale mensile ha assunto nel corso dell'annata valori minimi compresi tra poco meno di 15 e 45 mm nel mese di gennaio 2023, mentre ha raggiunto i valori massimi nel mese di luglio (superiori alle corrispondenti medie climatiche) quando sono stati superati i 240 mm in alcune aree, con i valori più elevati localizzati nelle aree pianeggianti interne della Sardegna centro-settentrionale.

In generale, i valori sono stati più alti della media soprattutto nei mesi di ottobre, marzo, aprile e tra luglio e settembre, mentre sono stati inferiori alla media in maniera più marcata nel mese di maggio. I restanti mesi hanno mostrato valori in linea con le corrispondenti medie climatiche o di poco superiori.

Il bilancio idroclimatico rappresenta la differenza tra gli apporti piovosi e le perdite evapotraspirative e consente di esprimere l'apporto meteorico netto in modo da evidenziare le differenti condizioni di disponibilità idrica nei diversi ambiti territoriali e nei diversi anni.

Le elaborazioni del bilancio idroclimatico sono riportate in forma di mappe mensili, raggruppate per semestri nelle **Figura 37** e **Figura 38**. Nel primo semestre si possono osservare condizioni estese di surplus idrico nei mesi di novembre, dicembre e gennaio, mentre i mesi di ottobre e marzo sono caratterizzati da condizioni di deficit idrico diffuso. Dal mese di aprile si hanno condizioni di deficit sulla totalità del territorio isolano ad eccezione dei mesi di maggio e più limitatamente giugno, che presentano anche condizioni di segno opposto.

Rispetto alla media climatica si sono registrate anomalie positive prevalenti nei mesi di novembre e gennaio e successivamente in maggio e giugno; in dicembre, febbraio e agosto si sono registrate contemporaneamente condizioni di anomalie positive e negative, con prevalenza di queste ultime. Nei restanti mesi si sono avute le anomalie negative più estese, particolarmente significative in ottobre e in marzo e aprile.

Figura 37: Mappe mensili di bilancio idroclimatico (mm) del semestre ottobre 2022 – marzo 2023.

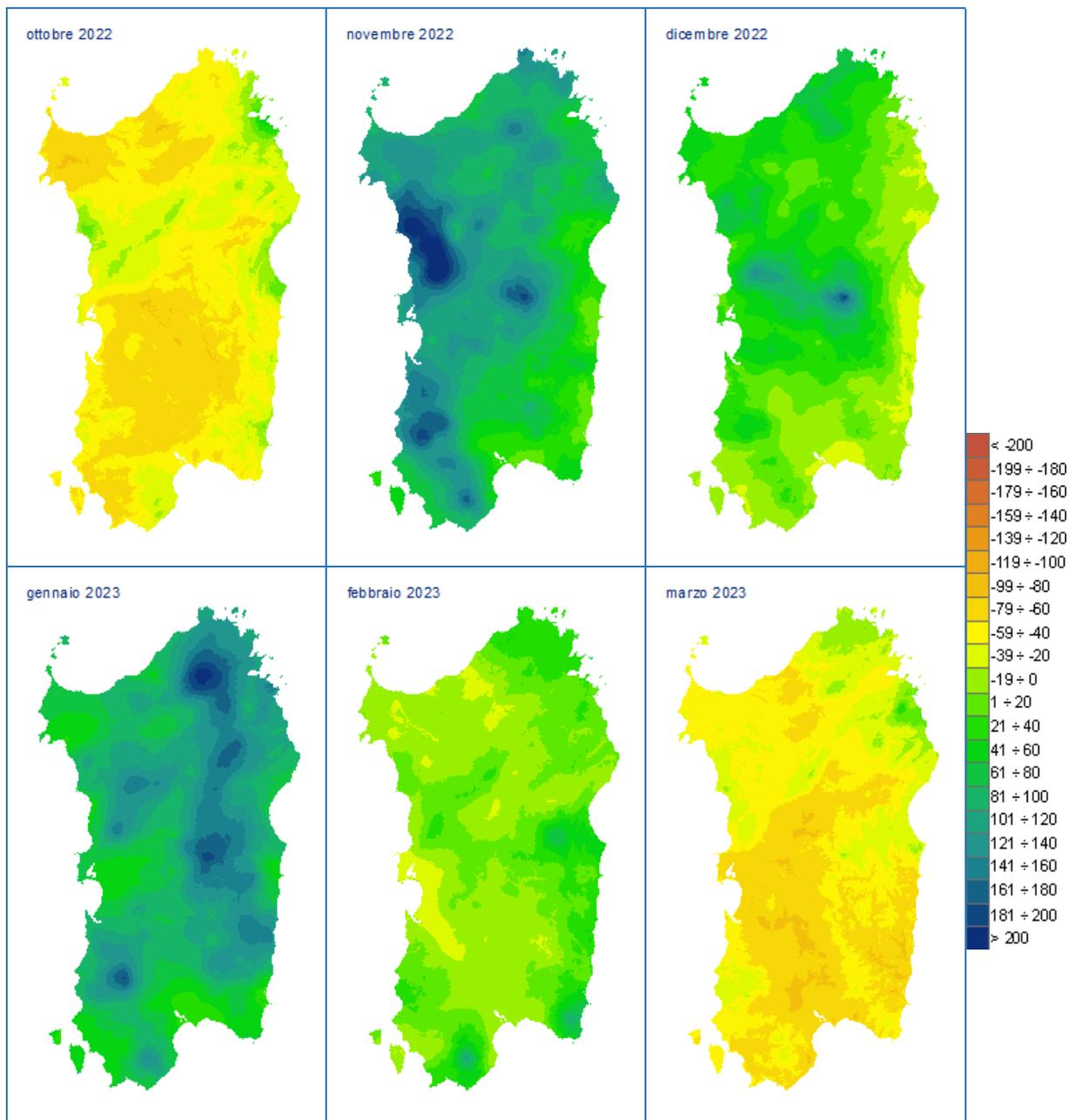
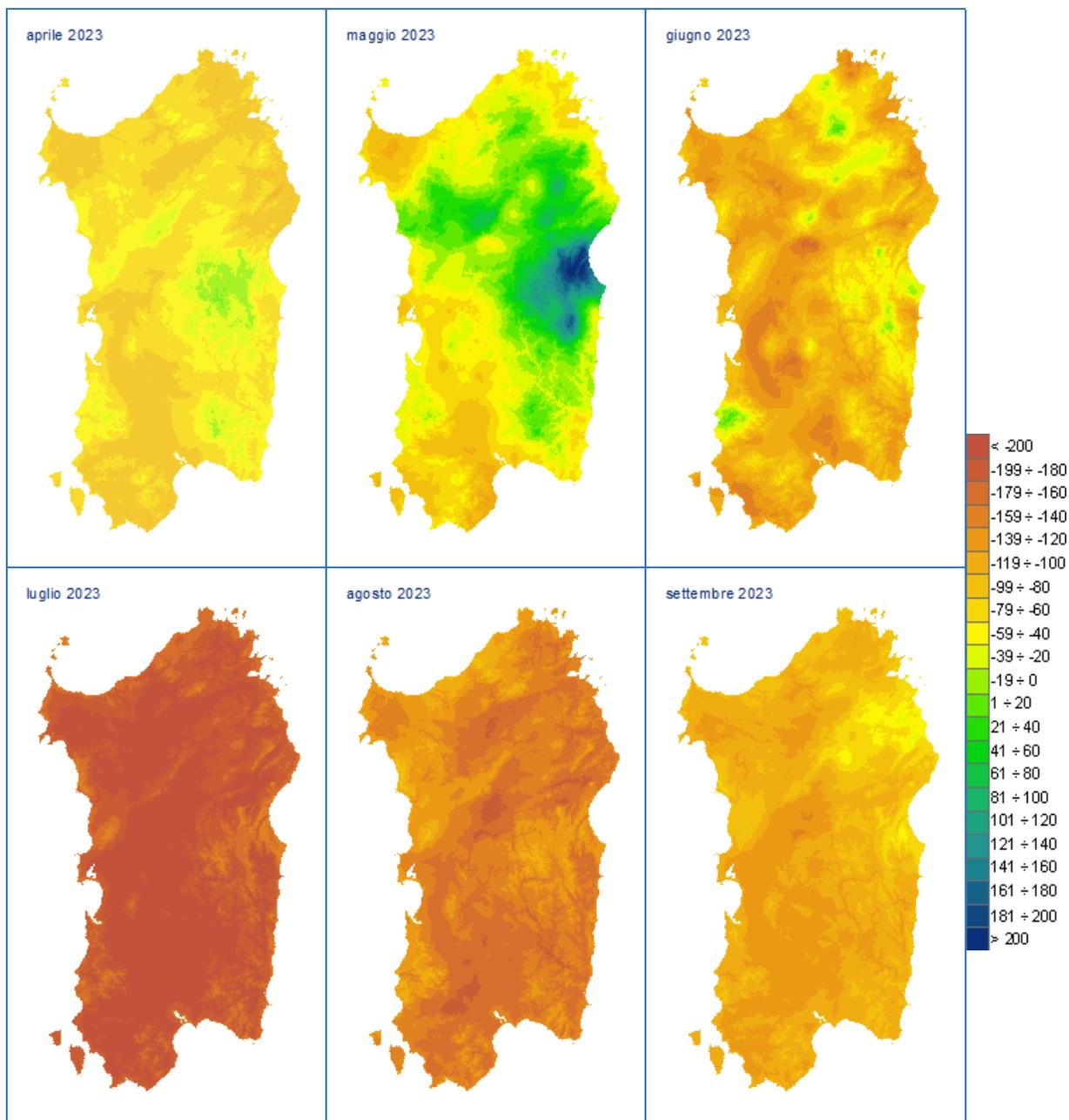


Figura 38: Mappe mensili di bilancio idroclimatico (mm) del semestre aprile - settembre 2023.



7.2 Indice di precipitazione standardizzata - SPI

Per l'analisi delle condizioni di siccità e degli impatti sulle diverse componenti del sistema idrologico (suolo, corsi d'acqua, falde, ecc..) è stato calcolato l'indice di precipitazione standardizzata (Standardized Precipitation Index, SPI) su scala temporale di 3, 6, 12 e 24 mesi.

CLASSE	VALORI DI SPI
Estremamente umido > 2	> 3,0
	da 2,5 a 3,0
	da 2,0 a 2,49
Molto umido	da 1,5 a 1,99
Moderatamente umido	da 1,0 a 1,49
Vicino alla media	da 0,01 a 0,99
	da -0,99 a 0
Moderatamente siccitoso	da -1,49 a -1,0
Molto siccitoso	da -1,99 a -1,5
Estremamente siccitoso -2	da -2,49 a -2,0
	da -3,0 a -2,5
	< -3,0

Lo SPI considera lo scostamento della pioggia di un dato periodo dal valore medio climatico, rispetto alla deviazione standard della serie storica di riferimento (trentennio 1971-2000). L'indice pertanto evidenzia quanto le condizioni osservate si discostano dalla norma (SPI = 0) e attribuisce all'anomalia una severità negativa (siccità estrema, severa, moderata) o positiva (piovosità moderata, severa, estrema), strettamente legata alla probabilità di accadimento. Si consideri che circa il 15% dei dati di una serie storica teorica si colloca al di sotto di -1, circa il 6.7% sta al di sotto di -1.5, mentre solo il 2.3% si colloca al di sotto di -2.

Nella tabella sono riportate le classi di siccità o surplus corrispondenti a diversi intervalli di valori dell'indice SPI.

L'analisi su periodi di diversa durata si basa sul presupposto che le componenti del sistema idrologico rispondono in maniera differente alla durata di un deficit di precipitazione: ad esempio il contenuto idrico del suolo risente dei deficit di breve durata (1-3 mesi), mentre deficit pluviometrici che si prolungano per svariati mesi (6, 12 e oltre) possono avere

conseguenze sui deflussi superficiali, sulle falde sotterranee e sulle risorse idriche invasate nei laghi e nei serbatoi artificiali.

Per quanto riguarda l'analisi trimestrale (**Figura 39** e **Figura 40**) si osserva nei primi 3 mesi in generale una condizione caratterizzata dalle classi *vicino alla media* nella maggior parte dell'Isola, mentre in alcune aree circoscritte della parte settentrionale e orientale è presente *moderatamente siccitoso* e più localmente *molto siccitoso*. Nel mese di gennaio si registrano nel settore Nord-occidentale condizioni *moderatamente umido*, *molto umido* ed *estremamente umido* in virtù delle piogge accumulate dal mese di novembre.

Successivamente i mesi di aprile e settembre hanno mostrato diffusamente condizioni siccitose fino alla classe di *estremamente siccitoso*, mentre in giugno e luglio è prevalsa una condizione opposta, favorita dalle precipitazioni di maggio e giugno. Nel mese di settembre si registrano nuovamente condizioni siccitose.

Figura 39: Mappe dell'indice SPI da ottobre 2022 a marzo 2023, calcolato con finestre temporali di 3 mesi.

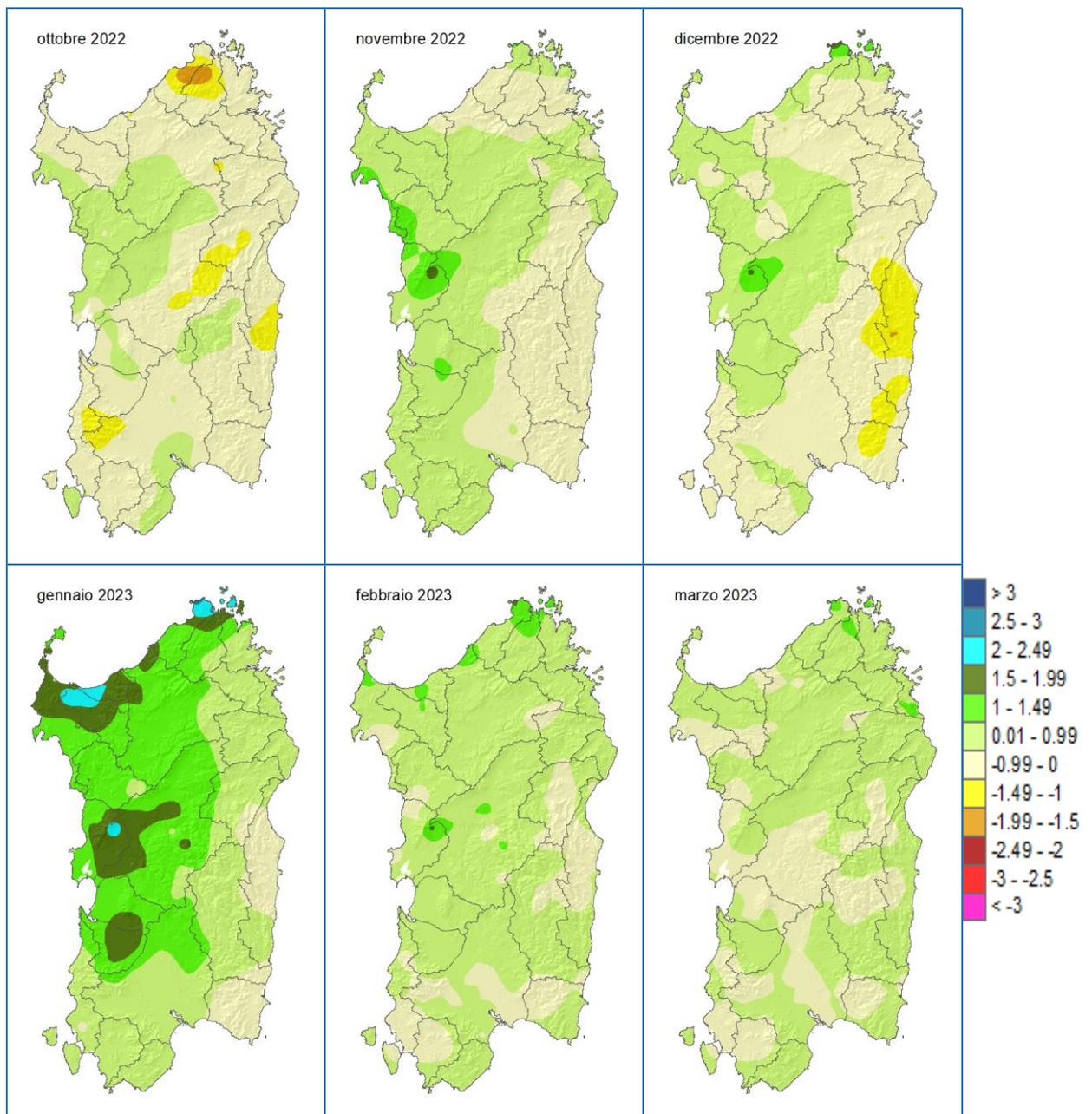
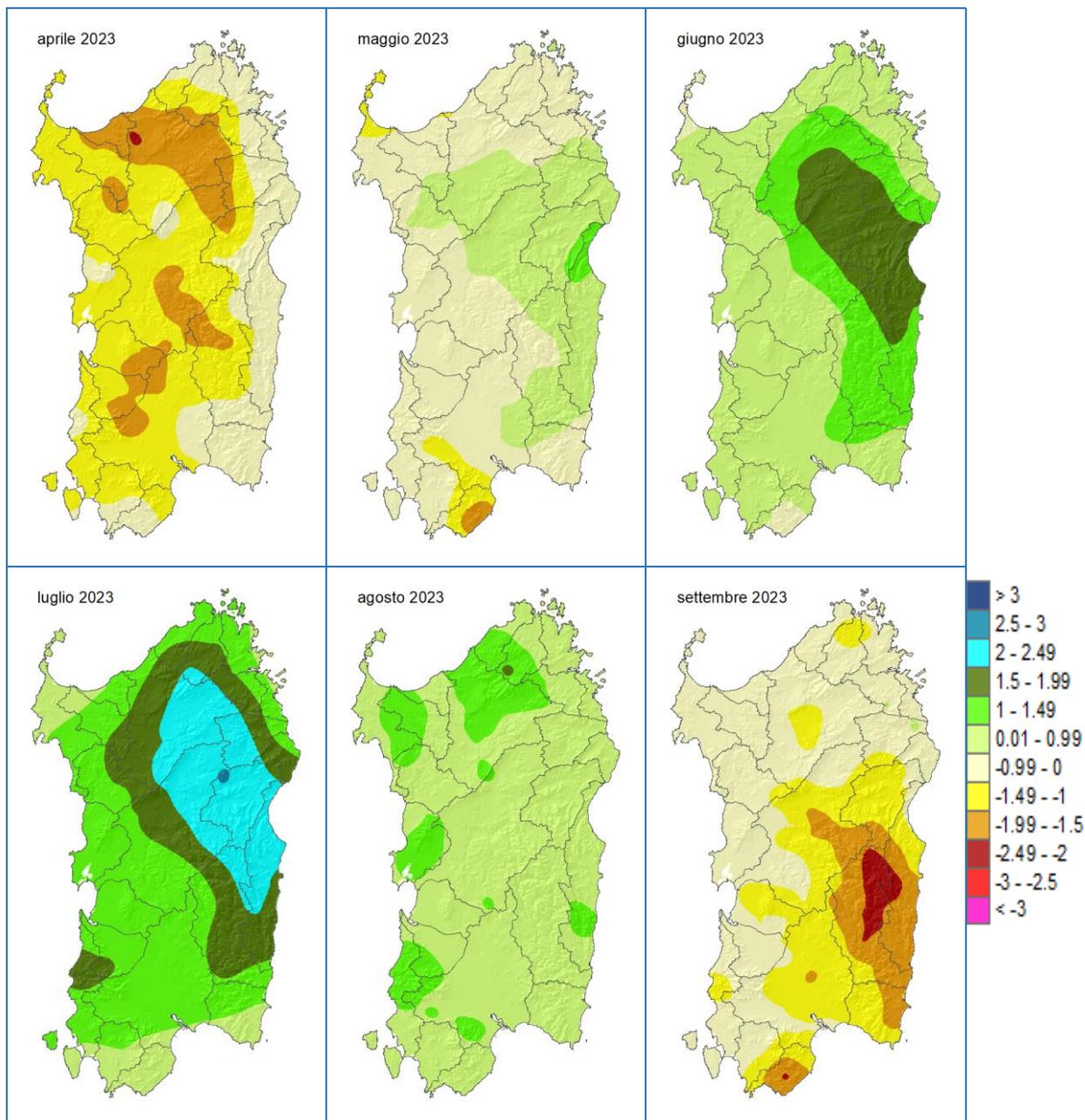


Figura 40: Mappe dell'indice SPI da aprile a settembre 2023, calcolato con finestre temporali di 3 mesi.



L'analisi dell'SPI calcolato sui cumulati di pioggia registrati su periodi di 12 mesi (**Figura 41** e **Figura 42**) mostra per tutti i mesi considerati in prevalenza condizioni vicino alla media; solo nel mese di dicembre si osservano con una certa diffusione condizioni siccitose, mentre nel trimestre caldo si registrano condizioni di relativo surplus nella parte centrale dell'Isola.

Figura 41: Mappe dell'indice SPI da ottobre 2022 a marzo 2023, calcolato con finestre temporali di 12 mesi.

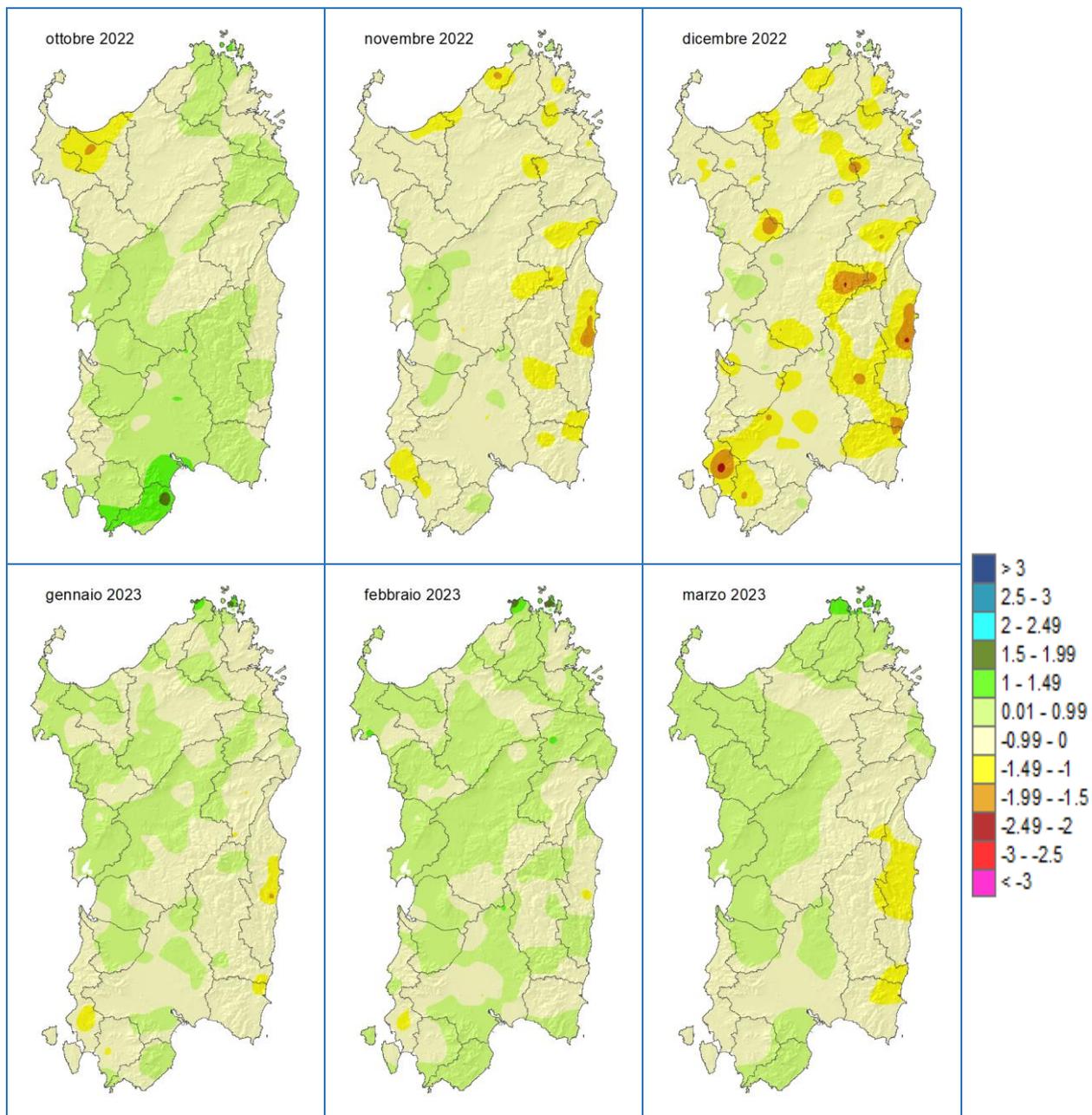
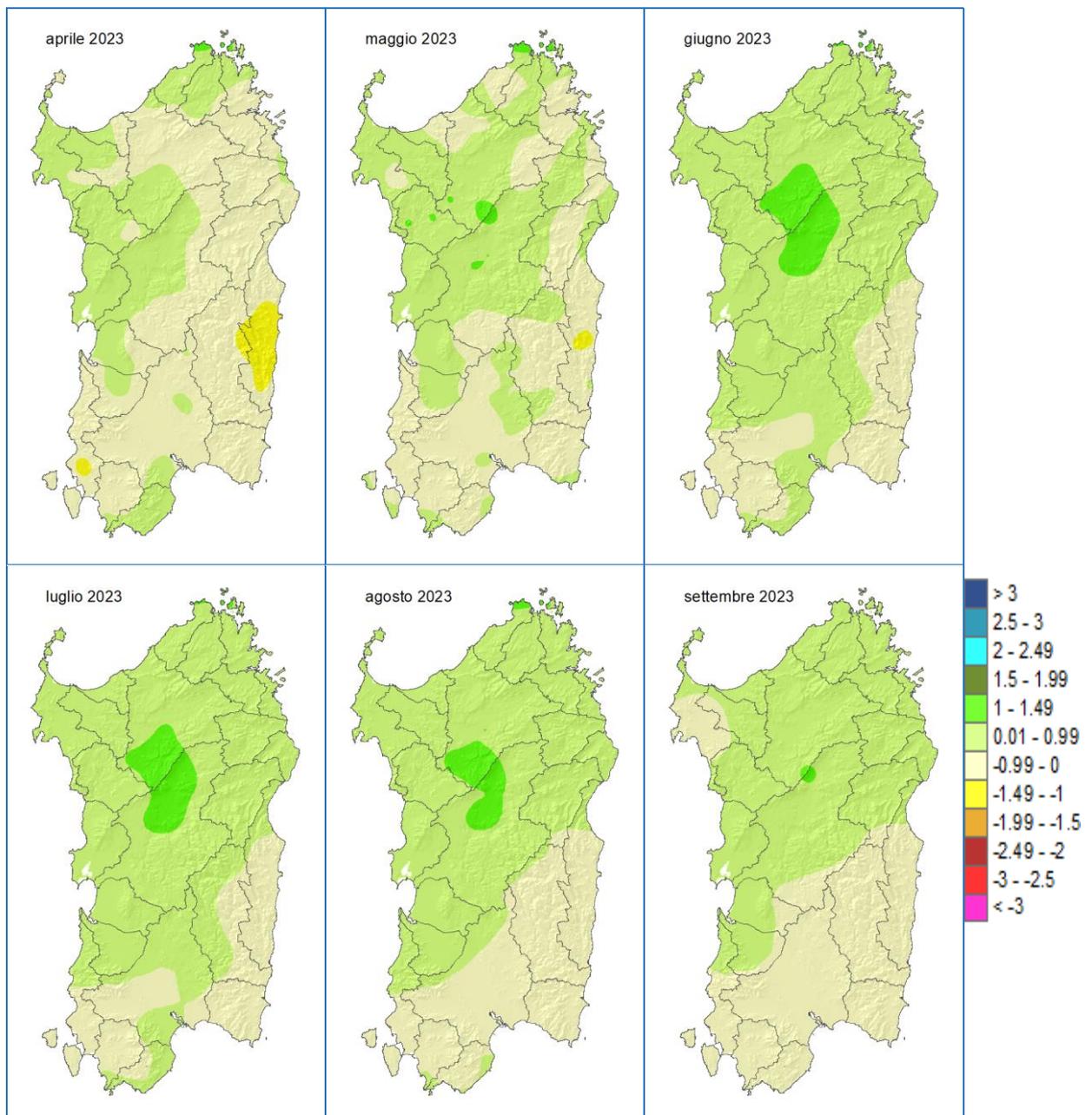
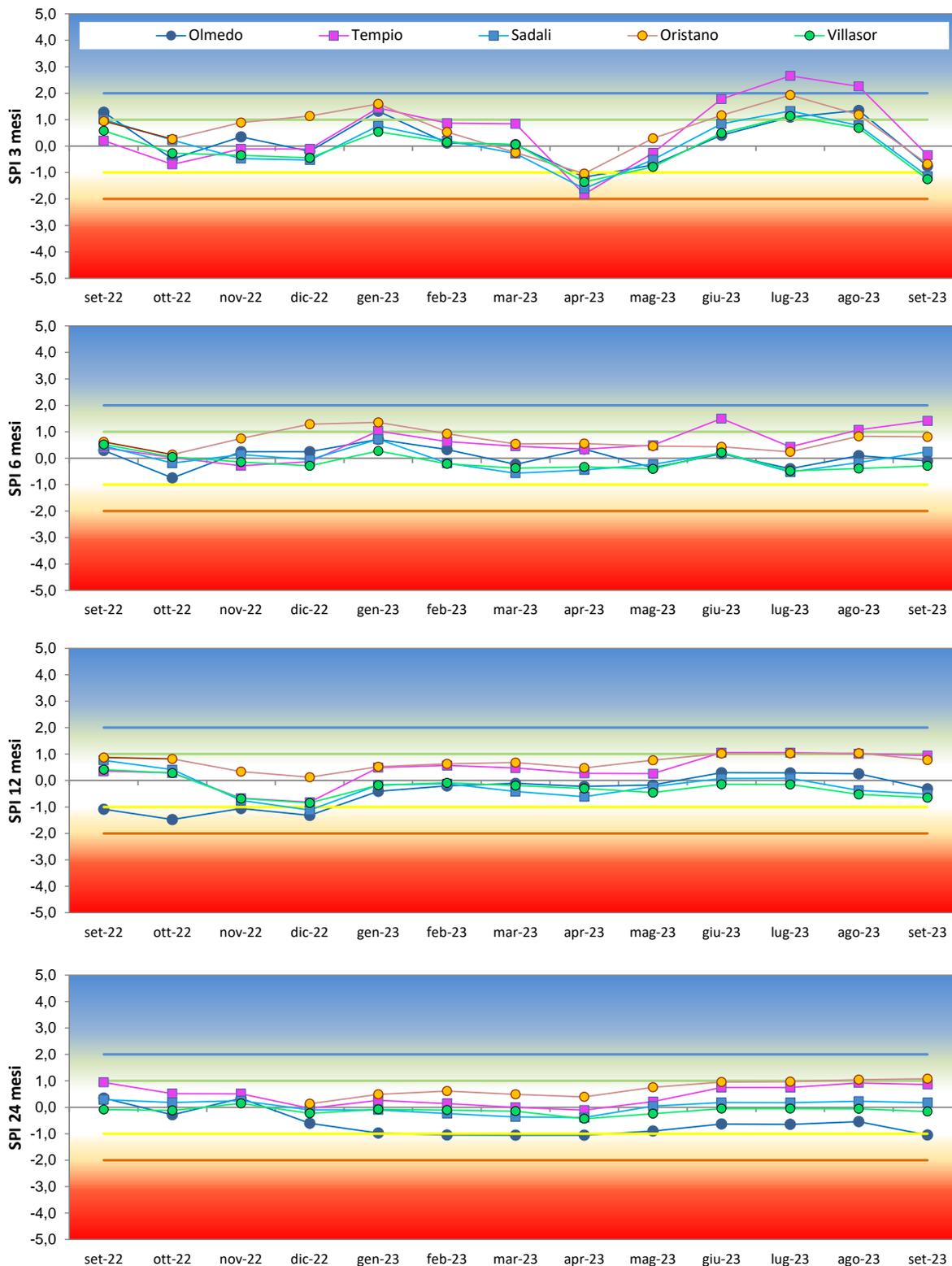


Figura 42: Mappe dell'indice SPI da aprile a settembre 2023, calcolato con finestre temporali di 12 mesi.



Nella **Figura 43** sono riportati graficamente i valori mensili di SPI riferiti a finestre temporali di 3, 6, 12 e 24 mesi, calcolati per le stazioni di Olmedo, Tempio, Oristano, Sadali e Villasor, rappresentative di diversi areali della Sardegna.

Figura 43: Andamento mensile dell'indice SPI calcolato con finestre temporali di 3, 6, 12 e 24 mesi per alcune stazioni rappresentative.



7.3 Sommatorie termiche

Le sommatorie termiche sono importanti indicatori agrometeorologici che consentono di spiegare il comportamento fenologico delle colture in relazione all'andamento termico che caratterizza un determinato periodo. Rappresentano l'accumulo di unità termiche sopra una predefinita soglia di temperatura che è necessaria per consentire lo sviluppo degli organismi vegetali e che è variabile in relazione alla specie, alla cultivar e alla fase fenologica. Si esprimono in Gradi Giorno o Growing Degree Days (GDD).

Il periodo ottobre 2022–settembre 2023 è stato particolarmente caldo soprattutto durante l'autunno e l'estate con valori di anomalia calcolati per l'intero anno superiori alla media pluriennale di riferimento (**Figura 44** e **Figura 45**). Gli scostamenti maggiori, superiori a 500 GDD, hanno riguardato le aree più ad alta quota come il massiccio del Gennargentu, la catena del Marghine e del Goceano, le aree del monte Linas e del monte Limbara. Nel dettaglio, le sommatorie in base 0 °C hanno variato tra 3200 GDD e 6800 GDD, mentre quelle in base 10 °C tra 600 GDD e 3200 GDD, con valori ancora maggiori rispetto all'annata precedente.

Figura 44: Sommatorie termiche in base 0 °C calcolate per il periodo ottobre 2022 - settembre 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.

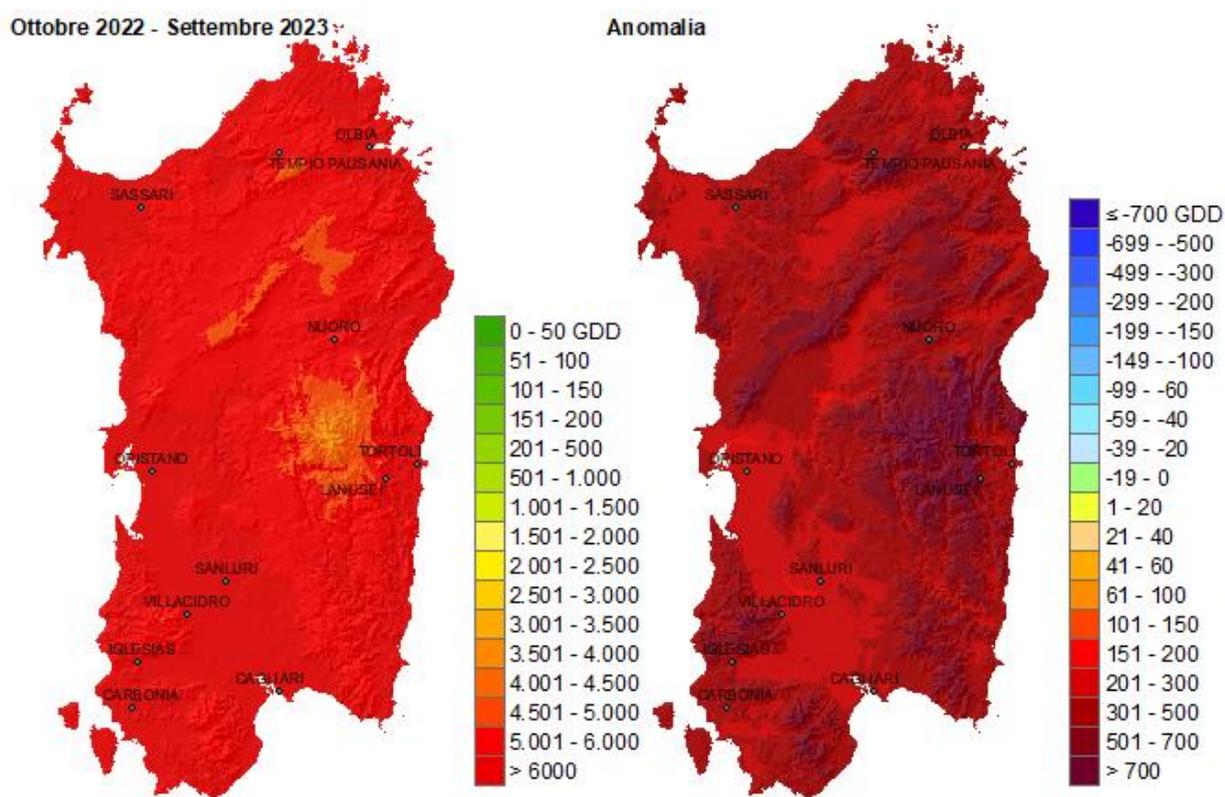
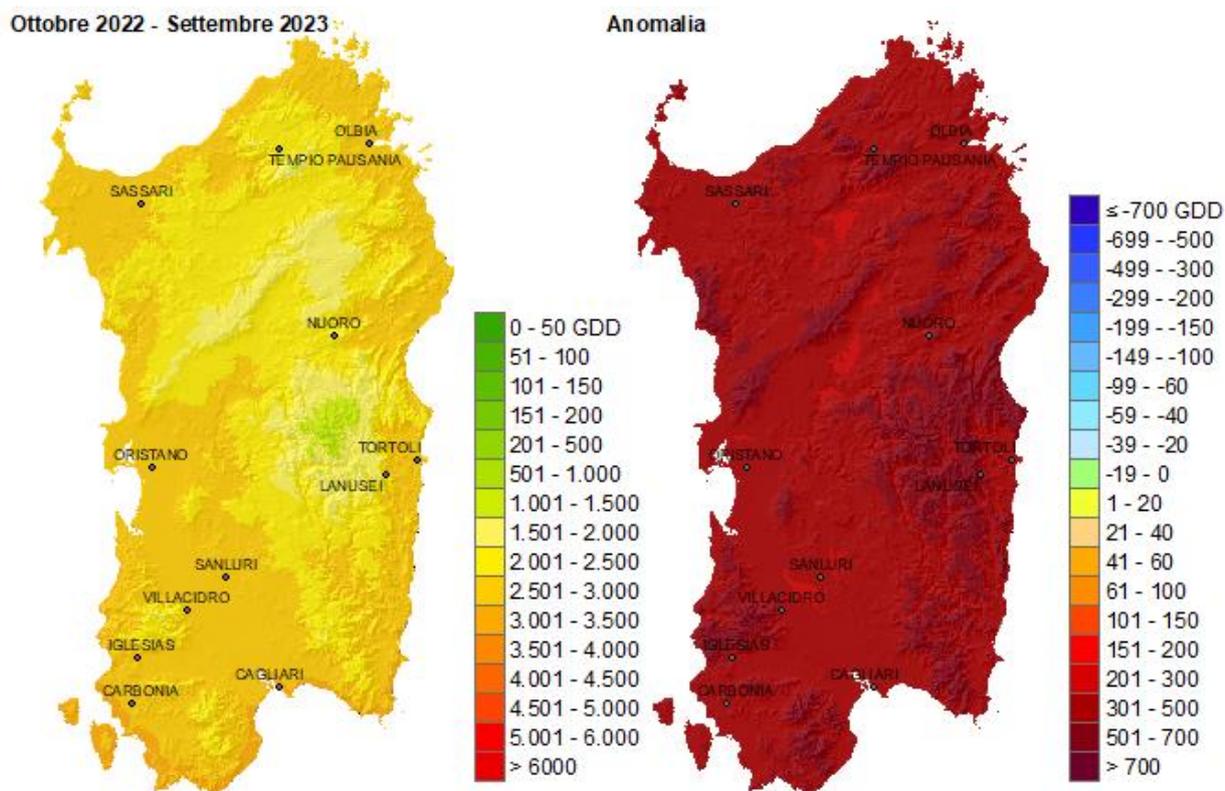


Figura 45: Sommatorie termiche in base 10 °C calcolate per il periodo ottobre 2022 - settembre 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.



L'analisi distinta dei due periodi ottobre 2022–marzo 2023 e aprile–settembre 2023 evidenzia come il maggior apporto in termini di gradi giorno sia attribuibile per gran parte al secondo semestre. Tuttavia anche il periodo ottobre 2022-marzo 2023, nonostante i bassi accumuli di gennaio e febbraio, è stato piuttosto caldo e ha mostrato un netto anticipo termico in tutta l'Isola con anomalie superiori ai 300 GDD in particolare nelle aree di montagna (**Figura 46** e

Figura 47). Le sommatorie in base 0 °C hanno variato tra 800 GDD e 2700 GDD, mentre quelle in base 10 °C hanno variato tra 10 GDD e 900 GDD, con i valori più alti localizzati lungo le aree costiere particolarmente del Centro e del Sud dell'Isola. Il semestre successivo è risultato decisamente sopra media su tutto il territorio regionale con anomalie fino ad oltre 300 GDD nei principali rilievi montuosi (**Figura 48** e **Figura 49**). I valori di sommatoria termica hanno variato tra 2360 GDD e 4100 GDD in base 0 °C e tra 700 GDD e 2300 GDD in base 10 °C con i dati più elevati distribuiti nelle aree di pianura e lungo le coste.

Figura 46: Sommatorie termiche in base 0 °C calcolate per il periodo ottobre 2022 – marzo 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.

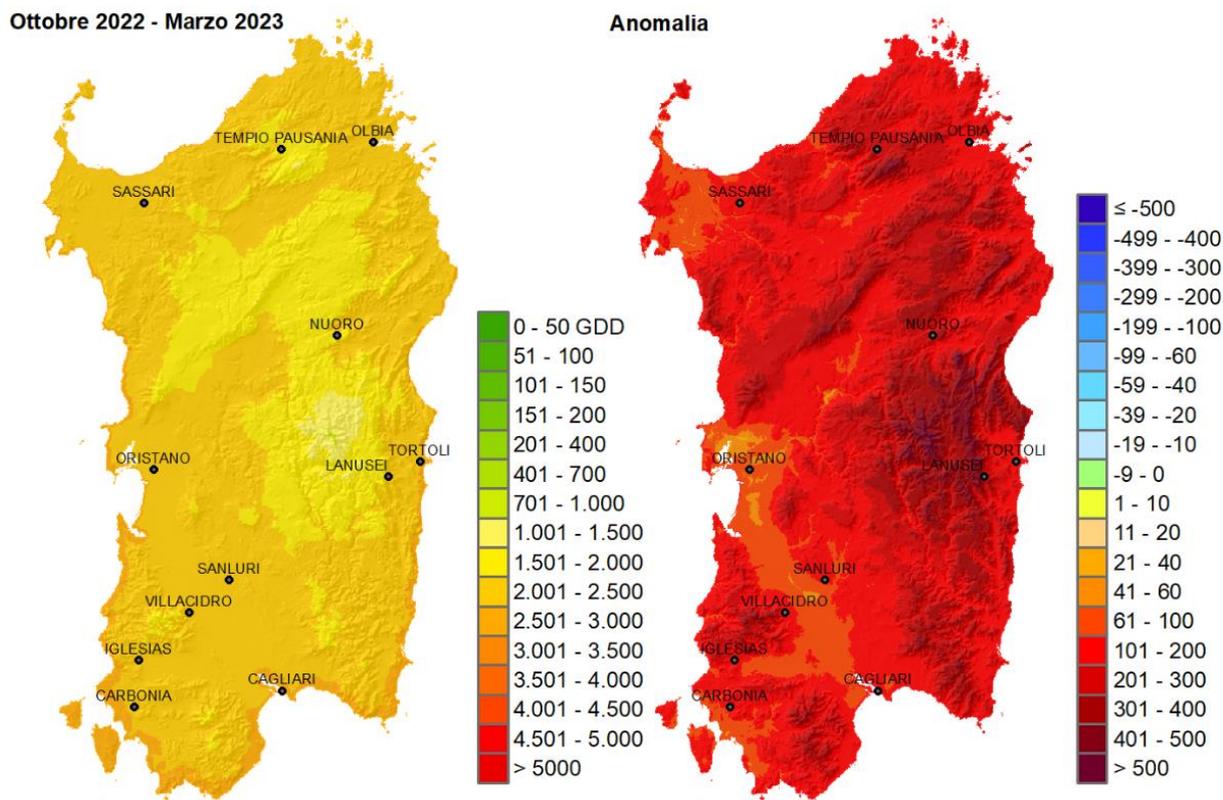


Figura 47: Sommatorie termiche in base 10 °C calcolate per il periodo ottobre 2022 – marzo 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.

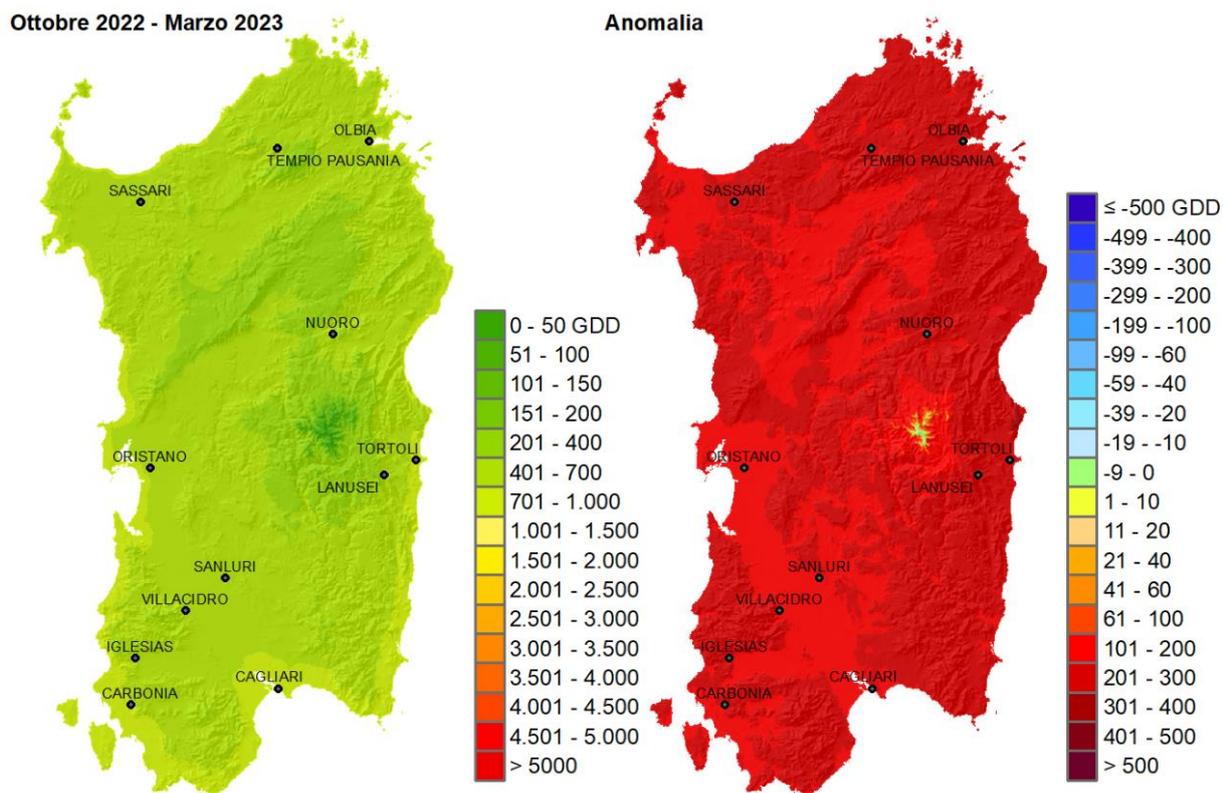


Figura 48: Sommatorie termiche in base 0 °C calcolate per il periodo aprile - settembre 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.

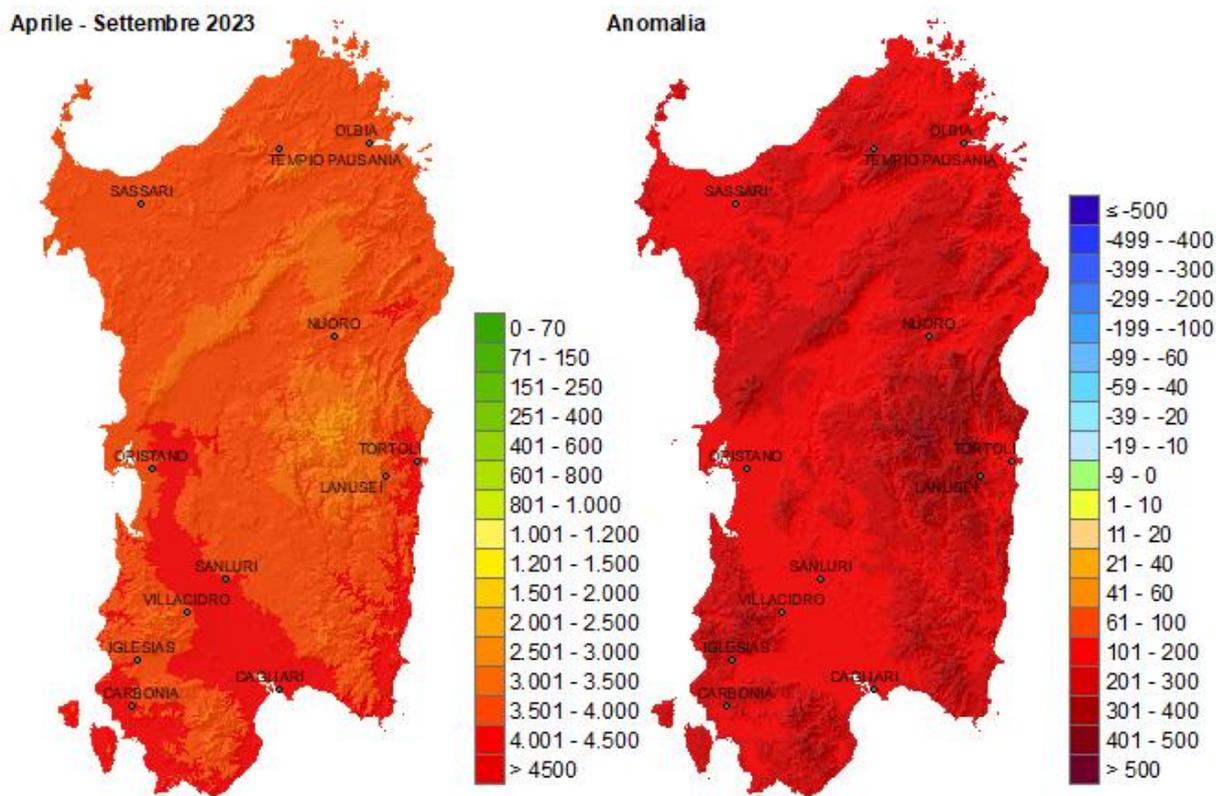
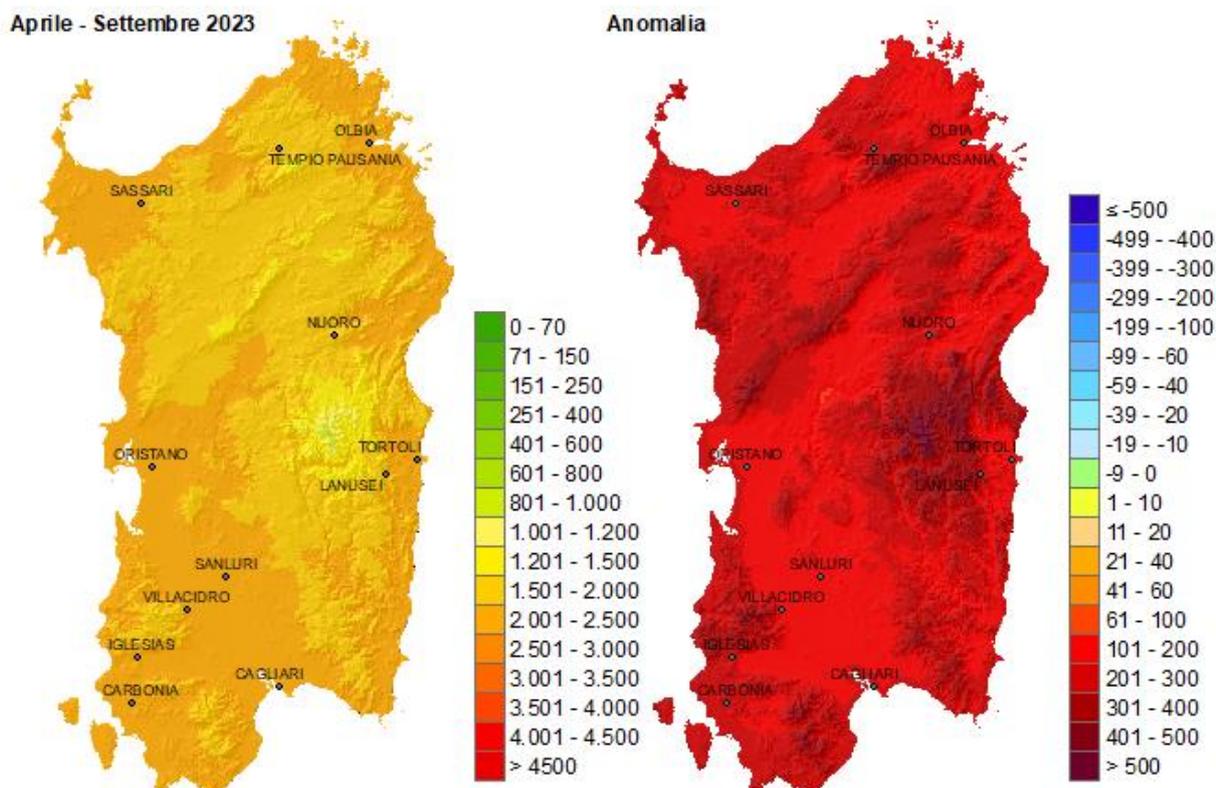


Figura 49: Sommatorie termiche in base 10 °C per il periodo aprile - settembre 2023 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.



Nelle **Figure 50 - 52** è riportato l'accumulo termico in base 0 °C e 10 °C calcolato per il periodo ottobre 2022-settembre 2023 e il confronto con lo stesso periodo relativo agli ultimi 27 anni per tre stazioni rappresentative del territorio regionale (Olmedo, Oliena e Dolianova). Dai grafici è possibile osservare come l'annata sia stata tra le più calde delle diverse serie storiche. In particolare la terza più calda per la stazione di Dolianova e la quarta per quella di Olmedo sia in base 0 °C che 10 °C. Anche la stazione di Oliena per quanto registri alcune annate con valori superiori mostra comunque somme termiche nettamente superiori alla rispettiva mediana.

Figura 50: Andamento delle sommatorie termiche in base 0 e 10 °C calcolate per il periodo ottobre - settembre nelle annate dal 1995 al 2023 – Stazione di Olmedo.



Figura 51: Andamento delle sommatorie termiche in base 0 e 10 °C calcolate per il periodo ottobre - settembre nelle annate dal 1995 al 2023 – Stazione di Oliena. (ND: dato non disponibile)

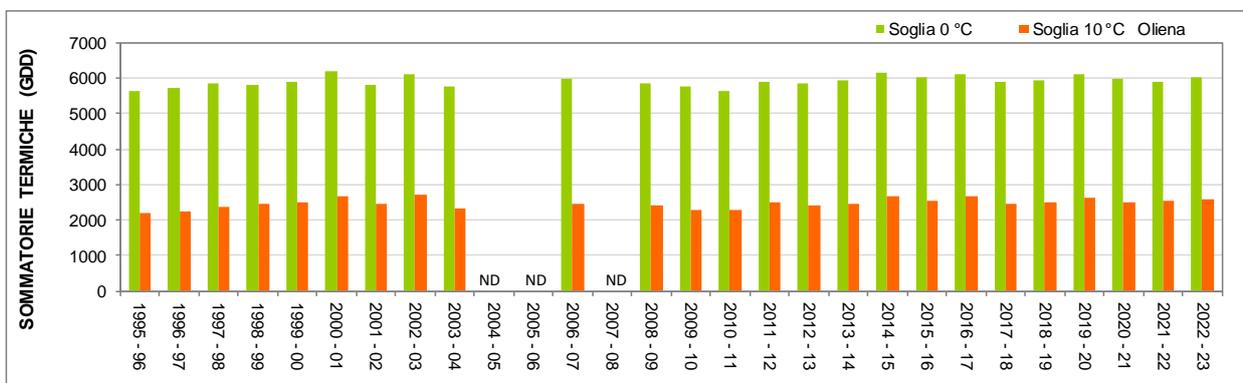


Figura 52: Andamento delle sommatorie termiche in base 0 e 10 °C calcolate per il periodo ottobre - settembre nelle annate dal 1995 al 2023 – Stazione di Dolianova. (ND: dato non disponibile)



7.4 Wind Chill Index (WCI)

Il Wind Chill Index (WCI) o indice di freddo consente di stimare il disagio fisiologico avvertito dal bestiame di interesse zootecnico esposto a condizioni meteorologiche di bassa temperatura e ventosità. In base ai valori di WCI si possono distinguere 7 categorie di disagio, tanto più critiche quanto più basso è il valore dell'indice, secondo la seguente tabella:

Valori indice	Classe di disagio
WCI > 10	Nessun disagio
10 ≥ WCI > -1	Lieve disagio
-1 ≥ WCI > -10	Disagio
-10 ≥ WCI > -18	Elevato disagio
-18 ≥ WCI > -29	Possibile congelamento in seguito a esposizione prolungata
-29 ≥ WCI > -50	Congelamento in seguito a esposizione prolungata
WCI ≤ -50	Rapido congelamento in seguito a breve esposizione

Il quadrimestre dicembre 2022–marzo 2023 è stato caratterizzato da un mese di dicembre decisamente poco critico per il bestiame al pascolo con anomalie positive che hanno raggiunto e superato il valore 4 nei principali rilievi montuosi. Il bimestre successivo ha presentato valori dell'indice più alti o più bassi della media di riferimento in base alle aree analizzate, mentre marzo ha fatto registrare valori in linea o superiori alla media pluriennale su tutto il territorio regionale.

Se si considera la permanenza oraria dell'indice WCI per l'intero periodo in esame (**Figura 53**) è possibile osservare come la situazione più critica sia stata rilevata nelle stazioni di montagna di Tempio Limbara, Desulo Perdu Abes, Pattada, Seui e Fonni con valori prossimi o superiori a 2700 ore complessive di disagio suddivise tra le classi di *Lieve Disagio* e *Possibile Congelamento*. Nelle stazioni di Desulo e Fonni sono state totalizzate ben 55 ore e 28 ore rispettivamente di *Possibile Congelamento*. La stazione, invece, che ha evidenziato minori criticità è stata quella di Villa San Pietro con circa 1200 ore complessive in tutto il quadrimestre.

Tra tutti i mesi esaminati i valori mediamente più bassi di WCI sono stati registrati a gennaio (**Figura 54** e **Figura 55**). I valori di WCI medio e di media delle minime sono stati sopra media nella Nurra, nel Sulcis-Capoterra, nel Nuorese e nei territori della Sardegna centro-occidentale, mentre nella restante parte del territorio regionale la situazione è stata più critica con anomalie negative pari a 4-5 unità. Nel dettaglio, il WCI medio ha variato tra la condizione di *Lieve Disagio* che è risultata prevalente e quella di *Disagio*, mentre la media delle minime è risultata variare tra la condizione di *Lieve Disagio* e quella di *Disagio* con zone di *Possibile Congelamento* in corrispondenza del Gennargentu.

Il minimo assoluto più basso del quadrimestre (**Figura 56**) è stato registrato a febbraio nella stazione di Desulo Perdu Abes (-24.1, il giorno 9) corrispondente all'intervallo di *Possibile Congelamento*.

Figura 53: Numero di ore totali con WCI nelle diverse classi di disagio per il periodo dicembre 2022-marzo 2023.

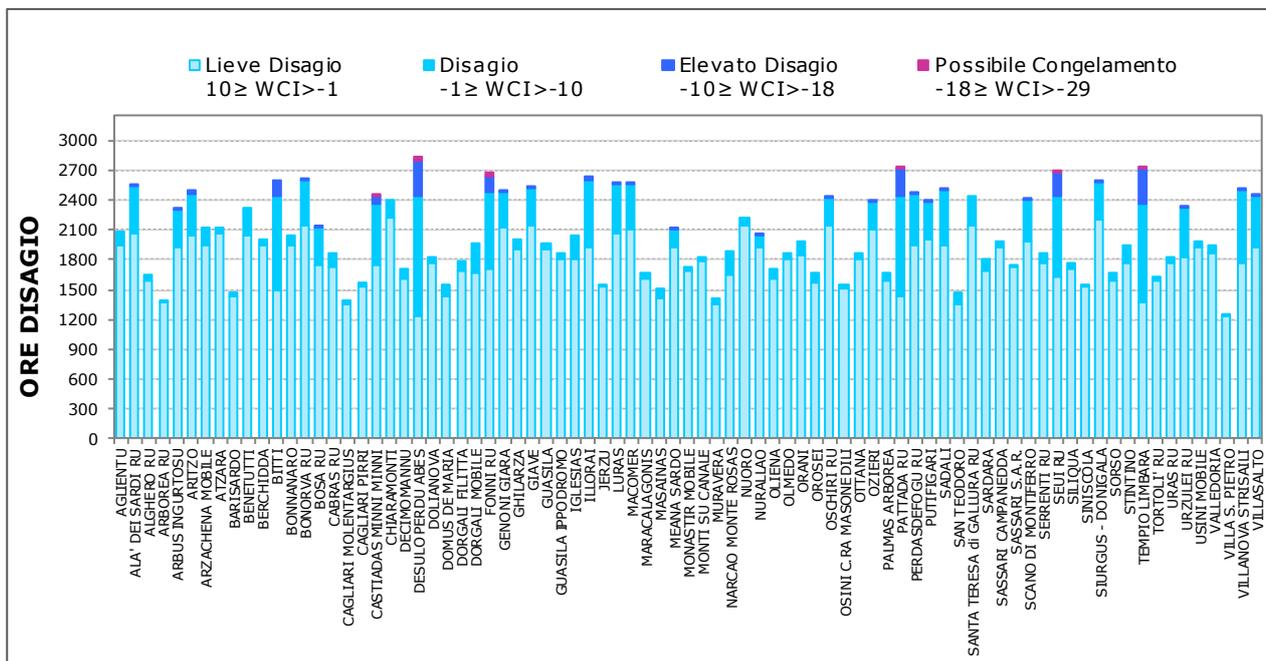


Figura 54: WCI medio per il mese di gennaio 2023 e raffronto con il periodo 1995-2014.

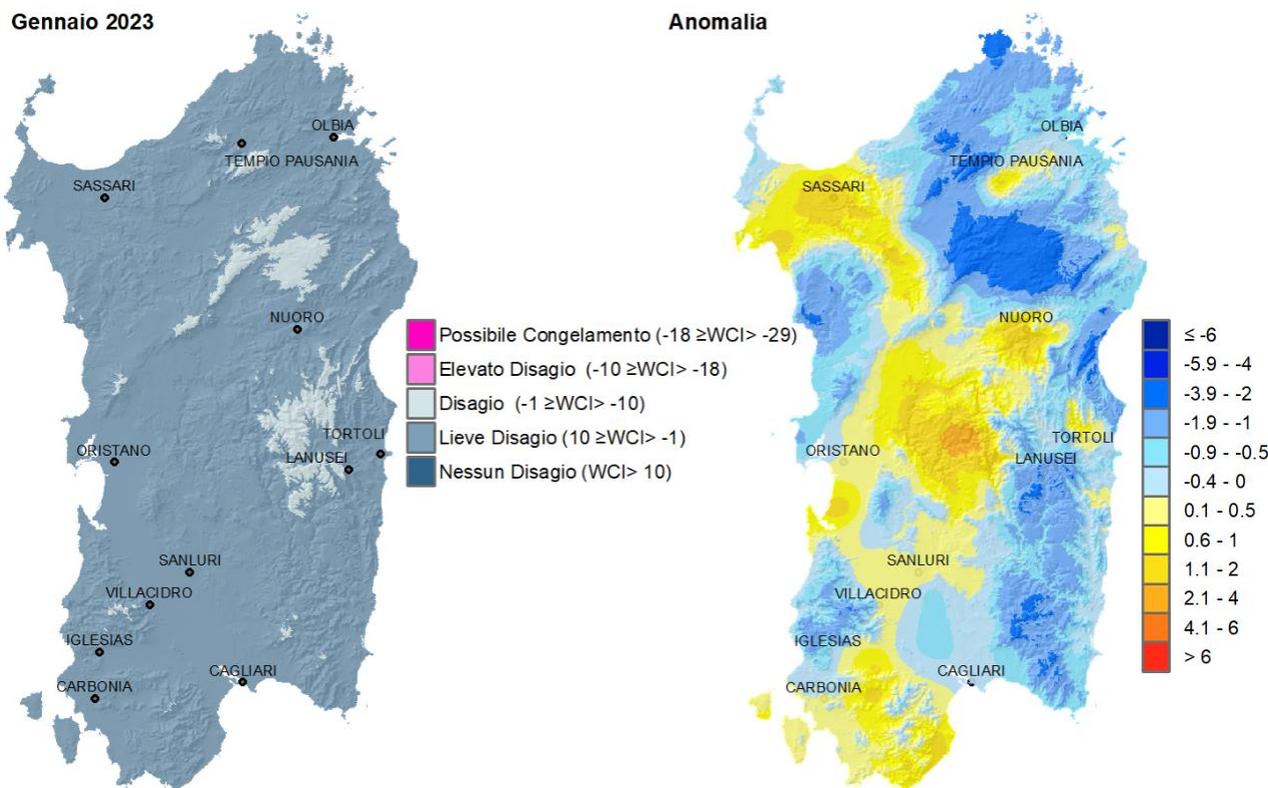


Figura 55: WCI - Media dei valori minimi per gennaio 2023 e raffronto con il periodo 1995-2014.

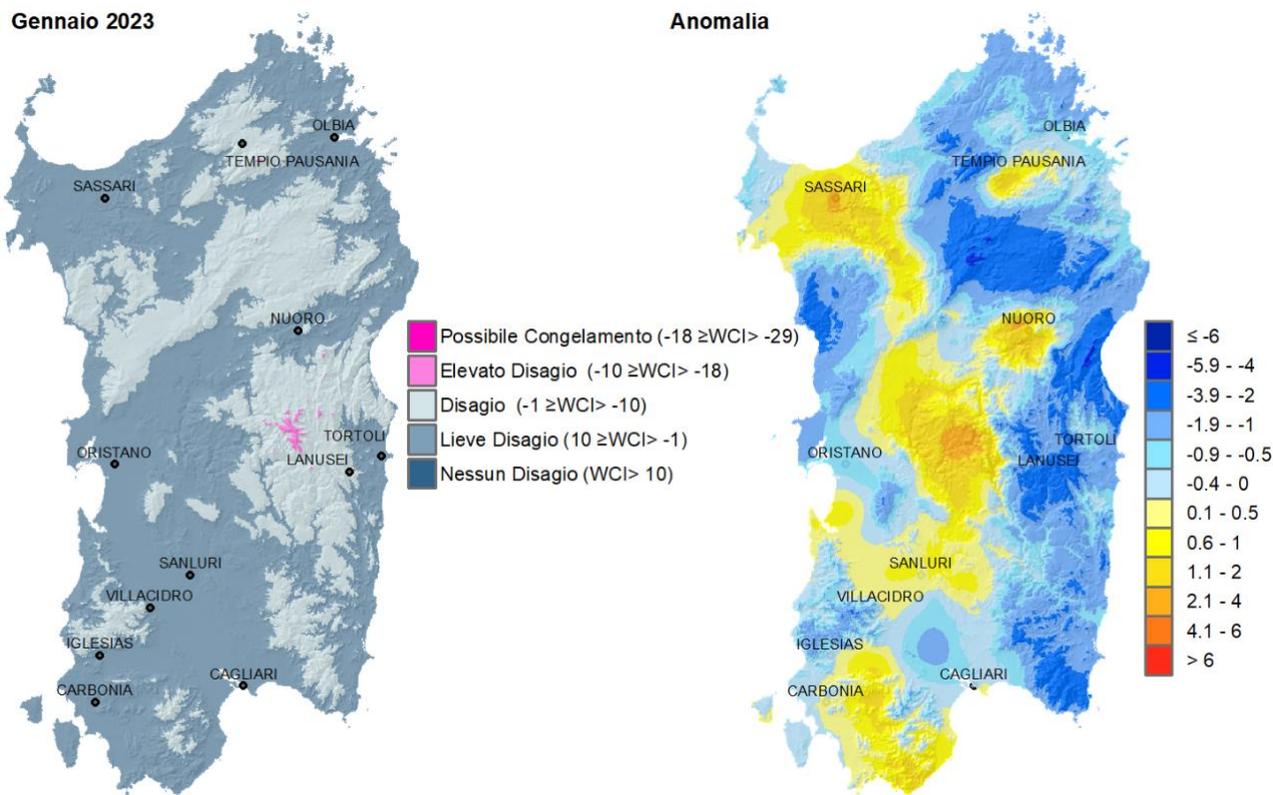
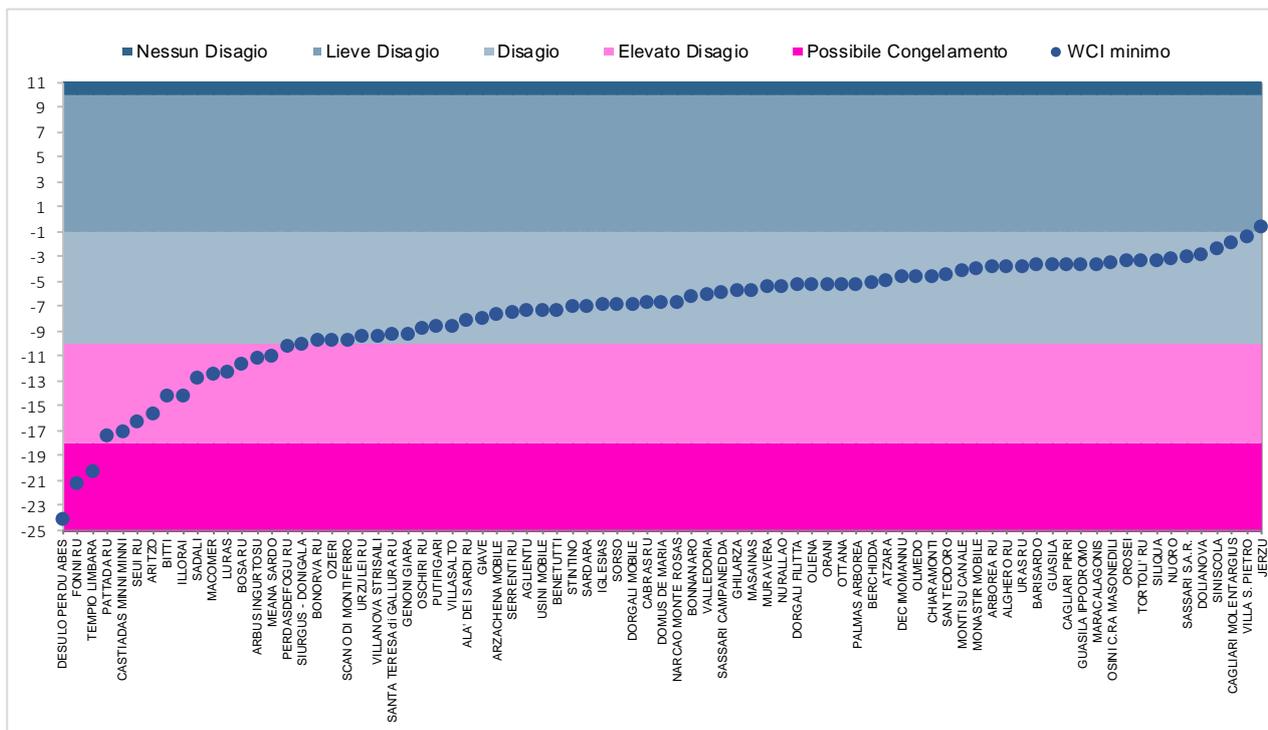


Figura 56: Valori minimi di WCI per il mese di febbraio 2023.



7.5 Temperature Humidity Index (THI)

Il Temperature Humidity Index (THI) o indice di caldo permette di stimare le condizioni di stress per il bestiame causate da alte temperature ed elevati valori di umidità dell'aria. La classificazione prevede diverse condizioni di stress per il bestiame, tanto maggiori quanto più elevato è il valore dell'indice, secondo la seguente tabella:

Valori indice	Classe di disagio
$THI < 65$	Nessun disagio
$65 \leq THI < 68$	Possibile disagio
$68 \leq THI < 72$	Lieve disagio
$72 \leq THI < 75$	Disagio
$75 \leq THI < 79$	Allerta
$79 \leq THI < 84$	Pericolo
$THI \geq 84$	Emergenza

Il periodo giugno-settembre 2023 è stato contraddistinto da valori più critici della media per tutti i mesi esaminati come conseguenza in particolare delle alte temperature estive.

Se si analizza la permanenza oraria dell'indice nelle diverse classi di disagio calcolata per l'intero quadrimestre 2023 (**Figura 57**) è possibile rilevare come le aree potenzialmente più critiche per il bestiame al pascolo siano ricomprese prevalentemente nel Sud dell'Isola e nell'oristanese. Infatti, nelle stazioni di Muravera, Cagliari Pirri, Villa San Pietro, Cabras, Domus de Maria e Cagliari Molentargius sono state registrate oltre 2300 ore complessive di criticità alcune delle quali anche nel livello di *Emergenza* (36 ore a Muravera, 24 ore a Villa San Pietro e Domus de Maria). La stazione di Dolianova, nonostante nel complesso abbia fatto rilevare meno ore di stress, circa 1900, ha totalizzato ben 45 ore nel livello di *Emergenza*. Le condizioni meno avverse sono state osservate a Desulo Perdu Abes, stazione più alta in quota con quasi 1400 m s.l.m., con poco più di 700 ore complessive registrate.

Il mese mediamente più critico tra quelli esaminati è stato sicuramente luglio che oltre ai dati medi più alti ha fatto registrare anche gli estremi più elevati del periodo. Infatti a luglio i valori di THI medio e di media delle massime sono stati decisamente sopra la media pluriennale 1995-2014 (**Figura 58** e **Figura 59**). L'anomalia è risultata particolarmente elevata (superiore a 4) nella parte Sud-orientale e Sud-occidentale e nelle principali aree montuose per il THI medio, e nei territori meridionali per la media delle massime. Nello specifico dei valori, il THI medio ha variato tra la condizione di *Possibile Disagio* e quella di *Allerta* mentre la media delle massime ha variato tra *Lieve Disagio* e *Pericolo*, con i valori più alti localizzati in particolare nelle aree meridionali. Per valutare l'eccezionalità del mese di luglio 2023 si può osservare inoltre in **Figura 60** il grafico delle anomalie mensili della permanenza dell'indice THI nelle diverse soglie critiche relativamente ad alcune stazioni di cui si dispone di quasi un trentennio di dati dal 1995 al 2022. In tutte le stazioni indagate le anomalie sono state sempre positive o in alcuni casi pari a zero nella categoria più critica di *Emergenza*.

Per quanto riguarda il massimo assoluto del quadrimestre (**Figura 61**), è stato registrato nella stazione di Domus de Maria il giorno 17 luglio con un valore pari a 87.1, corrispondente all'intervallo di *Emergenza*. Tale valore risulta tra i più alti registrati in Sardegna dal 1995.

Figura 57: Numero totale di ore con THI nelle diverse classi di disagio - periodo giugno-settembre 2023.

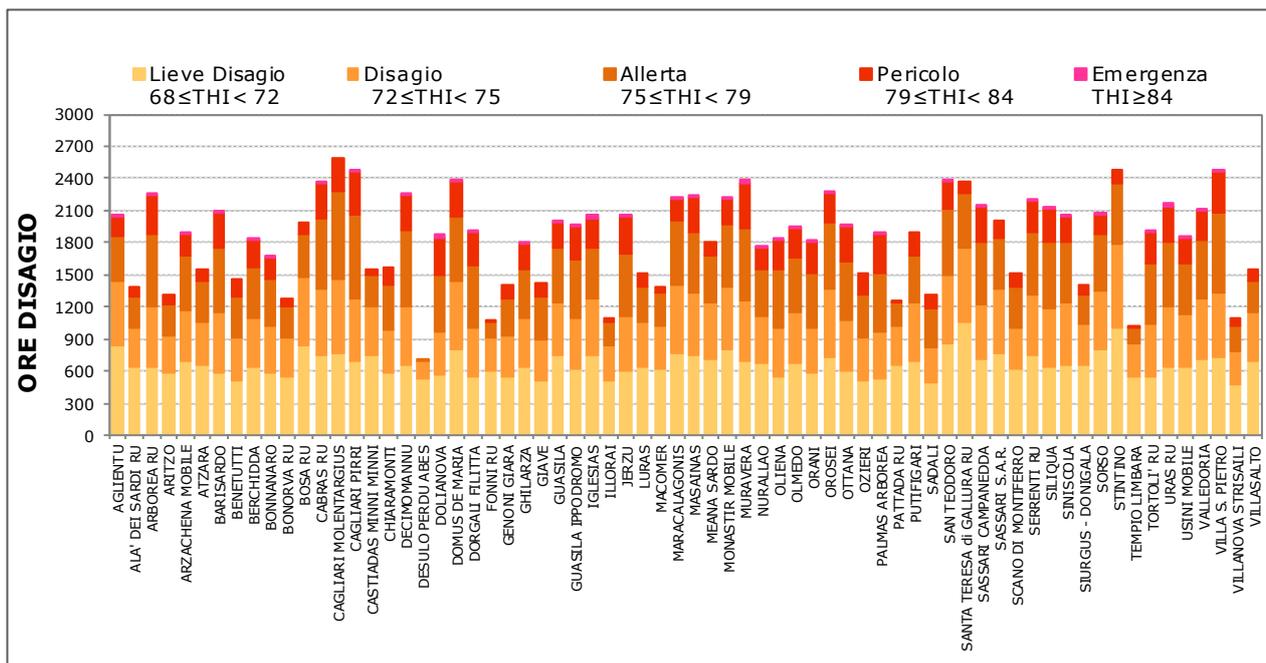


Figura 58: THI medio per il mese di luglio 2023 e raffronto con il periodo 1995-2014.

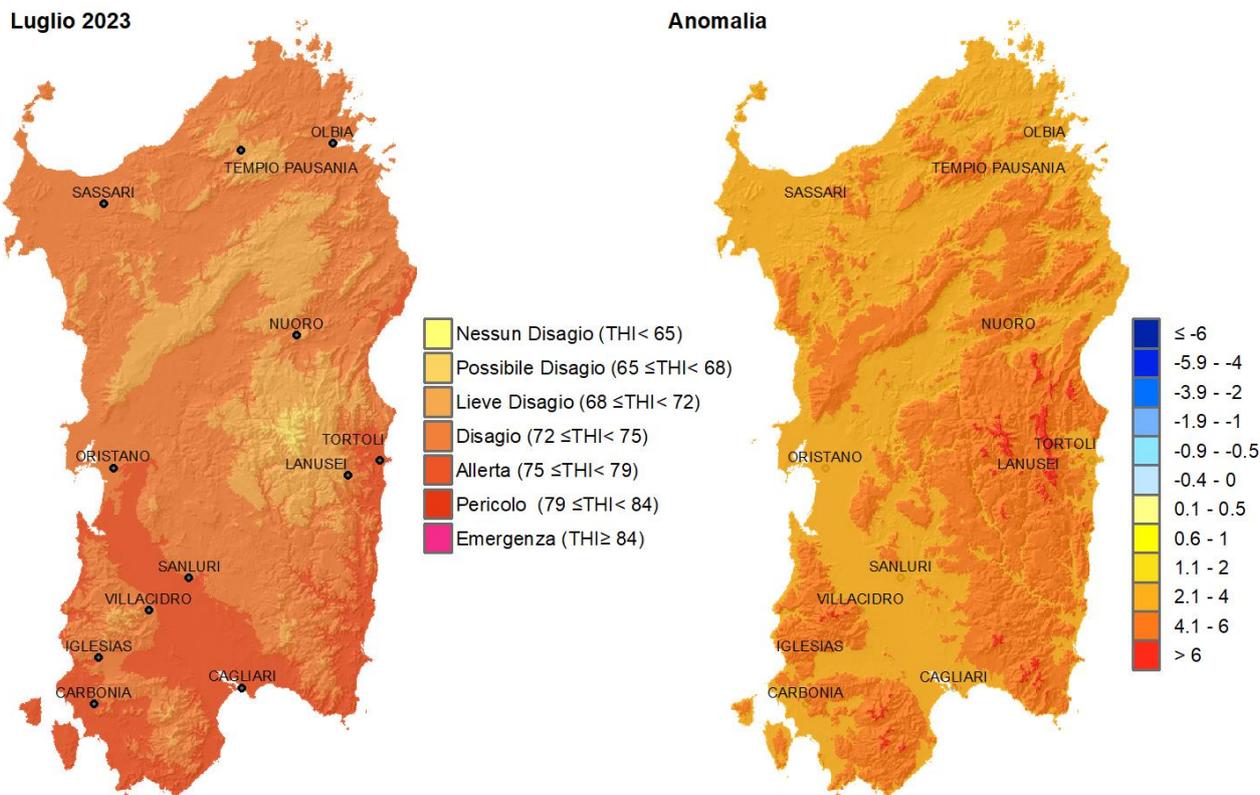


Figura 59: THI - Media dei valori massimi per luglio 2023 e raffronto con il periodo 1995-2014.

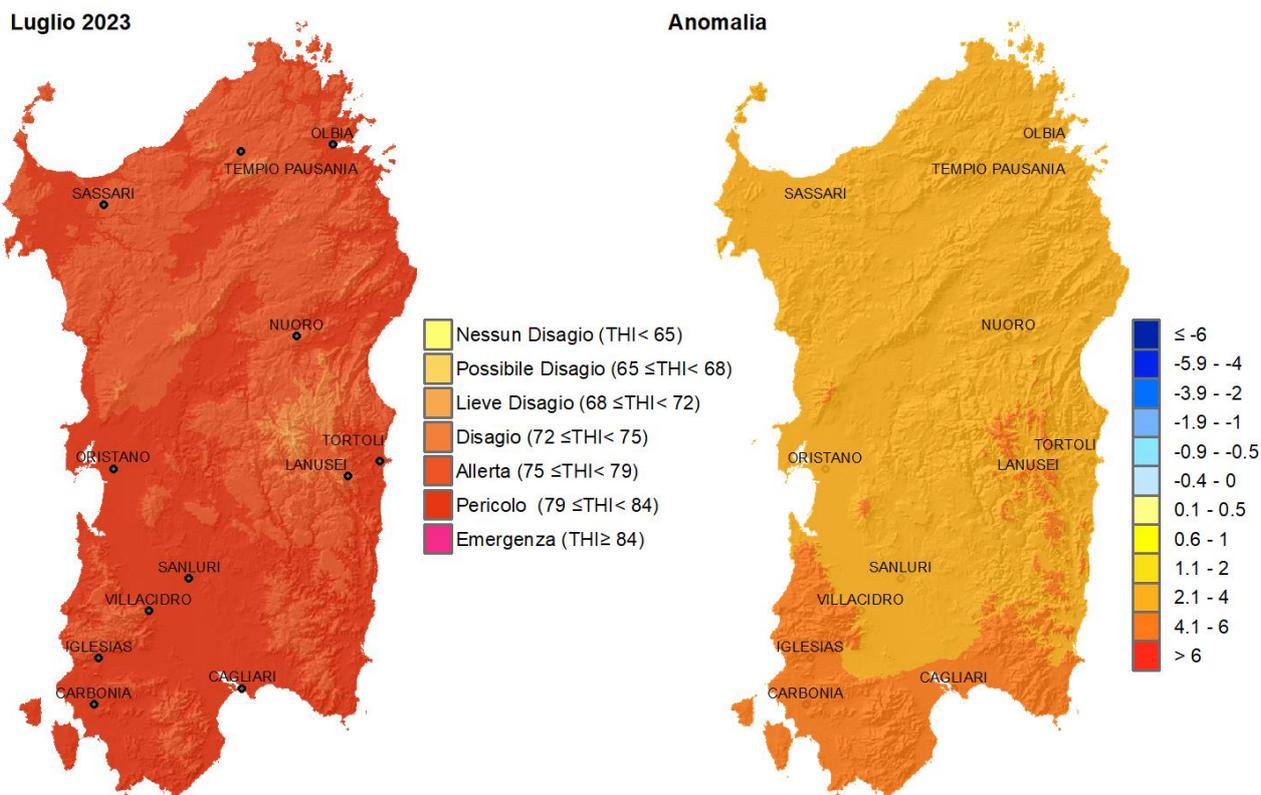


Figura 60: Anomalia del numero di ore di THI del mese di luglio alle varie soglie rispetto ai relativi valori mediani calcolati per il periodo 1995-2022.

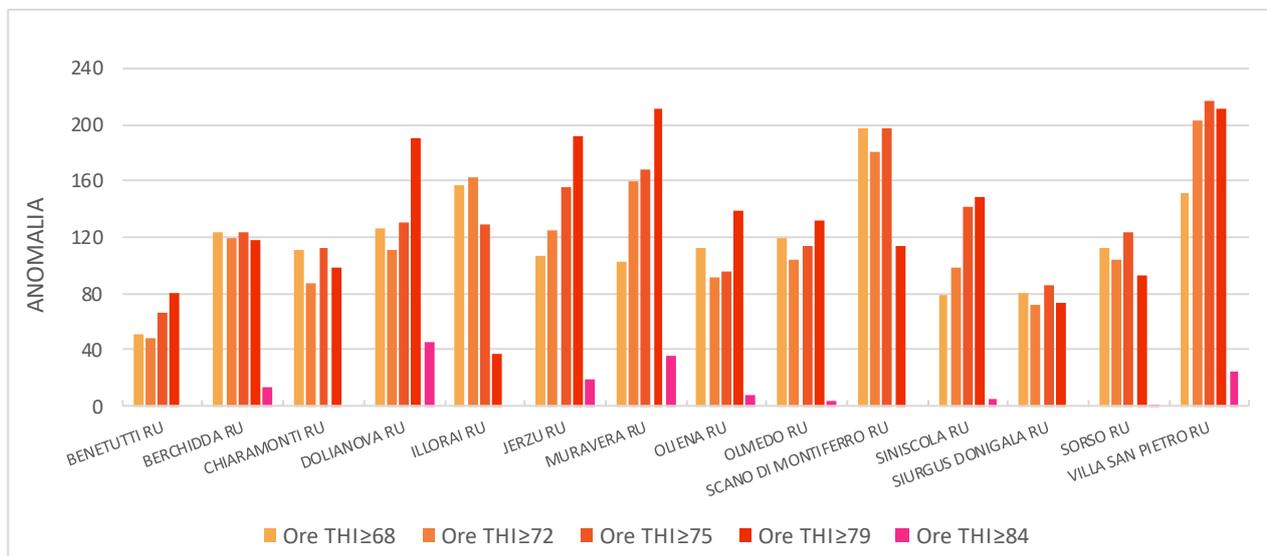
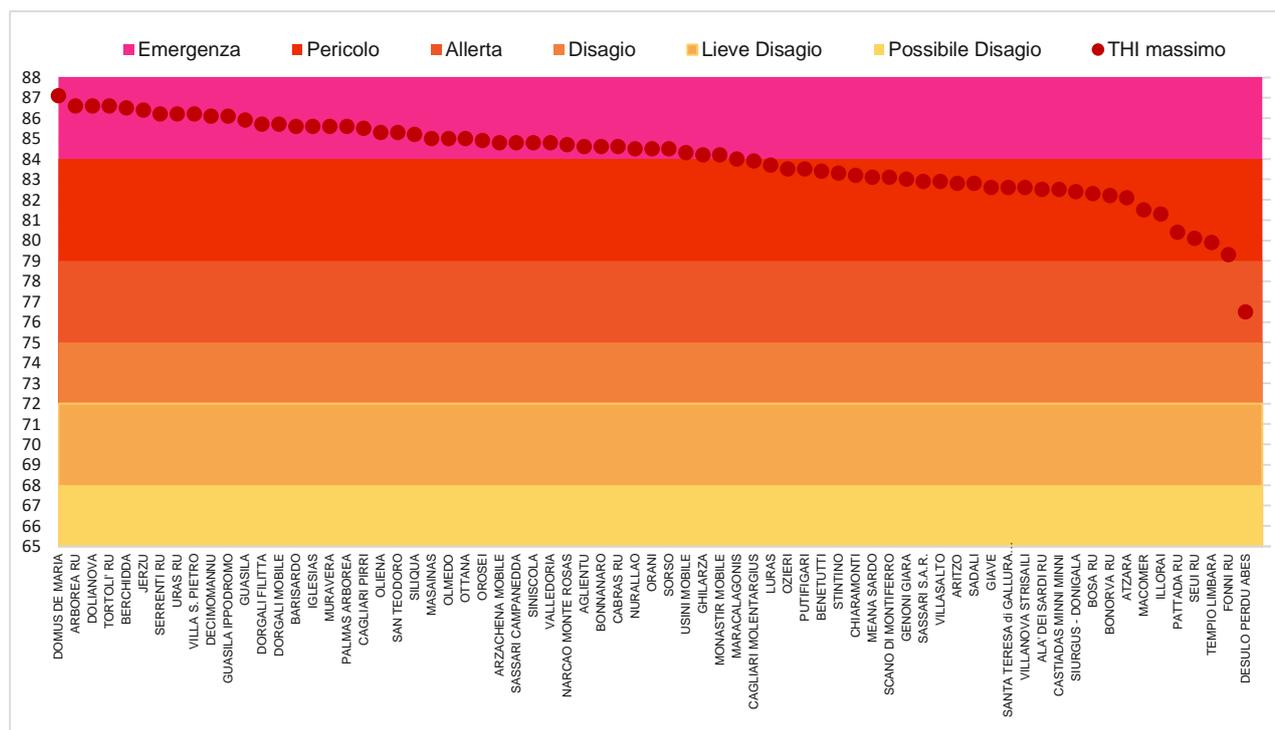


Figura 61: Valori massimi di THI per il mese di Luglio 2023.



7.6 Heat Waves – Onde di calore

Elaborando i dati orari di THI è possibile derivare un altro indicatore di interesse zootecnico, l'onda di calore o Heat Wave (HW), che permette di stimare la situazione di prolungato disagio a cui è soggetto il bestiame esposto a condizioni meteorologiche particolarmente calde e umide. Un'onda di calore si verifica ogni qualvolta il THI orario risulta uguale o superiore a 72 per oltre 14 ore giornaliere e per tre giorni consecutivi.

Il bimestre luglio-agosto 2023 (**Figura 62**) è stato caratterizzato da diverse onde di calore, in numero variabile da una a cinque e di intensità da *lieve* ad *alta*, che hanno interessato ben 68 stazioni su circa 70 monitorate, molte delle quali anche in località di alta quota. Le uniche stazioni che non hanno fatto registrare onde di calore sono state Desulo Perdu Abes e Gavoi. Il periodo più critico è stato senz'altro luglio con le persistenze e le intensità più alte registrate in particolare nei territori meridionali e lungo la costa Sud-orientale. Nelle stazioni di Barisardo, Muravera e Villa San Pietro è stata registrata a luglio un'onda di calore della durata di 24 giorni consecutivi, seguita da quella delle stazioni di Arborea, Cagliari, Decimomannu, Domus de Maria, Maracalagonis e San Teodoro della durata di 22 giorni. Ad agosto invece le onde di calore sono state meno frequenti o addirittura nulle nelle stazioni di montagna e di intensità generalmente meno intensa tra *lieve* e *media*.

Nel complesso del bimestre le stazioni più critiche sono risultate quelle poste lungo le coste meridionali e settentrionali dell'Isola in cui le onde di calore hanno interessato oltre 40 giorni in totale (**Figura 63 - Figura 68**).

Figura 63: Heat Waves registrate nella stazione di Cagliari Molentargius nel bimestre luglio-agosto 2023.

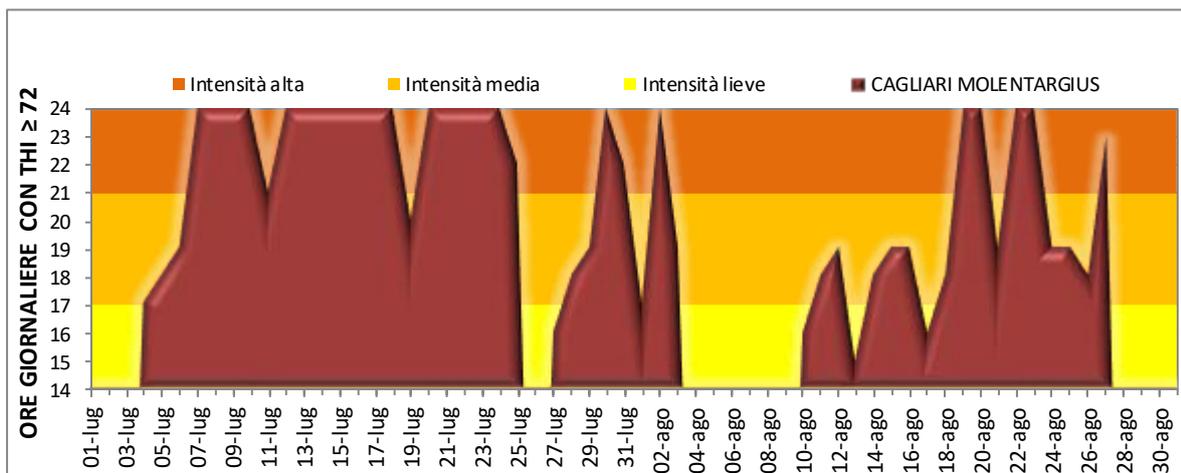


Figura 64: Heat Waves registrate nella stazione di Cagliari Pirri nel bimestre luglio-agosto 2023.

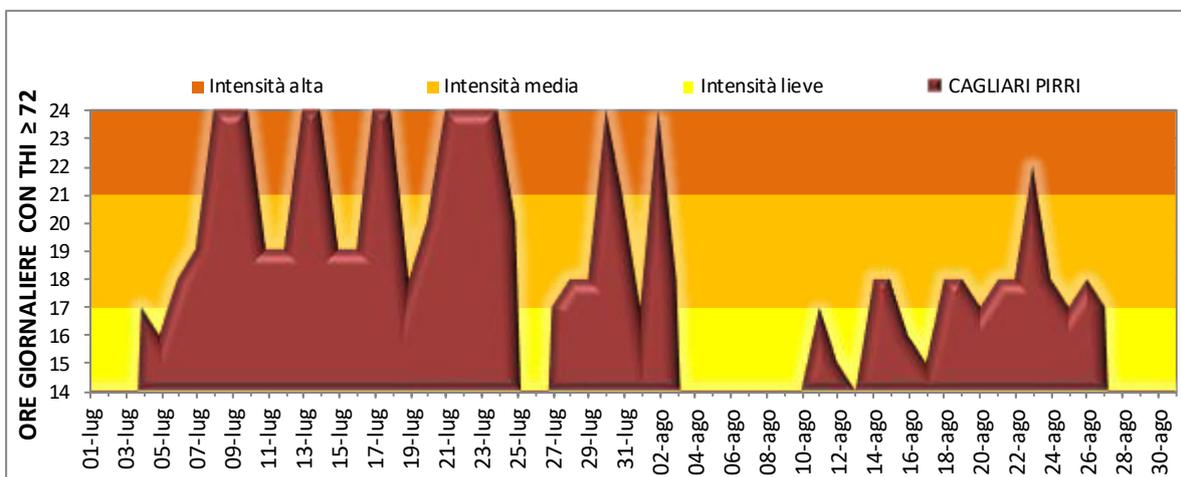


Figura 65: Heat Waves registrate nella stazione di Domus de Maria nel bimestre luglio-agosto 2023.

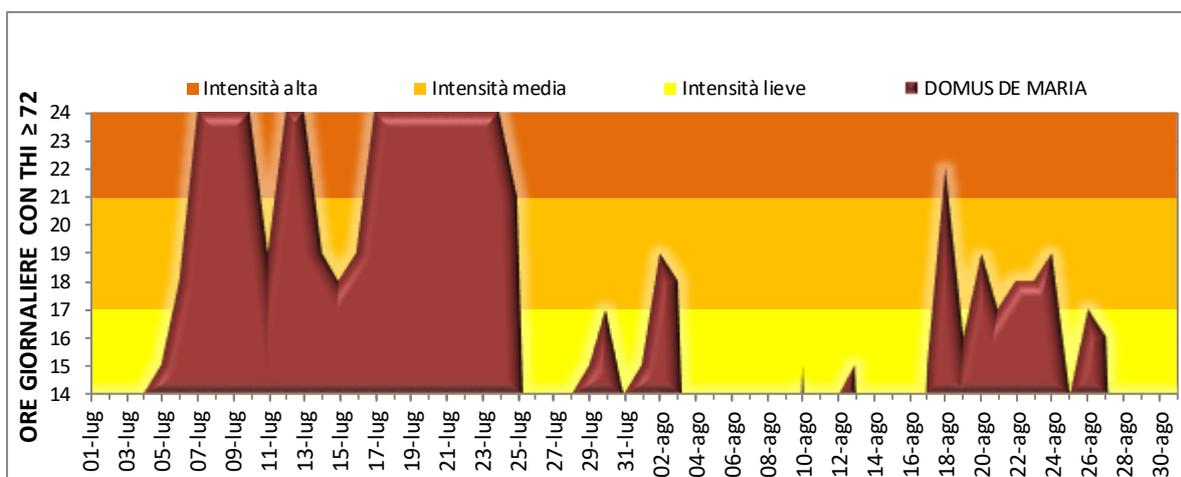


Figura 66: Heat Waves registrate nella stazione di San Teodoro nel bimestre luglio-agosto 2023.

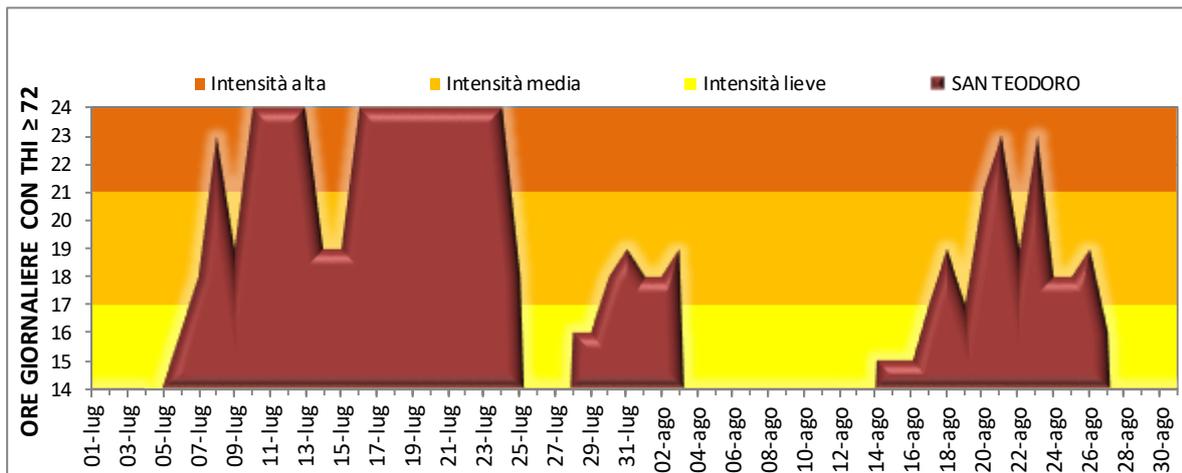


Figura 67: Heat Waves registrate nella stazione di Santa Teresa di Gallura nel bimestre luglio-agosto 2023.

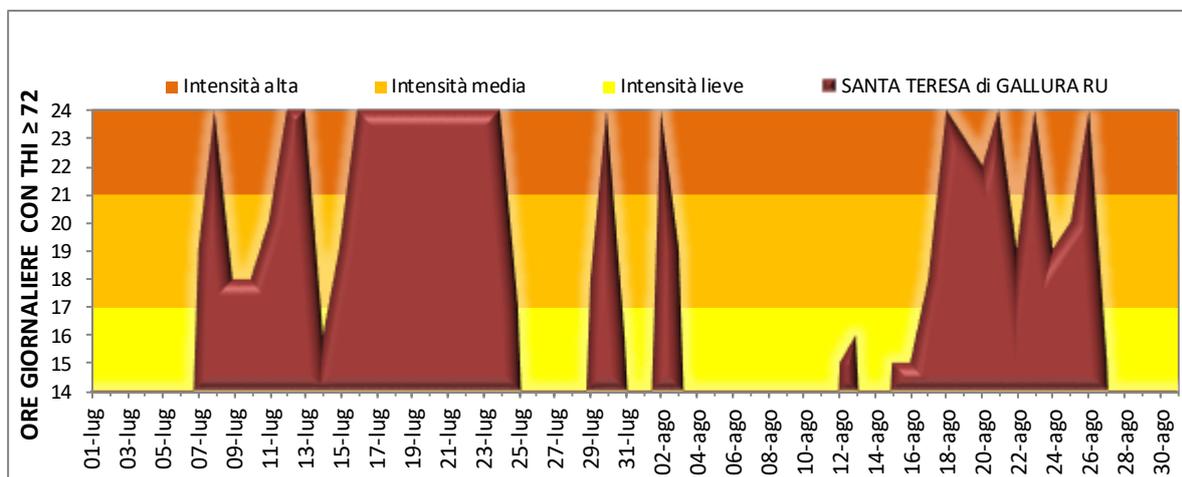
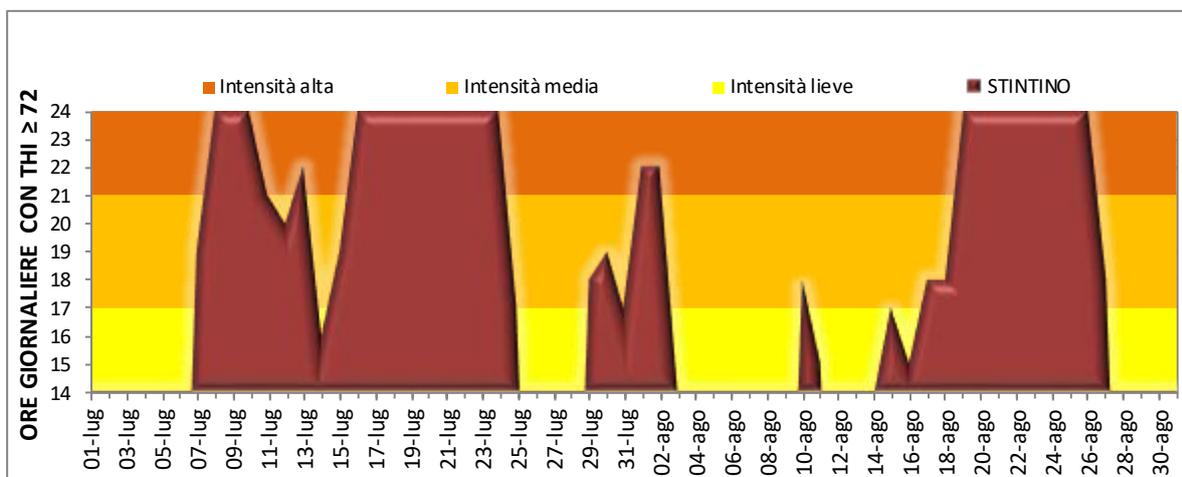


Figura 68: Heat Waves registrate nella stazione di Stintino nel bimestre luglio-agosto 2023.



8. BIOMETEOROLOGIA - HEAT INDEX

Heat Index (HI) o indice di calore permette di stimare la condizione di disagio fisiologico avvertita dalle persone in condizioni di “caldo afoso”. In particolare, in base ai valori assunti dall'indice sono definiti cinque livelli di disagio, con associata la descrizione del rischio, riportati nella seguente tabella:

HEAT INDEX	LIVELLO DISAGIO	DESCRIZIONE RISCHIO
HI<27	NESSUN DISAGIO	-
27≤HI<32	CAUTELA	Possibile stanchezza per prolungata esposizione e/o attività fisica.
32≤HI<41	ESTREMA CAUTELA	Possibile colpo di sole, crampi muscolari da calore per prolungata esposizione e/o attività fisica
41≤HI<54	PERICOLO	Probabile colpo di sole, crampi muscolari da calore o spossatezza da calore. Possibile colpo di calore per prolungata esposizione e/o attività fisica.
HI≥54	ELEVATO PERICOLO	Elevata probabilità di colpo di calore o colpo di sole in seguito a continua esposizione.

Il periodo maggio-settembre 2023 è stato contraddistinto da valori sopra media nei mesi di giugno, agosto e soprattutto luglio, mentre a maggio e settembre i valori sono stati meno critici. Il mese che ha mostrato le condizioni di maggiori criticità per la salute umana è stato luglio, un periodo eccezionalmente caldo e umido con valori di HI medio e di media delle massime molto al di sopra la media pluriennale (1995-2015) su tutto il territorio regionale (**Figura 69** e **Figura 70**). Le anomalie maggiori, superiori alle 3 unità, hanno riguardato in particolare le aree centro meridionali e meno quelle settentrionali. L'HI medio ha variato tra 28.3 (*Cautela*) e 33.5 (*Estrema Cautela*), mentre la media delle massime tra 28.9 (*Cautela*) e 37.2 (*Estrema Cautela*) con i valori più alti localizzati in particolare nella Pianura del Campidano e nel Sulcis-Iglesiente. L'eccezionalità di tale mese si evidenzia anche nell'analisi del grafico in **Figura 71** in cui si osserva come i valori di anomalia complessiva delle ore nei livelli di criticità siano tutti nettamente sopra la media per la totalità delle stazioni indagate.

Se si esamina la permanenza oraria dell'indice nei vari livelli di rischio per l'intero periodo in esame (**Figura 72**) la situazione potenzialmente più rischiosa per la salute umana ha riguardato le stazioni localizzate nelle aree meridionali dell'Isola quali Villa San Pietro, Muravera, Domus de Maria e Decimomannu con oltre 1200 ore di disagio suddivise tra i livelli di *Cautela*, *Estrema Cautela* e *Pericolo*. La condizione di *Pericolo* più consistente, tuttavia, ha riguardato la stazione di Dolianova con 27 ore anche se il numero di ore complessivo per il periodo analizzato non è stato altissimo (circa 1160). La situazione meno critica è stata riscontrata nella stazione di Illorai con meno di 500 ore complessive di criticità di cui gran parte nel livello di *Cautela*. Rispetto alla media pluriennale (**Figura 73**) la permanenza nei livelli di *Cautela* ed *Estrema Cautela* è stata quasi sempre più alta, mentre per i livelli più critici di *Pericolo* ed *Elevato Pericolo* vi sono state alcune stazioni come ad esempio Dorgali Filitta e Olmedo che hanno presentato valori inferiori al dato medio. Per quanto riguarda il massimo assoluto (**Figura 74**), il valore più alto è stato registrato a Domus de Maria il 17 luglio pari a 45.1, seguito dal dato di Dolianova e Berchidda (44.1 e 44.0 rispettivamente) registrato sempre a metà luglio. Tutte le altre stazioni hanno evidenziato valori progressivamente inferiori fino al 35.3 rilevato ad Illorai. Rispetto al dato medio pluriennale (**Figura 75**) circa la metà delle stazioni ha mostrato valori prossimi al dato medio sia con scarto positivo che negativo. Le maggiori anomalie (di segno negativo) hanno riguardato la stazione di Giave (-10.5) e quella di Sorso (-9.2).

Nelle **Figure 76 - 81** è riportato l'andamento dell'indice HI massimo giornaliero relativamente alle stazioni più significative per i mesi in esame. Il periodo più critico è risultato dalla seconda decade di giugno fino a tutto settembre in cui sono stati registrati valori di HI massimo nei livelli di *Cautela* ed *Estrema Cautela* per numerosi giorni consecutivi. In diverse stazioni a luglio si sono verificate anche giornate nella condizione di *Pericolo*. Nel mese di maggio e nella prima decade di giugno i giorni con situazione di disagio sono stati, invece, piuttosto esigui.

Figura 69: HI medio e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014 – luglio 2023.

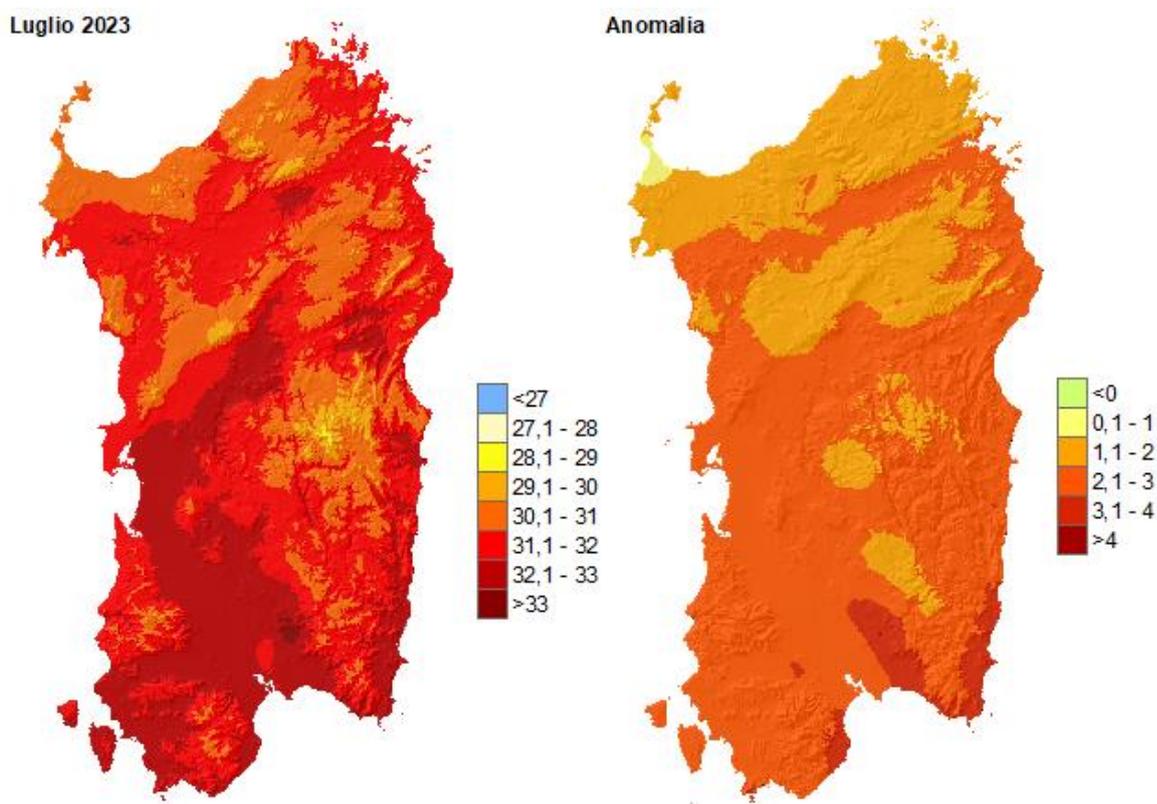


Figura 70: HI - media delle massime e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014 - luglio 2023.

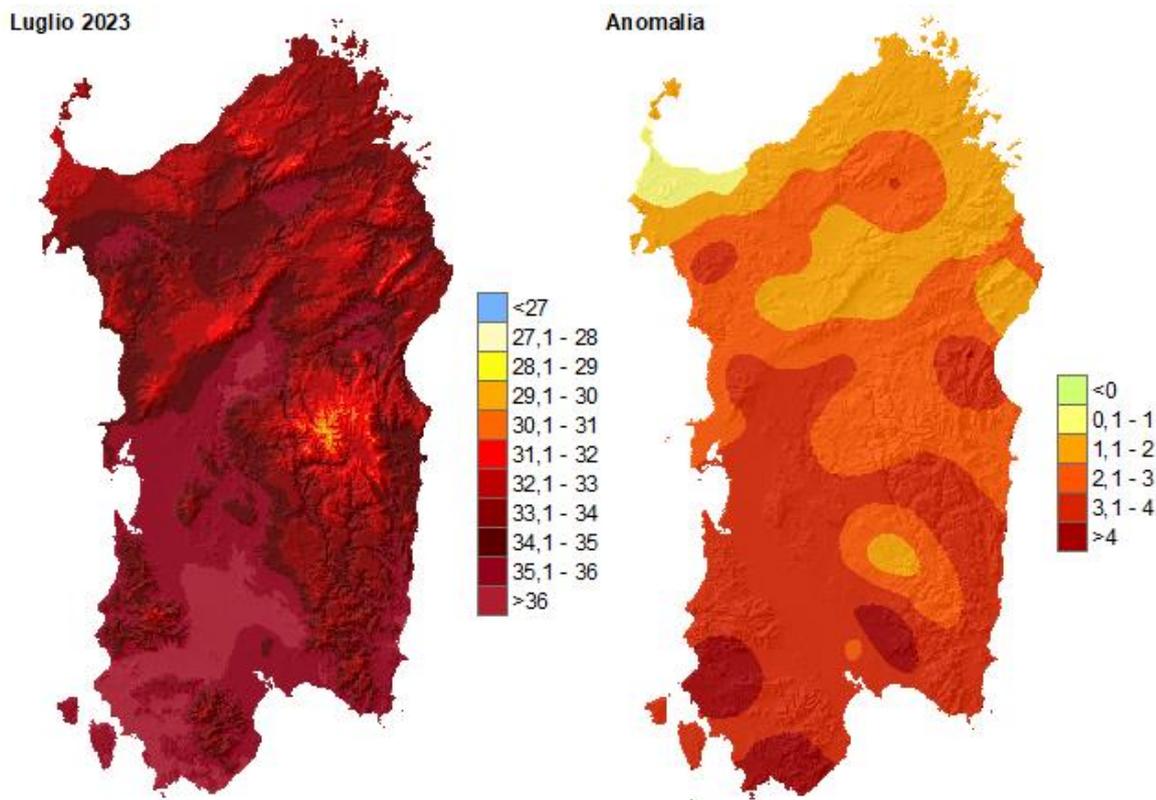


Figura 71: Anomalia complessiva del numero ore con HI nei diversi livelli di disagio rispetto alla media pluriennale di luglio.

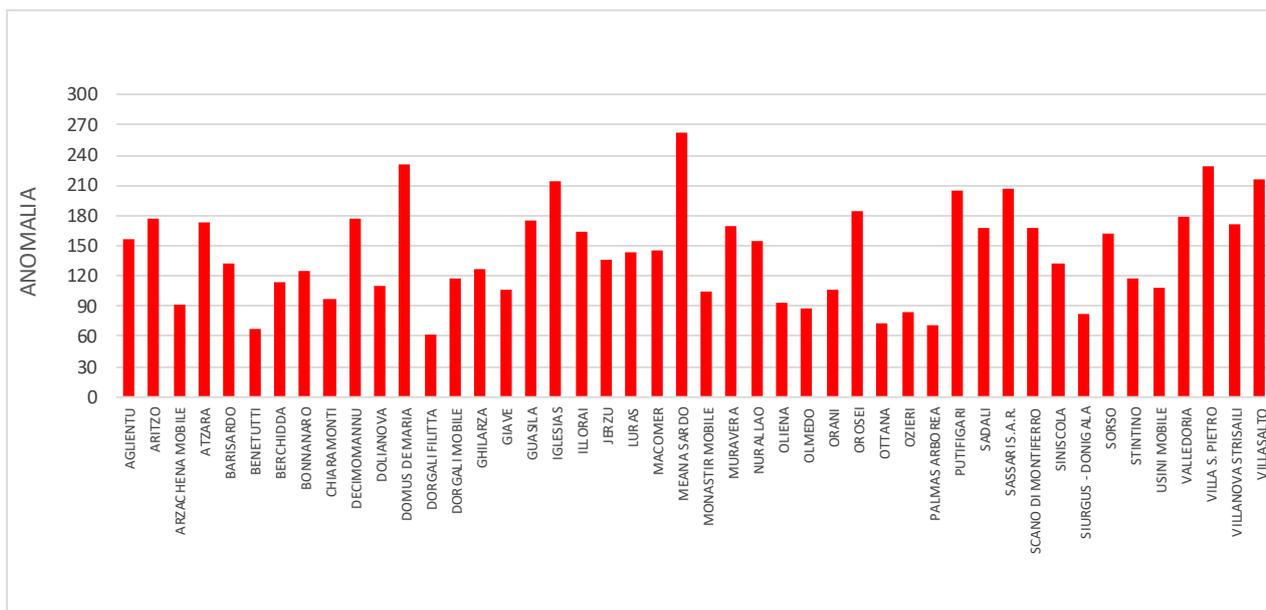


Figura 72: Totale ore mensili con HI nei diversi livelli di disagio per il periodo maggio-settembre 2023.

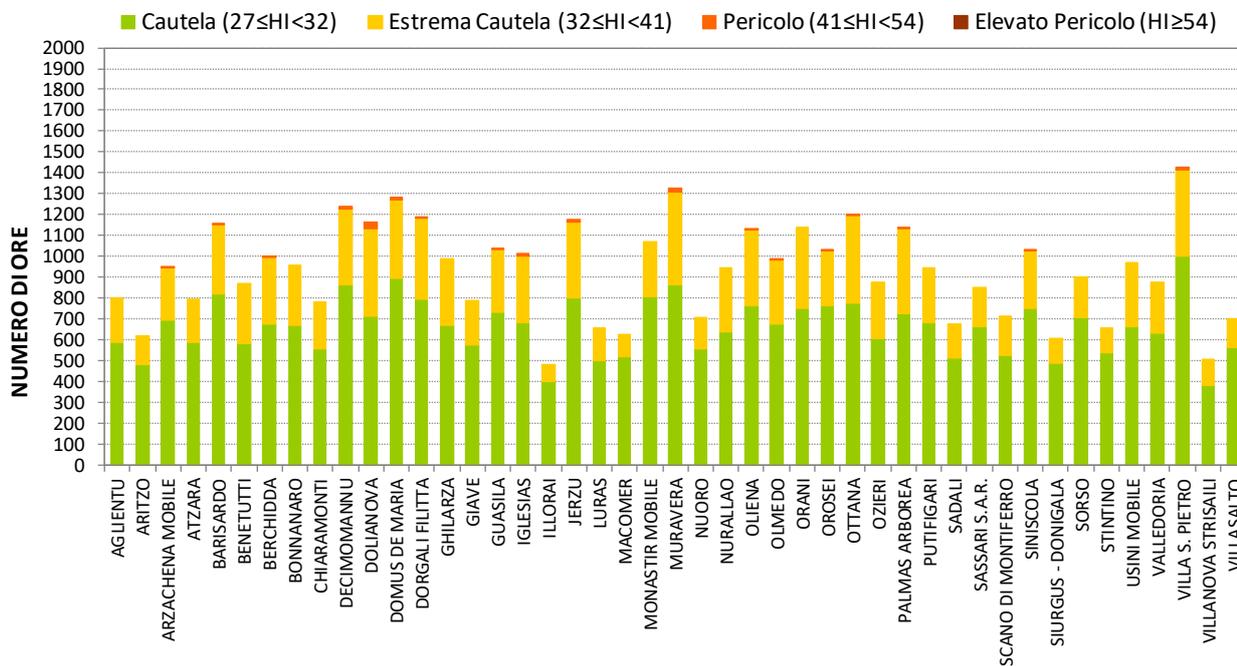


Figura 73: Anomalia delle ore mensili rispetto alla media 1995-2015 relativa al periodo maggio-settembre.

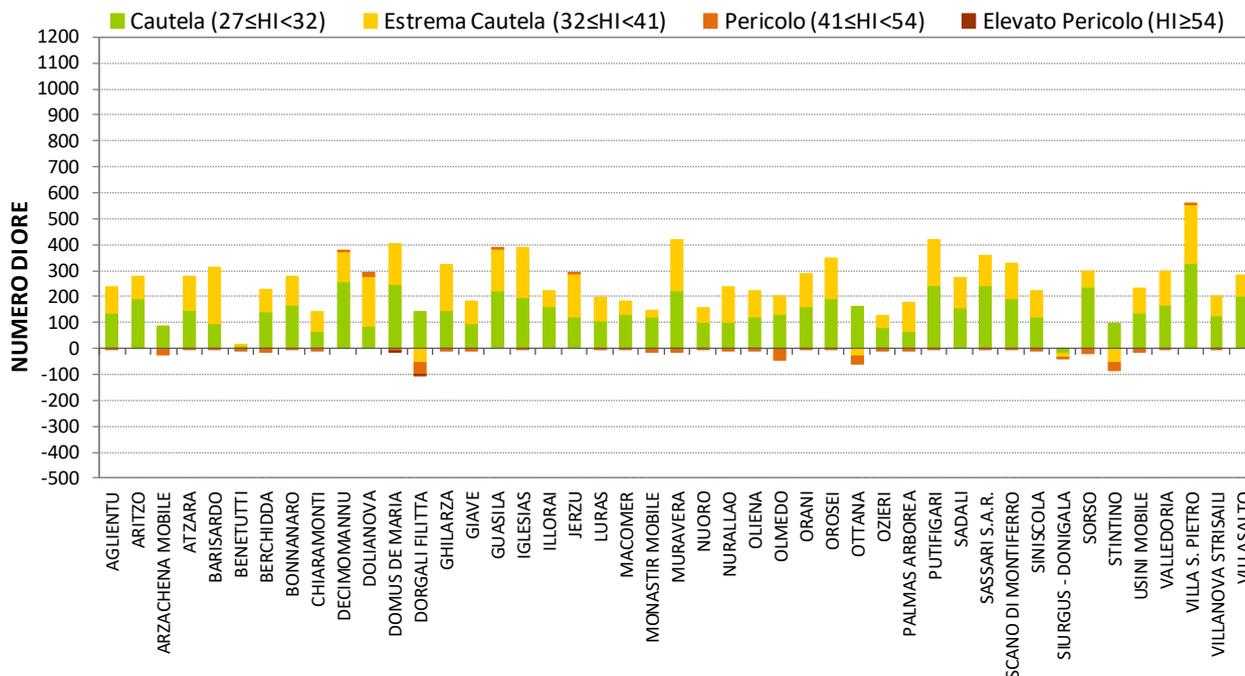


Figura 74: HI massimo assoluto relativo al periodo maggio-settembre 2023.

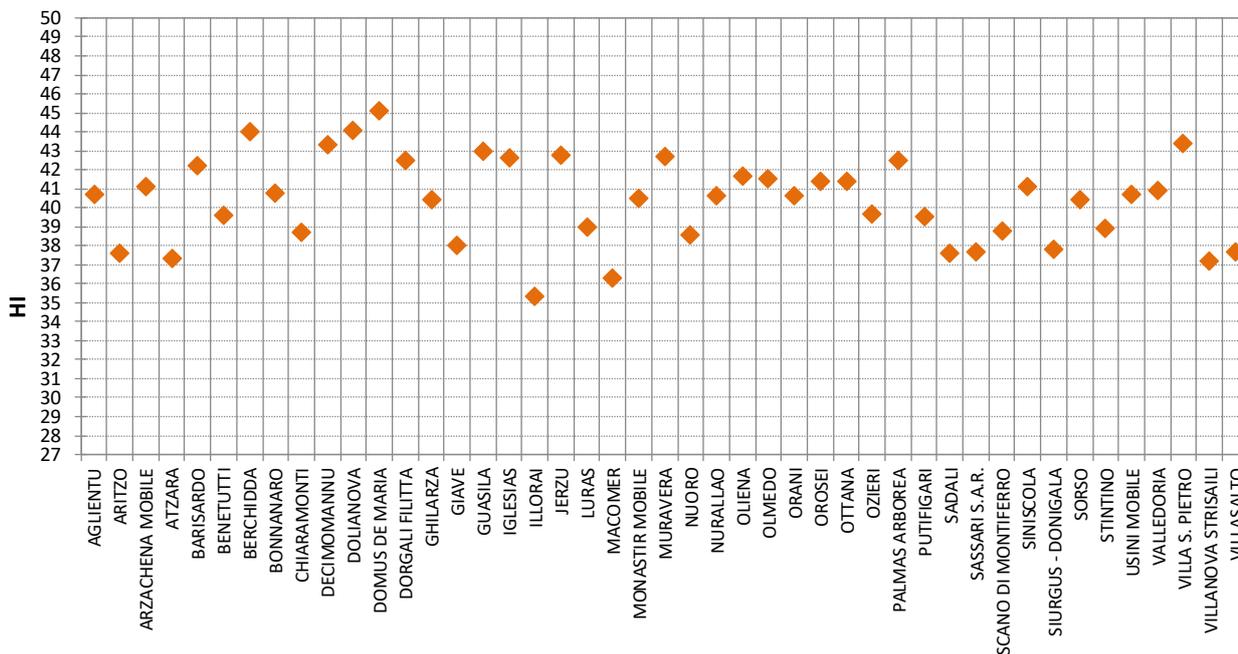


Figura 75: Anomalia del massimo assoluto rispetto alla media 1995-2015 relativa al periodo maggio-settembre.

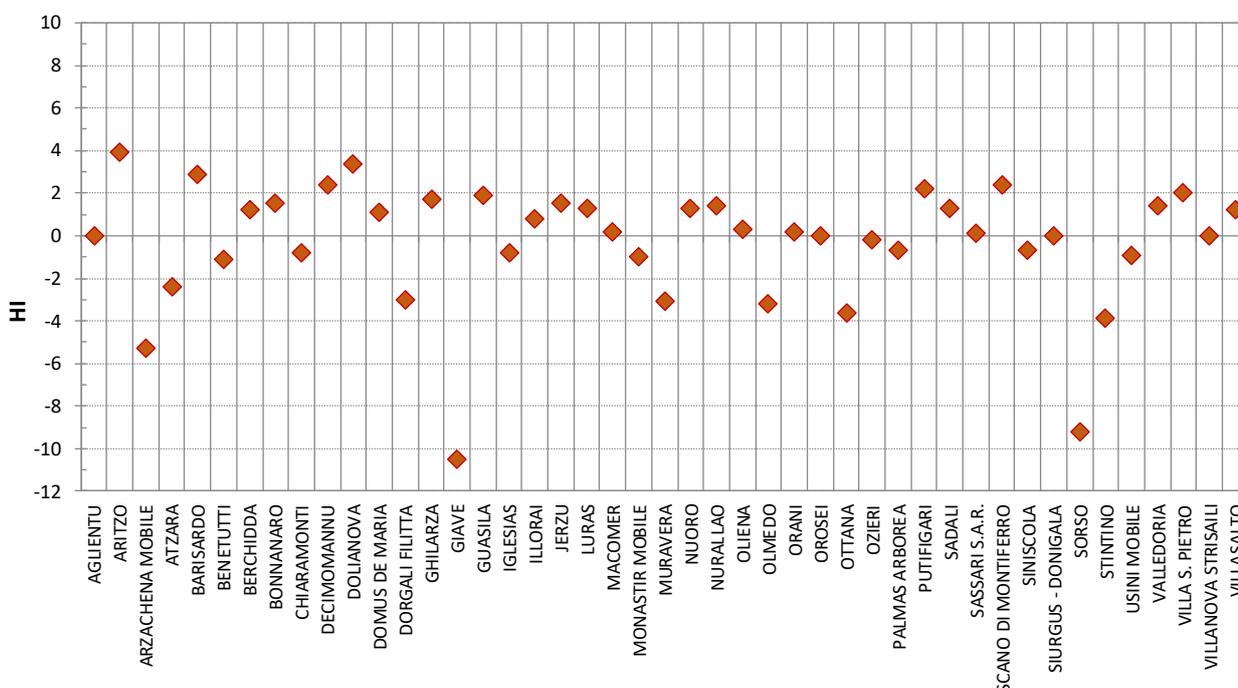


Figura 76: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Dolianova.

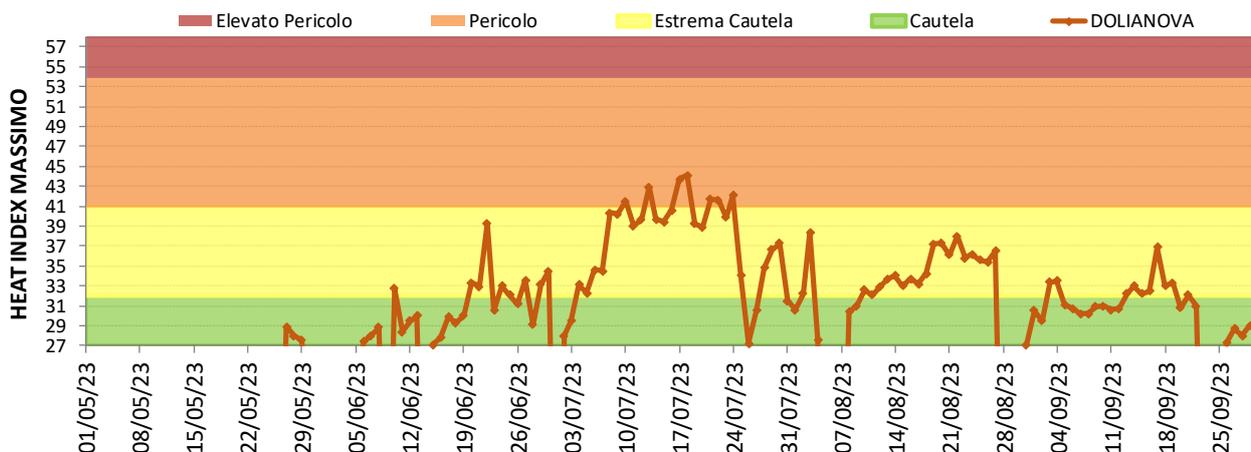


Figura 77: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Dorgali Filitta.

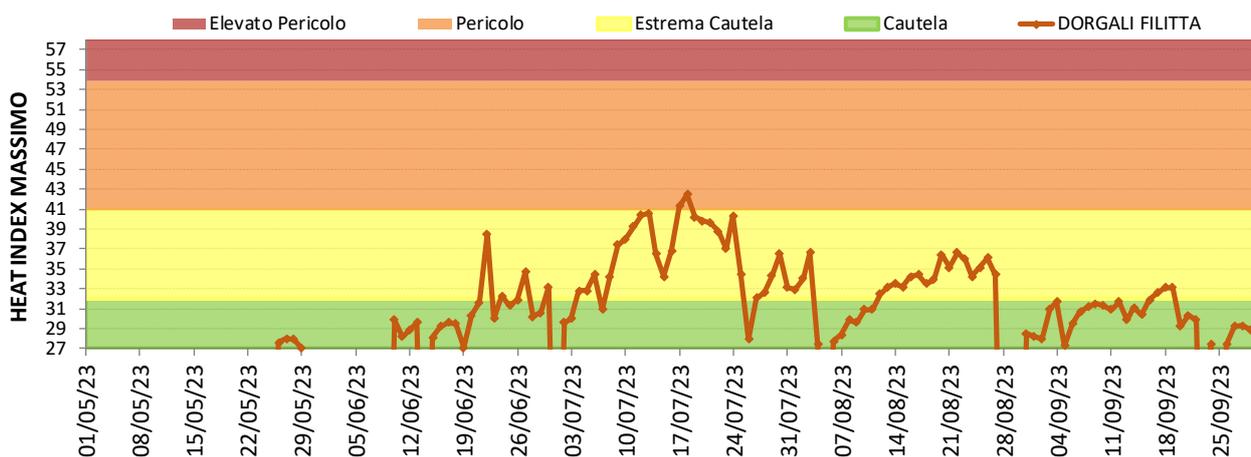


Figura 78: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Muravera.

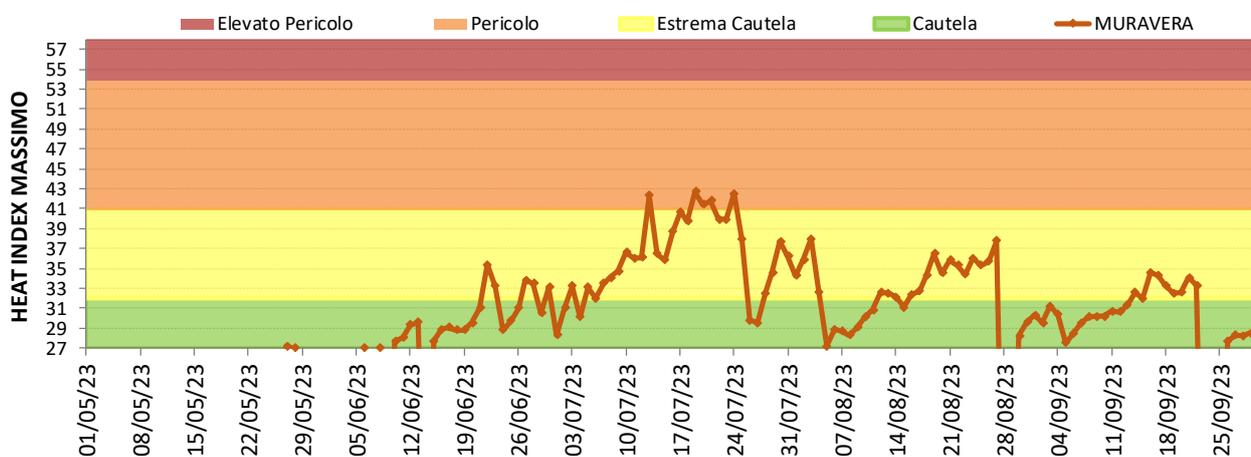


Figura 79: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Orani.

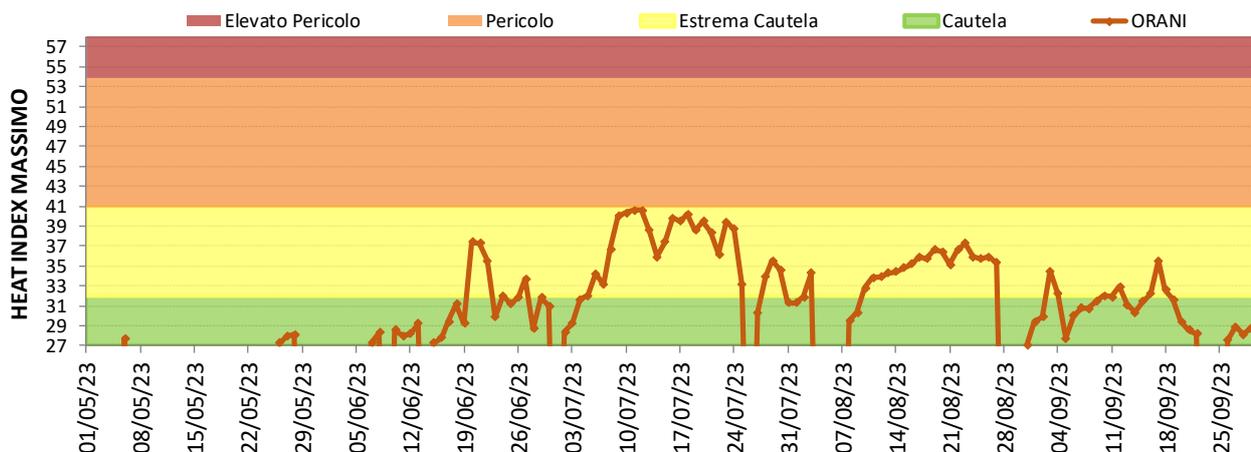


Figura 80: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Palmas Arborea.

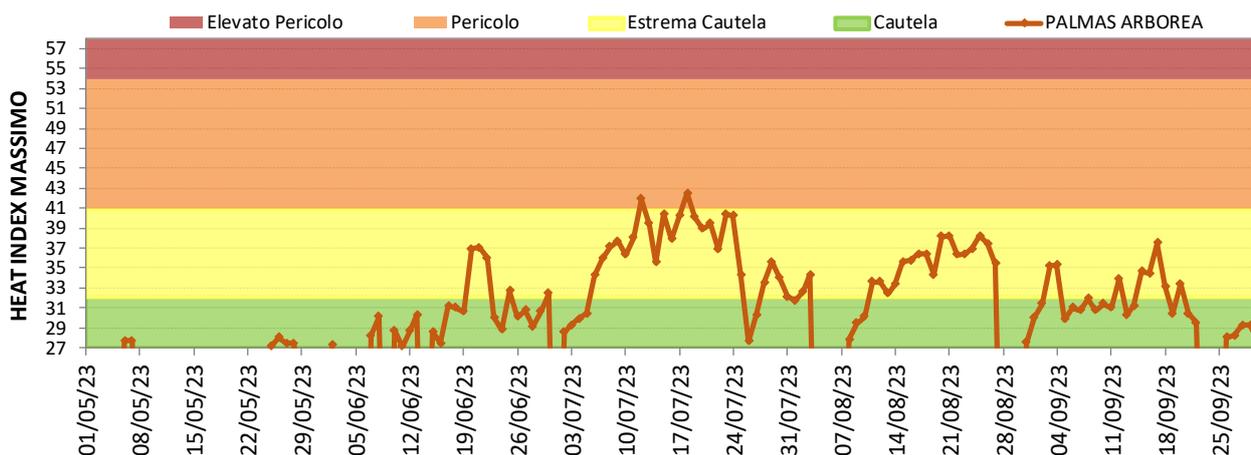


Figura 81: HI massimo giornaliero nel periodo maggio-settembre 2023 – Stazione di Villa San Pietro.

