



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Gli indicatori del clima in Italia nel 2021 Anno XVII

STATO DELL'AMBIENTE

98/2022

Gli indicatori del clima in Italia nel 2021 Anno XVII

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Stato dell'Ambiente 98/2022
ISBN 978-88-448-1119-8

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Alessia Marinelli - ISPRA – Area Comunicazione Ufficio Grafica

Foto di copertina: Walter Perconti

ISPRA – Area per il monitoraggio della qualità dell'aria e per la climatologia operativa

Coordinamento pubblicazione online:

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

Autori

Guido Fioravanti, Piero Frascchetti, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali (ISPRA)
Valentina Pavan (ARPAE)

Ringraziamenti

La pubblicazione si basa in gran parte su statistiche e indicatori climatici elaborati attraverso il sistema SCIA, realizzato dall'ISPRA e alimentato grazie alla collaborazione e alle serie di dati, aggiornate al 2021, dei seguenti organismi (tra parentesi, i nominativi dei referenti per il sistema SCIA):

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare;

ARPA: Piemonte (Barbara Cagnazzi, Chiara De Luigi), Valle d'Aosta (Tiziana Magri), Lombardia (Orietta Cazzuli, Erica Brambilla), Friuli Venezia Giulia (Andrea Cicogna), Veneto (Francesco Rech), Liguria (Veronica Bonati, Francesca Giannoni), Emilia-Romagna (Valentina Pavan), Sardegna (Alessandro Delitala, Michele Fiori);

Regione Campania, ARPA (Giuseppe Onorati, Antonio D'Ambrosio) e Centro Funzionale di Protezione Civile;

Regione Sicilia, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (Luigi Neri, Giuseppe Puleo);

Regione Sicilia, Autorità di Bacino della Regione Siciliana (Luigi Pasotti);

ARPA Calabria e Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria (Loredana Marsico);

Regione Marche, Agenzia Servizi Settore Agroalimentare delle Marche – ASSAM (Daniele Sparvoli);

Regione Basilicata, Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura - ALSIA (Emanuele Scalcione);

Regione Lazio, Servizio Integrato Agrometeorologico - ARSIAL (Ruggero Mizzoni);

Regione Marche, Centro Funzionale (Maurizio Ferretti, Marco Lazzeri).

Si ringraziano inoltre, per dati e informazioni riportati nel capitolo 2, dati accessibili online e dati non inclusi nel sistema SCIA:

Dipartimento di Protezione Civile Nazionale;

Autorità di Bacino della Regione Siciliana;

Centro Funzionale della Regione Marche;

Centro Funzionale - Dipartimento di Protezione Civile della Regione Molise;

Consorzio LaMMA e Servizio Idrologico del Centro Funzionale della Regione Toscana;

Servizio Idrografico Regione Umbria;

Centro Funzionale Multirischi di Protezione Civile – Giunta Regionale della Campania;

Centro Funzionale Regionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta;

ARPA Sardegna, Protezione Civile Regione Sardegna;

ARPA Campania e Centro Funzionale Multirischi di Protezione Civile – Regione Campania;

Centro Funzionale Decentrato Regione Basilicata;

ARPA Calabria e Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria;

ARPAE-SIMC Emilia-Romagna;

ARPA Liguria e Centro Funzionale della Regione Liguria ARPAL;

ARPA Piemonte – Dipartimento Servizi Previsionali;

ARPA Lombardia – Servizio Meteorologico Regionale;

Provincia Autonoma di Trento

Provincia Autonoma di Bolzano;

Regione Abruzzo – Servizio Idrografico e Mareografico;

ARPA Veneto Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio;

ARPA Friuli Venezia Giulia - OSMER Osservatorio Meteorologico Regionale.

Sommario

Sintesi	5
1 Introduzione	8
2 Il Clima nel 2021	10
2.1 Il clima nel 2021 a grande scala	10
2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia	17
2.2.1 Inverno	17
2.2.2 Primavera	18
2.2.3 Estate	19
2.2.4 Autunno e dicembre	22
3 Temperatura	33
3.1 Anno 2021	33
3.2 Variazioni e tendenze	33
3.3 Estremi	34
4 Temperatura superficiale del mare	52
5 Precipitazione	55
5.1 Anno 2021	55
5.2 Variazioni e tendenze	55
5.3 Frequenza, intensità, estremi	56
6 Umidità relativa	76
Bibliografia	79

Sintesi

Il XVII Rapporto ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia" illustra l'andamento del clima nel corso del 2021 e aggiorna la stima delle variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia.

Il rapporto si basa in gran parte su dati e indicatori climatici elaborati attraverso il Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA, www.scia.isprambiente.it), realizzato in collaborazione con gli organismi titolari delle principali reti osservative presenti sul territorio nazionale. I dati e le informazioni sul clima in Italia vengono trasmessi all'Organizzazione Meteorologica Mondiale e contribuiscono a comporre il quadro conoscitivo sull'evoluzione del clima a scala globale. Le informazioni e i prodotti climatici aggiornati al 2021 derivano da una grande mole di dati rilevati da stazioni densamente distribuite sul territorio nazionale e messi a disposizione da enti nazionali e regionali responsabili del monitoraggio idro-meteo-climatico. Le stime delle variazioni e delle tendenze climatiche nel lungo periodo sono invece frutto dell'elaborazione di una selezione di serie temporali che rispondono ai necessari requisiti di durata, completezza e qualità controllata dei dati.

Il 2021 è stato in media un anno meno caldo dei precedenti, con anomalie mensili di segno opposto nel corso dell'anno; le precipitazioni sull'intero territorio nazionale sono state complessivamente del 7% inferiori alla media climatologica, scarse da febbraio a novembre.

Ripetute onde di calore hanno investito l'Italia nei mesi estivi, la più intensa si è verificata la seconda settimana di agosto, quando a Siracusa sono stati registrati 48.8°C: record europeo se confermato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (ancora in corso di verifica).

Non sono mancati eventi estremi di precipitazione. Nei primi giorni del mese di ottobre una fase perturbata, con forti e persistenti temporali, ha fatto registrare in Liguria, fra le province di Genova e Savona, piogge di eccezionale intensità e con quantitativi totali molto elevati, che hanno segnato nuovi record regionali per i valori cumulati su 3, 6 e 12 ore e causato ingenti effetti al suolo in alcune aree, con diffuse inondazioni, allagamenti, numerose frane e smottamenti.

Alla fine del mese di ottobre un ciclone tropicale localizzato sul Mediterraneo ha scaricato piogge estremamente intense in Italia meridionale; sulla Sicilia orientale l'intensità oraria ha raggiunto il valore più elevato mai registrato nella regione, e le forti piogge hanno causato diffusi allagamenti ed esondazioni di fiumi e canali.

Temperatura

Mentre a scala globale sulla terraferma il 2021 è stato il sesto anno più caldo della serie storica, con un'anomalia di +0.40 °C rispetto alla media 1991-2020, in Italia con un'anomalia media di +0.23°C rispetto allo stesso periodo di riferimento (+1.22°C rispetto al valore medio 1961-1990) il 2021 è risultato meno caldo dei precedenti, collocandosi al di fuori della classifica dei dieci anni più caldi della serie dal 1961. Il segnale climatico conferma, tuttavia, la tendenza all'aumento della temperatura: a partire dal 2000 le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state sempre positive ad eccezione di quattro anni (2004, 2005, 2010 e 2013); il 2021 è stato l'ottavo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Temperature medie inferiori al valore normale 1991-2020 si sono registrate nei mesi primaverili, con un picco di anomalia negativa nel mese di aprile (-1.40°C), seguito da ottobre e gennaio. Gli altri mesi dell'anno sono stati più caldi della media, con le anomalie positive più elevate a febbraio (+1.82°C), seguito da giugno (+1.64°C) e settembre (+1.50°C). La temperatura media annuale è stata superiore alla media 1991-2020 al Sud e Isole (+0.44°C) e al Centro (+0.28°C) e prossima alla media al Nord (-0.01°C).

All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2021 ha contribuito in maniera più marcata l'estate, che con un'anomalia di +1.02°C si colloca al sesto posto della serie dal 1961, seguita dall'inverno

(+0.62°C) e dall'autunno (+0.45°C); la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia negativa (-0.96°C) rispetto alla media climatologica 1991-2020 ed è stata la più fredda dal 2005.

La stima del rateo di variazione della temperatura media è di $(+0.37 \pm 0.04)^\circ\text{C} / 10$ anni, con il rateo di temperatura massima $(+0.39 \pm 0.05)^\circ\text{C} / 10$ anni maggiore di quello della temperatura minima $(+0.35 \pm 0.04)^\circ\text{C} / 10$ anni. Su base stagionale i trend di aumento della temperatura più forti si registrano in estate $(+0.55 \pm 0.09)^\circ\text{C} / 10$ anni e primavera $(+0.36 \pm 0.09)^\circ\text{C} / 10$ anni, seguiti da inverno $(+0.29 \pm 0.10)^\circ\text{C} / 10$ anni e autunno $(0.29 \pm 0.08)^\circ\text{C} / 10$ anni.

La temperatura superficiale dei mari italiani nel 2021 è stata superiore alla media climatologica 1991-2020 $(+0.46^\circ\text{C})$ e si colloca al quinto posto dell'intera serie dal 1961; dieci degli ultimi undici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie, e negli ultimi undici anni l'anomalia media è stata sempre positiva. Le anomalie del 2021 sono state positive in tutti i mesi ad eccezione di dicembre, con i massimi scostamenti positivi dai valori normali a giugno $(+1.58^\circ\text{C})$ e a febbraio $(+0.78^\circ\text{C})$; lo scostamento negativo più pronunciato si è verificato a dicembre (-0.73°C) .

Per quanto riguarda gli indici di estremi di temperatura, il 2021 ha fatto registrare valori del numero di giorni con gelo e dell'indice dei "periodi caldi" (WSDI) prossimi alla media climatologica 1991-2020. Per il numero medio di notti tropicali e per il numero medio di giorni estivi il 2021 si colloca rispettivamente al quinto $(+8.4$ giorni) e al sesto posto $(+7.4$ giorni) fra i più alti della serie dal 1961.

Nell'ultimo decennio le notti e i giorni freddi sono stati quasi sempre inferiori alla media climatologica 1991-2020 e le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.

Precipitazione

Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia pari al -7% circa rispetto alla media 1991-2020, il 2021 si colloca al ventiquattresimo posto tra gli anni meno piovosi dell'intera serie dal 1961.

Le precipitazioni sono state mediamente scarse da febbraio a novembre. Sull'intero territorio nazionale quasi tutti i mesi hanno fatto registrare precipitazioni inferiori alla norma: fanno eccezione gennaio, luglio e novembre. I mesi relativamente più secchi sono stati marzo (-47%) e settembre (-44%) seguiti da giugno e agosto, mentre il mese più piovoso è stato gennaio con un'anomalia positiva di +91%.

La precipitazione cumulata annuale ha fatto registrare anomalie negative al Nord (-14%) e al Centro (-4%) ed è stata prossima alla norma al Sud e Isole. Marzo è stato il mese relativamente più secco al Nord (-87%), settembre al Centro (-64%) e maggio al Sud e Isole (-56%). Al Nord e al Centro il mese relativamente più piovoso si conferma gennaio (+103%), seguito da luglio al Nord (+33%) e da dicembre al Centro (+37%); al Sud e Isole il mese più piovoso è stato novembre (+76%) seguito da gennaio (+69%).

La precipitazione cumulata annuale è stata inferiore al valore normale soprattutto su Puglia e gran parte del Nord (con anomalie fino a -70%); anomalie positive di precipitazione si sono registrate principalmente su Lazio, Campania, Calabria e Sicilia.

I valori medi nazionali su base stagionale indicano che solo l'inverno è stata una stagione più piovosa della norma, mentre le altre stagioni sono state mediamente più secche. La stagione relativamente più secca è stata l'estate (-27%), che si colloca al settimo posto tra le meno piovose, seguita dalla primavera (-25%) che si colloca al sesto posto tra le più secche dal 1961; l'autunno ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-4%). Con un'anomalia media di +66% l'inverno si colloca invece al terzo posto tra le più piovose. Va sottolineato che, per l'inverno, la precipitazione cumulata stagionale viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

Dall'analisi statistica dei trend della precipitazione cumulata annuale e stagionale nel periodo 1961-2021 non emergono tendenze statisticamente significative.

I valori più elevati di precipitazione giornaliera sono stati registrati in occasione dell'evento del 4 ottobre, quando la precipitazione cumulata ha raggiunto il massimo di 882.8 mm a Rossiglione (GE) e sono state

registrate precipitazioni giornaliere comprese fra 200 e 350 mm fra Liguria centrale ed estremo confine meridionale del Piemonte. Il secondo evento da segnalare è quello relativo ai giorni 24 e 25 ottobre, in cui si sono registrate precipitazioni giornaliere intense nella parte ionica e meridionale della Calabria e nella Sicilia orientale, dove si sono raggiunti valori superiori a 250 mm.

Riguardo agli indici climatici rappresentativi delle condizioni di siccità, i valori più elevati del numero di giorni asciutti si registrano su Liguria orientale ed Emilia Romagna, con valori superiori a 320 giorni e il massimo di 326 giorni asciutti a capo Mele (SV); valori elevati si registrano anche sulla costa toscana e laziale, sulle coste adriatica e ionica, sulla Sicilia centro-meridionale, e sulla costa della Sardegna. I valori più bassi (fino a circa 207 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi centro-orientali e sulla dorsale appenninica.

L'indice di siccità "Consecutive Dry Days" (CDD), che rappresenta il numero massimo di giorni asciutti consecutivi nell'anno, ha fatto registrare i valori più alti sulla Sicilia meridionale (fino a 139 giorni secchi consecutivi), seguita dalla costa tirrenica centrale (fino a 100 giorni) e dalla Sardegna occidentale e settentrionale.

Per quanto riguarda le tendenze nel medio e lungo periodo degli indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione non emergono segnali evidenti di variazioni significative, sulla base delle stazioni disponibili.

1 Introduzione

Con questa XVII edizione prosegue la pubblicazione regolare del rapporto annuale sul clima in Italia, promossa e avviata nel 2006. In esso sono raccolti e presentati i principali elementi che hanno caratterizzato il clima nell'ultimo anno, confrontandoli anche, laddove possibile, con i valori climatologici normali e con il loro andamento negli ultimi decenni. Per favorire l'elaborazione, la rappresentazione e la diffusione di indicatori sul clima in Italia, l'ISPRA ha realizzato e gestisce da tempo il Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA) (Desiato et al., 2006, 2007, 2011, Desiato et al. 2007); il sistema SCIA viene attualmente alimentato con i dati e grazie alla collaborazione del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, di numerose Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) e di diversi enti delle Regioni e delle Province Autonome. Mediante l'elaborazione delle serie temporali di dati misurati da diverse reti di osservazione, il sistema SCIA rende disponibili i valori giornalieri, decadali, mensili e annuali nonché i valori climatologici normali di diverse variabili meteoclimatiche.

Indici e indicatori climatici sono calcolati, aggiornati annualmente e sottoposti a controlli di validità con metodologie omogenee e condivise con gli organismi titolari dei dati. Le informazioni prodotte da SCIA sono accessibili attraverso un sito web dedicato, all'indirizzo: www.scia.isprambiente.it. I criteri generali adottati per il calcolo e la rappresentazione degli indicatori climatici sono dettati dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) (WMO, 2011), mentre per una descrizione dei controlli di validità dei dati di ingresso e degli indicatori calcolati attraverso il sistema SCIA, si rimanda a documenti specifici (Baffo et al., 2005a, 2005b).

Alcuni prodotti climatici spazializzati presentati nel rapporto sono arricchiti da dati delle reti che fanno capo ai Centri Funzionali regionali, grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, in materia di monitoraggio del clima, prevenzione del rischio climatico e adattamento ai cambiamenti climatici.

Le statistiche e gli indici climatici dell'anno 2021 sono derivati complessivamente dalle osservazioni di circa 1200 stazioni distribuite sull'intero territorio nazionale.

Le stime aggiornate delle variazioni e delle tendenze climatiche nel lungo periodo, attraverso indicatori rappresentativi dell'andamento dei valori medi e degli estremi delle variabili climatiche, si basano invece sui dati di un numero ridotto di stazioni, che rispondono ai necessari requisiti di durata, completezza e qualità delle serie temporali. Per le stime delle variazioni di temperatura (degli indicatori relativi sia ai valori medi che agli estremi) nel rapporto di quest'anno è stato ampliato il set di dati ed è stata rivista la procedura selezione delle serie, privilegiando quelle caratterizzate da maggiore completezza negli anni più recenti; tutte le serie temporali sono state nuovamente sottoposte ad un processo di omogeneizzazione (Fioravanti e Piervitali, 2018; Fioravanti et al., 2019), seguendo le indicazioni dell'OMM che raccomanda un aggiornamento dei dataset omogeneizzati ogni cinque anni (WMO, 2020).

Inoltre, la base climatologica per il calcolo delle anomalie è stata aggiornata al trentennio più recente, 1991-2020 (Fioravanti et al., 2022). Questa scelta deriva dalle recenti indicazioni dell'OMM di un aggiornamento della base climatologica ogni dieci anni per finalità di climatologia operativa. A causa del rapido cambiamento del clima, infatti, con particolare riferimento alla temperatura, che presenta un marcato trend in aumento, l'aggiornamento della base climatologica ha lo scopo di permettere il monitoraggio dell'andamento del clima dell'anno appena trascorso rispetto a valori medi più rappresentativi del clima attuale o del passato recente.

Come conseguenza, le nuove serie di anomalia media di temperatura in Italia e degli indici mostrano piccole differenze nel ranking dei valori annuali rispetto a quelli presentati fino al precedente rapporto e presentano inoltre differenze nell'entità e segno delle anomalie (sia nelle serie che nelle mappe), perché riferite ad un trentennio più caldo.

Il rapporto è articolato in 6 capitoli. Il capitolo 2 descrive sinteticamente gli aspetti salienti del clima nel 2021, dapprima a scala globale e poi a scala sinottica, con particolare riguardo agli elementi che hanno influenzato l'andamento delle temperature e delle precipitazioni in Italia nel corso dell'anno. Nella seconda parte del capitolo vengono riportate le principali caratteristiche delle condizioni meteorologiche in Italia nel corso dell'anno e in particolare viene fornita una breve descrizione degli eventi maggiormente rilevanti e dei conseguenti impatti locali. I capitoli successivi sono dedicati ciascuno ad una variabile climatica. La prima parte di ogni capitolo illustra sinteticamente gli indicatori relativi all'anno 2021, anche in termini di scostamenti dai valori climatologici normali; la seconda, per quanto possibile in base al popolamento delle serie storiche, riporta e aggiorna con i valori del 2021 gli indicatori attraverso i quali è possibile stimare la variabilità e le tendenze del clima nel lungo periodo. Per una descrizione dei criteri di selezione delle serie temporali e dei metodi e modelli statistici applicati per la stima della variabilità climatica si rimanda ai riferimenti bibliografici e in particolare ai rapporti ISPRA - Serie "Stato dell'Ambiente" (Fioravanti et al., 2016; Desiato et al., 2012, 2013).

2 Il Clima nel 2021

2.1 Il clima nel 2021 a grande scala

Il 2021 a livello globale è stato il sesto anno più caldo sia della serie di temperatura media annuale sulla terraferma e sia della serie di temperatura media annuale su terraferma e oceani insieme.

Nel 2021 l'anomalia della temperatura media globale sulla terraferma è stata di +0.41°C rispetto al periodo 1991-2020 (**figura 2.1**). Nonostante le anomalie di temperatura globale media mensile siano risultate positive per tutto l'anno, febbraio è stato il più fresco dal 2014.

I dieci anni più caldi della serie si sono verificati tutti dopo il 2005; il 2021 risulta essere il quarantacinquesimo anno consecutivo in cui le temperature medie globali (terraferma e oceani) presentano valori superiori alla media del ventesimo secolo.

L'anno è iniziato in presenza di un'anomalia negativa delle temperature superficiali del Pacifico tropicale di tipo La Niña: a gennaio 2021 l'indice ENSO 3.4, ottenuto mediando la temperatura superficiale dell'Oceano Pacifico equatoriale nelle aree centro-orientali, ha assunto un valore mensile di -1.1°C per poi diminuire in intensità fino all'estate e tornare a valori decisamente negativi d'inverno, così da porre le basi per un nuovo anno con indice di ENSO negativo. Nel 2021 il valore medio annuale del contenuto totale di calore degli oceani nei primi 2000 metri di profondità è stato il più alto della serie, risultando più caldo del 2020 nonostante la presenza di anomalie di tipo La Niña nel Pacifico equatoriale. In generale questi indici presentano un intenso trend crescente, e si stima che il 90% del calore in eccesso dovuto all'aumento dei gas serra in atmosfera venga immagazzinato dagli oceani, grazie alla loro grande capacità termica, e che solo il 10% di tale calore si traduca in aumento della temperatura dell'atmosfera, aumento della temperatura del suolo e calo del suo contenuto idrico, e scioglimento dei ghiacci marini e continentali (Cheng et al., 2017).

Nella **figura 2.2** è riportata una sintesi dei principali eventi che hanno caratterizzato il clima a scala globale nel corso del 2021.

Il 2021 è stato un anno molto più caldo della media in molte regioni; in particolare sono state registrate temperature record in Nord Africa, in Asia meridionale, nelle regioni meridionali del Sud America e in alcune aree dell'Oceano Atlantico e del Pacifico, mentre temperature inferiori alla norma sono state registrate solo nelle aree centrali e orientali del Pacifico tropicale. Le alte temperature nell'Africa occidentale sono state associate al verificarsi, nell'Atlantico equatoriale, del Niño atlantico, con picco nei mesi dell'estate boreale. In Europa il 2021 è stato il nono anno più caldo della serie anche se mesi più freschi si sono alternati a mesi più caldi: aprile è risultato il più fresco dal 2003, mentre maggio è stato il più fresco dal 2004; giugno è stato il secondo più caldo da inizio misurazioni, mentre luglio il terzo più caldo. Nella seconda settimana del mese di luglio un'intensa ondata di calore ha investito l'Europa meridionale e il Nord Africa; in Sicilia sono stati toccati i 48.8°C, nuovo record termico per l'Europa (in corso di verifica da parte del WMO), mentre a Tunisi sono stati registrati 49°C, nuovo record per il mese di agosto per questa stazione, che nel 1982 aveva misurato 46.8°C.

Nel 2021 l'estensione minima della calotta artica ha registrato il dodicesimo valore più ridotto della serie, mentre la sua estensione massima è stata la settima più bassa. Nella regione Antartica l'estensione massima dei ghiacci marini è risultata prossima alla norma, mentre l'estensione minima è rimasta la dodicesima più bassa della serie.

Per quanto riguarda le precipitazioni, nelle aree settentrionali del Sud America, nell'Europa orientale, nelle coste occidentali e orientali dell'Australia e in alcune aree dell'Asia meridionale sono state osservate precipitazioni superiori alle attese, mentre negli Stati occidentali degli USA, nelle aree meridionali del Sud America, nel Nord Africa, nel Medio Oriente e in alcune isole del Pacifico centro-orientale le precipitazioni sono state scarse.

A luglio in molte aree dell'Europa meridionale sono state riscontrate condizioni più siccitose del normale, spesso accompagnate da alte temperature che hanno favorito il diffondersi di incendi boschivi, particolarmente distruttivi nel sud-sudovest della Turchia e nella Spagna settentrionale. Contemporaneamente, tra il 13 e il 15 luglio, piogge torrenziali hanno colpito l'Europa occidentale e alcune aree hanno ricevuto nell'arco di tre giorni il doppio delle precipitazioni attese nell'intero mese; le piogge hanno causato estesi danni e nella Germania occidentale e in Belgio si stima che abbiano provocato la morte di 140 persone.

Piogge particolarmente intense sono state osservate anche in Italia nei primi giorni del mese di ottobre, quando in Liguria sono stati registrati 178.2 mm in un'ora e 883.8 mm in 24 ore. Alla fine del mese di ottobre un ciclone tropicale localizzato nel Mediterraneo ha scaricato piogge estremamente intense in Algeria, Tunisia e in Italia meridionale, causando danni a più di cento edifici.

Come negli ultimi quattro anni la stagione degli uragani atlantici ha presentato un'attività nettamente superiore alla media; in particolare nel 2021 sono stati registrati 21 cicloni tropicali, terzo numero più alto dal 1851.

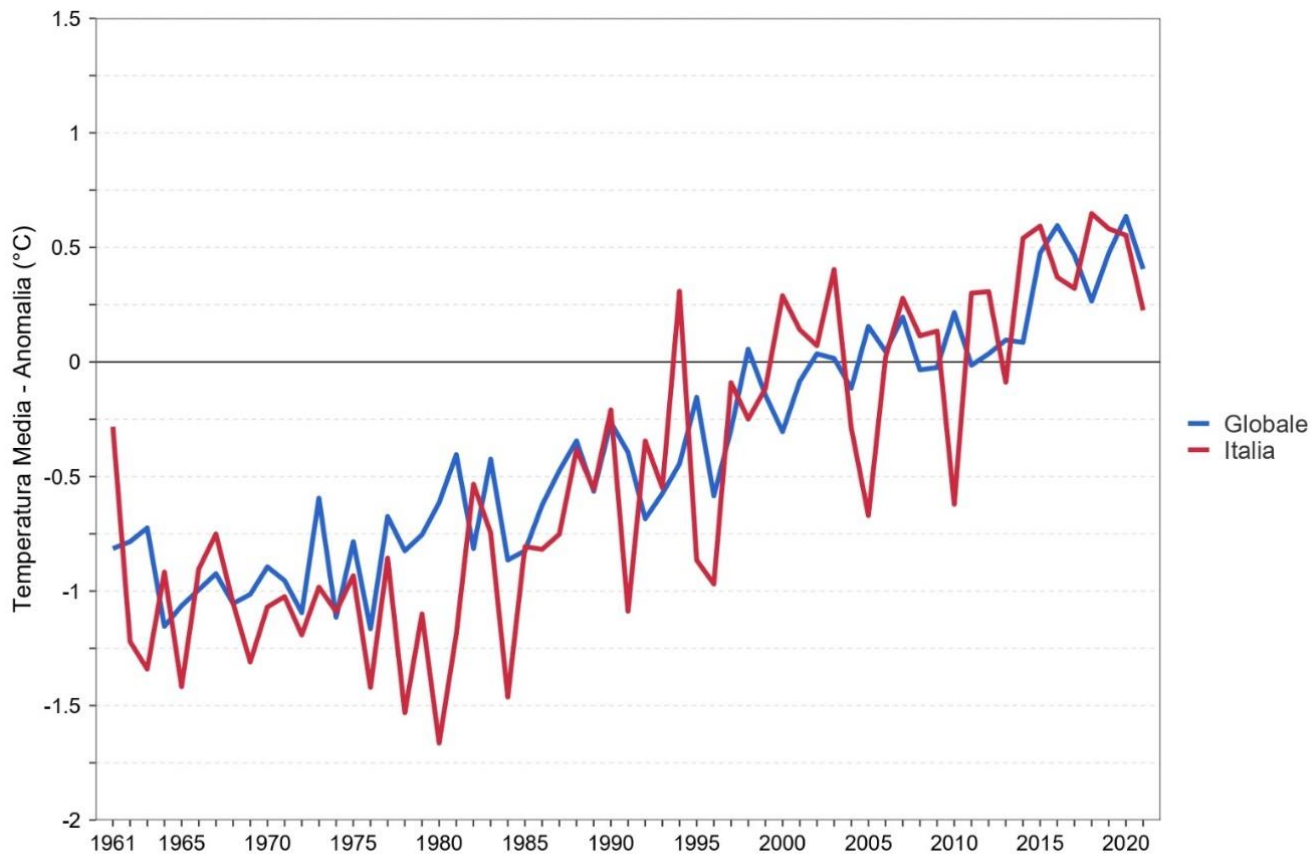
La mappa dell'anomalia media annuale del geopotenziale a 500 hPa (Z500, figura 2.3) per l'area euro-atlantica mostra, per il 2021, la presenza di intense anomalie positive di Z500 con centro principale sulla Groenlandia e sul Nord Atlantico, e di una fascia positiva tra il Medio Oriente e il Mediterraneo meridionale. Anomalie debolmente negative sono state invece rilevate sull'Atlantico centrale. Le anomalie positive sul Mediterraneo sono coerenti con le eccezionali anomalie termiche precedentemente menzionate e con le condizioni di siccità estiva osservate in gran parte del Mediterraneo. Il dipolo sull'Oceano Atlantico settentrionale ha portato a un indebolimento e a un lieve spostamento a sud del jet atlantico. Queste anomalie di circolazione su larga scala si sono tradotte in un valore annuale medio negativo dell'indice standardizzato di Oscillazione Nord Atlantica pari a -0.5 e in valori medi mensili dell'indice, che in quattro mesi sono stati inferiori a -1.0.

In Italia, il 2021 è stato il quattordicesimo anno più caldo dall'inizio delle osservazioni (figura 2.1), raggiungendo un'anomalia media rispetto al trentennio 1991-2020 di +0.23°C. La primavera è stata particolarmente fredda, la più fredda dal 2005, mentre l'estate è risultata la sesta più calda dal 1961.

Per quanto riguarda la temperatura dei mari italiani, l'anomalia media annuale del 2021 rispetto al periodo 1991-2020 ha raggiunto il valore di +0.46°C, quinto della serie dopo il 2015, il 2018, il 2012 ed il 2020. Per tutto l'anno, tranne nel mese di dicembre, l'anomalia media mensile della temperatura del mare è stata caratterizzata da anomalie positive che si sono intensificate a giugno, raggiungendo il valore massimo di +1.58°C.

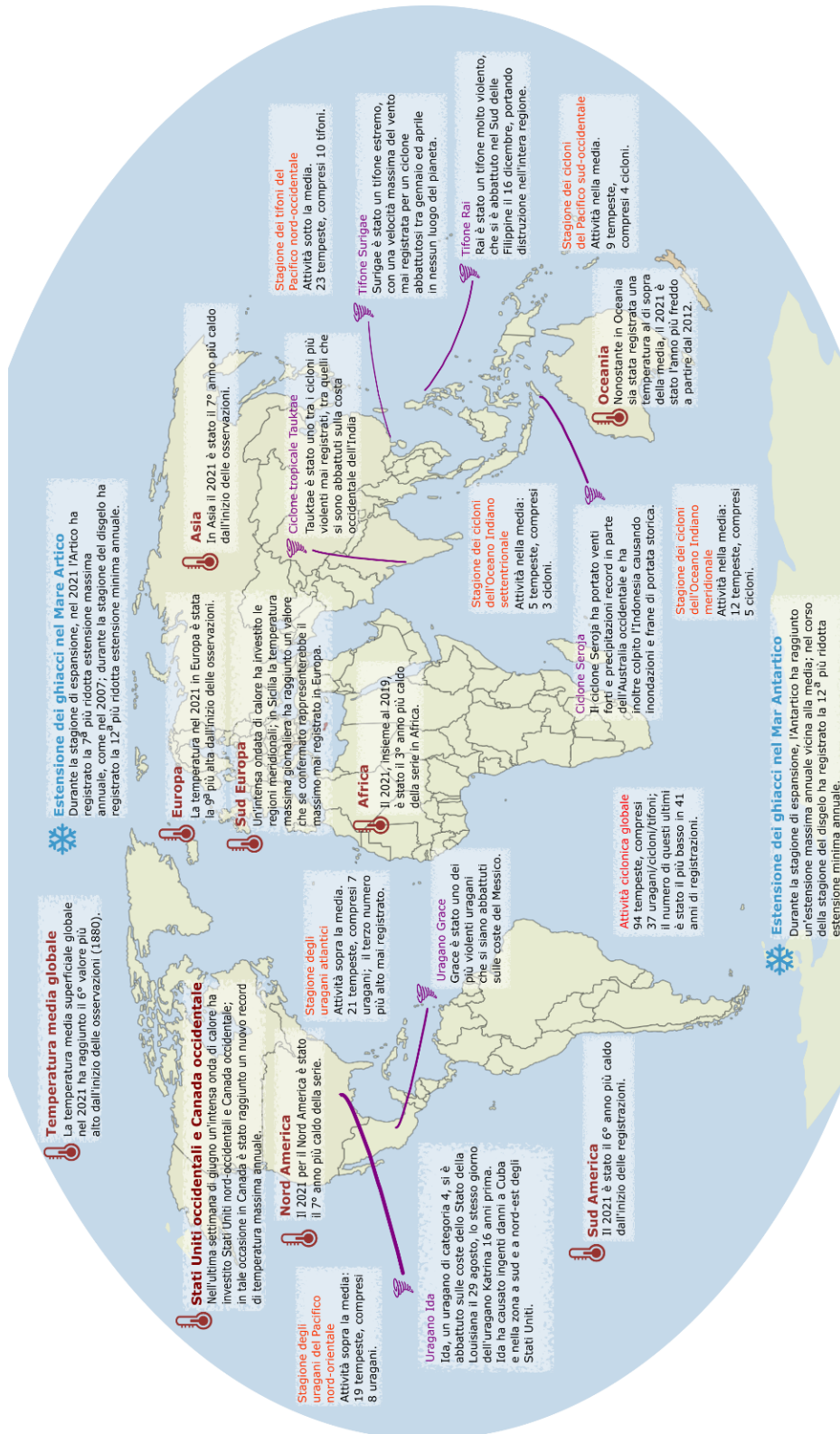
La configurazione delle anomalie di larga scala ha posto buona parte dell'Italia mediamente a sud dell'asse del jet atlantico, in un'area interessata da anomalie positive di geopotenziale, coerenti con le anomalie termiche positive rilevate. Il 2021 è stato caratterizzato da un'anomalia di precipitazione annuale nazionale media poco inferiore al clima 1991-2020, con piovosità mensili prevalentemente inferiori alla norma, ma con i mesi di gennaio e novembre particolarmente piovosi. La persistenza nei mesi estivi di condizioni di scarsa piovosità e di valori termici particolarmente elevati ha favorito l'instaurarsi di condizioni di intensa siccità nelle regioni settentrionali e centrali.

Figura 2.1: Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020.



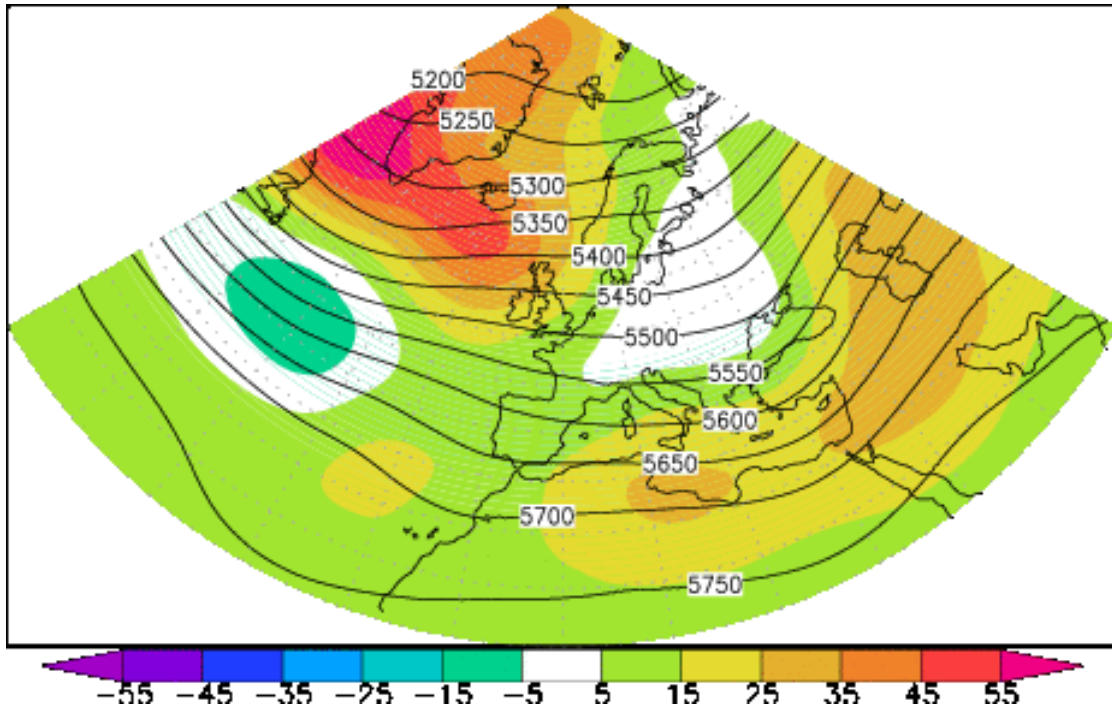
Fonte: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

Figura 2.2: Sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2021.



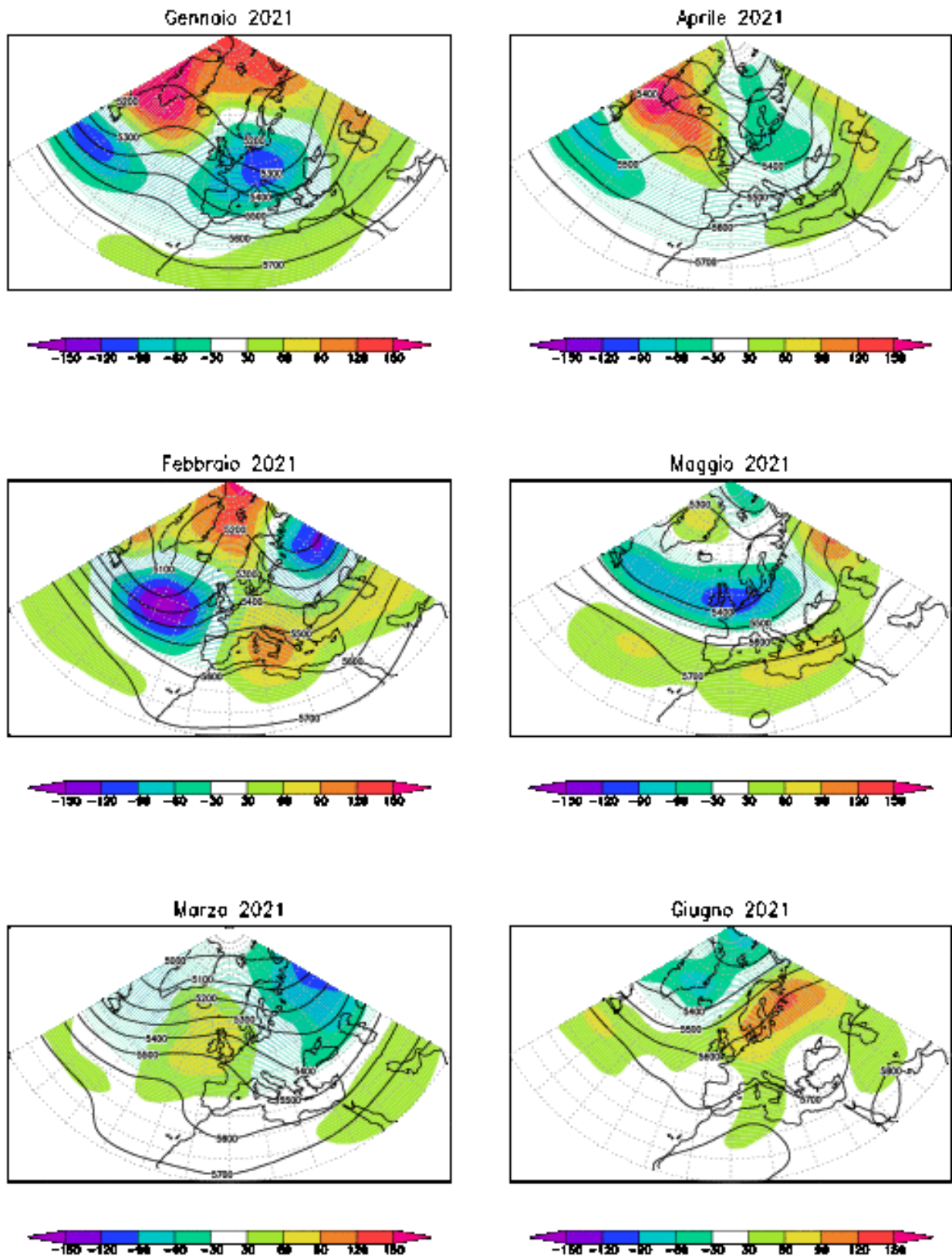
Fonte: NOAA. Elaborazione: ISPRA.

Figura 2.3: Mappa del geopotenziale medio annuale 2021 a 500hPa. L'intervallo tra le isolinee è 50 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2021 rispetto al valore normale 1981-2010.



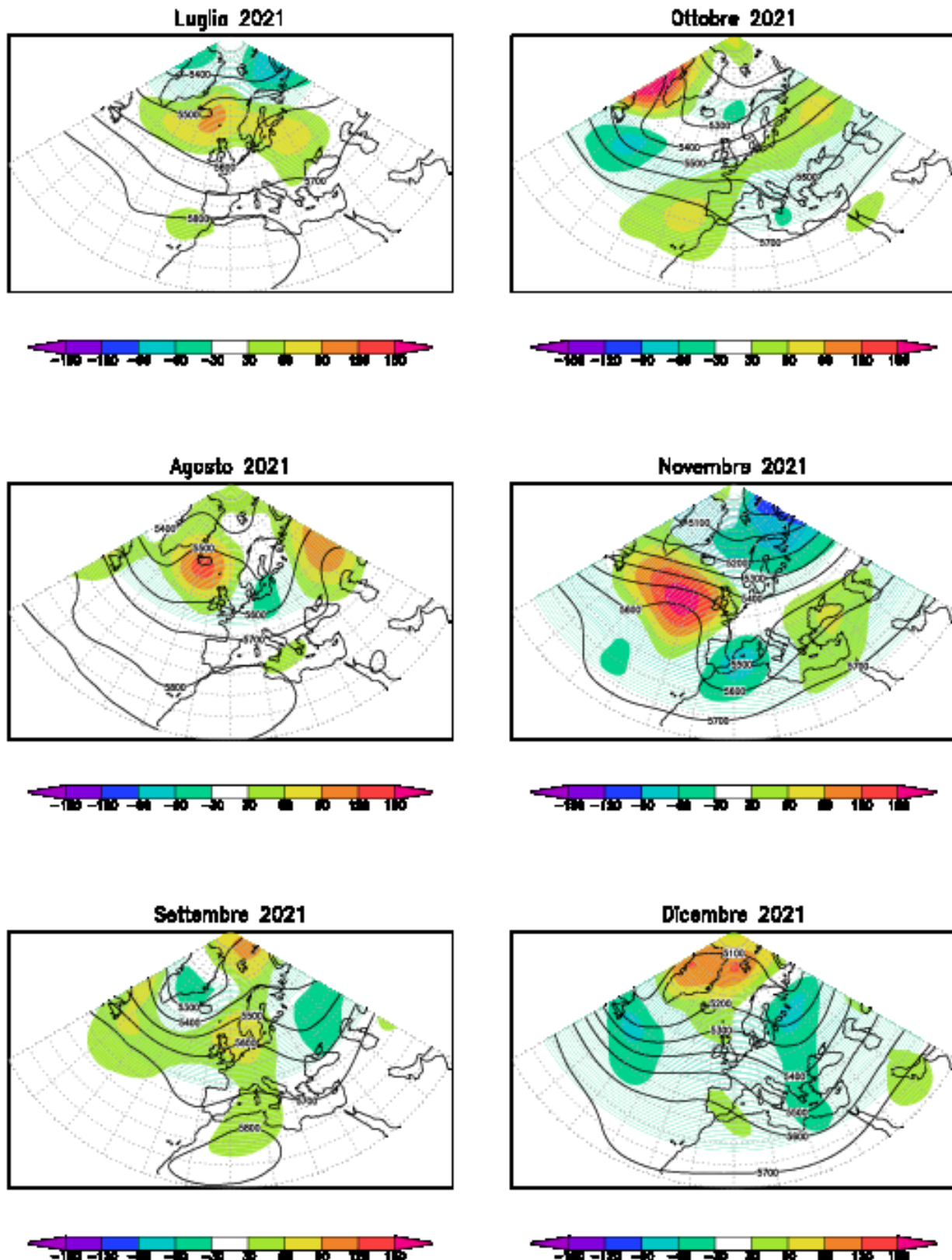
Fonte: ERA5, Copernicus.

Figura 2.4a: Mappe del geopotenziale medio mensili (da gennaio a giugno 2021) a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2021 rispetto al valore normale 1981-2010.



Fonte: ERA5, Copernicus.

Figura 2.4b: Mappe del geopotenziale medio mensile (da luglio a dicembre 2021) a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2021 rispetto al valore normale 1981-2010.



Fonte: ERA5, Copernicus.

2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia

2.2.1 Inverno

A gennaio la persistenza di una saccatura sull'Europa centro-orientale ha portato venti freddi e umidi su gran parte del continente. In Italia le precipitazioni sono state ovunque superiori alla norma, superando del 100% le attese, al Centro e al Nord. Le anomalie termiche in queste aree sono state negative, mentre nelle regioni meridionali le temperature si sono mantenute mediamente prossime alla media climatica.

Nel mese di gennaio molti sono stati gli eventi significativi e degni di nota.

Tra l'1 e il 3 gennaio le regioni settentrionali sono state interessate dal passaggio di una perturbazione atlantica che, in presenza di temperature generalmente basse, ha portato neve fino a quote collinari in molte regioni. In provincia di Trento, a fine evento, sui settori meridionali e orientali sono stati misurati mediamente 30-40 cm di neve fresca con punte di 80-100 cm nell'area del Monte Baldo. Questi quantitativi si sono sommati a quelli eccezionali della nevicata del 28 dicembre 2020, causando instabilità nel manto nevoso, con conseguenti fenomeni valanghivi. Negli stessi giorni, in Veneto sono state registrate precipitazioni nevose estese e abbondanti, tra i 1000 e i 2000 m slm, con valore massimo su 24 ore di 70.6 mm a Santo Stefano di Cadore (BL, 902 m slm). Nevicate eccezionali sono state segnalate anche in Friuli-Venezia Giulia, dove i totali di neve caduta dall'inizio della stagione invernale al 3 gennaio sono risultati tra i più alti mai registrati in tutte le stazioni nivologiche storiche.

In Toscana, nelle province di Lucca e Pistoia, tra il 31 dicembre e l'11 gennaio 2021 sono state rilevate precipitazioni intense anche a carattere nevoso. Sul Passo dell'Abetone (PT, 1345 m slm) in questi giorni si sono accumulati fino a 270 cm di neve e le nevicata si sono estese fino a fondovalle. Le precipitazioni hanno causato problemi di isolamento di alcune località, interruzioni elettriche, criticità nella viabilità, frane, smottamenti e crollo di alberi.

In Sicilia, nonostante il mese non sia stato particolarmente caldo, il 10 gennaio un flusso di correnti dal Nord Africa ha portato molti termometri a registrare nuovi record di temperature massime per il mese: 27.3°C nella stazione di San Pier Niceto (ME, 617 m slm) (che ha superato il valore di 22.5°C, registrato il 10 gennaio 2011), 26.2°C nella stazione di Torregrotta (ME, 26 m slm) (che ha superato il valore di 24.5 °C, registrato il 9 gennaio 2016), 26.0 °C nella stazione di Patti (ME, 88 m slm) (che ha superato il valore di 23.8°C, registrato l' 8 gennaio 2010).

A partire dal 21 gennaio una nuova perturbazione atlantica ha interessato l'arco alpino, portando in provincia di Trento aria particolarmente fredda, che ha gelato il terreno anche a quote molto basse: le prime deboli precipitazioni a contatto con il suolo hanno causato locali gelicidi, con gravi conseguenze per il traffico sulle arterie di viabilità interessate dall'evento.

In Emilia-Romagna, tra il 21 e il 24 del mese, precipitazioni estese e persistenti, associate anche a un rapido aumento termico con conseguente parziale scioglimento della neve accumulata in Appennino, hanno causato piene in tutti i corsi d'acqua, con livelli prossimi alla soglia 3 nelle sezioni vallive di Enza e Reno, e superiori alla soglia 2 su Taro, Parma, Secchia e Panaro. Numerosi sono risultati i fenomeni di dissesto idrogeologico sull'Appennino centro-occidentale, con danni alle infrastrutture viarie principali e secondarie. Negli stessi giorni sono state registrate piogge intense associate a forte vento e mareggiate, anche in Toscana. Il giorno 22 le precipitazioni hanno raggiunto valori fino a 170 mm in 24 ore sui rilievi settentrionali, a cui si sono sommati altri 40-50 mm il giorno successivo. Il 23 ed il 25 gennaio, sul mar Ligure, sono state rilevate dalla boa della Gorgona forti mareggiate, con onde significative di oltre 5 metri.

Tra il 31 gennaio e il 2 febbraio piogge intense e diffuse hanno colpito i territori dei bacini costieri meridionali della Campania e della Costiera amalfitana, con totali di evento che hanno superato su ampie aree i 100 mm e raggiunto il valore massimo di 137.0 mm a Ceraso-Isca Vivaio Forestale (SA, 617 m slm). Nonostante i totali di evento e le intensità non siano stati particolarmente rilevanti, l'accumulo delle

ingenti precipitazioni totali cadute nei mesi di dicembre 2020 e gennaio 2021, con valori massimi fino a 1.5 superiori alle attese climatiche, ha provocato intensi effetti al suolo tra cui la frana di un costone sulla statale 163 Amalfitana con l'interruzione della circolazione stradale.

Con il mese di febbraio si è assistito a una netta modifica della circolazione di larga scala sul Mediterraneo, con condizioni di alta pressione associate a una anomalia positiva nella mappa di geopotenziale a 500 hPa, centrata proprio sull'Italia. Questa configurazione ha favorito e un netto aumento dei valori termici, con anomalie medie areali di oltre +2°C nel Centro Italia, mentre le precipitazioni totali mensili sono risultate ovunque prossime alla norma.

Nel corso di questo mese, in Sicilia, in associazione a venti di caduta sulla fascia tirrenica, 32 delle 96 stazioni della Rete SIAS hanno superato il precedente valore massimo della serie 2002-2020. Particolarmente rilevanti sono i valori di 29.2 °C registrati nella stazione SIAS di Torregrotta (ME, 26 m slm) e di 28.0 °C registrati nella stazione SIAS di Palermo (PA, 50 m s.l.m.).

Alte temperature sono state registrate anche in Toscana, dove il 24 febbraio è stata rilevata ad Arezzo (277 m slm) il nuovo record di temperatura massima assoluta per il mese, pari a 22.4°C. Anche in Veneto, sempre tra il 24 e il 25 febbraio, sono state rilevate temperature eccezionalmente alte per la stagione stabilendo nuovi record termici mensili da inizio misurazioni (1955) in molte stazioni.

Nonostante le precipitazioni totali mensili non siano risultate generalmente abbondanti, in Calabria e in particolare nella provincia di Cosenza e a ovest del Parco del Pollino, le piogge totali dei primi due mesi dell'anno hanno determinato a febbraio valori dell'indice SPI (Standardized Precipitation Index) a 3 mesi superiori a 1.5, indicativi di condizioni di abbondanza di risorse idriche.

2.2.2 Primavera

La primavera 2021 è stata caratterizzata da anomalie termiche negative su tutte le regioni italiane, spesso associate a scarsa piovosità gettando le basi per l'instaurarsi di condizioni di intensa siccità. Queste condizioni climatiche nei mesi di marzo e aprile sono state favorite dal prevalere di flussi medi da nord nord-ovest che hanno portato sulle nostre regioni masse d'aria fredda e relativamente poco umida. Nel mese di maggio, invece, si sono instaurati flussi medi da ovest che hanno portato un temporaneo sollievo alla siccità nelle sole regioni settentrionali e anomalie termiche negative su tutte le regioni, particolarmente intense al Nord; qui le precipitazioni si sono assestate su valori prossimi alla norma, mentre nelle regioni centro- meridionali sono state scarse, con anomalie fino a -50% rispetto alle attese.

Marzo 2021 a Bolzano è stato il più siccitoso dal 2003, ma anche a Trento è stato particolarmente avaro di piogge. In Emilia-Romagna il mese è stato il secondo marzo meno piovoso dal 1961. Anche il Veneto è stato colpito dalla siccità primaverile; su Dolomiti e pianura sud-occidentale sono stati registrati fino a 59 giorni consecutivi senza pioggia dall'11 febbraio al 10 aprile 2021.

Nonostante marzo sia stato generalmente fresco, gli ultimi giorni del mese sono stati particolarmente caldi e nella giornata del 31 in Friuli-Venezia Giulia sono state misurate temperature estremamente elevate per il periodo: in pianura sono stati raggiunti valori tra 25°C e 26°C e anche in montagna e sulla costa si sono registrati valori particolarmente elevati. Nello stesso giorno in Toscana sono stati rilevati valori record di temperatura massima assoluta per il mese di marzo in ben tre città: a Firenze (28.2°C, 72 m slm), a Pisa (24.5°C, 9 m slm) e ad Arezzo (25.8°C, 277 m slm). Anche in Veneto sono state registrate negli stessi giorni temperature eccezionalmente alte per il mese e sono stati superati molti record di temperatura massima di marzo.

Nelle prime due decadi di aprile in molte regioni si sono verificate gelate tardive a bassa quota, le più intense tra il 7 e 9 aprile. In Sardegna le temperature minime hanno raggiunto picchi tra -6 e -8°C, e anche in pianura e nella bassa collina le temperature minime sono risultate inferiori a 0°C, raggiungendo anche valori tra -3 e -4°C; nella giornata dell'8 aprile oltre il 50% delle stazioni poste a una quota inferiore ai 200 m ha evidenziato temperature minime negative. Le gelate sono state registrate anche in provincia di Trento; in Emilia-Romagna, dove il giorno 8 le temperature in pianura sono scese in ampie aree tra -2 e -

5°C e in Friuli-Venezia Giulia, dove il 7 si è verificata la seconda gelata tardiva più intensa dopo quella del 1993. In Veneto le gelate del 7 e in particolare dell'8 aprile sono state senza precedenti e sono stati stabiliti nuovi record di temperatura minima mensile da inizio misurazioni (1955) nella pianura e in Valbelluna, con valori tra -2 e -4.5°C che hanno causato gravi danni ai germogli delle piante da frutto. In Piemonte l'afflusso di aria fredda è stato più rilevante nella giornata del 7 aprile e in pianura i valori termici più bassi si sono registrati nella mattinata dell'8 aprile (**Figura 2.5**) con una media delle temperature minime di -1.6°C, secondo valore più basso degli ultimi 64 anni, superato solo dall'8 aprile 2003. I valori più bassi sono stati registrati in due località della provincia di Asti: Castell'Alfero (AT, 140 m slm) con -8.1°C e San Damiano Borbore con -6.4°C (AT, 154 m slm). L'eccezionalità dell'evento è confermata dallo scarto dei valori minimi dal valore climatologico, che ha superato anche i 10°C, e dalla persistenza del gelo nelle ore serali e notturne fino alla mattina dell'8 aprile per complessive 12-13 ore. Queste gelate tardive hanno causato danni estesi alle colture da frutto in avanzato sviluppo fenologico a causa delle temperature particolarmente elevate degli ultimi giorni di marzo e dei primi giorni di aprile.

In generale aprile è stato piuttosto freddo, con anomalie areali inferiori a -1.5°C al Nord ed al Centro. A Bolzano aprile 2021 è stato il più freddo dal 2008, alle quote medie (Silandro, Bressanone e Brunico) si risale invece al 2001 per ritrovare valori analoghi, a Dobbiaco (con neve al suolo) addirittura al 1980. In Friuli-Venezia Giulia, in pianura, si è registrato il mese di aprile più freddo dal 1997. Anche in Sicilia il mese è risultato il più freddo dal 2003, anno di inizio misurazioni della rete automatica.

Maggio è stato un mese abbastanza piovoso nelle aree del nord-est (Veneto e Friuli-Venezia Giulia) e in Liguria e alta Toscana, come si può notare dalla mappa di anomalia percentuale di precipitazione mensile prodotta dal gruppo di lavoro interregionale ArCIS (**Figura 2.6**). In particolare, tra il 13 e il 14 maggio, temporali associati a piogge intense, con cumulate di circa 60 mm in 24 ore e grandine fine con accumuli, hanno colpito i comuni di Conselve, Anguillare, Bagnoli, Tribano, Monselice e la pedemontana trevigiana, causando in bassa pianura allagamenti, smottamenti sulla pedemontana trevigiana, e forti danni ai vigneti.

2.2.3 Estate

Durante tutta l'estate il jet euro-atlantico è risultato più a nord della norma e l'Italia è stata interessata da frequenti condizioni di alta pressione e da correnti africane, che hanno favorito intense anomalie termiche positive, e anomalie pluviometriche negative, che hanno però risparmiato l'arco alpino. Diverse ondate di calore hanno coinvolto gran parte del territorio nazionale, raggiungendo in Sicilia la loro massima ampiezza. Qui già nel mese di giugno, tra il 21 e il 25, una prima ondata ha fatto superare in molte stazioni i record termici assoluti degli ultimi 20 anni, con temperature che hanno superato i 40°C in ampie aree e il massimo di 44.5°C registrato a Comiso (RG, 220 m slm). L'intensa insolazione ha anche alzato significativamente le temperature dei mari italiani che nel mese hanno raggiunto la massima anomalia positiva dell'anno, superiore a 1.5°C.

Giugno è stato il terzo più caldo in Friuli-Venezia Giulia e la temperatura del mare a Trieste è risultata in linea con la media climatica fino a metà mese per poi salire fino a 28.5°C, dato mai registrato in questo mese almeno dal 1994. In Emilia-Romagna giugno 2021 è stato il sesto più caldo dal 1961 e ha contribuito in modo sostanziale a rendere il numero totale di giorni caldi estivi (con temperatura massima regionale media superiore a 30 °C) del 2021 il quinto valore più alto dal 1961 dopo 2003, 2012, 2017 e 2008. Allo stesso tempo le precipitazioni sono state scarse e quello del 2021 è risultato il sesto giugno meno piovoso dal 1961. Anche in Toscana il mese è stato particolarmente caldo e sono state rilevate due intense ondate di calore di breve durata (da 3 a 6 giorni consecutivi).

Dopo un giugno eccezionalmente caldo e avaro di precipitazioni, nel mese di luglio l'anticiclone delle Azzorre si è indebolito e il promontorio africano è rimasto a latitudini medio basse permettendo alle perturbazioni atlantiche di interessare l'Europa centrale con precipitazioni di grande intensità che hanno causato in Germania locali alluvioni e centinaia di vittime. Le perturbazioni hanno spesso lambito anche il Nord Italia e l'arco alpino è stato interessato da numerosi temporali associati a piogge intense,

grandinate e forti raffiche di vento. Ciononostante, diverse regioni non hanno beneficiato di queste precipitazioni e in conseguenza i loro territori hanno visto aggravarsi le condizioni di intensa siccità. In Emilia-Romagna a luglio le precipitazioni mensili sono state ancora esigue e le cumulate da gennaio a luglio sono risultate le più basse dal 1961, lievemente inferiori a quelle delle precedenti annate più siccitose, 2017 e 2003. La siccità dell'estate 2021 su parte del Nord Italia è stata mitigata dalle copiose precipitazioni alpine che, insieme alle abbondanti precipitazioni nevose invernali, hanno sostenuto la portata del Po permettendo di far fronte a gran parte delle richieste idriche. Le precipitazioni sono state tutte di natura convettiva e spesso associate ad eventi di notevole intensità che hanno causato danni al territorio. Dal 3 luglio all'8 agosto in Lombardia le province di Como, Sondrio e Varese sono state colpite da diversi temporali che hanno causato estesi danni al territorio.

Il 7 luglio infiltrazioni di aria fresca in quota hanno innescato una serie di linee temporalesche sul Piemonte che, spinte dai venti di libeccio, hanno interessato le zone montane e pedemontane alpine occidentali e settentrionali della regione, ma soprattutto le pianure del torinese, vercellese e novarese. L'8 luglio, invece, una saccatura atlantica è transitata velocemente sulla regione, aumentando in modo marcato l'instabilità atmosferica ovunque, con temporali molto forti accompagnati da grandinate diffuse e raffiche di vento, che occasionalmente sono sfociate anche in trombe d'aria. Forti precipitazioni di breve durata hanno interessato le zone di pianura, mentre cumulate ragguardevoli sono state registrate nel verbanico. Le stazioni di Formazza (VB, 1226 m slm) e Baceno (VB, 625 m slm) hanno misurato tra il 6 e l'8 luglio rispettivamente 199.8 mm e 153.4 mm. Il 7 luglio la stazione di Verolengo (TO, 165 m slm) ha registrato 49.9 mm in un'ora, corrispondente ad un tempo di ritorno stimato tra 10 e 20 anni, mentre il giorno successivo la stazione di Brandizzo Malone (TO, 192 m slm) ha misurato 60.2 mm in un'ora, corrispondente ad un tempo di ritorno stimato tra 50 e 100 anni. I fenomeni temporaleschi sono stati accompagnati da violente grandinate con chicchi di dimensioni superiori ai 5 cm, e nella provincia di Cuneo una tromba d'aria ha colpito la zona di Sanfrè.

A Trento la frequenza dei temporali in questo mese è stata di circa un giorno su quattro. In particolare, il 13 luglio la profonda saccatura nord-atlantica, che ha causato diffuse esondazioni e forti danni in Germania, Olanda e Belgio, è stata anche responsabile di instabilità diffusa su molte regioni del Nord Italia. A Trento, in Valsugana, il giorno 13 si sono misurati valori intorno a 80-100 mm in 24 ore, con punte di 120 mm a Bieno (TN, 843 m slm) e 150 mm in Val di Sella (TN, 956 m slm), massimo assoluto di tutto l'evento e massimo storico della stazione dalla sua installazione nel 2011.

In Veneto il 6 luglio è stato osservato un tornado di intensità F2 a Monte Corno (VI, 1383 m slm), mentre l'8 luglio le precipitazioni sono state molto localizzate: sulle province di Padova e di Treviso, assenti nella provincia di Rovigo e abbondanti sul Bellunese, ma ancora di più sulle province di Verona e Vicenza, dove tre temporali successivi hanno scaricato a Crespadoro (VI, 374 m slm) 47.8 mm in 30 minuti e 86.6 mm in 3 ore, con cumulate da 150 ai 200 mm di pioggia in 6 ore su vaste aree.

Nello stesso giorno la regione Piemonte è stata interessata da forti precipitazioni, con valori cumulati in 24 ore significativi nel Verbano-Cusio-Ossola. In particolare, le stazioni di Cicogna (VB, 766 m slm) e Larecchio (VB, 1860 m slm) hanno registrato in 24 ore rispettivamente 185.2 mm e 181.9 mm. Nel pomeriggio una forte grandinata ha interessato la pianura torinese con chicchi di dimensione superiore a 5 cm. In serata precipitazioni intense di breve durata hanno interessato la zona del Roero: la stazione di Castellinaldo d'Alba (CN, 325 m slm) ha registrato 51.6 mm in un'ora, corrispondente a un tempo di ritorno di 50 anni. Le precipitazioni intense sul Verbano-Cusio-Ossola hanno determinato nell'area un aumento repentino dei livelli dei corsi d'acqua principali e secondari. Gli incrementi maggiori sono stati registrati nel corso della mattinata sul fiume Toce che, a Pontemaglio (VB), si è avvicinato alla soglia di pericolo, causando un allagamento in località Verampio. Inoltre, nei comuni di Premia e Formazza (VCO), il trasporto di abbondante materiale detritico lungo alcuni rii ha invaso e interrotto la viabilità principale (**Figura 2.7**).

Il 13 luglio alcuni nubifragi si sono abbattuti su Tonezza, nei pressi del Lago di Garda in Veneto, con intensità massime di 71.2 mm in 30 minuti e 90.6 mm in 45 minuti. I fenomeni sono stati anche associati a una tromba d'aria a Roana.

Tra il 25 e il 27 luglio si sono sviluppate tre supercelle sulle regioni del nord-est che hanno causato in Veneto temporali intensi, con massime intensità di 54.6 mm in 30 minuti a Nervesa della Battaglia (TV, 80 m slm) associati a grandine e forti raffiche di vento. In Emilia-Romagna, il 26 luglio, l'evento accompagnato da grandine e raffiche di vento, ha comportato danni localmente ingenti, quali il ferimento di alcune persone e la chiusura dell'Autostrada A1.

In Sicilia a fine luglio è stata registrata una nuova ondata di calore di notevole intensità, con temperature oltre i 40°C in vaste aree della Sicilia orientale, e il massimo termico di 44.8 °C registrato nella stazione SIAS Siracusa (90 m slm) il 30 luglio, per la presenza di venti di Libeccio.

Se le regioni settentrionali hanno beneficiato direttamente o indirettamente dei frequenti passaggi perturbati, in varie regioni dell'Italia centro-meridionale negli ultimi due mesi estivi le precipitazioni sono state scarse e le temperature ben superiori alle attese. Queste condizioni, unite alla ventilazione a tratti sostenuta, hanno causato un numero eccezionale di incendi boschivi e di interfaccia; le conseguenze di questi eventi sono state non solo la distruzione di decine di migliaia di ettari di vegetazione, il danneggiamento di edifici e l'evacuazione di numerose persone, ma soprattutto la perdita di vite umane. In seguito alle richieste di dichiarazione dello Stato di emergenza da parte delle Regioni Molise, Calabria, Sardegna e Sicilia, il Consiglio dei Ministri ha deliberato lo stanziamento di 7.000.000,00 di euro per l'attuazione dei primi interventi.

Ad agosto le precipitazioni sono state scarse e le temperature medie mensili nelle regioni centro-meridionali si sono mantenute nettamente superiori alla norma, attestandosi invece su valori prossimi alla norma al Nord.

In Emilia-Romagna l'estate 2021 è risultata nel complesso la terza meno piovosa dal 1961, dopo il 2012 e il 2017. Le precipitazioni medie regionali cumulate da inizio anno sono risultate le seconde più basse dal 1961, mentre le cumulate da marzo ad agosto (la stagione vegetativa) sono risultate le più basse, insieme a quelle del 2017. Queste anomalie pluviometriche si sono tradotte in una intensa siccità estiva che si è protratta fino a tutto il mese di settembre, con gravi conseguenze per la vegetazione arborea in varie aree dell'Appennino bolognese e della Romagna. In queste aree le condizioni di siccità sono state esacerbate dalle ripetute intense ondate di calore e da persistenti venti caldi da sud, che hanno ulteriormente aumentato il deficit traspirativo delle piante.

Gli eventi più significativi di questo mese sono stati legati allo sviluppo di celle temporalesche di grande intensità e scala molto localizzata o a intense ondate di calore.

Il primo di agosto il Friuli-Venezia Giulia è stato interessato da una cella temporalesca relativamente piccola e isolata che ha prodotto chicchi di grandine osservata al suolo di diametro fino a circa 9 cm e fino a 138 g di peso, un record per la regione (**Figura 2.8**).

In provincia di Bolzano, tra il 4 e il 5 agosto le piogge che inizialmente hanno colpito la Val Passiria e l'Alta Valle d'Isarco e di seguito anche i settori più a sud e ad est, hanno raggiunto massimi fino a 80 mm circa, misurati alle stazioni di Plata (BZ, 1147 m slm) in Passiria e Selva dei Molini (BZ, 1141 m slm), mentre tra il 6 e il 7 agosto hanno raggiunto massimi di 88 e 78 mm rispettivamente presso le stazioni di Ridanna (BZ, 1350 m slm) e Vipiteno (BZ, 1141 m slm). Le intense precipitazioni hanno causato l'innalzamento dei livelli idrometrici e successivi eventi di piena. Il tempo di ritorno dell'evento è stato mediamente dell'ordine dei 20-30 anni, compresi tra il valore minimo di 10 anni a Campo di Trens (Isarco) e il massimo di 100 a Vandoies (Rienza) e Bolzano sud (Isarco). In Bassa Atesina la piena è stata stimata avere un tempo di ritorno di 20 anni. Deboli esondazioni del fiume Isarco a Chiusa (**Figura 2.9**), hanno provocato l'allagamento dell'area adiacente all'A22 presso il casello di Bolzano Sud, e colate detritiche e frane superficiali. Fenomeni di dissesto hanno interessato anche la Ferrovia del Brennero e hanno comportato la chiusura di numerose strade provinciali, nonché della SS12 presso Prato Isarco.

Il 16 agosto un sistema lineare temporalesco ha spazzato in breve tempo tutta la pianura e la costa del Friuli-Venezia Giulia, portando quantitativi di pioggia significativi anche in montagna (98 mm di pioggia giornaliera a Tramonti - PN, 370 m slm), che hanno causato locali allagamenti; raffiche di vento hanno scoperchiato grandi strutture e sradicato centinaia di alberi in tutta la bassa pianura, e numerosi fulmini

che hanno causato diversi blackout locali. In Veneto il passaggio di questa linea temporalesca ha scaricato piogge di grande intensità su Valbelluna, pianura veneziana, padovana e trevigiana. Le precipitazioni su breve periodo hanno raggiunto valori massimi di 43.0 mm in 30 minuti a Rosà (VI, 88 m slm) e Breganze (VI, 196 m slm), e 41.0 mm in 30 minuti a Cittadella (PD, 50 m slm). I fenomeni sono stati associati a raffiche fino a 112 km/h a Favaro Veneto (VE, 2 m slm) e 98 km/h a Grantorto (PD, 32 m slm) e Castelfranco Veneto (PD, 49 m slm).

Il 23 agosto 2021 l'intrusione di aria fresca da nord in presenza di masse d'aria relativamente calda sull'intero Mediterraneo centro-occidentale ha causato in Umbria un evento temporalesco eccezionale, che ha colpito i Comuni di Passignano sul Trasimeno, Corciano, Perugia e Valfabbrica della Provincia di Perugia. L'evento ha avuto una durata complessiva di 2 ore e 30 minuti, durante le quali a Pianello (PG, 234 m slm) sono state osservate le massime intensità pluviometriche di 37.6 mm in 30 minuti e massimi totali di evento pari a 106.2 mm, con tempi di ritorno stimati superiori ai 200 anni. Le piogge hanno causato ingenti danni, tra cui allagamenti di sottopassi (**Figura 2.10**), colate detritiche, caduta di alberi e situazioni di elevata pericolosità per l'incolumità delle persone.

Durante le prime ore pomeridiane del 26 agosto un intenso sistema convettivo ha colpito il territorio della Costiera amalfitana in Campania, determinando effetti al suolo localizzati ma puntualmente rilevanti nei comuni di Amalfi, Atrani, Maiori, Minori, Ravello e Scala, a seguito di precipitazioni molto intense per durate da 10 minuti a 3 ore. I massimi di intensità di precipitazione sono stati rilevati presso la stazione di Scala - S. Caterina (SA, 453 m slm; 27.4 mm in 10 minuti, 46.7 mm in 20 minuti, 64.2 mm in 30 minuti, 125.8 mm in un'ora, 209.9 mm in 3 ore, 210.1 mm in 6 ore). Nel dettaglio, le precipitazioni estremamente intense hanno causato danni nei territori dei comuni di Atrani, dove il torrente Dragone è esondato, invadendo via dei Dogi; di Minori, in località Villamena, dove detriti e fango provenienti dal fronte franoso di Casa Rossa si sono riversati fino in centro; di Ravello, dove si sono registrati smottamenti e il riversamento di detriti sulle strade; di Scala, con fenomeni di rigurgito e tracimazione delle acque nelle sedi stradali a causa della notevole intensità delle precipitazioni.

Tra il 9 e l'11 agosto in Sicilia è stata registrata l'ondata di caldo più intensa dell'intera stagione, con valori superiori a 40°C in buona parte del territorio. Nel corso di questo evento la stazione SIAS di Siracusa ha registrato il giorno 11 la temperatura massima di 48.8°C: record di temperatura massima mai registrato in Europa, se confermato dall'OMM (ancora in corso di verifica). A seguito delle ripetute ondate di calore agosto 2021 è stato il mese più caldo della Sicilia da inizio osservazioni sia per quanto riguarda la temperatura media mensile che per la media delle temperature massime.

Le ondate di calore hanno coinvolto anche altre regioni del Nord Italia. In Emilia-Romagna l'ondata più intensa si è verificata tra il 12 e il 16 agosto e il giorno 15 si è raggiunta la temperatura massima assoluta regionale dell'anno, pari a 40.3°C, registrata a Brisighella (RA, 185 m slm), sui rilievi della Romagna. Questa ondata di calore ha colpito duramente anche la Toscana dove, tra il 12 e il 14 agosto, per la prima volta dal 1955, la stazione di Firenze Peretola ha fatto registrare una temperatura superiore a 40°C per tre giorni consecutivi. Il 14 agosto in Liguria, a Riccò del Golfo (SP, 150 m slm), è stata registrata la temperatura massima assoluta regionale dell'anno, pari a 41.6°C, valore del tutto inusuale per questa regione.

2.2.4 Autunno e dicembre

Nel mese di settembre si è assistito a una intensificazione del jet atlantico che si è lentamente spostato a sud, riducendo almeno in parte il campo barico sul Mediterraneo. Le temperature sono state ovunque nettamente superiori alla norma e le precipitazioni scarse.

In Sicilia settembre 2021, pur non avendo registrato picchi analoghi a quelli del mese precedente, è stato il settembre più caldo a livello regionale da inizio misurazioni.

In Emilia-Romagna, nonostante le precipitazioni abbiano interrotto in gran parte della regione la sequenza di giorni senza pioggia, il carattere convettivo dei fenomeni ha fatto sì che localmente le condizioni di estrema siccità si siano protratte per parte di questo mese, causando, ad esempio, una crisi

idro potabile nei comuni dell'alta Valle dell'Arda. Il persistere di condizioni di piovosità inferiori alla norma nella prima parte dell'autunno ha portato, a ottobre, il contenuto idrico dei suoli in varie parti della pianura ferrarese e bolognese a valori tra i più bassi osservati in questo mese negli ultimi 20 anni, tipici di condizioni di siccità grave o gravissima.

Gli eventi più rilevanti del mese sono stati tutti associati ad eventi convettivi.

Il 17 settembre in Campania si sono riversate precipitazioni di grande intensità sul territorio della media e bassa Valle del Volturno e sui versanti del tratto terminale del Calore Irpino, fra le province di Caserta e Benevento. Le intensità hanno raggiunto massimi di 22.4 mm in 10 minuti a Melizzano (BN, 190 m slm), di 59.6 mm in 30 minuti e 76.4 mm in un'ora a Caiano (CE, 209 m slm). Diverse stazioni, tra cui Caiazzo, Melizzano, Pontelatone, Grazzanise, Capua e Benevento, hanno registrato valori di intensità di precipitazione superiori ai massimi storici dagli anni 2000 (data di installazione delle stazioni) per durate che vanno da 10 minuti a 3 ore.

Il 19 e 20 settembre in Emilia-Romagna una supercella associata a un tornado è transitata sulla provincia di Modena causando gravi danni all'aeroclub di Carpi.

Il 26 settembre un fronte temporalesco esteso per 300-500 km ha colpito la Toscana, causando danni diffusi, soprattutto a seguito delle forti raffiche di vento e trombe d'aria sviluppatesi sulla costa centro-settentrionale della regione, tra Pisa e Lucca. Nel corso dell'evento si è verificata anche un'intensa grandinata a Bivigliano, nei pressi di Firenze, con chicchi di oltre 5 cm; inoltre, la rete LAMPINET ha rilevato 25000 fulminazioni.

Con il mese di ottobre il jet atlantico si è ulteriormente spostato a sud permettendo l'ingresso di perturbazioni atlantiche sul Mediterraneo. In generale le precipitazioni sono state ovunque inferiori alle attese, e le temperature sono diminuite dappertutto, facendo registrare valori inferiori alla media del periodo, con anomalie medie areali intorno a -1°C . Nella prima e nell'ultima decade del mese si sono osservati eventi meteorologici di intensità eccezionale, che hanno causato molti danni al territorio.

Tra la tarda serata del 2 e le ore centrali del 5 ottobre la Liguria è stata interessata da una lunga fase perturbata, durante la quale una saccatura atlantica è entrata sul Mediterraneo e ha portato all'instaurarsi di una convergenza quasi stazionaria di tipo V-shape tra savonese e genovese occidentale, determinando temporali forti, organizzati e persistenti. Durante l'evento sono state registrate piogge con quantitativi totali molto elevati ed eccezionale intensità, in particolare sul versante centro-occidentale, che hanno interessato prevalentemente le province di Genova e Savona in momenti diversi. Le precipitazioni più elevate sono state registrate nella prima parte della giornata del 4 ottobre, quando nella stazione meteorologica di Urbe - Vara Superiore (SV, 810 m slm) sono state rilevate intensità pari a 178.2 mm in un'ora e 377.8 mm in 3 ore. Per tempi di aggregazione più lunghi, i massimi sono stati: 496.0 mm in 6 ore, presso la stazione meteorologica di Montenotte Inferiore (SV, 564 m slm), e 740.6 mm in 12 ore, 883.8 mm in 24 ore e 927.0 mm sull'intero evento, durato 60 ore, presso la stazione di Rossiglione (GE, 289 m slm). I massimi relativi alle cumulate su 3, 6 e 12 ore rappresentano i nuovi record regionali. Tempi di ritorno superiori a 200 anni sono stati stimati per tutte le durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) per i valori registrati dalla stazione piemontese di Ponzone Bric Berton (AL, 773 m slm; 110,2 mm in un'ora, 200.8 mm in 3 ore, 354.4 mm in 6 ore, 472.4 mm in 12 ore e 563.6 mm in 24 ore) e dalle stazioni liguri di Mallare (SV, 467 m slm; 107.9 mm in un'ora, 211.8 mm in 3 ore, 267.8 mm in 6 ore, 303.6 mm in 12 ore e 344.0 mm in 24 ore), Montenotte Inferiore (SV, 564 m slm), Rossiglione (GE, 289 m slm) e Sassello (SV, 385 m slm; 92.7 mm in un'ora, 199.2 mm in 3 ore, 325.4 mm in 6 ore, 376.3 mm in 12 ore e 429.1 mm in 24 ore). Nella stazione di Lavagnina Lago (AL, 356 m slm) è stato stimato il tempo di ritorno di 100 anni per la precipitazione cumulata su 6 ore (182.2 mm). Le piogge che hanno interessato le aree centro-orientali della Liguria hanno causato notevoli innalzamenti idrometrici dei vari corsi d'acqua, causando in qualche caso esondazioni. In particolare, sono stati registrati nuovi massimi livelli storici per l'Orba a Tiglieto, il Letimbro a Santuario di Savona, il Bormida di Mallare a Ferrania. Le esondazioni si sono verificate lungo il corso del Bormida a Spigno, lungo il torrente Letimbro e il torrente Erro e sono state associate ad allagamenti, frane e interruzioni e disagi nella viabilità. Nel corso dell'evento sono stati anche registrati

venti di grande intensità che hanno raggiunto a Fontana Fresca (Sori, GE, 791 mslm) il valore massimo di 100.8 km/h con raffiche di 154.8 km/h. Va ricordato che l'evento è stato ben previsto dai sistemi modellistici previsionali e che l'attuazione delle procedure di allerta ha permesso di evitare almeno i danni alle persone.

Il 5 ottobre, nelle prime ore del mattino, sono stati registrati ancora picchi di precipitazione sul Piemonte nord-occidentale: le stazioni di Graglia (BI, 1005 m slm) e Piano Audi (TO, 870 m slm) hanno registrato rispettivamente 113.4 mm in 3 ore (con un tempo di ritorno stimato tra 50 e 100 anni) e 180 mm in 12 ore.

Sempre tra il 6 e il 7 ottobre in Emilia-Romagna si sono presentate sui rilievi più elevati le prime nevicate e sulla costa si è osservata una delle più intense mareggiate dell'anno, che ha causato una significativa ingressione marina a Cesenatico. Il 13 ottobre il rapido passaggio di una linea temporalesca sulle province costiere della regione ha inoltre provocato deboli grandinate localizzate, rare in queste zone durante questa stagione.

In Veneto in questi giorni le piogge sono state particolarmente intense nelle aree centrali della pianura e sul Delta del Po, anche associate a grandinate significative e a un tornado di intensità F2, osservato a Rosolina (RO, -2 m slm), dove le raffiche di vento hanno raggiunto intensità massime di 106 km/h il 7 ottobre, 94 km/h l'8 ottobre e 77 km/h il 9 ottobre. Le intensità pluviometriche massime sono state registrate a Cavarzere (VE, -2 m slm, 152.0 mm in 3 ore).

A partire dal 24 ottobre una vasta depressione mediterranea, che nei giorni successivi si è evoluta in una tempesta subtropicale (senza raggiungere le temute caratteristiche di Medicane), ha provocato a più riprese la formazione di sistemi a multicelle. Il giorno 24 un vasto sistema si è formato sulla Sicilia orientale, spostandosi lentamente verso nord ed interessando soprattutto il bacino del Simeto e i bacini limitrofi. L'accumulo giornaliero maggiore registrato dalla Rete SIAS è di 396.8 mm misurati dalla stazione Linguaglossa Etna Nord (CT, 1875 m slm), mentre un evento di eccezionale intensità ha interessato l'area tra i comuni di Lentini (SR) e Scordia (CT), dove la stazione SIAS Lentini (SR, 50 m slm) ha registrato un'intensità oraria di 153.4 mm, valore più elevato mai raggiunto in Sicilia, con un accumulo di 271.2 mm in 3 ore. Proprio nelle vicinanze di tale stazione sono state registrate due vittime, travolte dall'acqua. Tutto il reticolo idrografico del bacino del Simeto è stato messo a dura prova, con la piena del Simeto forse più importante degli ultimi 20 anni, e con l'esondazione di vari fiumi e canali. Le precipitazioni sono proseguite nei giorni successivi, causando tra l'altro una vasta alluvione nel centro cittadino e nella zona industriale di Catania. Nel comune limitrofo di Gravina di Catania è stata registrata una vittima, travolta dall'acqua e rimasta intrappolata sotto un'auto. In particolare, la stazione SIAS di Catania (CT, 10 m slm), con 167.4 mm nelle 24 ore ha raggiunto il massimo valore del periodo 2002-2021; accumuli superiori ai 200 mm nelle 24 ore sono stati registrati anche nel messinese ionico, raggiungendo 243.6 mm presso la stazione di Antillo (ME, 796 m slm). Le cumulate sull'evento hanno raggiunto valori particolarmente intensi nella fascia pedemontana dell'Etna, dove la stazione Linguaglossa Etna Nord ha registrato 603 mm in 3 giorni. Le piogge hanno continuato a cadere copiose anche nei giorni successivi e il 29 ottobre, a Siracusa e ad Augusta, sono stati registrati rispettivamente 253.6 mm e 187.8 mm in 24 ore. Anche in questo caso si sono verificati diffusi allagamenti.

Nel mese di novembre un'estesa saccatura ha interessato la parte orientale del Mediterraneo portando flussi sud-occidentali sulla penisola italiana. Le precipitazioni sono state ovunque superiori alla norma climatica raggiungendo nelle regioni meridionali quantitativi medi areali pari a più del 170% dei valori attesi, mentre le temperature si sono mantenute simili o superiori ai valori climatici. I fenomeni più significativi del mese si sono verificati sulle isole maggiori. Le precipitazioni diffuse hanno permesso un parziale recupero delle risorse idrologiche nelle regioni colpite dall'intensa siccità estiva.

Anche in questo mese gli eventi più significativi si sono verificati in Sicilia. Qui il giorno 10 un sistema V-shaped ha interessato l'area tra le province di Agrigento e di Trapani, con accumuli giornalieri a Sciacca (AG, 90 m slm) e Castelvetro (TP, 120 m slm) rispettivamente di 199.8 mm e 181.4 mm, che hanno

causato l'esondazione di fiumi e torrenti e colpito in particolare una parte dell'abitato di Sciacca. Esondazioni sono state registrate in tratti del fiume Belice.

Sempre in Sicilia il giorno 12 piogge abbondanti hanno interessato il messinese ionico, con totali giornalieri massimi di 172.4 mm registrati dalla stazione Antillo (ME, 796 m slm) e 162 mm dalla stazione Fiumedinisi (ME, 440 m slm).

Un'altra fase caratterizzata da fenomeni intensi è occorsa infine tra il 16 e il 17 novembre, di nuovo a causa di una depressione nordafricana. Nubifragi talvolta accompagnati da grandine e venti a tratti impetuosi si sono verificati in diversi punti della Sicilia: il 17 a Modica (RG, 300 m slm) una tromba d'aria ha provocato una vittima e feriti; i totali giornalieri più abbondanti sono stati registrati nel siracusano, con 120.6 mm a Palazzolo Acreide (SR, 640 m slm) e 103.4 mm ad Augusta (SR, 90 m slm). In tale occasione, si sono verificati nuovi gravi allagamenti nell'area di Augusta-Priolo e l'esondazione di un tratto del fiume Tellaro.

Per alcune aree della Sicilia, in particolare per parte delle province di Trapani, Palermo e Siracusa, il IV trimestre 2021 è risultato il più piovoso dal 1921. A questo si possono attribuire alcuni danni successivi a infrastrutture, come il crollo di un ponte sul fiume San Bartolomeo a Castellammare del Golfo (TP) il 12 dicembre, e i fenomeni franosi avvenuti di seguito, all'inizio del 2022, nel palermitano nel territorio di Polizzi Generosa e Petralia Sottana.

Anche in Sardegna i valori cumulati mensili di novembre sono stati generalmente elevati, pari a oltre 4 volte la media climatica in alcune aree. Il massimo mensile, circa 520 mm, è stato registrato nella stazione di Pula Is Cannoneris (CA, 717 m slm).

A dicembre i flussi medi provenienti principalmente da nord-ovest, sono stati associati a temperature generalmente nella media climatica e a precipitazioni scarse a Nord e leggermente superiori alla media al Centro-Sud.

In questo mese nelle province autonome di Trento e di Bolzano le precipitazioni sono state molto inferiori alla norma e concentrate nel giorno 8, quando hanno avuto carattere nevoso anche a quote basse. In quegli stessi giorni la neve ha coperto anche il Friuli-Venezia Giulia.

A partire dalla nottata del 10 dicembre la regione Marche è stata interessata da precipitazioni abbondanti con massimi di evento fino a 70 mm, che hanno interessato l'intero territorio regionale fino alla serata dell'11. Le precipitazioni intense, ma non estreme, hanno interessato un territorio per lo più saturo dalle precipitazioni abbondanti del mese di novembre, provocando disagi soprattutto nella provincia di Ancona, dove si sono registrate le piene più importanti, che in alcuni casi hanno portato a esondazioni e dissesti diffusi. Le zone interne sono state interessate da nevicate che hanno provocato problemi alla rete elettrica, con mancanza di elettricità in buona parte del territorio montano, provocando le maggiori difficoltà nei comuni interessati dal sisma del 2016.

Il mese si è chiuso in condizioni di blocco atmosferico che al Nord hanno determinato inversioni termiche anche intense. In questi giorni nelle ore notturne si sono formate nebbie intense negli strati più bassi dell'atmosfera, come ad esempio nel Golfo di Trieste, in Friuli-Venezia Giulia (**Figura 2.11**); in questa data, la temperatura massima sul Carso a 300 m slm ha toccato i 14°C, mentre in riva al mare a Trieste non si sono superati i 10°C.

In Emilia-Romagna la combinazione di scarse precipitazioni e ripetute ondate di calore ha portato a fine anno a condizioni complessive di bilancio idroclimatico nettamente negativo, con un valore medio regionale pari a -370 mm, il terzo più basso dal 1961, dopo il 2011 e il 2017. Valori annuali locali particolarmente bassi, fino a -800 mm, sono stati rilevati nelle pianure tra Modena e Ravenna.

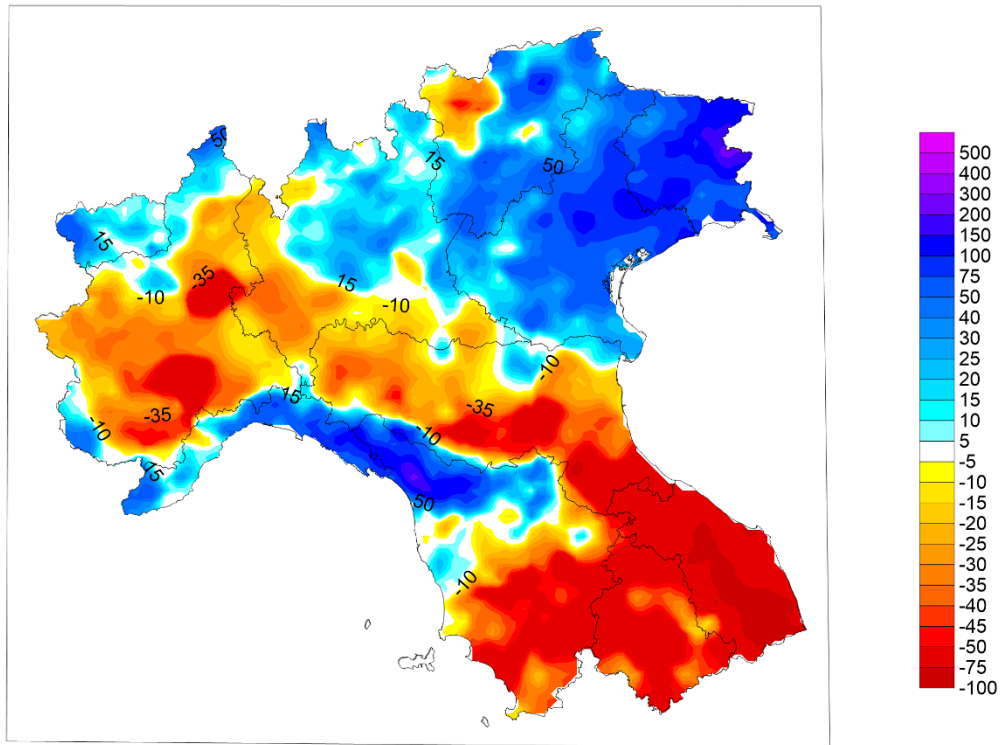
Una mappa di sintesi degli eventi significativi del 2021 è disponibile al link: mappaestremi.isprambiente.it

Figura 2.5: Stazione meteorologica all'alba dell'8 aprile 2021.



Fonte: Arpa Piemonte.

Figura 2.6: Mappa di anomalia percentuale di precipitazione cumulata mensile rispetto al clima 1991-2020.



Fonte: Gruppo di Lavoro interregionale ArCIS.

Figura 2.7: Tratto del Rio Cugnesco in Piemonte a seguito delle precipitazioni del 13 luglio 2021. Particolare del materiale detritico di dimensione variabile, da ciottolo a blocco metrico, che ha completamente ostruito il tratto tombinato del Rio Cugnesco, tra la condotta forzata e la sede stradale, danneggiando il muro della condotta e riversandosi poi sulla sede stradale interrompendo così la viabilità; il materiale più fine è defluito in destra sino al ponte sul T. Devero e in sinistra sino all'ingresso della centrale elettrica di Goglio.



Fonte: Arpa Piemonte.

Figura 2.8: Foto di chicchi di grandine osservati in Friuli-Venezia Giulia nel corso dei temporali del 1° agosto 2021.



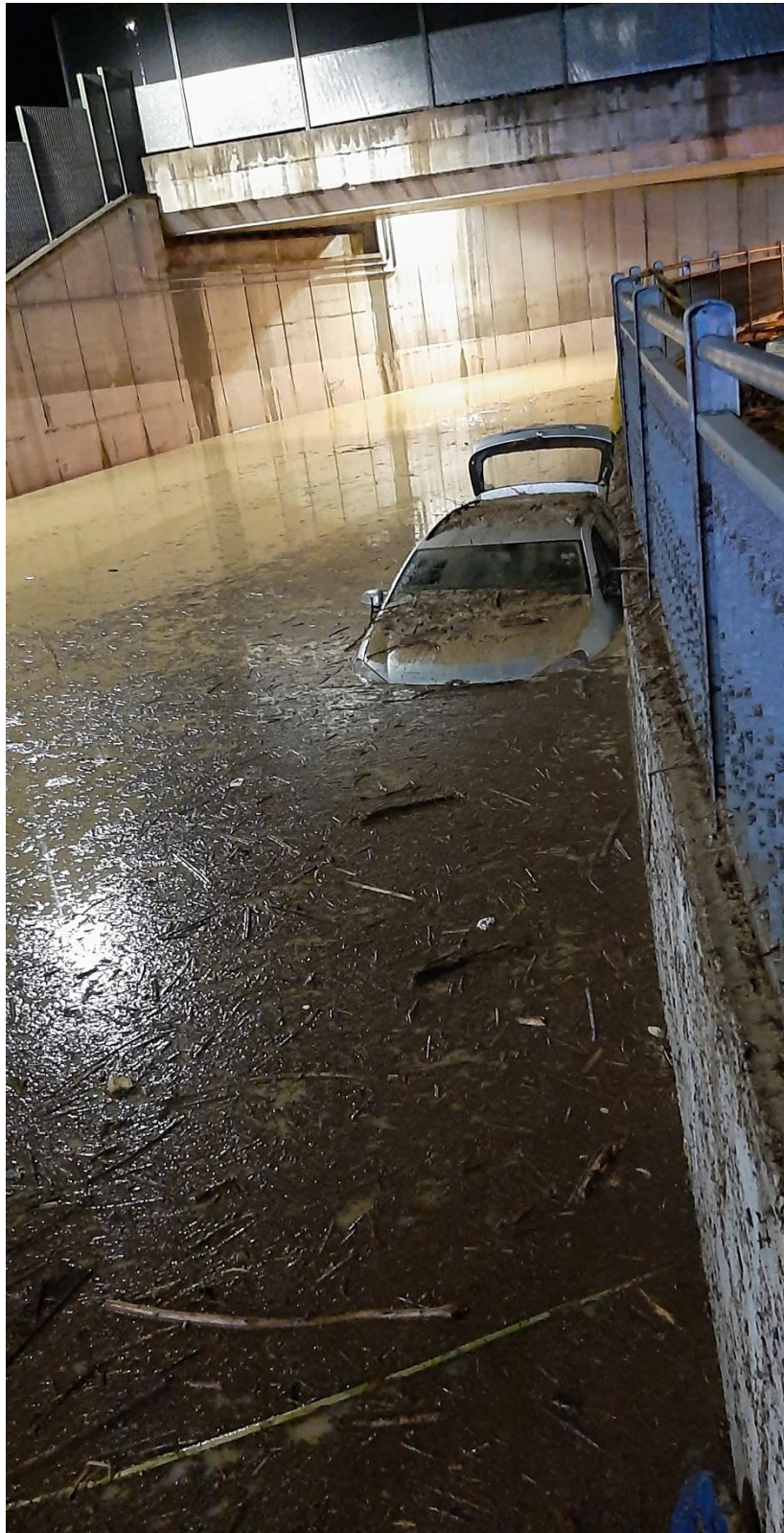
Fonte: Sara Santarossa, Daniele Boccalon e Michele Cristofoli, Arpa Friuli-Venezia Giulia.

Figura 2.9: Isarco a Chiusa (BZ) il 5 agosto 2022.



Fonte: Vigili del Fuoco della Provincia Autonoma di Bolzano.

Figura 2.10: Allagamenti a Ponte Felicino e Villa Pitignano e colate detritiche causate dai temporali di intensità eccezionale in Umbria il 23 agosto 2021.



Fonte: Protezione Civile della Regione Umbria.

Figura 2.11: Inversione termica sul Golfo di Trieste vista dal Carso.



Fonte: A. Pucillo, Arpa Friuli-Venezia Giulia.

3 Temperatura

3.1 Anno 2021

Nelle **figure 3.1-3.3** sono rappresentate le mappe dei valori annuali di temperatura media, minima assoluta e massima assoluta.

I valori di temperatura media registrati in Italia nel 2021 sono compresi tra i -5.9°C della stazione sinottica di Pian Rosà (AO, 3488 m slm) e i 21.2°C della stazione di Catania istituto d'Agraria (CT, Rete idrografica).

Le temperature minime più basse sono state registrate da stazioni in quota situate sull'arco alpino: tra di esse, il valore più basso pari a -27°C a Pian Rosà.

La temperatura massima assoluta più elevata, pari a 48.8°C , è stata rilevata l'11 agosto nella stazione di Siracusa della Rete SIAS, ed il secondo valore più elevato, pari a 47.4°C , è stato rilevato sempre l'11 agosto nella stazione di Paternò (CT, 10 m slm), anch'essa della Rete SIAS. Valori elevati di temperatura massima, superiori a 45°C , sono stati rilevati nei giorni 10 ed 11 agosto sempre nelle province di Catania e Siracusa.

L'andamento della temperatura media in Italia nel corso del 2021 è illustrato dalle **figure 3.4 e 3.5**.

Temperature medie inferiori al valore normale 1991-2020 si sono registrate nei mesi primaverili, con un picco di anomalia negativa nel mese di aprile (-1.40°C), seguito da ottobre e gennaio. Gli altri mesi dell'anno sono stati più caldi della media, con le anomalie positive più elevate a febbraio ($+1.82^{\circ}\text{C}$), seguito da giugno ($+1.64^{\circ}\text{C}$) e settembre ($+1.50^{\circ}\text{C}$).

La temperatura media annuale (figura 3.5) è stata superiore alla media 1991-2020 al Sud e Isole ($+0.44^{\circ}\text{C}$) e al Centro ($+0.28^{\circ}\text{C}$) e prossima alla media al Nord (-0.01°C).

I mesi con anomalia positiva maggiore sono stati ovunque giugno, settembre e soprattutto febbraio, quando si sono registrati valori di $+1.84^{\circ}\text{C}$ al Nord, $+1.99^{\circ}\text{C}$ al Centro, $+1.71^{\circ}\text{C}$ al Sud e Isole. I mesi relativamente più freddi sono stati maggio (-1.74°C) e aprile (-1.72°C) al Nord, aprile (-1.51°C) al Centro, ottobre e aprile (-1.0°C) al Sud e Isole.

Le anomalie spazializzate della temperatura media nel 2021 sono illustrate dalle mappe nella **figura 3.6** (anomalia annuale) e nelle **figure 3.7a e 3.7b** (anomalie mensili). Le mappe sono state realizzate rappresentando sempre con gli stessi colori valori uguali di anomalia, in modo da renderne più facile e immediato il confronto.

La figura 3.6 mette a confronto anche le anomalie della temperatura minima e della temperatura massima; nel 2021 le anomalie della massima e della minima hanno registrato in media valori molto simili.

3.2 Variazioni e tendenze

La variabilità interannuale della temperatura in Italia è illustrata dalle serie delle anomalie annuali di temperatura media, minima e massima, rispetto alla media climatologica 1991-2020 (figure 3.8 e 3.9).

Il 2021, con un'anomalia positiva di temperatura media di $+0.23^{\circ}\text{C}$, è risultato meno caldo dei precedenti, collocandosi al di fuori della classifica dei dieci anni più caldi della serie dal 1961. Il segnale climatico conferma, tuttavia, la tendenza all'aumento della temperatura. A partire dal 2000 le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state quasi sempre positive: fanno eccezione quattro anni (2004, 2005, 2010 e 2013); il 2021 è stato l'ottavo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Il 2021 si colloca al quindicesimo posto della serie per l'anomalia della temperatura massima e all'ottavo posto per l'anomalia di temperatura minima.

Nella figura 3.10 sono illustrate le serie di anomalia della temperatura su base stagionale. Per l'inverno, la temperatura media stagionale viene calcolata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2021 ha contribuito in maniera più marcata l'estate, che con un'anomalia di $+1.02^{\circ}\text{C}$ si colloca al sesto posto della serie dal 1961, seguita dall'inverno ($+0.62^{\circ}\text{C}$) e dall'autunno ($+0.45^{\circ}\text{C}$); la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia negativa (-0.96°C) rispetto alla media climatologica 1991-2020 ed è stata la più fredda dal 2005. Nella tabella 1 vengono riportate le stime aggiornate dei trend di temperatura calcolati con un modello di regressione lineare. Poiché si fa risalire all'inizio degli anni '80 un cambiamento del trend di temperatura, quando ha inizio un periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell'ultimo secolo (Toreti e Desiato, 2007), i trend sono calcolati sul periodo 1981-2021. Le stime dei trend sono confermate anche dall'applicazione di un modello non parametrico (stimatore di Theil - Sen e test di Mann - Kendall, (Sen, 1968)). La stima del rateo di variazione della temperatura media è di $(+0.37 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$ anni, con il rateo di temperatura massima $(+0.39 \pm 0.05)^{\circ}\text{C} / 10$ anni maggiore di quello della temperatura minima $(+0.35 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$ anni. Su base stagionale i maggiori trend positivi per la temperatura si registrano in estate $(+0.55 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$ anni e primavera $(+0.36 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$ anni, seguiti da inverno $(+0.29 \pm 0.10)^{\circ}\text{C} / 10$ anni e autunno $(0.29 \pm 0.08)^{\circ}\text{C} / 10$ anni.

3.3 Estremi

Per un'analisi sistematica degli estremi di temperatura, sono stati presi in considerazione alcuni indici definiti da uno specifico Gruppo di Lavoro della Commissione per la Climatologia dell'OMM (Peterson et al., 2001, Toreti e Desiato, 2008). I criteri di selezione delle serie di dati italiani utili e i metodi di calcolo degli indici, che riprendono quelli di valutazioni analoghe a scala globale o continentale (Alexander et al., 2006; Klein Tank e Können, 2003), sono descritti in dettaglio in (Desiato et al., 2013). Anche questi indici sono stati calcolati per gruppi di stazioni distribuite in modo abbastanza uniforme sul territorio nazionale e che soddisfano requisiti di completezza e omogeneità delle serie temporali. I valori medi nazionali degli indici e, conseguentemente, anche le relative anomalie, dipendono naturalmente dal campione, cioè dalla composizione dei gruppi di stazioni di cui è stato possibile utilizzare i dati; pertanto, l'elemento significativo da cogliere in ciascuna delle **figure 3.11-3.18**, che riportano le anomalie degli indici rispetto all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020, non è rappresentato dai singoli valori numerici, ma dal confronto tra i valori nei diversi anni, cioè dall'andamento temporale delle serie di anomalia di ciascun indice. Per un'analisi dettagliata dei dati e dei metodi di stima degli estremi di temperatura in Italia si rimanda all'articolo (Fioravanti et al. 2015).

Nel 2021 l'indice relativo al numero di giorni con gelo (numero medio di giorni con temperatura minima minore o uguale a 0°C) è stato leggermente inferiore al valore normale 1991-2020 (figura 3.11), e si colloca al diciannovesimo posto fra i più bassi della serie dal 1961.

Per il numero medio di notti tropicali (con temperatura minima maggiore di 20°C , **figura 3.12**) e per il numero medio di giorni estivi (con temperatura massima superiore a 25°C , **figura 3.13**), il 2021 si colloca rispettivamente al quinto ($+8.4$ giorni) e al sesto posto ($+7.4$ giorni) fra i più alti della serie dal 1961.

L'indice WSDI (Warm Spell Duration Index) identifica periodi prolungati e intensi di caldo nel corso dell'anno e rappresenta il numero di giorni nell'anno in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico di riferimento, per almeno sei giorni consecutivi. I valori dei percentili sono calcolati su una finestra di 5 giorni centrata su ogni giorno dell'anno. A differenza degli indici basati su un valore soglia prefissato, questo indice, conteggiando le eccedenze rispetto ad una soglia definita dal percentile, è rappresentativo delle variazioni del clima locale. Il WSDI, che individua i periodi di caldo in senso relativo, che possono verificarsi in qualunque stagione,

ha fatto registrare nel 2021 un'anomalia media leggermente inferiore alla media climatologica 1991-2020 (**figura 3.14**).

Altri indici di estremi di temperatura, che si basano sul confronto con la distribuzione statistica dei valori normali, sono le notti fredde (TN10p, percentuale di giorni in un anno con temperatura minima inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione sul periodo climatologico), i giorni freddi (TX10p, percentuale di giorni con temperatura massima inferiore al 10° percentile), le notti calde (TN90p, percentuale di giorni con temperatura minima superiore al 90° percentile) e i giorni caldi (TX90p, percentuale di giorni con temperatura massima superiore al 90° percentile). Come illustrato dalle **figure 3.15-3.18** le notti e i giorni freddi mostrano una chiara tendenza a diminuire, mentre i giorni e le notti calde mostrano una chiara tendenza ad aumentare.

Nell'ultimo decennio le notti e i giorni freddi sono stati quasi sempre inferiori alla media climatologica 1991-2020, mentre le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.

L'analisi degli indici conferma il segnale di riscaldamento mostrato dai valori medi di temperatura, ma non mette in evidenza valori medi particolarmente elevati, a conferma di un anno più caldo della norma, ma con anomalia media più contenuta rispetto agli anni precedenti.

Tabella 1: Trend (e relativo errore standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2021, stimati con un modello di regressione lineare semplice. Tutti i trend sono statisticamente significativi al livello del 5%.

Indicatore	Trend (°C/10 anni)
Temperatura media	+0.37 ± 0.04
Temperatura minima	+0.35 ± 0.04
Temperatura massima	+0.39 ± 0.05
Temperatura media inverno	+0.29 ± 0.10
Temperatura media primavera	+0.36 ± 0.09
Temperatura media estate	+0.55 ± 0.09
Temperatura media autunno	+0.29 ± 0.08

Figura 3.1: Temperatura media 2021.

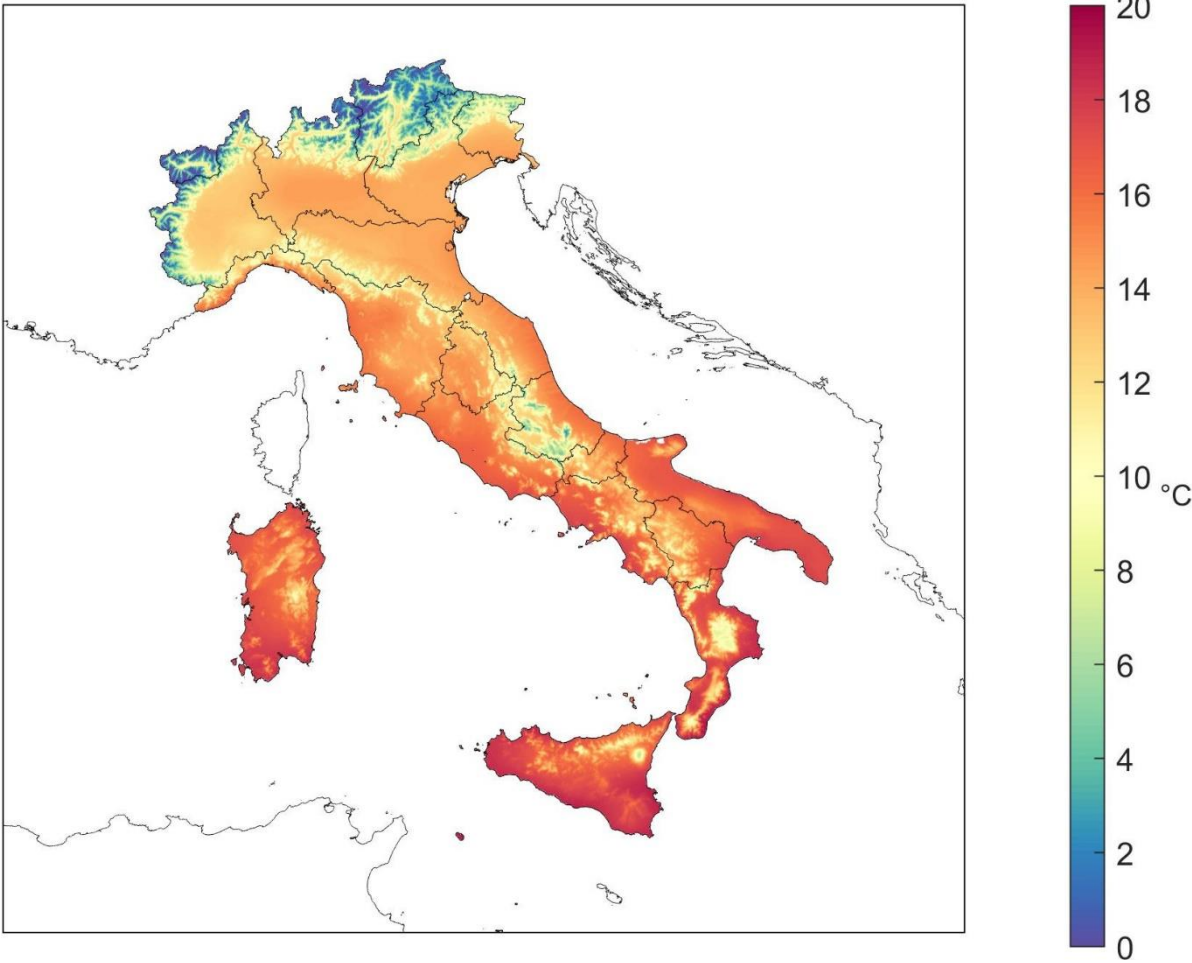


Figura 3.2: Temperatura minima assoluta 2021.

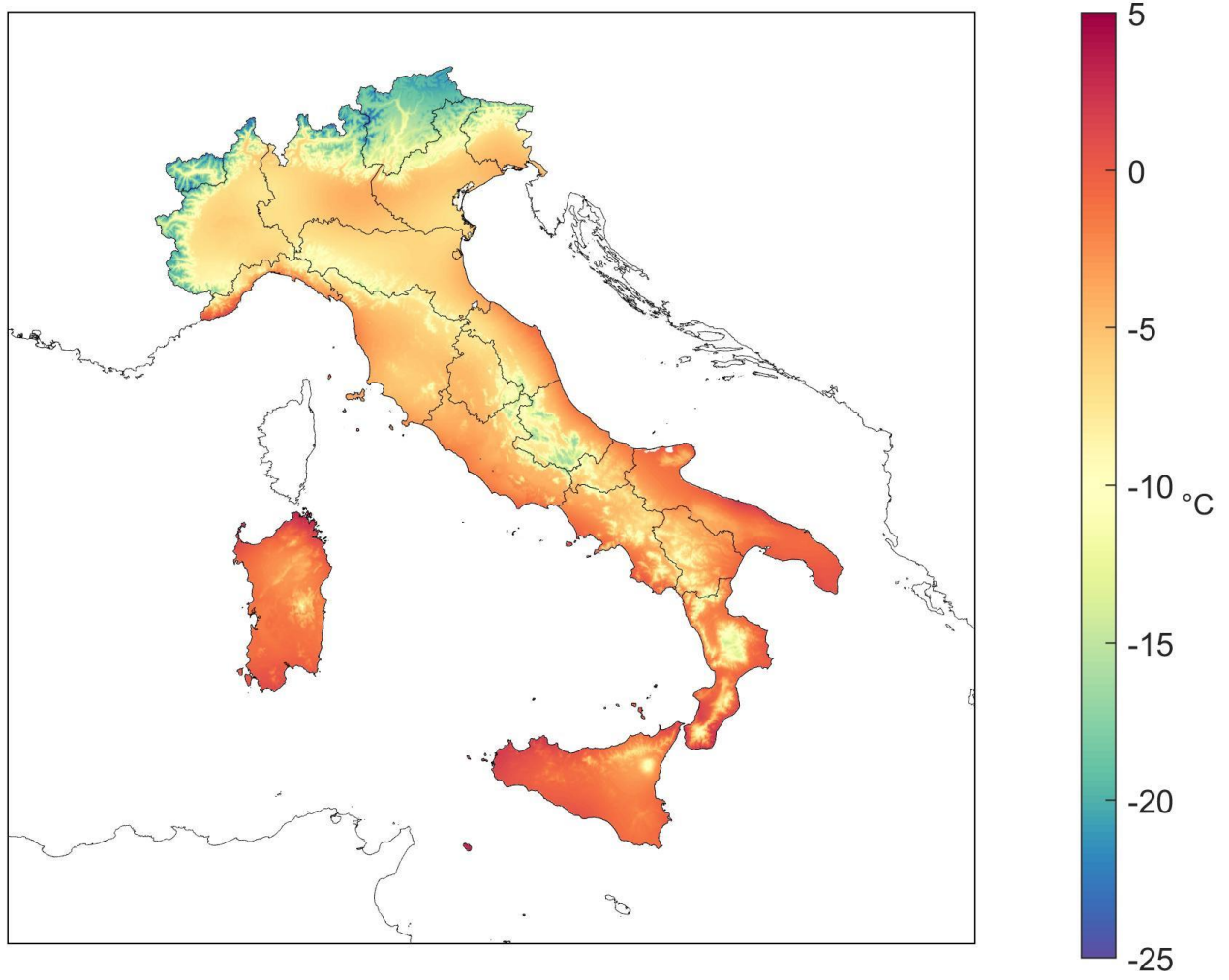


Figura 3.3: Temperatura massima assoluta 2021.

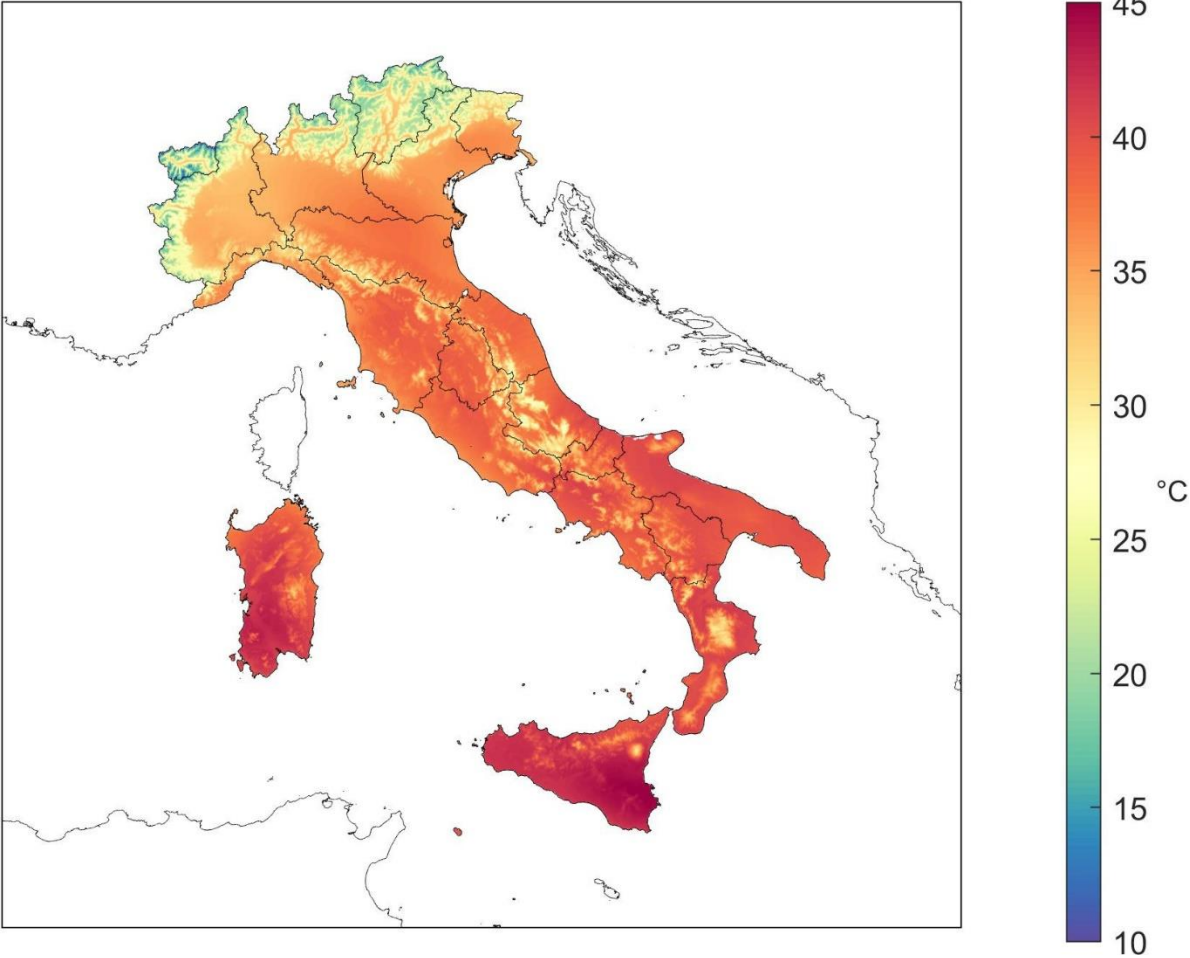


Figura 3.4: Anomalia media 2021 in Italia (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020.

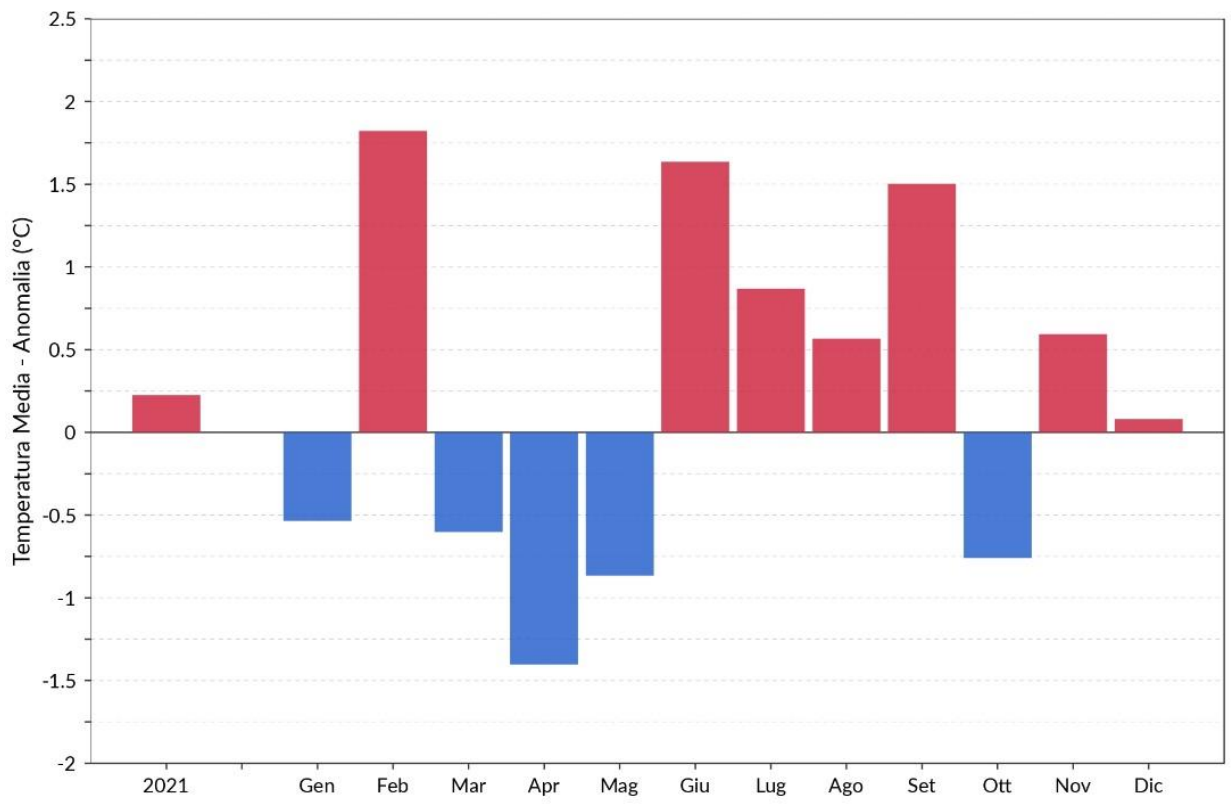


Figura 3.5: Anomalia media 2021 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020 – Nord, Centro, Sud e Isole.

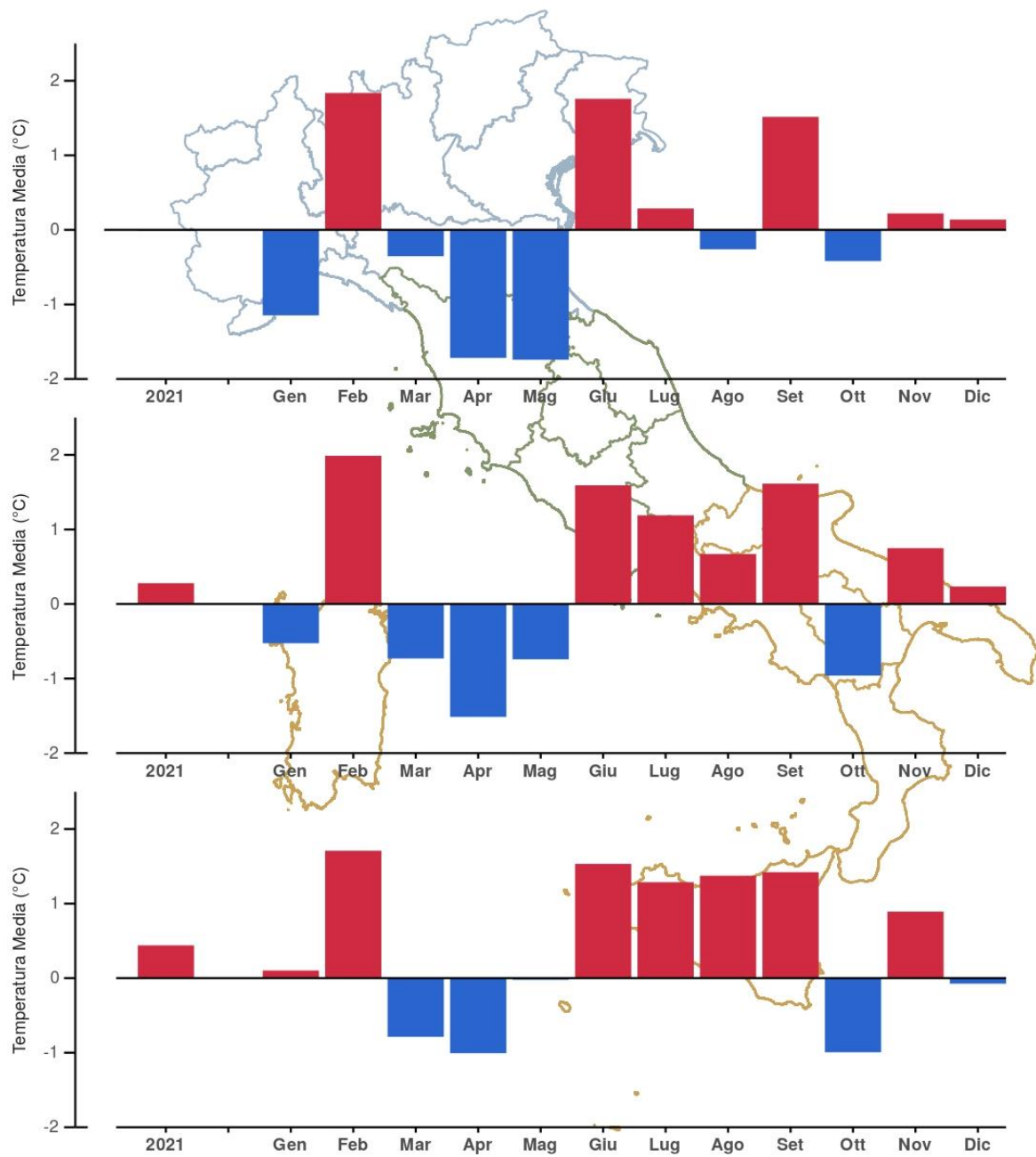
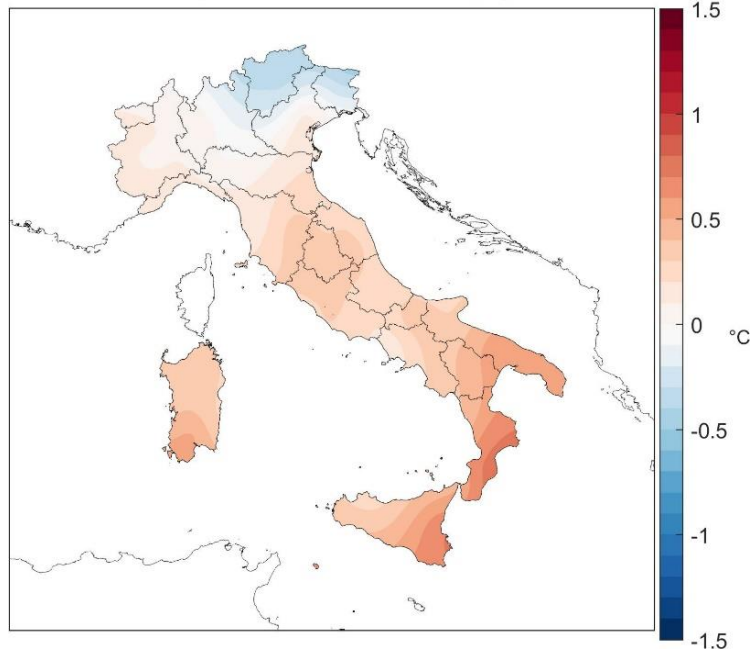
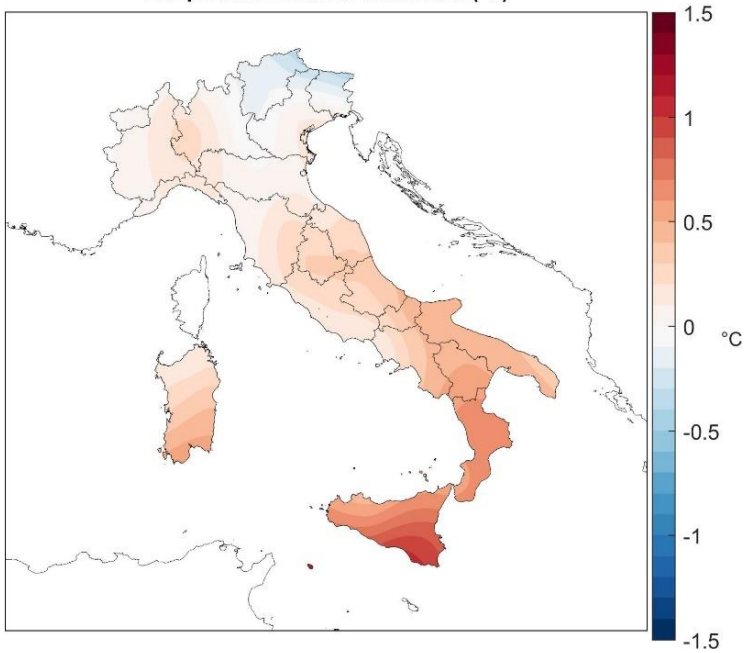


Figura 3.6: Anomalia della temperatura media, minima e massima annuale 2021 rispetto al valore normale 1991-2020.

Temperatura Media - Anomalia (°C)



Temperatura Minima - Anomalia (°C)



Temperatura Massima - Anomalia (°C)

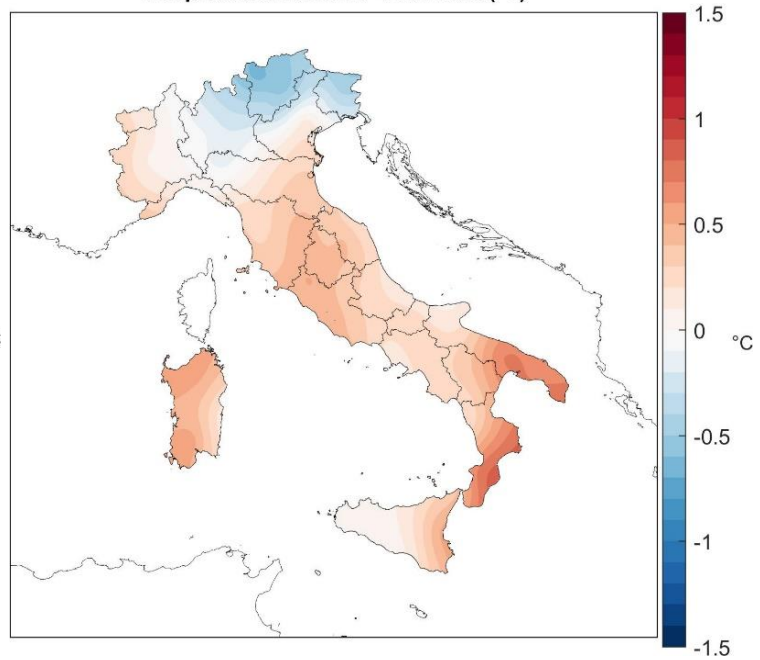


Figura 3.7a: Anomalie della temperatura media mensile 2021 rispetto ai valori normali 1991-2020 (gennaio-giugno). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

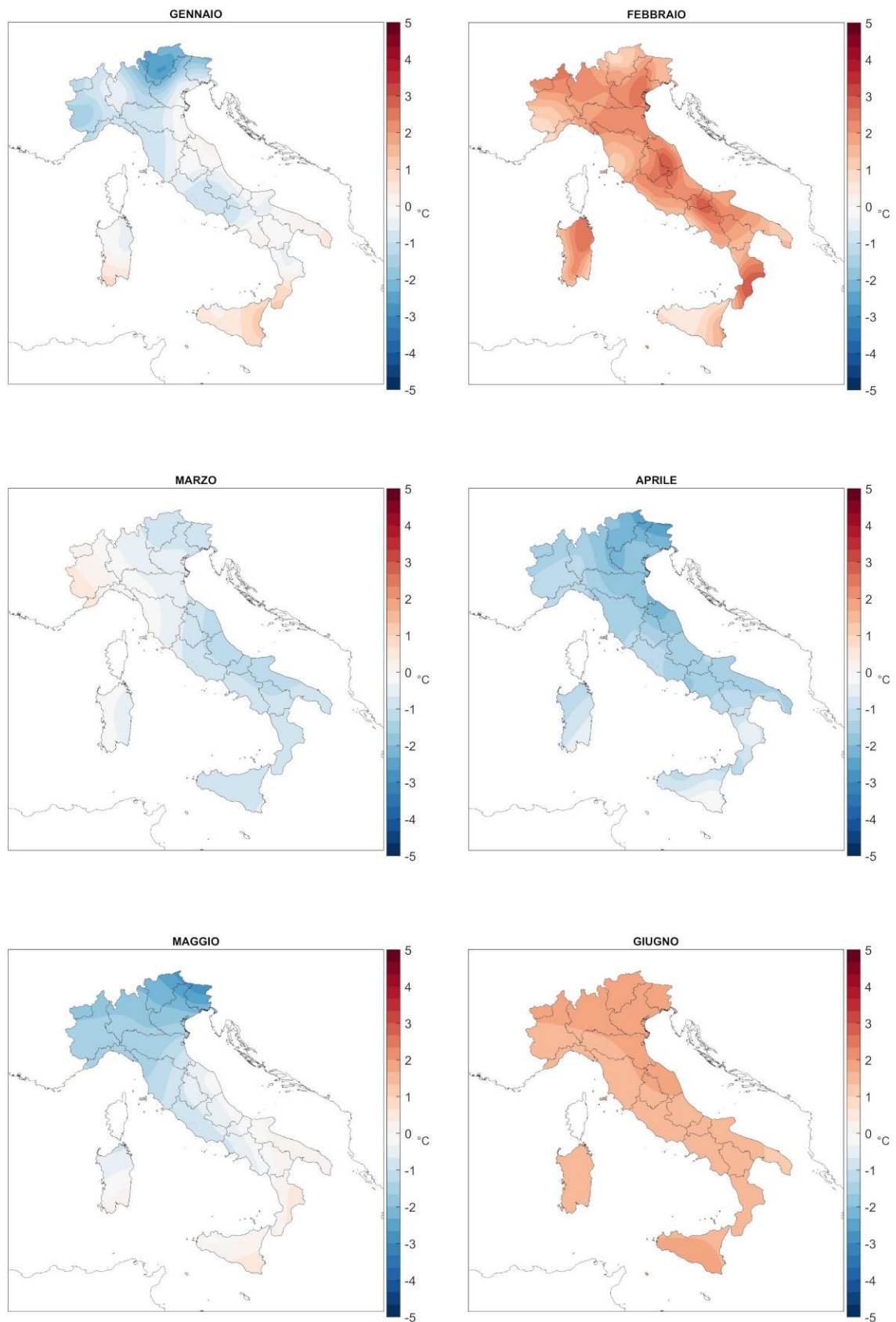


Figura 3.7b: Anomalie della temperatura media mensile 2021 rispetto ai valori normali 1991-2020 (luglio-dicembre). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

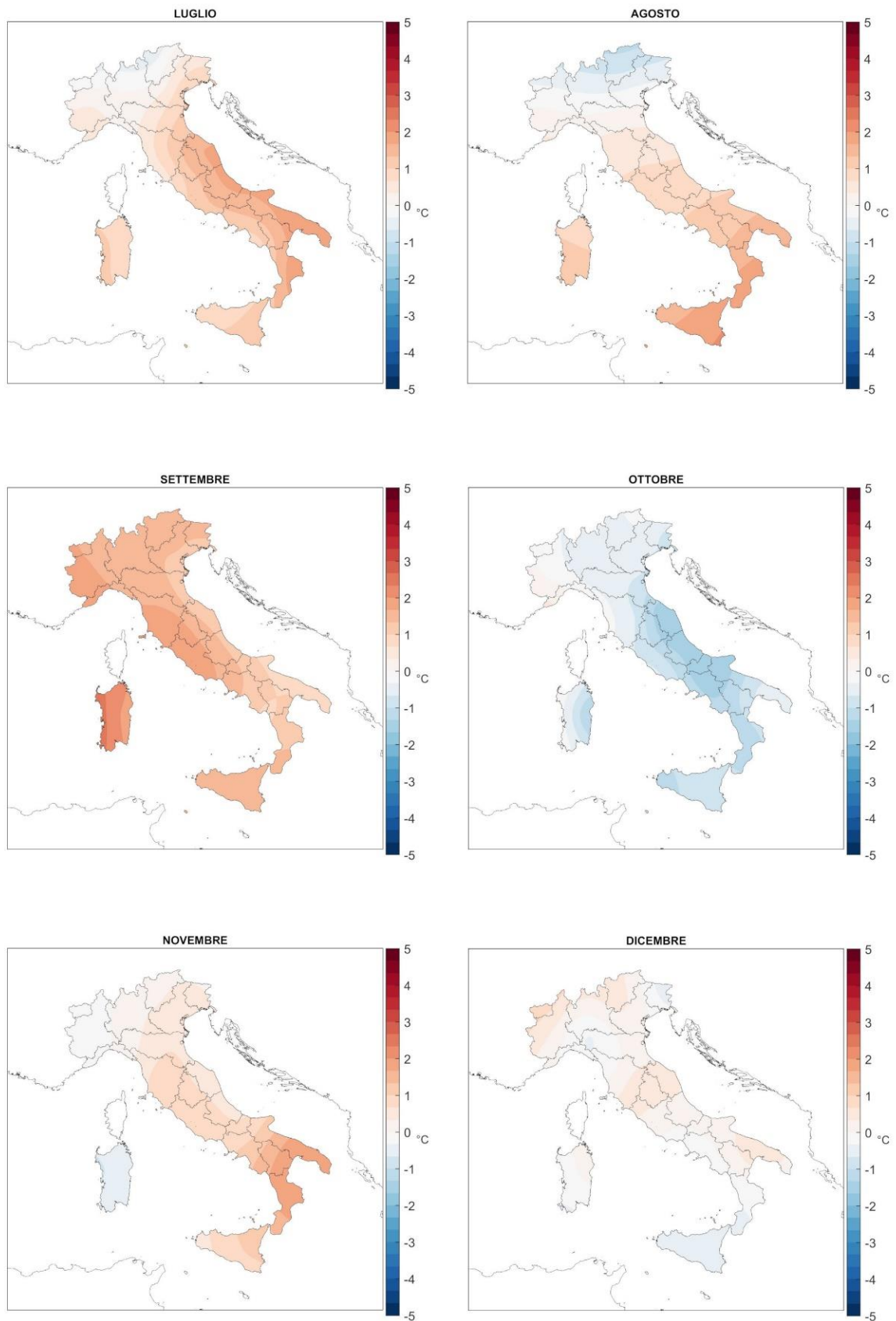


Figura 3.8: Serie delle anomalie medie in Italia della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020.

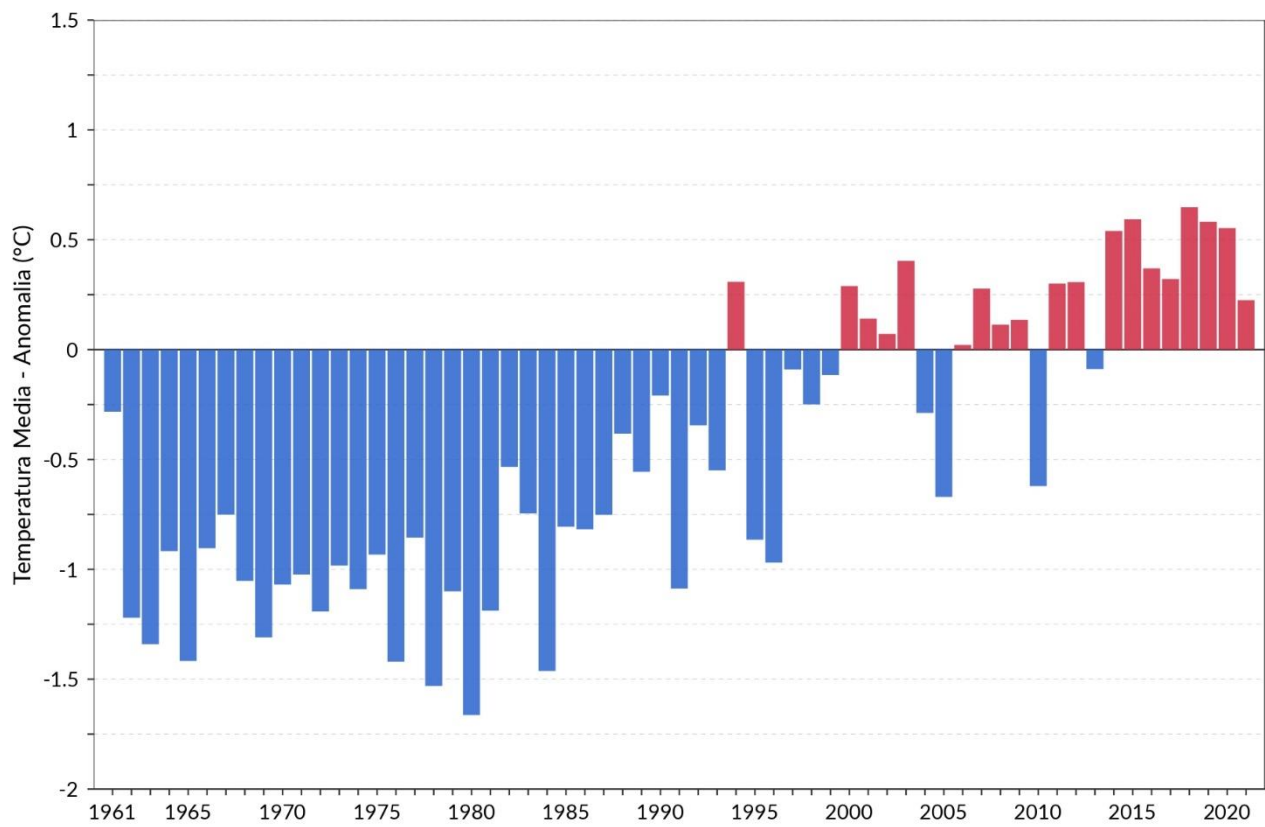


Figura 3.9: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura minima e massima in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

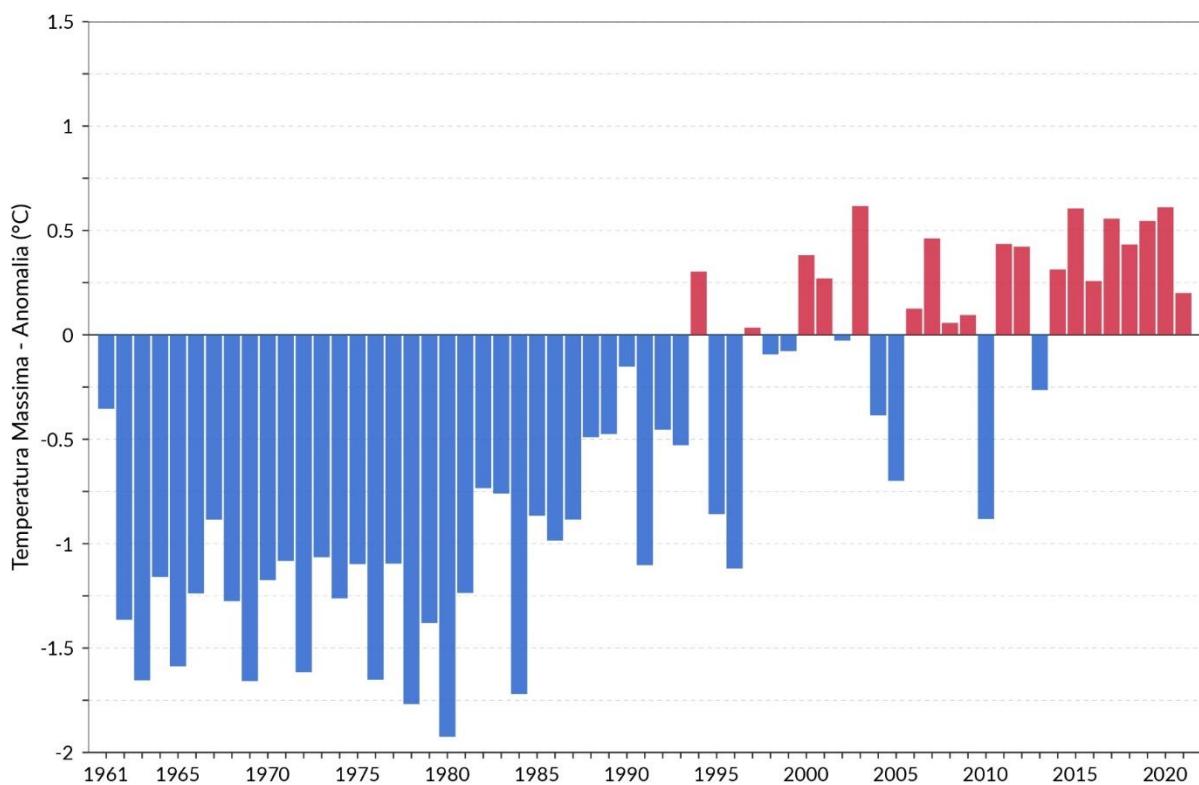
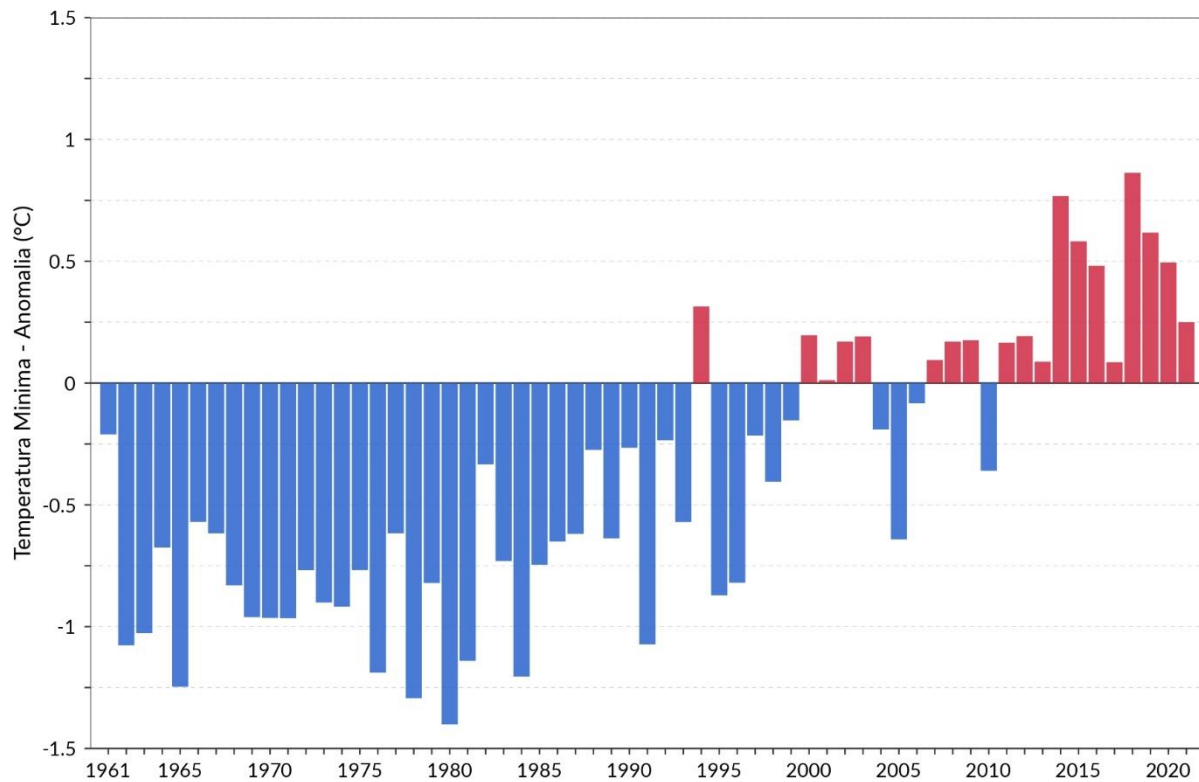


Figura 3.10a: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (inverno e primavera). Per l'inverno, la temperatura media stagionale viene calcolata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

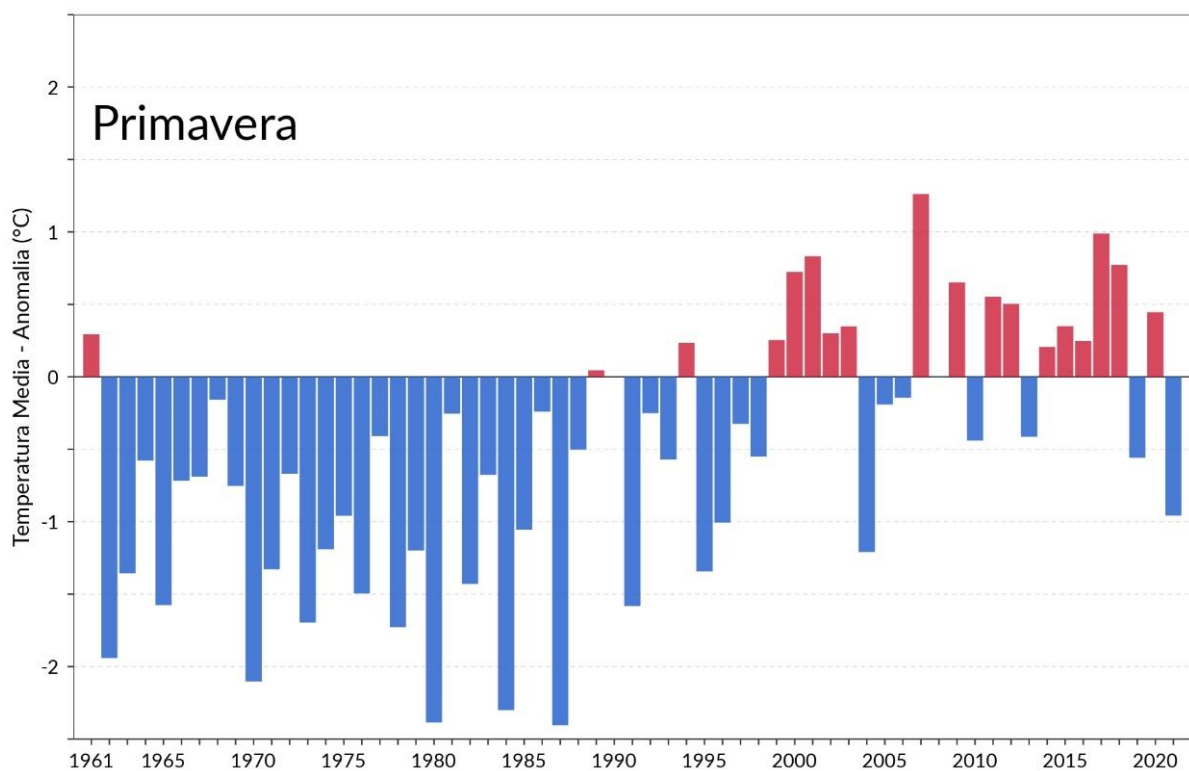
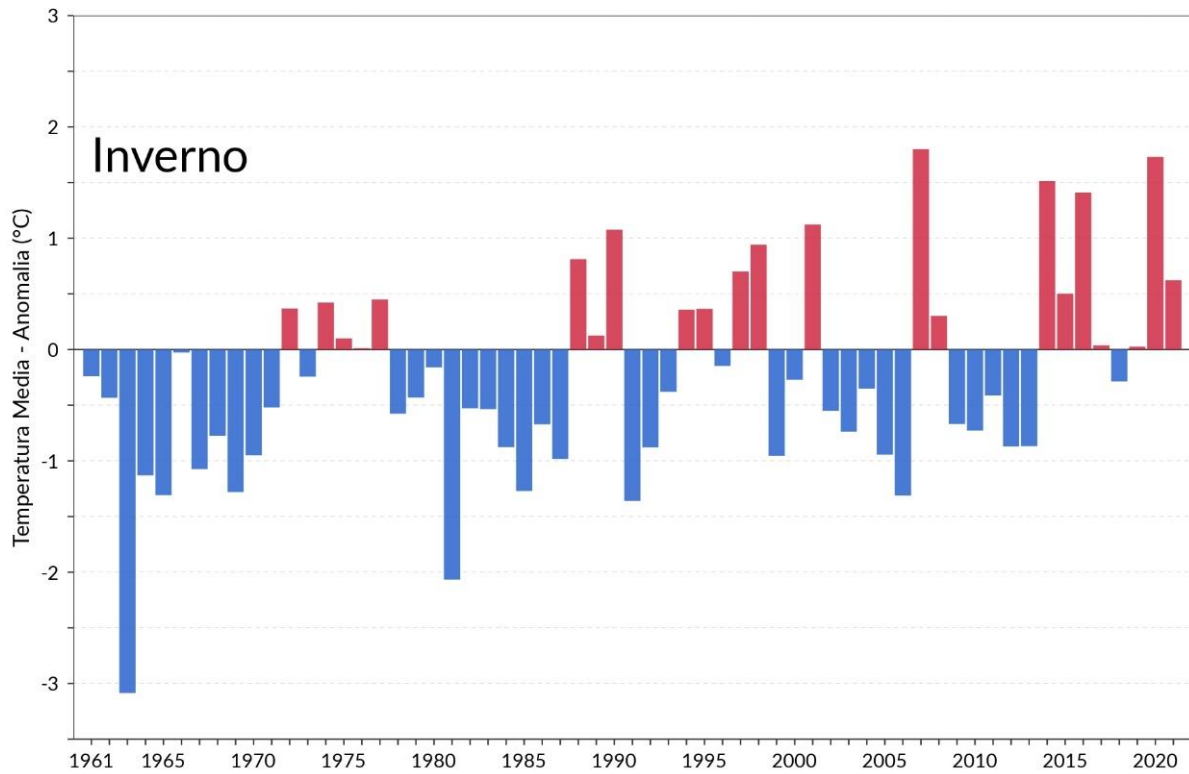


Figura 3.10b: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (estate e autunno).

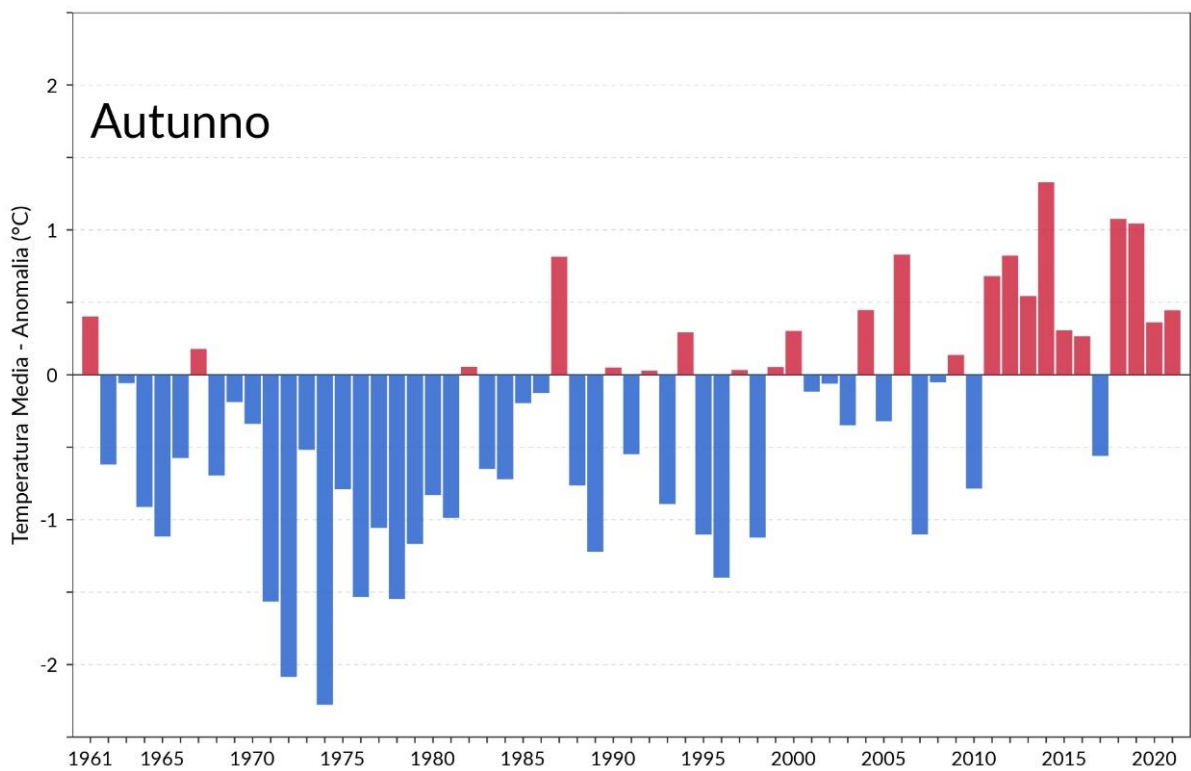
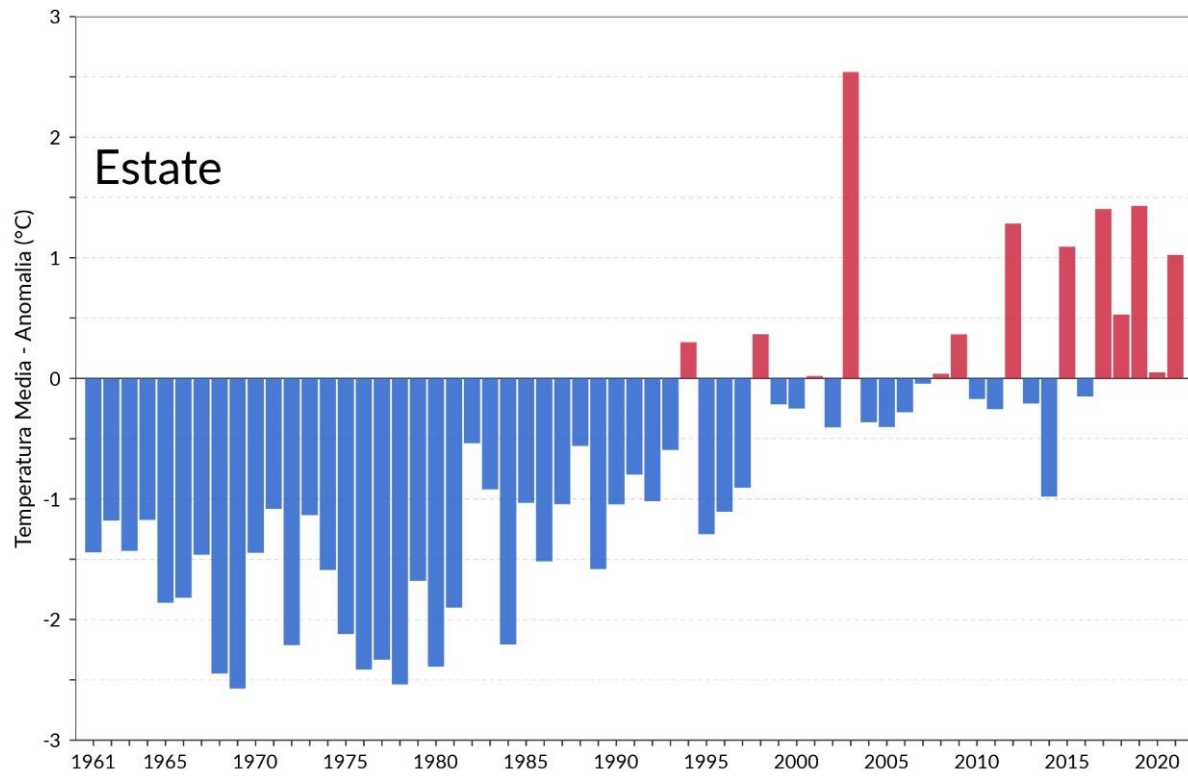


Figura 3.11: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con gelo in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

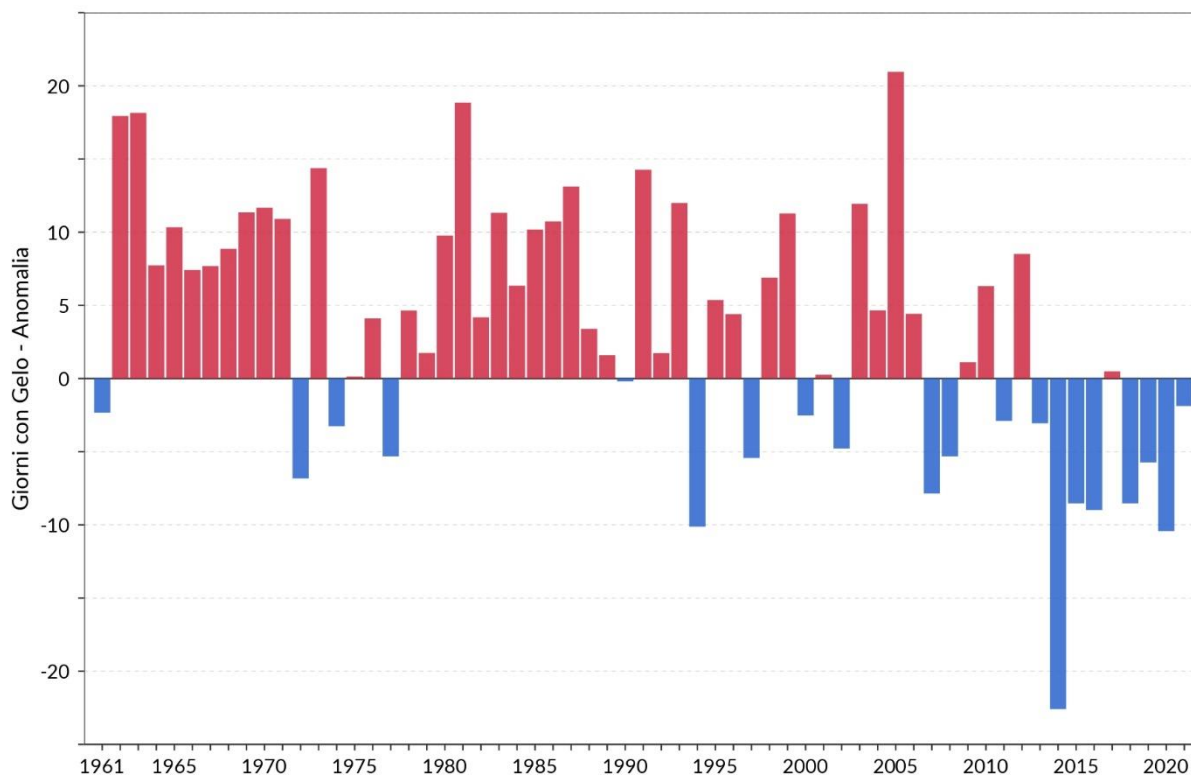


Figura 3.12: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

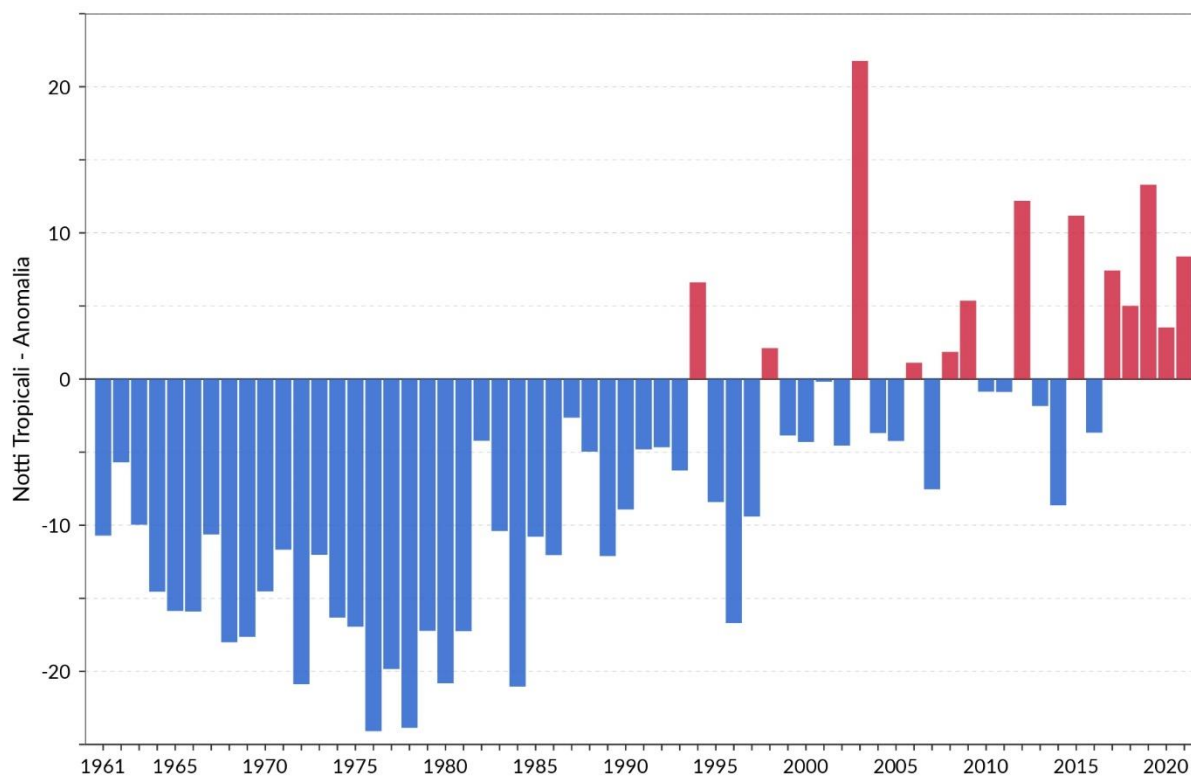


Figura 3.13: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

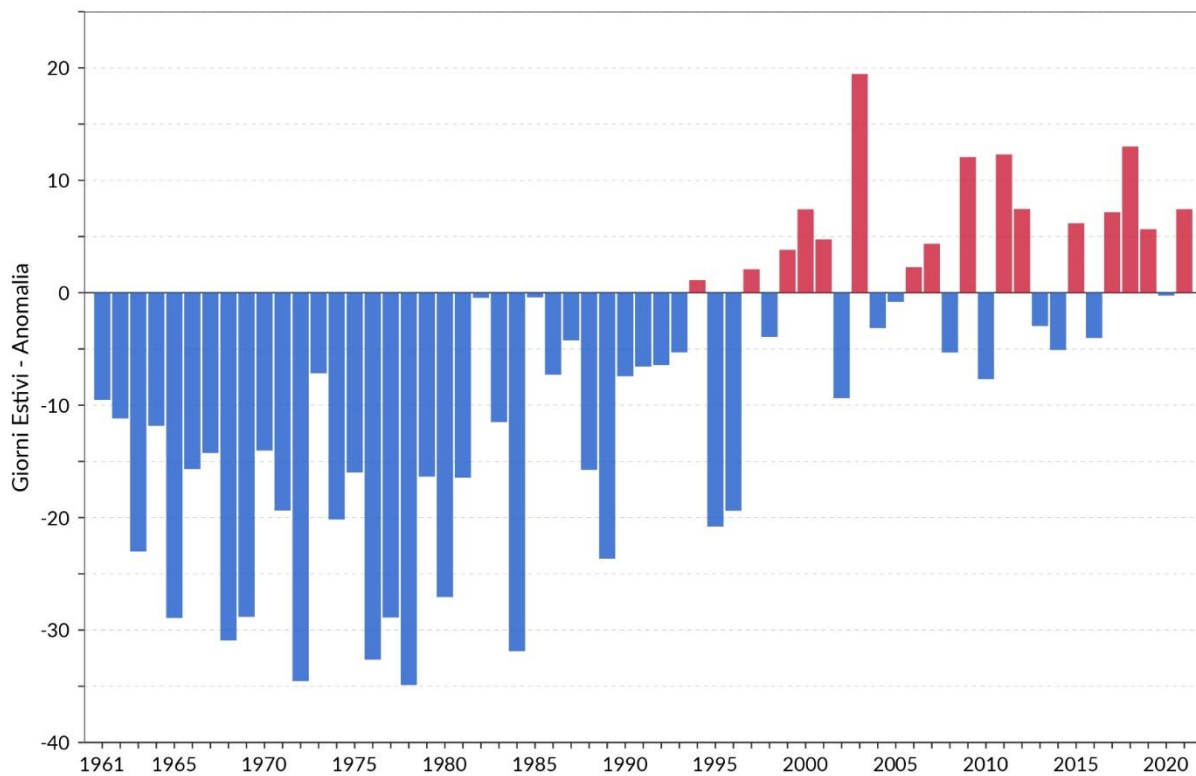


Figura 3.14: Serie delle anomalie medie annuali dell'indice WSDI (Warm Spell Duration Index) in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

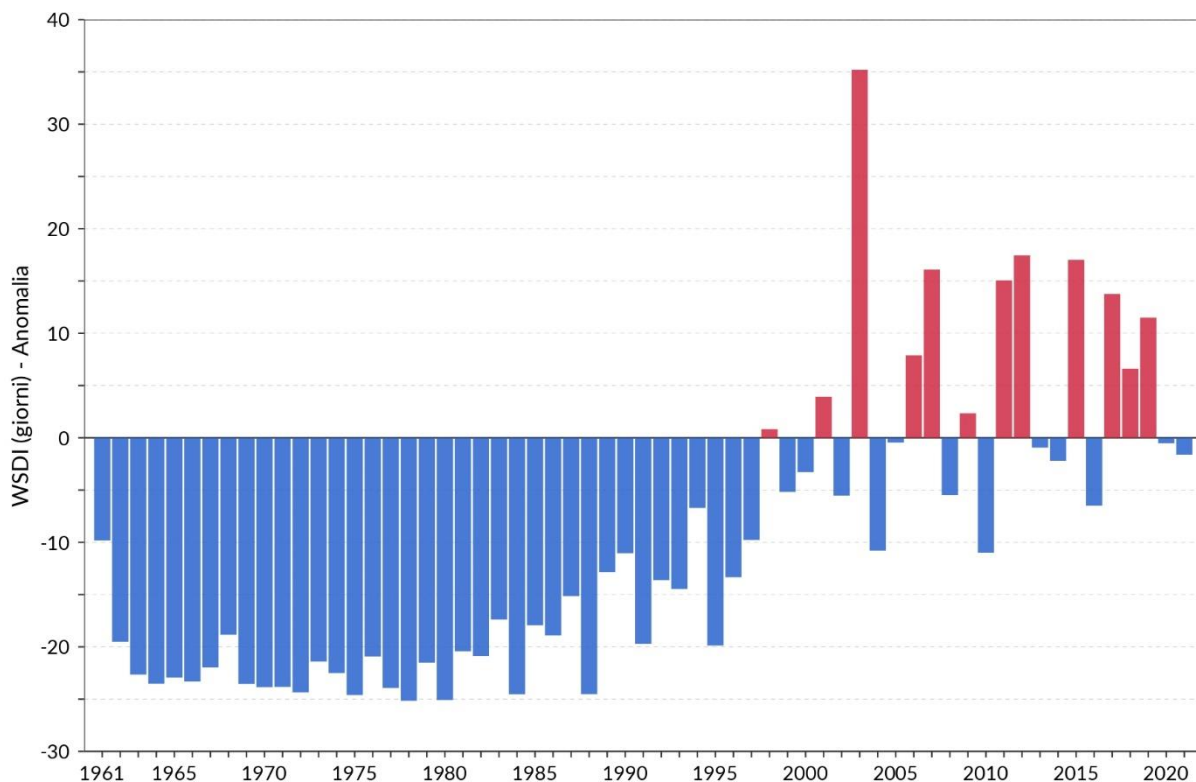


Figura 3.15: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti fredde in Italia (TN10p), espresso in % di giorni/anno) rispetto al valore normale 1991-2020.

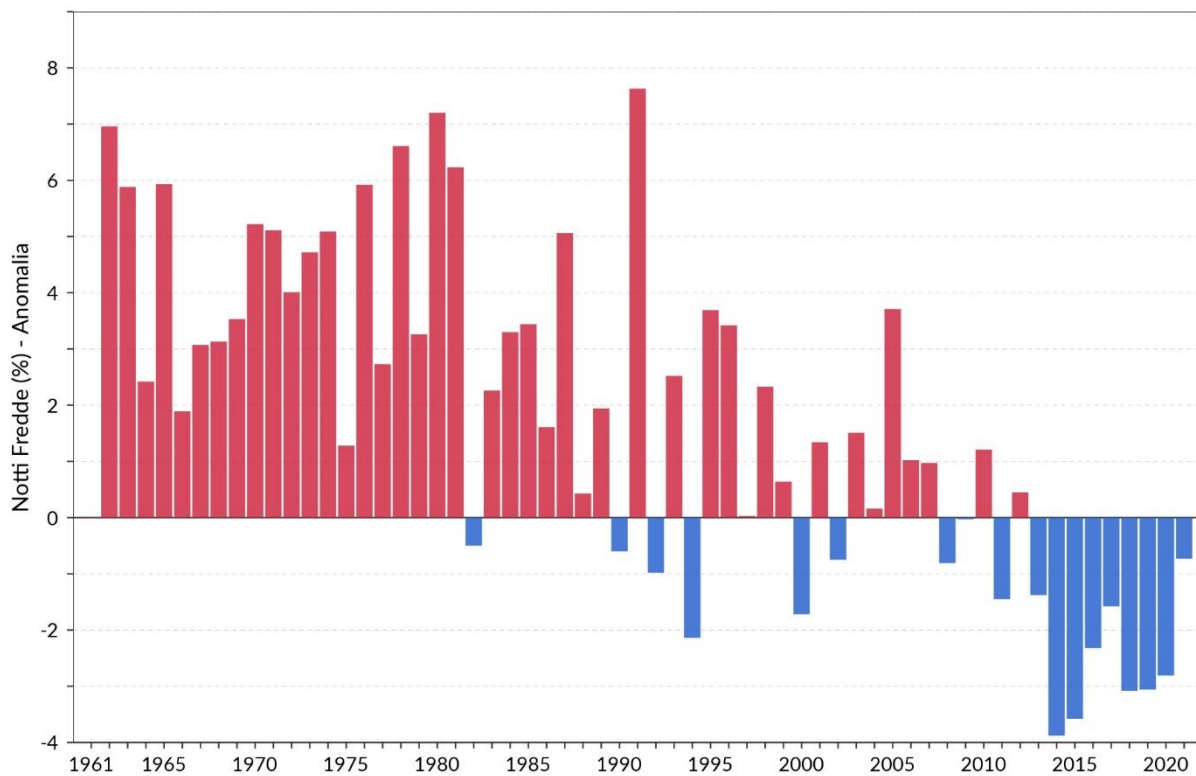


Figura 3.16: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni freddi in Italia (TX10p), espresso in % di giorni/anno) rispetto al valore normale 1991-2020.

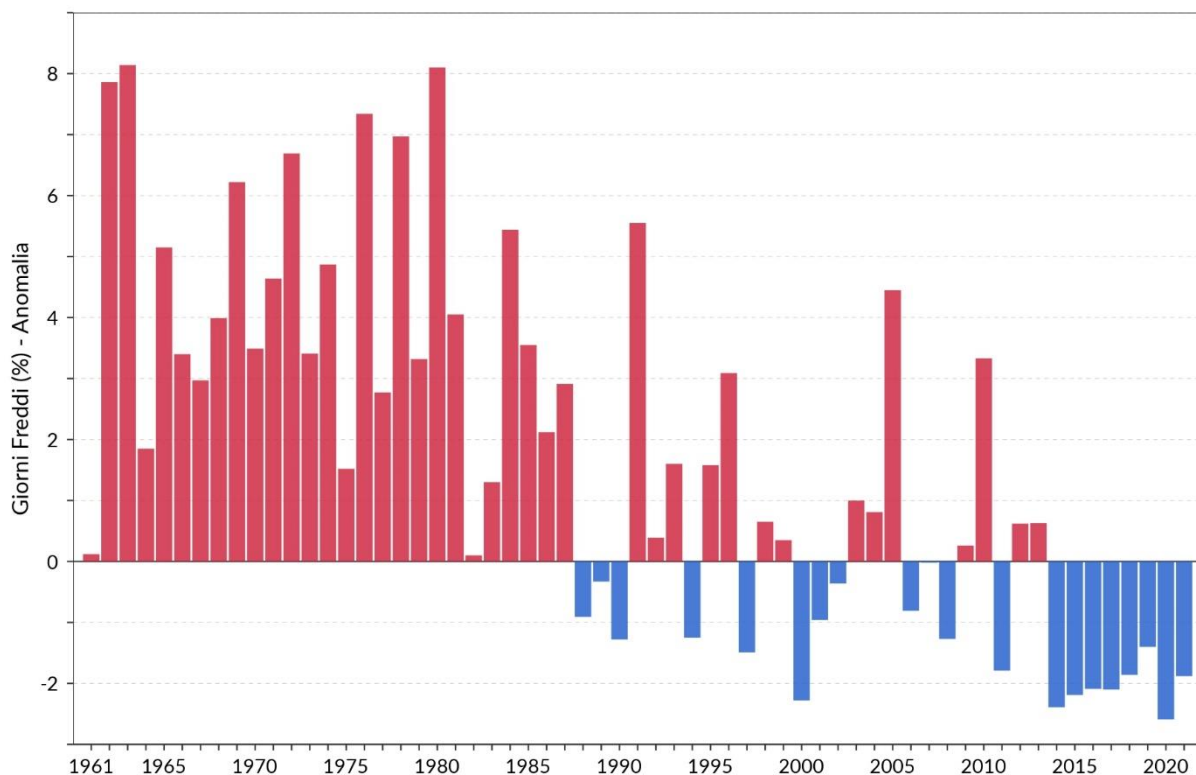


Figura 3.17: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti calde in Italia (TN90p), espresso in % di giorni/anno) rispetto al valore normale 1991-2020.

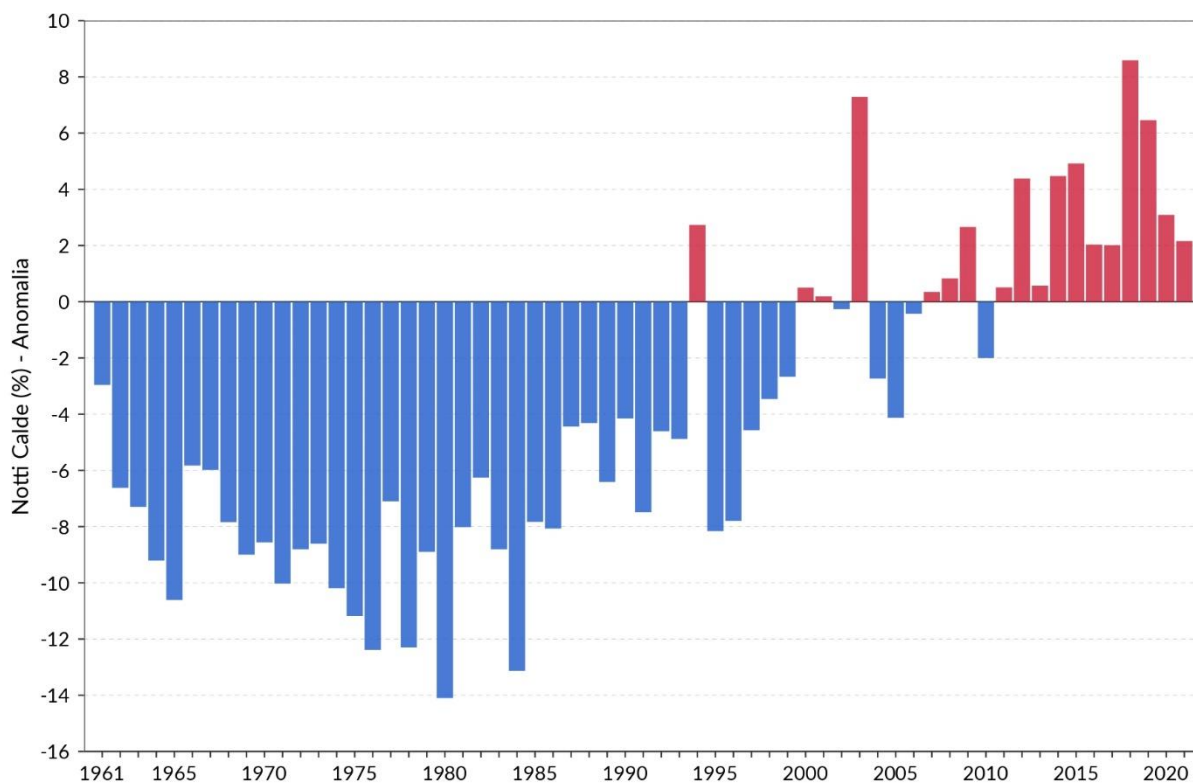
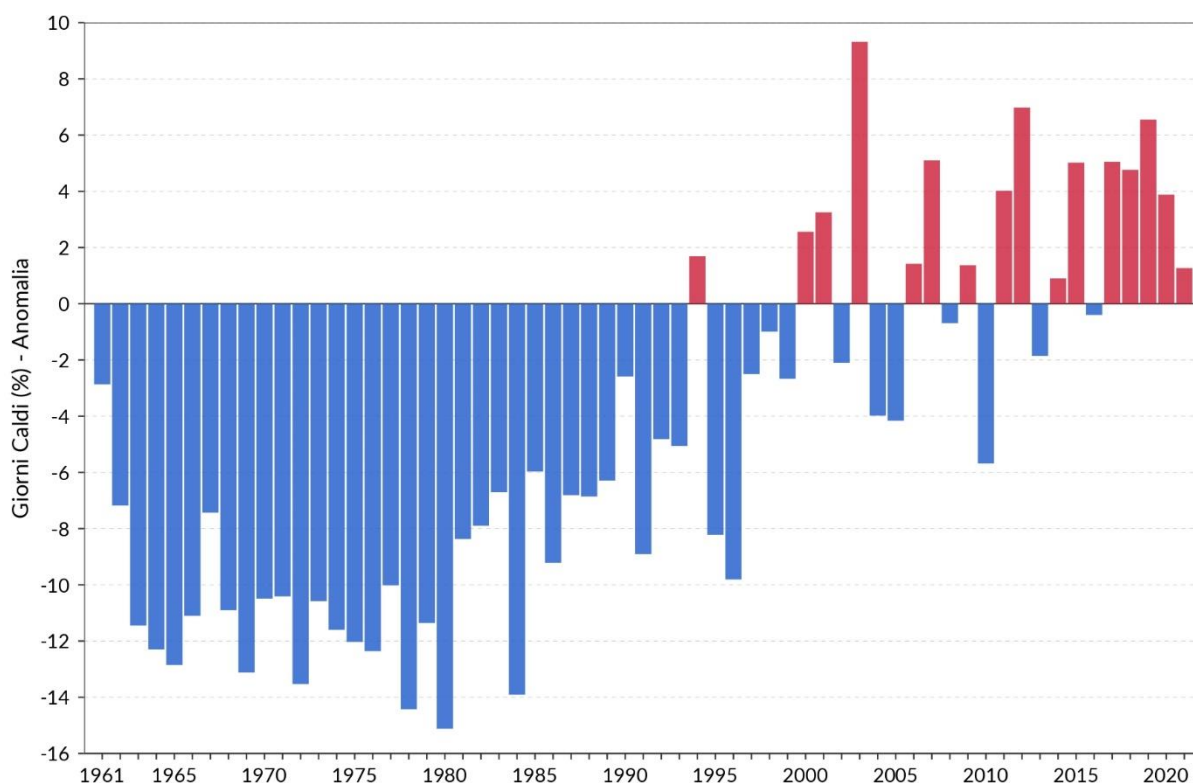


Figura 3.18: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni caldi in Italia (TX90p), espresso in % di giorni/anno) rispetto al valore normale 1991-2020.



4 Temperatura superficiale del mare

Gli indicatori 2021 della temperatura superficiale dei mari italiani sono stati calcolati a partire dai dati elaborati dalla *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Essi rappresentano le stime dei valori medi mensili su un grigliato regolare alla risoluzione spaziale di $1^\circ \times 1^\circ$, ottenute dal lavoro di ricostruzione spaziale stabile della temperatura superficiale del mare a scala globale (Smith e Reynolds, 2003; 2004). Le stime sono basate sull'integrazione di misure da satellite e di dati dell'*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set SST* (ICOADS, <http://icoads.noaa.gov/>), che si riferiscono a misure effettuate da navi, boe ed altri tipi di piattaforma.

Sono stati selezionati dal grigliato regolare sei gruppi di punti, ciascun gruppo rappresentativo di uno dei mari italiani (**figura 4.1**):

Figura 4.1: Punti di griglia selezionati per la temperatura media dei mari italiani. Blu: Tirreno; rosa: Adriatico; rosso: Ionio; nero: Canale di Sicilia; verde: Canale di Sardegna; giallo: Mare di Sardegna.



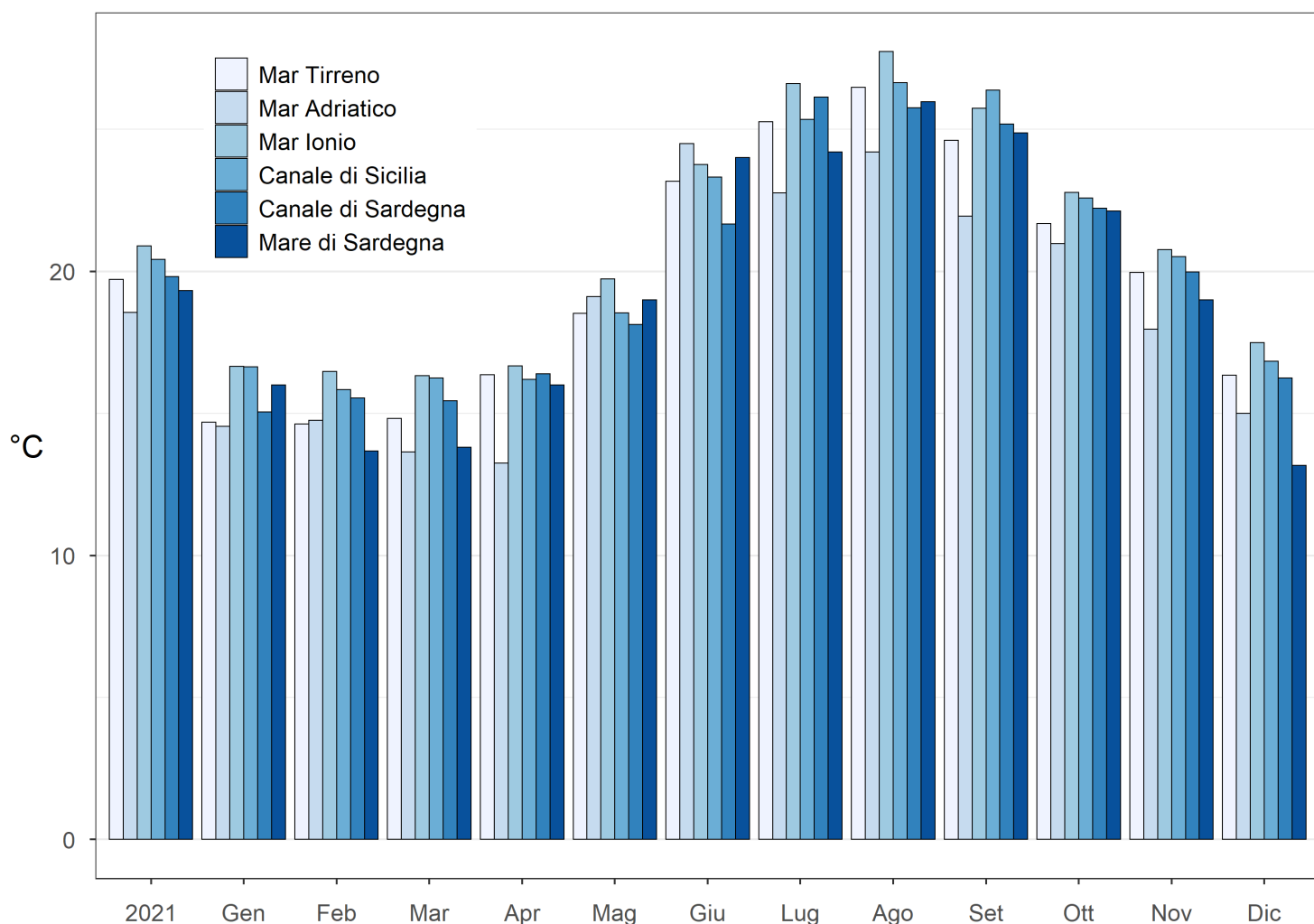
I valori medi annui della temperatura media superficiale dei mari italiani nel 2021, così ottenuti, sono compresi tra 18.6°C (Adriatico) e 20.9°C (Ionio) (**figura 4.2**).

I valori mensili più bassi si registrano a gennaio nel Canale di Sardegna, a febbraio per Mar Tirreno e Canale di Sicilia, a marzo nello Ionio, ad aprile nell'Adriatico, e a dicembre nel Mare di Sardegna; i valori mensili più alti si registrano a giugno per l'Adriatico, a luglio per il canale di Sardegna, e ad agosto per i restanti mari, ovvero Tirreno, Ionio, Mare di Sardegna e Canale di Sicilia. Il valore minimo è stato registrato nel Mar Adriatico e nel Mare di Sardegna (13.2°C), quello massimo nello Ionio (27.7°C).

La temperatura superficiale dei mari italiani nel 2021 (**figura 4.3**) è stata superiore alla media climatologica 1991-2020; le anomalie medie sono state positive in tutti i mesi ad eccezione di dicembre (-0.73°C), con gli scostamenti positivi dai valori normali massimi a giugno ($+1.58^\circ\text{C}$) e a febbraio ($+0.78^\circ\text{C}$).

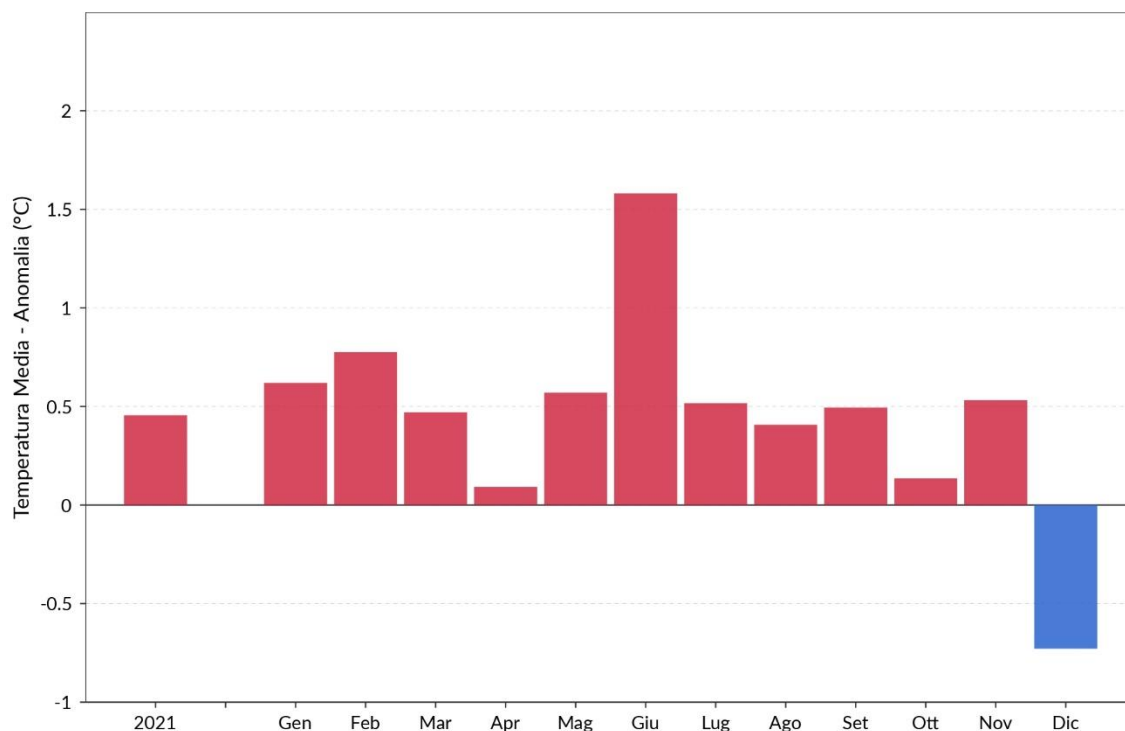
Esaminando la serie delle anomalie medie annuali rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1991-2020, il 2021, con un'anomalia media di $+0.46^{\circ}\text{C}$, si colloca al quinto posto dell'intera serie dal 1961 (**figura 4.4**). Dieci degli ultimi undici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie. Negli ultimi undici anni l'anomalia media è stata sempre positiva.

Figura 4.2: Temperatura media superficiale del mare nel 2021 in Italia (annuale e mensile).



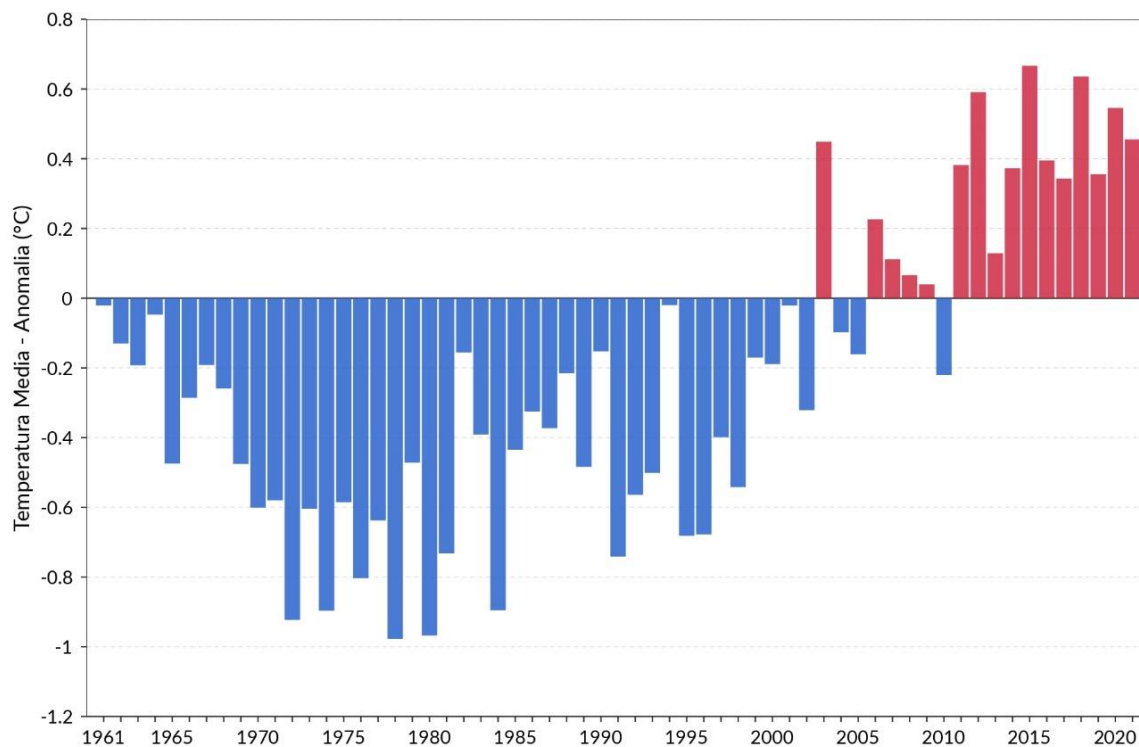
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati NOAA.

Figura 4.3: Anomalia media 2021 (annuale e mensile) della temperatura media superficiale dei mari italiani rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati NOAA.

Figura 4.4: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media superficiale dei mari italiani, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati NOAA.

5 Precipitazione

5.1 Anno 2021

Nella **figura 5.1** è rappresentata la mappa delle precipitazioni cumulate annuali.

I valori più elevati sono stati registrati su Alpi e Prealpi orientali e sull'Appennino settentrionale, con i due valori più elevati a Musi (UD), con 3057 mm, e a Lagoballano (PR), con 3026 mm. I valori più bassi sono stati registrati su ampie aree di Puglia, Emilia Romagna ed Italia centro-occidentale, dove si è registrato il valore più basso, pari a 167 mm presso Ficulle (TR).

L'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno è illustrato dai grafici delle **figure 5.2 e 5.3** e dalle mappe nelle **figure 5.4-5.6**, in cui sono rappresentate le anomalie di precipitazione cumulata rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. Le precipitazioni cumulate annuali in Italia nel 2021 sono state complessivamente inferiori alla media climatologica del 7% circa; quasi tutti i mesi hanno fatto registrare precipitazioni inferiori alla norma: fanno eccezione gennaio, luglio e novembre. I mesi relativamente più secchi sono stati marzo (-47%) e settembre (-44%) seguiti da giugno e agosto, mentre il mese più piovoso è stato gennaio con un'anomalia positiva di +91%.

La precipitazione cumulata annuale ha fatto registrare anomalie negative al Nord (-14%) e al Centro (-4%) ed è stata prossima alla norma al Sud e Isole. Marzo è stato il mese relativamente più secco al Nord (-87%), settembre al Centro (-64%) e maggio al Sud e Isole (-56%).

Al Nord e al Centro il mese relativamente più piovoso si conferma gennaio (+103%), seguito da luglio al Nord (+33%) e da dicembre al Centro (+37%); al Sud e Isole il mese più piovoso è stato novembre (+76%) seguito da gennaio (+69%).

Le **figure 5.4 e 5.5** mostrano la distribuzione spaziale dell'anomalia di precipitazione cumulata annuale del 2021, espressa rispettivamente come differenza percentuale e come differenza in mm di precipitazione rispetto al valore climatologico 1991-2020 (Kendon e Hollis, 2014). La precipitazione cumulata annuale è stata inferiore al valore normale soprattutto su Puglia e gran parte del Nord (con anomalie fino a -70%); anomalie positive di precipitazione si sono registrate principalmente su Lazio, Campania, Calabria e Sicilia.

Le mappe nelle **figure 5.6a e 5.6b** mostrano l'andamento delle precipitazioni sul territorio nazionale per ciascun mese. Sono evidenti le forti ed estese anomalie negative nei mesi primaverili ed estivi e nel mese di ottobre, nonché nel mese di dicembre al Nord.

5.2 Variazioni e tendenze

L'andamento delle precipitazioni in Italia negli ultimi decenni è illustrato dalle serie di anomalie di precipitazione cumulata annuale nel periodo 1961-2021, rispetto al valore climatologico 1991-2020 (**figure 5.7 e 5.8**).

Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia di -7% circa, il 2021 si colloca al ventiquattresimo posto tra gli anni meno piovosi dell'intera serie dal 1961.

Dalle serie di anomalia della precipitazione cumulata stagionale (**figura 5.9**) si rileva che solo l'inverno è stata una stagione più piovosa della norma, mentre le restanti stagioni sono state mediamente più secche. La stagione relativamente più secca è stata l'estate (-27%), che si colloca al settimo posto tra le meno piovose, seguita dalla primavera (-25%) che si colloca al sesto posto tra le più secche dal 1961; l'autunno ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-4%). Con un'anomalia media di +66% l'inverno si colloca invece al terzo posto tra le più piovose. Va sottolineato che per l'inverno, la precipitazione cumulata stagionale viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

Nella **tabella 2** vengono riassunti i trend della precipitazione cumulata nel periodo 1961-2020, calcolati con un modello di regressione lineare semplice. Le stime sono confermate anche dall'applicazione di un modello non parametrico (stimatore di Theil - Sen e test di Mann - Kendall, (Sen, 1968)). I trend sono stati calcolati dapprima per le serie annuali aggregando le stazioni dell'Italia intera, del Nord, del Centro e del Sud e Isole e poi per le serie stagionali dell'intero territorio nazionale. In tutti casi non risultano tendenze statisticamente significative.

5.3 Frequenza, intensità, estremi

Nella **figura 5.10** sono rappresentate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2021. Per massima giornaliera si intende qui il valore massimo delle precipitazioni cumulate su intervalli fissi dalle ore 0 alle ore 24 e non quello su tutti gli intervalli di 24 ore a orario mobile, che può evidentemente essere maggiore. Va inoltre tenuto presente che i valori interpolati sul grigliato regolare e spazializzati su mappa sono generalmente inferiori ai massimi registrati dalle singole stazioni.

I valori più elevati di precipitazione sono stati registrati in occasione dell'evento del 4 ottobre: la precipitazione giornaliera ha raggiunto il massimo di 882.8 mm a Rossiglione (GE) e sono state registrate precipitazioni cumulate giornaliere comprese fra 200 e 350 mm fra Liguria centrale ed estremo confine meridionale del Piemonte. Il secondo evento da segnalare è quello relativo ai giorni 24 e 25 ottobre, in cui si sono registrate precipitazioni giornaliere intense nella parte ionica e meridionale della Calabria e nella Sicilia orientale, dove si sono raggiunti valori superiori a 250 mm.

Nella **figura 5.11** sono rappresentati i valori del numero di giorni asciutti (con precipitazione inferiore o uguale a 1 mm). I valori più elevati si registrano su Liguria orientale ed Emilia Romagna, con valori superiori a 320 giorni e il massimo di 326 giorni asciutti a capo Mele (SV); valori elevati si registrano anche sulla costa toscana e laziale, sulla costa adriatica e su quella ionica, sulla Sicilia centro-meridionale, e sulla costa della Sardegna. I valori più bassi (fino a circa 207 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi centro-orientali e sulla dorsale appenninica.

Le **figure 5.12 e 5.13** mostrano le mappe dello Standardized Precipitation Index (SPI). L'SPI è un indice di siccità, che si ottiene tramite una normalizzazione della distribuzione di probabilità della pioggia, stimata elaborando lunghe serie storiche di precipitazione, in questo caso di almeno 30 anni. Conseguentemente, regioni a clima secco o umido sono "valutate" nello stesso modo. I valori di SPI possono riferirsi a diversi intervalli di tempo (da 1 mese a 24 mesi), in funzione del settore di applicazione (meteorologico, agricolo o idrologico). Qui vengono riportate la mappa di SPI a 12 mesi dell'anno solare 2021 e le mappe di SPI a 3 mesi relative alle 4 stagioni del 2021: inverno (da dicembre 2020 a febbraio 2021), primavera (da marzo a maggio 2021), estate (da giugno ad agosto 2021), autunno (settembre-novembre 2021). Va tenuto presente che tutte le mappe sono ottenute interpolando i valori di SPI di circa 600 stazioni distribuite in modo non uniforme sul territorio nazionale; conseguentemente, esse danno una rappresentazione dell'indice a scala nazionale a bassa risoluzione spaziale e non possono essere utilizzate per una stima accurata dell'SPI a scala locale o per singoli bacini idrografici.

Nella **figura 5.14** sono rappresentati i valori di un altro indice di siccità, il Consecutive Dry Days (CDD), che rappresenta il numero massimo di giorni consecutivi nell'anno con precipitazione giornaliera inferiore o uguale a 1 mm. I valori più alti si registrano sulla Sicilia meridionale (fino a 139 giorni secchi consecutivi), seguita dalla costa tirrenica centrale (fino a 100 giorni) e dalla Sardegna occidentale e settentrionale. La durata minima dei periodi di siccità è di 18-22 giorni e si registra sulla zona alpina e prealpina e sull'Appennino ligure e tosco-emiliano.

Come per la temperatura, per valutare l'andamento della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione, sono stati presi in considerazione alcuni indici definiti dal Gruppo di Lavoro della Commissione per la Climatologia dell'OMM (Peterson et al., 2001). Vengono presentate le serie temporali di anomalia degli indici per l'Italia settentrionale, centrale e meridionale, ottenuti aggregando i dati di stazioni appartenenti a ciascuna macroarea. I criteri di selezione delle serie utili e i metodi di calcolo degli indici, che riprendono quelli di valutazioni analoghe a scala globale o continentale (Toreti e Desiato, 2008; Alexander et al., 2006), sono descritti in (Desiato et al., 2013). Anche per gli indici di precipitazione i risultati sono presentati sotto forma di serie di anomalie rispetto all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020. Per favorire l'impiego di un maggior numero di serie, per l'analisi è stato considerato il periodo dal 1971 al 2021.

L'indice R10mm rappresenta il numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm (**figura 5.15**). L'indice R95p rappresenta la somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95° percentile della distribuzione delle precipitazioni giornaliere nei giorni piovosi nel periodo climatologico 1991-2020 (**figura 5.16**). L'intensità di pioggia giornaliera (SDII, *Simple Daily Intensity Index*) rappresenta la precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno, considerando piovosi i giorni con precipitazione maggiore o uguale a 1 mm (**figura 5.17**). Complessivamente, dall'analisi delle serie temporali di questi indici, sulla base delle stazioni disponibili, non emergono segnali netti di variazioni della frequenza e della intensità delle precipitazioni nel medio-lungo periodo. Per il 2021 l'analisi mette in evidenza valori di anomalia inferiori alla media per tutti e tre gli indici al Nord e al Centro.

Tabella 2: Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2021, stimati con il modello di regressione lineare semplice. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi al livello del 5%.

Precipitazione cumulata	Trend (%/10 anni)
Annuale	
Italia	(+0.3 ± 0.9)
Nord	(+0.2 ± 1.2)
Centro	(-1.3 ± 1.0)
Sud e Isole	(-0.1 ± 1.0)
Stagionale (Italia)	
Inverno	(-2.5 ± 2.4)
Primavera	(+0.2 ± 1.5)
Estate	(-2.1 ± 2.3)
Autunno	(+1.3 ± 1.5)

Figura 5.1: Precipitazione cumulata 2021.

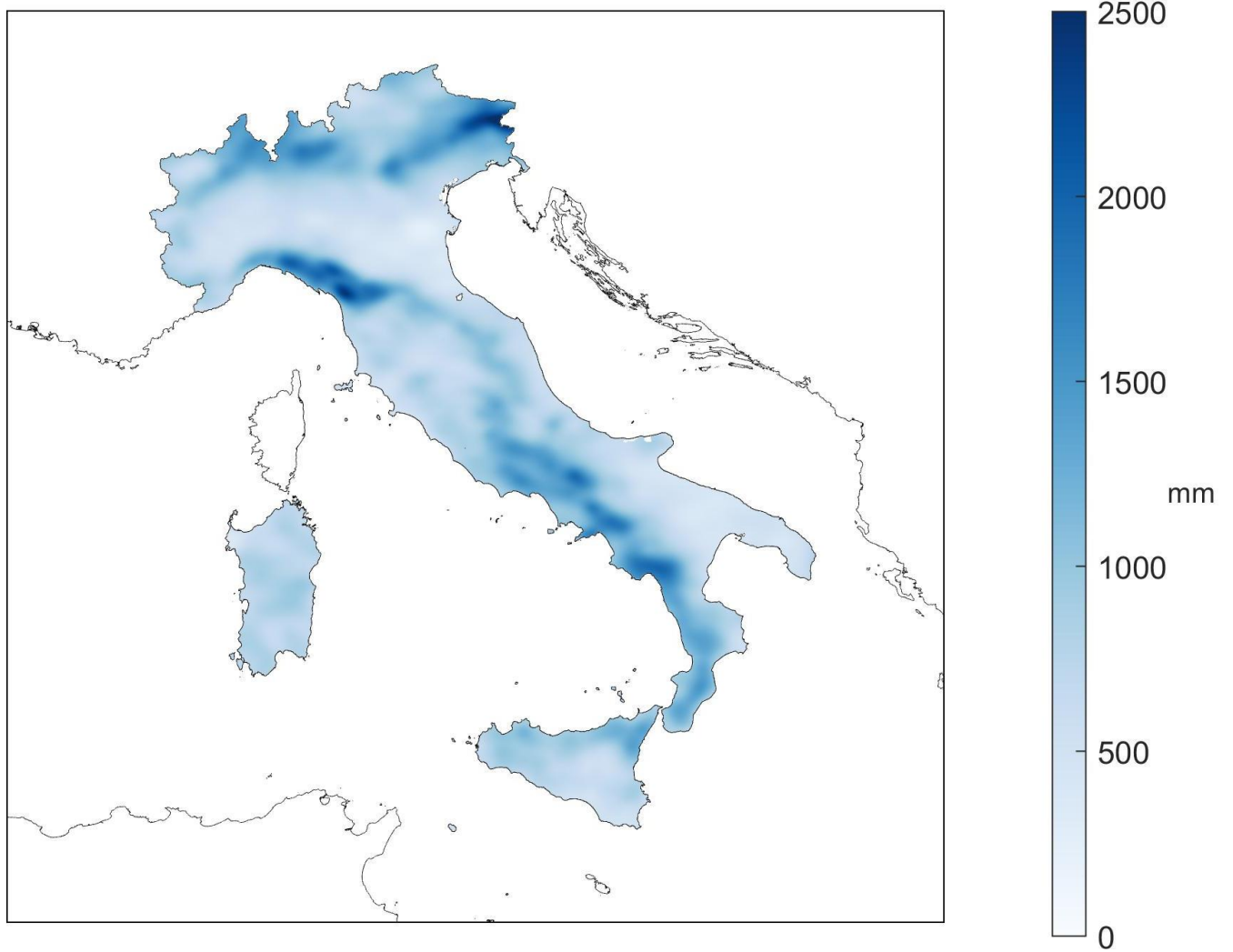


Figura 5.2: Anomalia media mensile ed annuale 2021, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata in Italia, rispetto al valore normale 1991-2020.

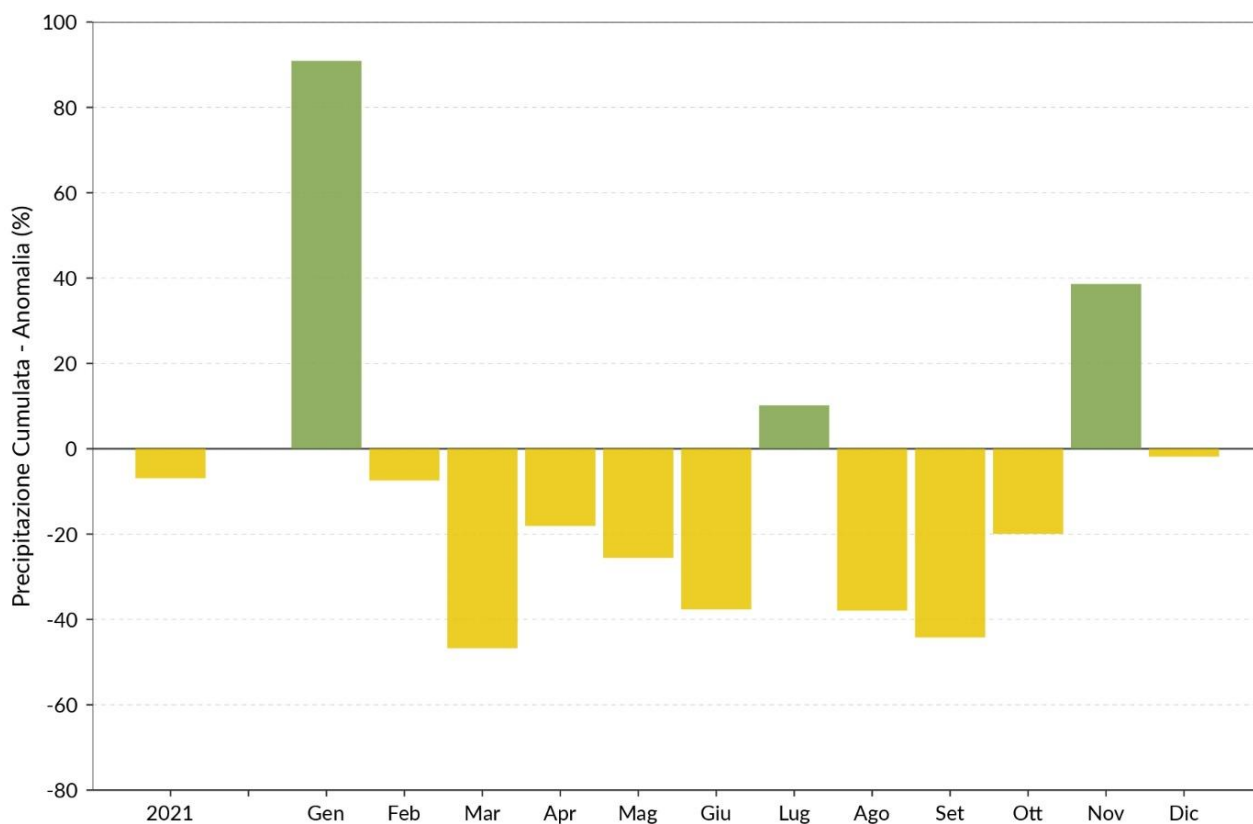


Figura 5.3: Anomalia media mensile ed annuale 2021, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1991-2020.

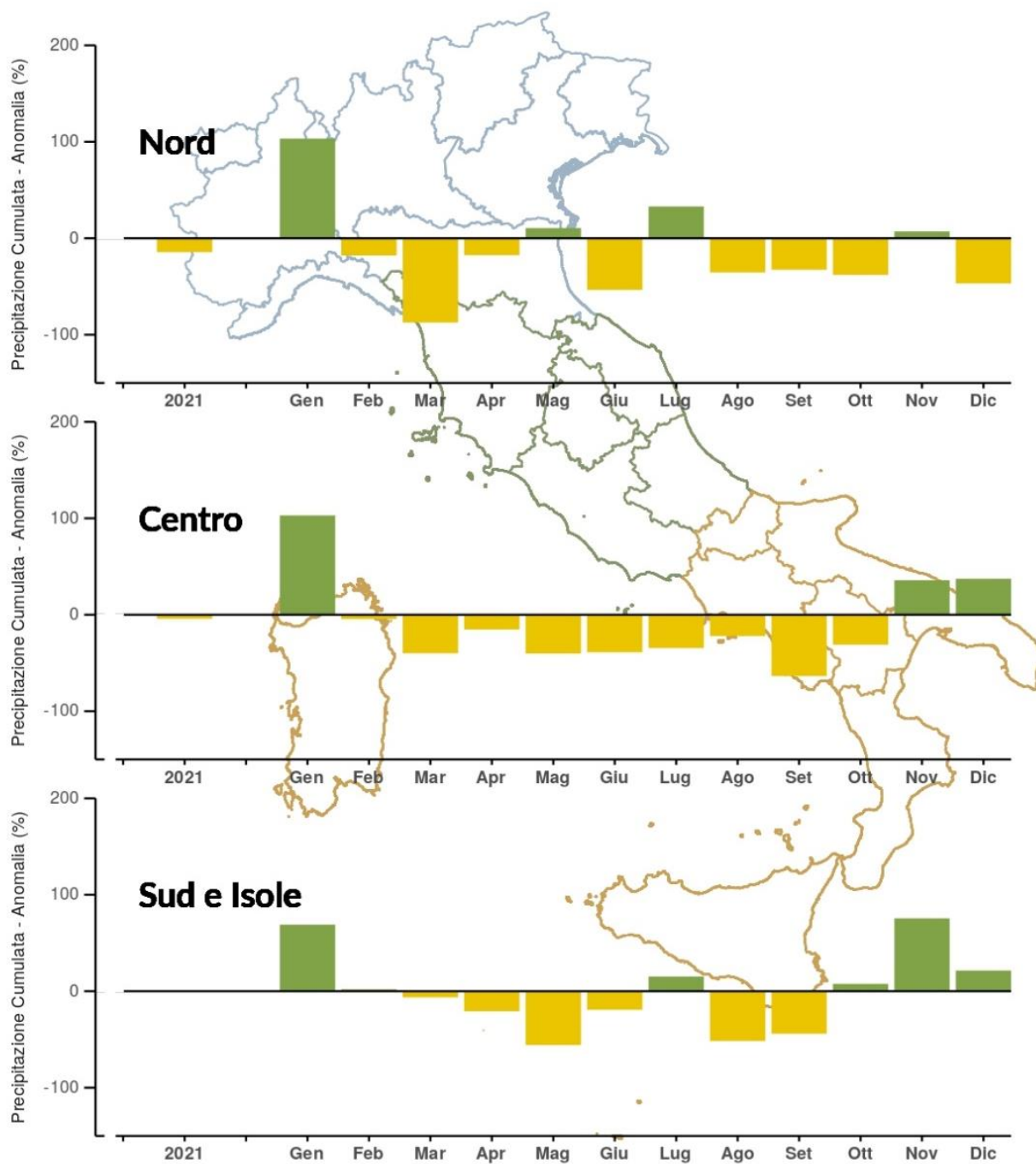


Figura 5.4: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2021, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020.

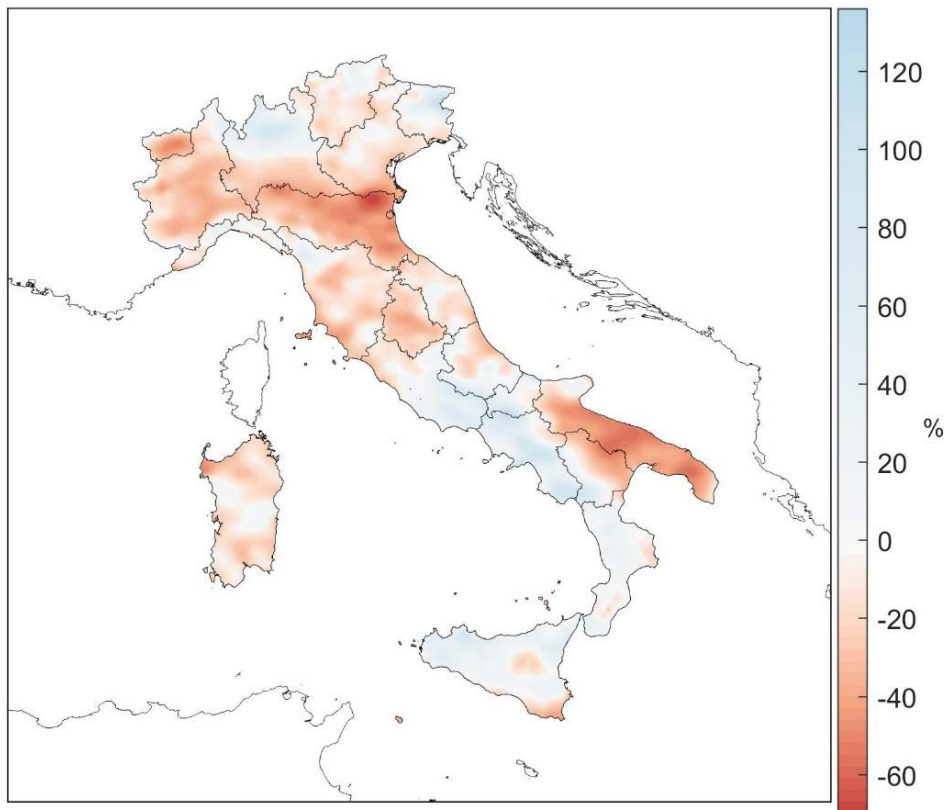


Figura 5.5: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2021, espressa in mm, rispetto al valore normale 1991-2020.

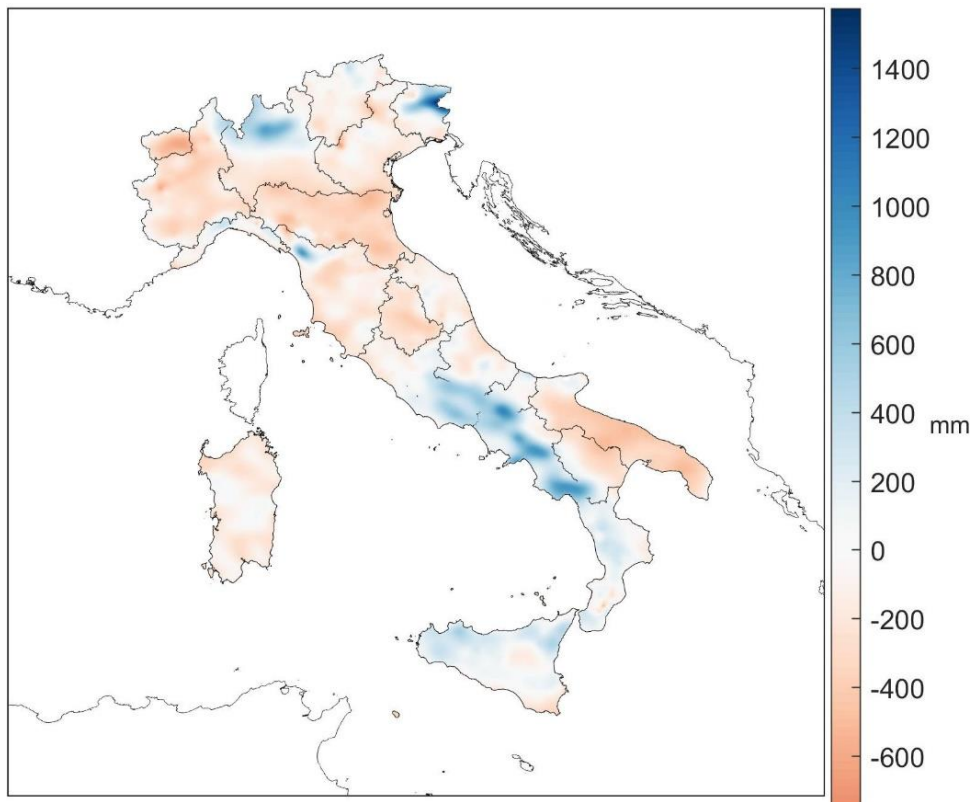


Figura 5.6a: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (gennaio-giugno) 2021, espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

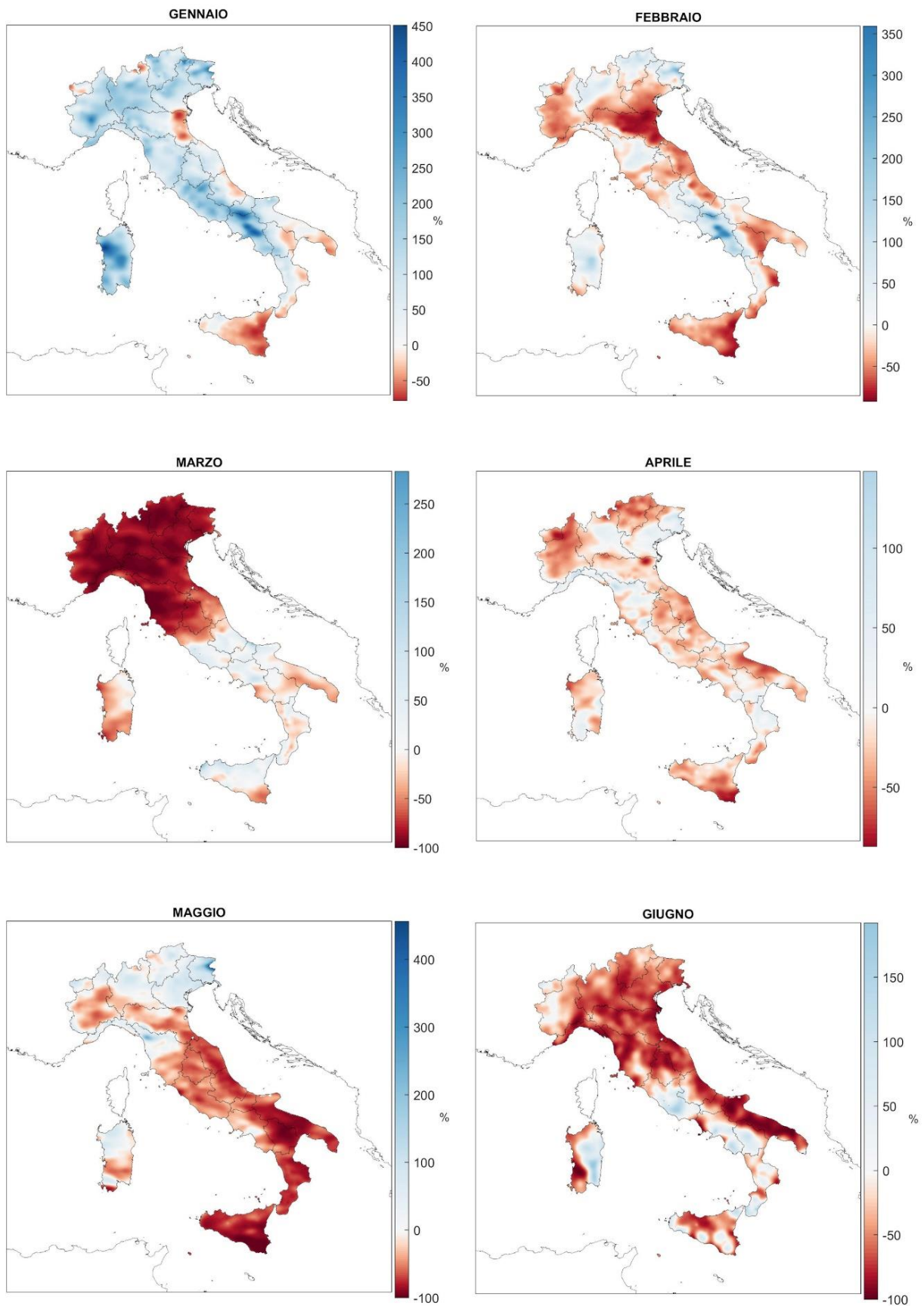


Figura 5.6b: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (luglio-dicembre) 2021, espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

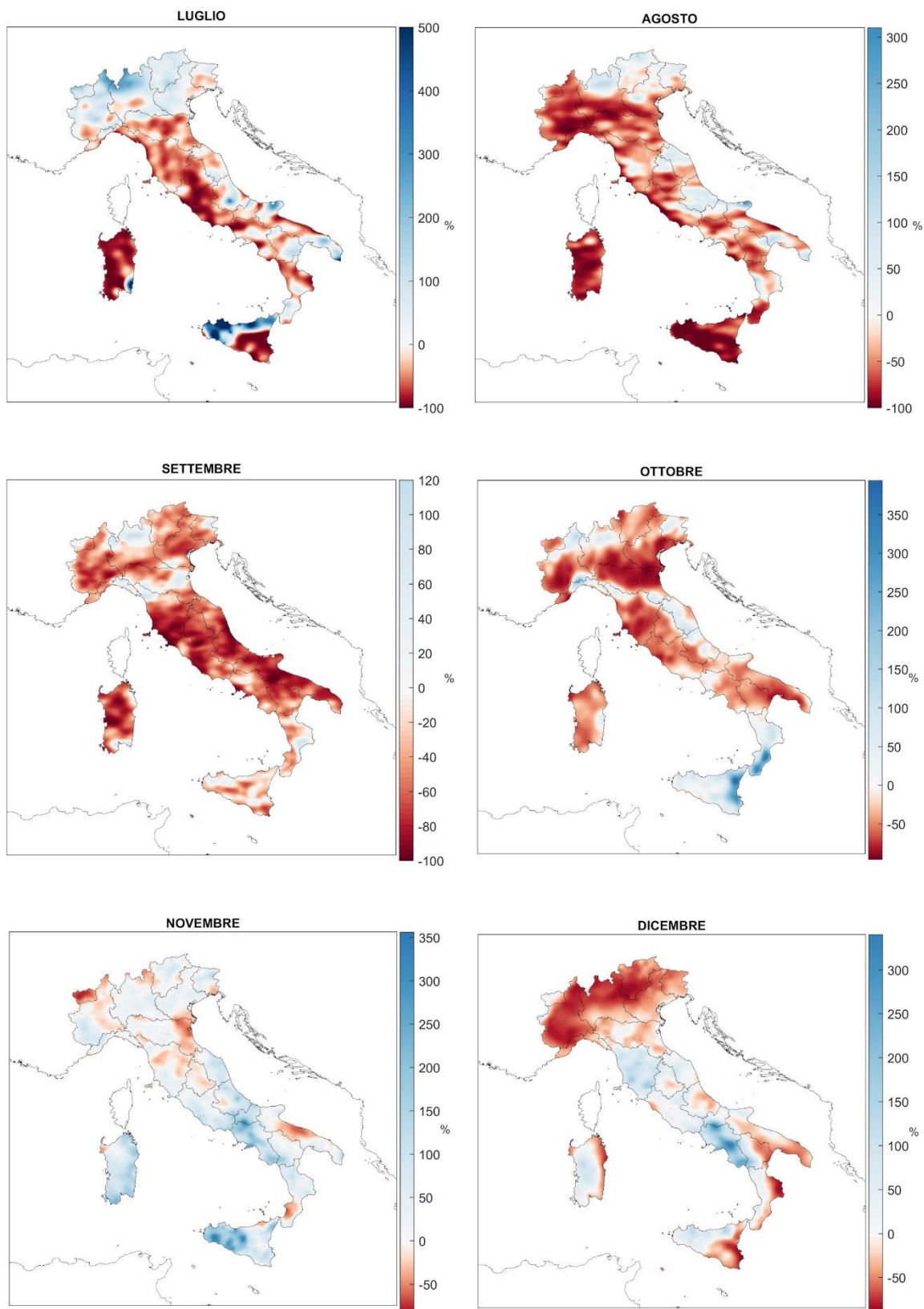


Figura 5.7: Serie delle anomalie medie in Italia, espresse in valori percentuali, della precipitazione cumulata annuale rispetto al valore normale 1991-2020.

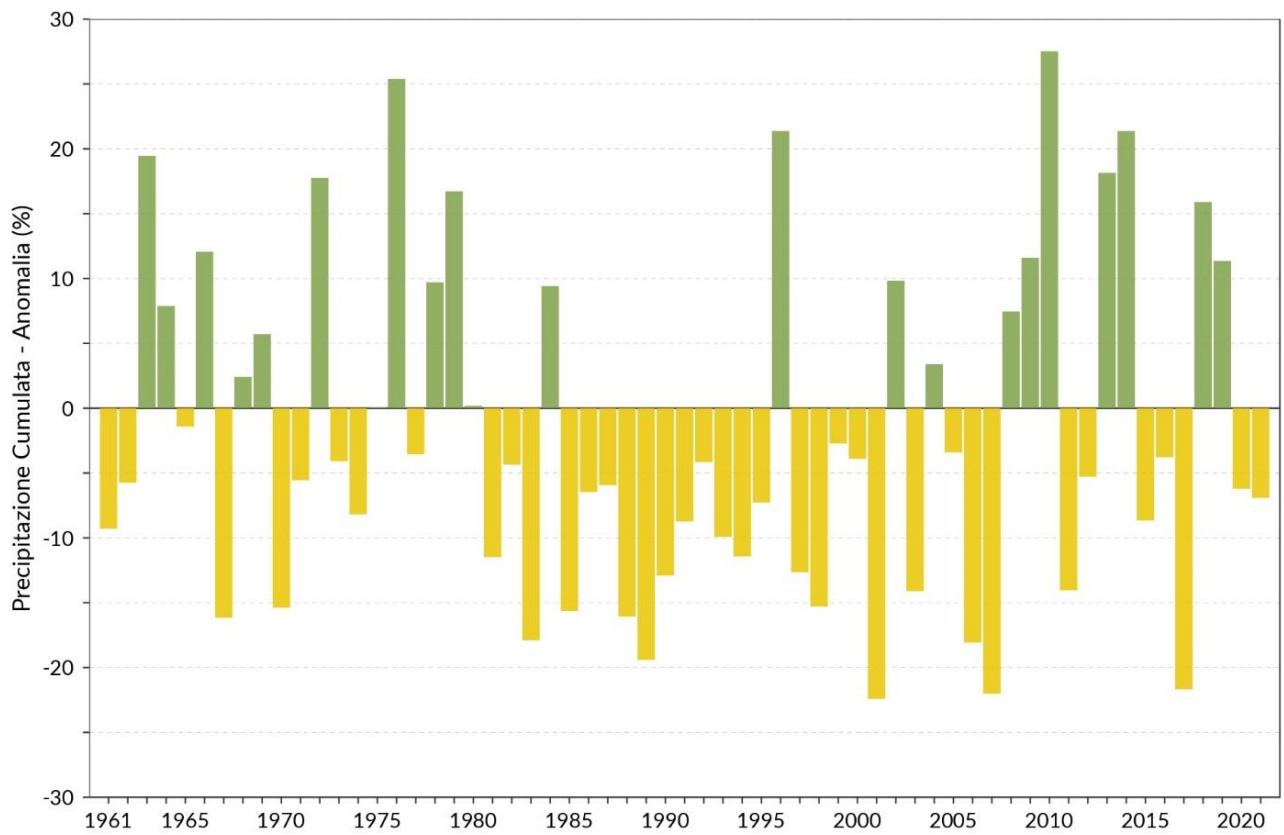


Figura 5.8: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, espresse in valori percentuali, della precipitazione cumulata annuale rispetto al valore normale 1991-2020.

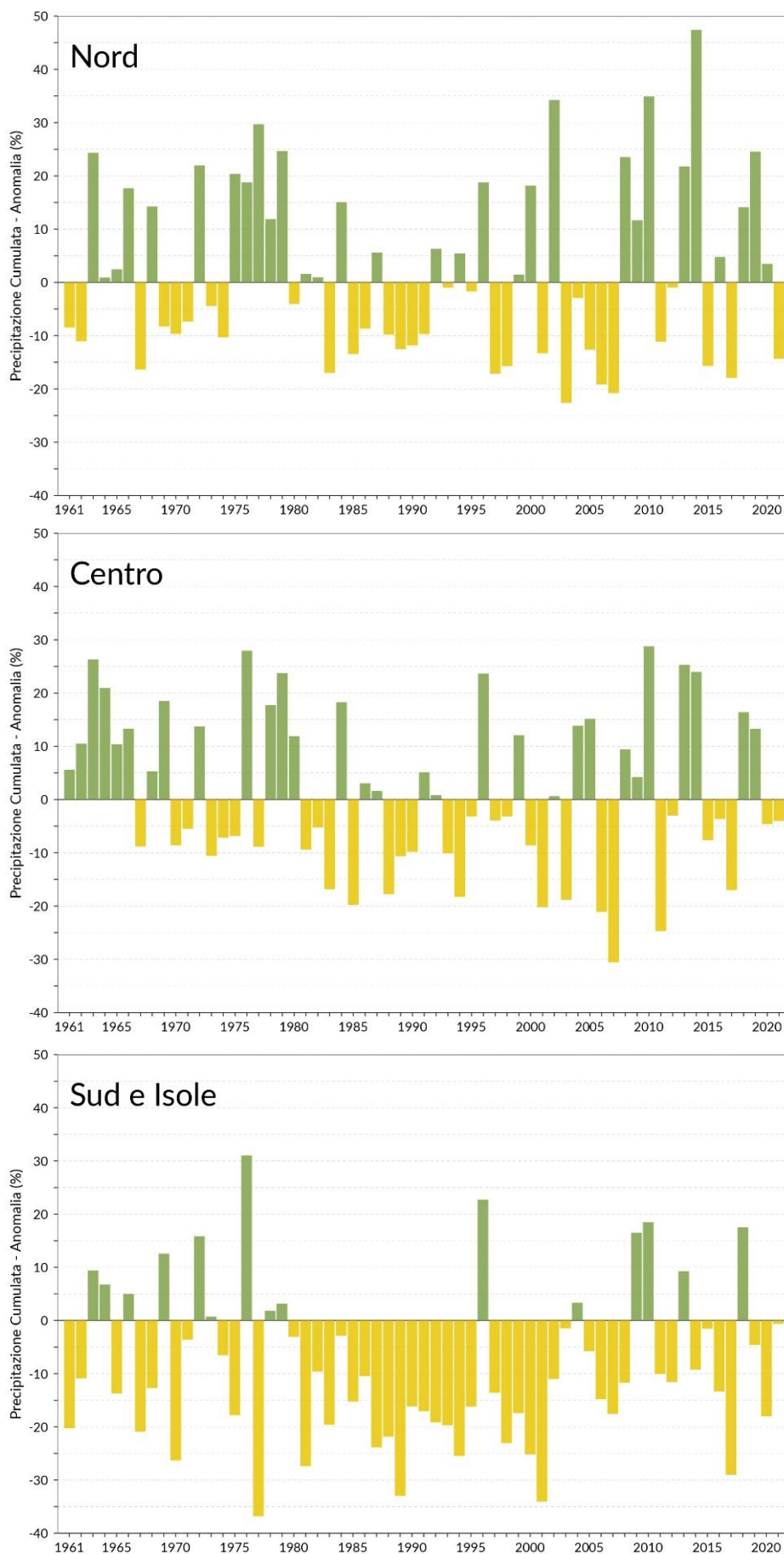


Figura 5.9a: Serie delle anomalie medie, espresse in valori percentuali, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (inverno e primavera). Per l'inverno, sono stati aggregati i mesi di gennaio e febbraio il mese di dicembre dell'anno precedente.

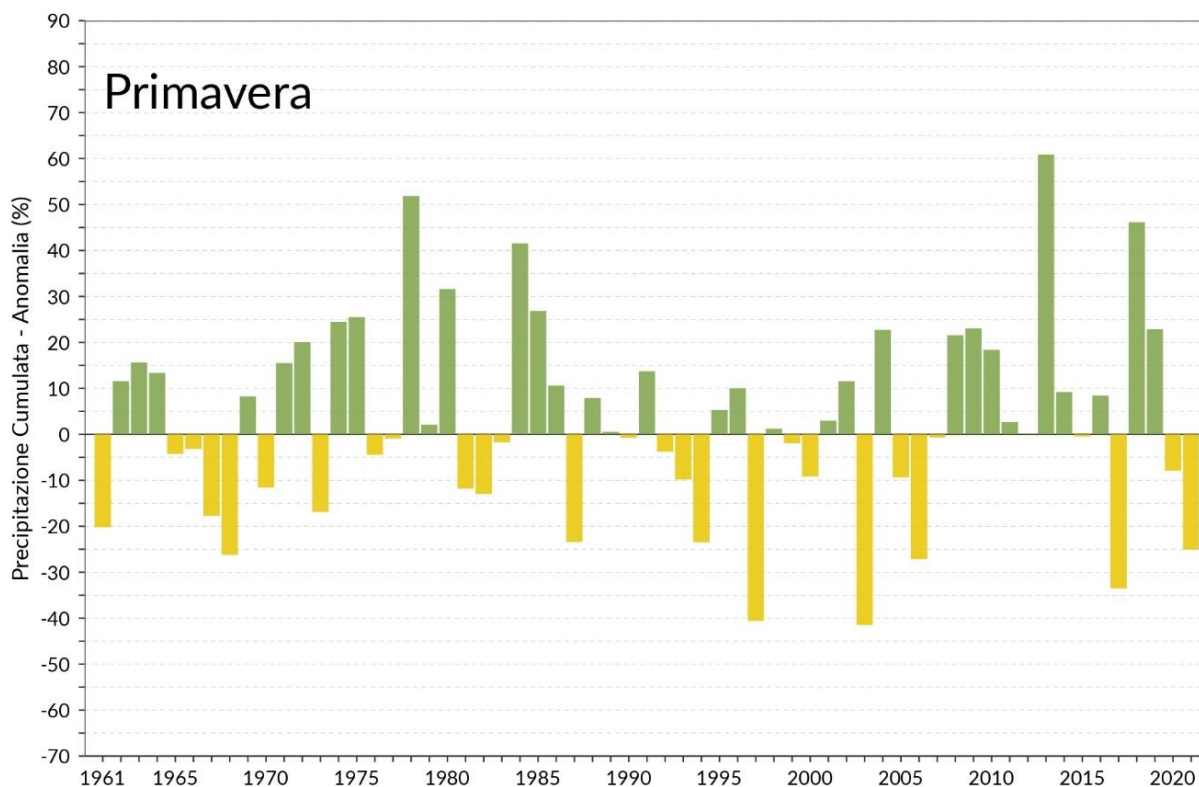
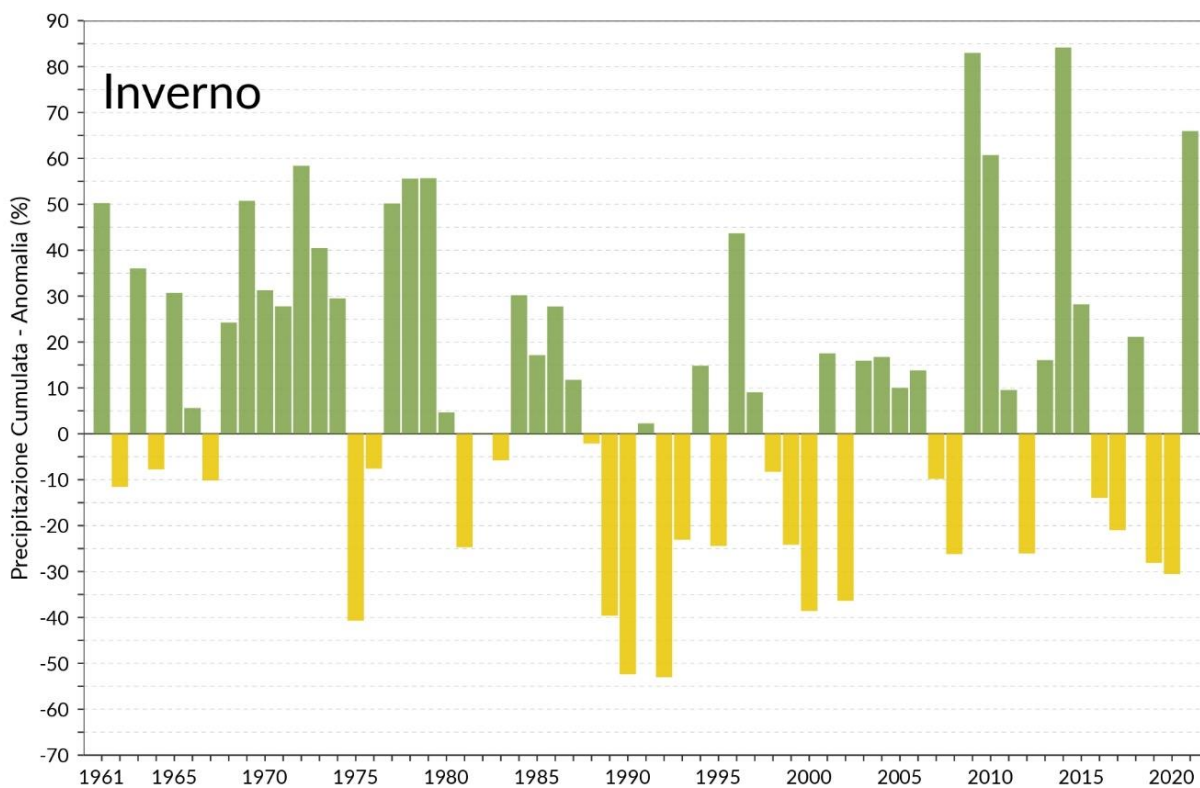


Figura 5.9b: Serie delle anomalie medie, espresse in valori percentuali, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (estate e autunno).

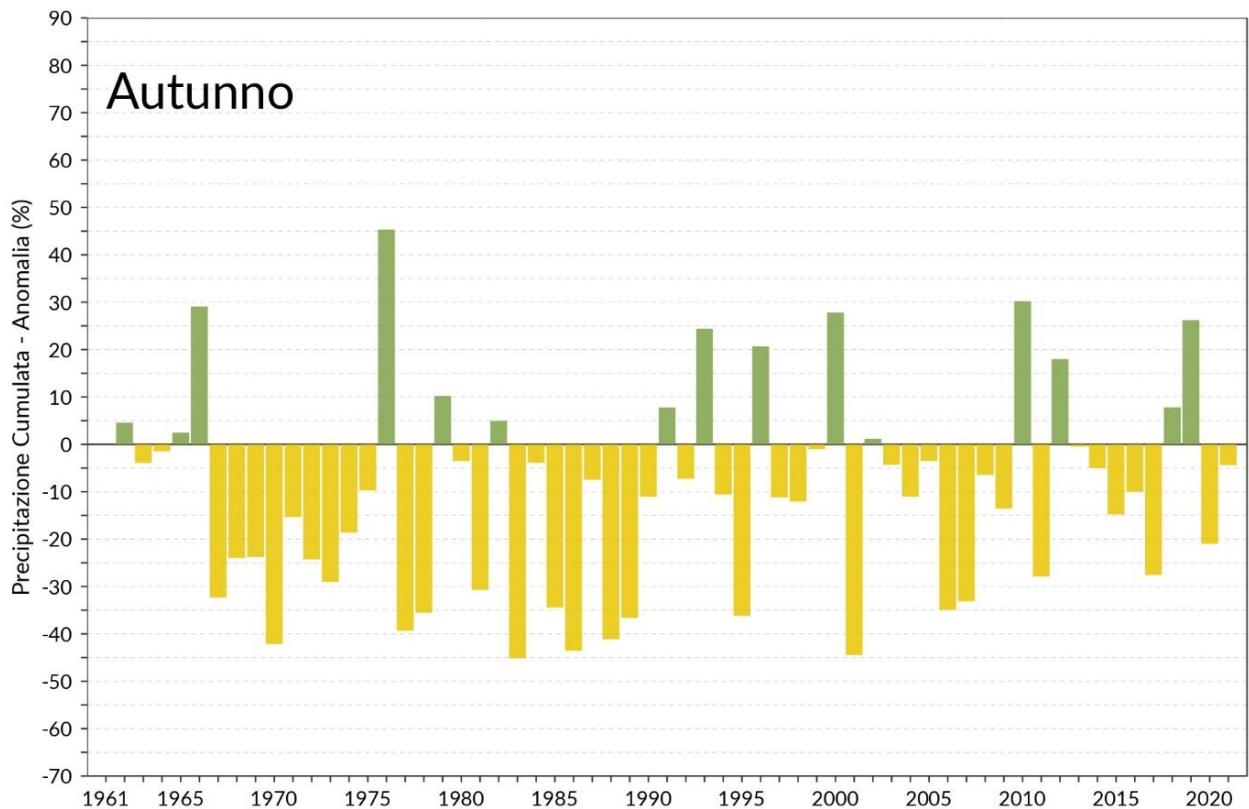
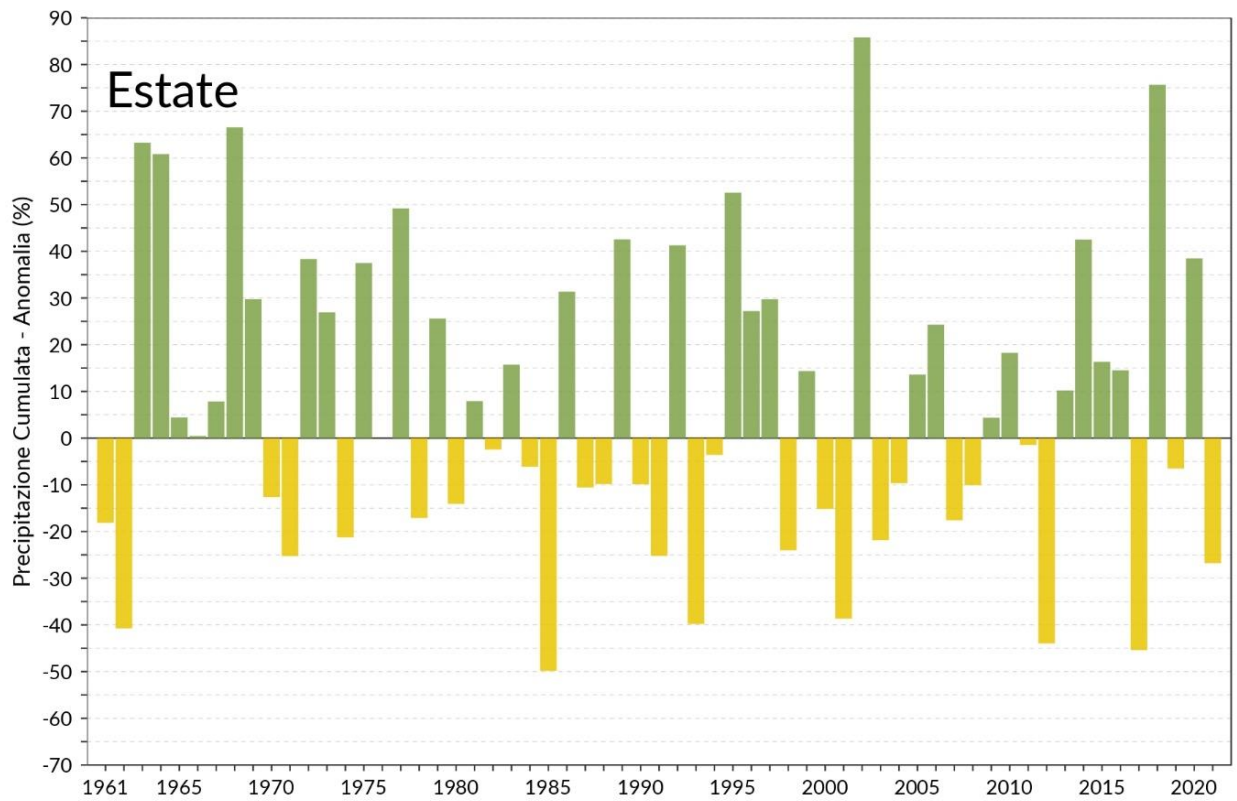


Figura 5.10: Precipitazione massima giornaliera 2021.

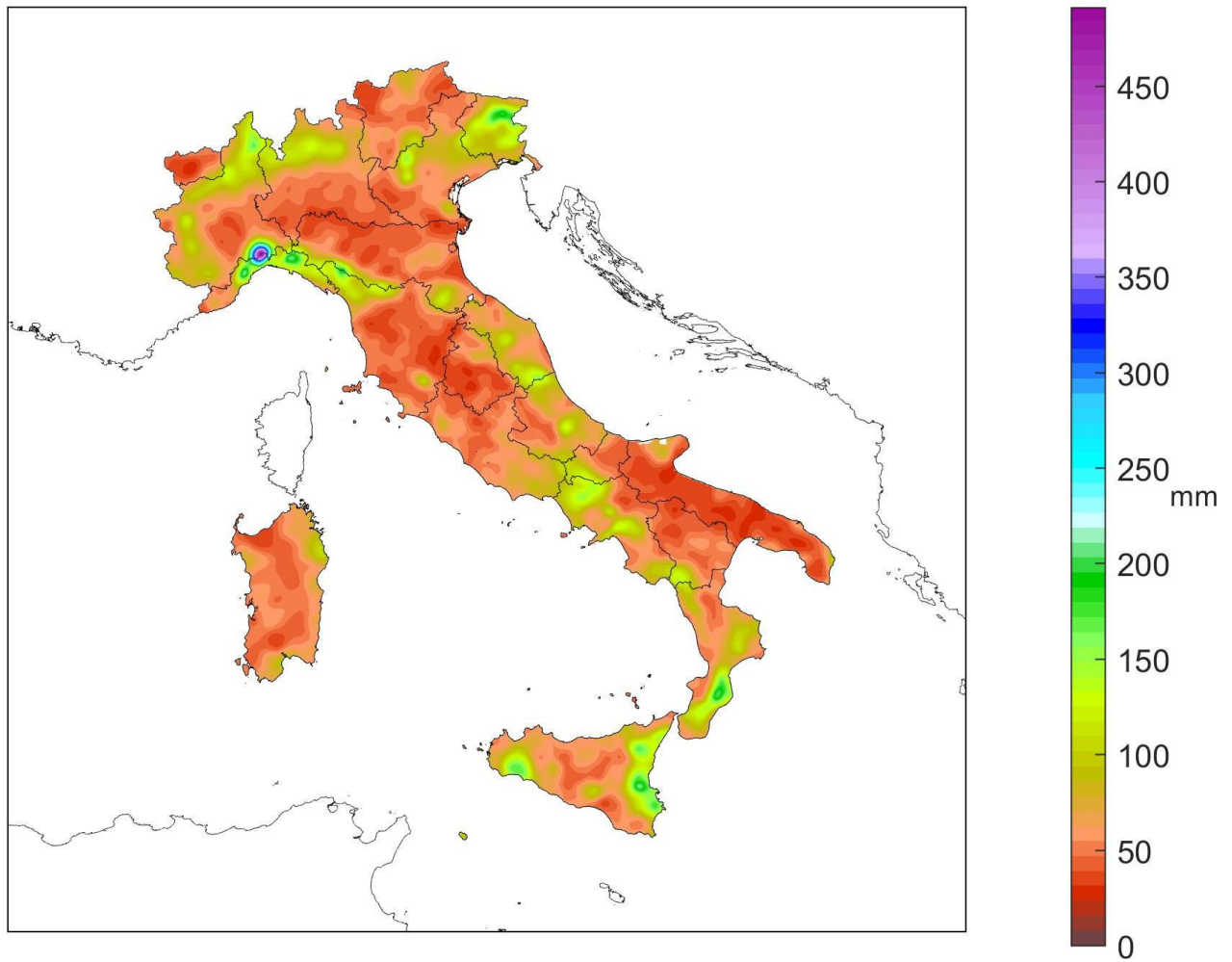


Figura 5.11: Giorni asciutti nel 2021.

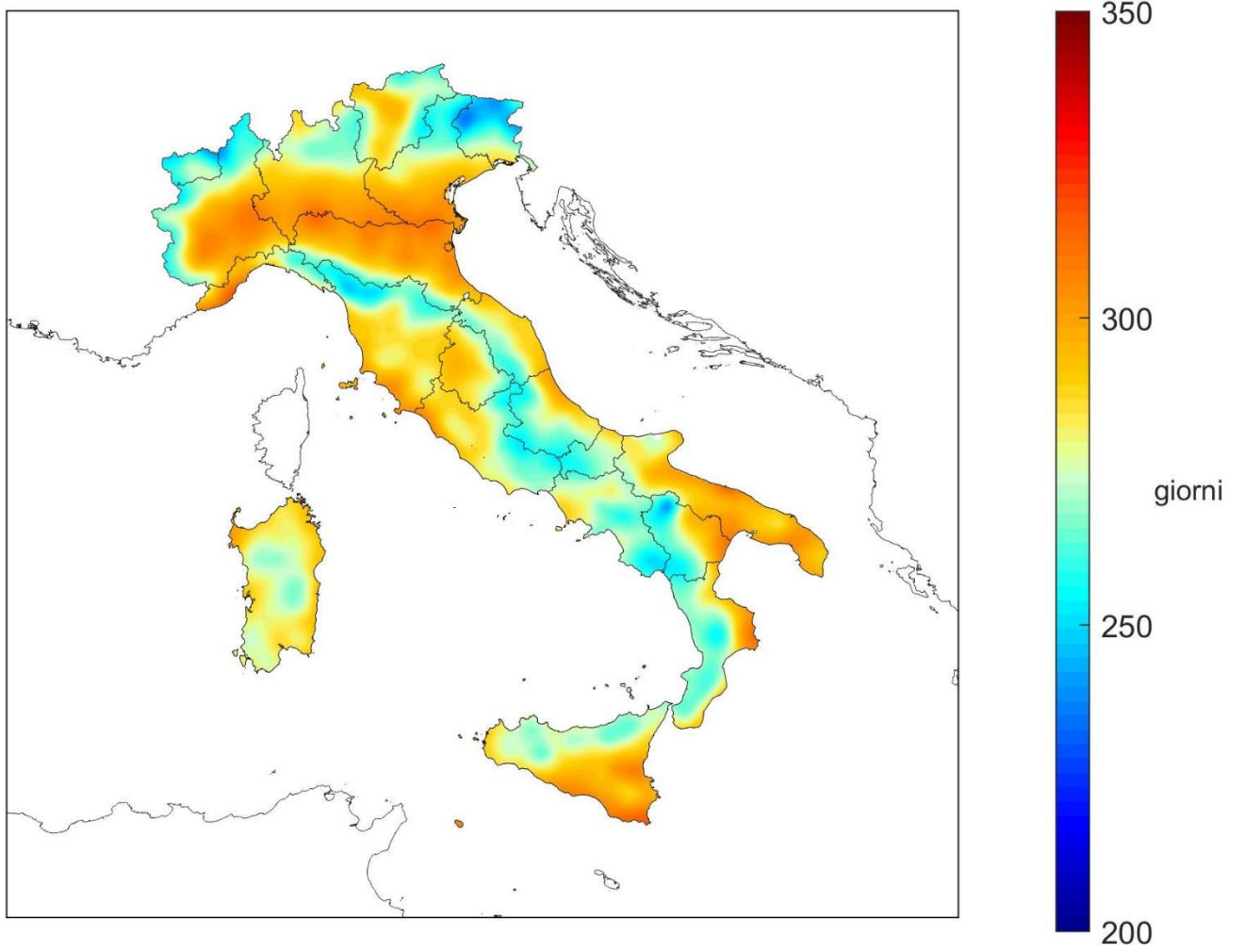
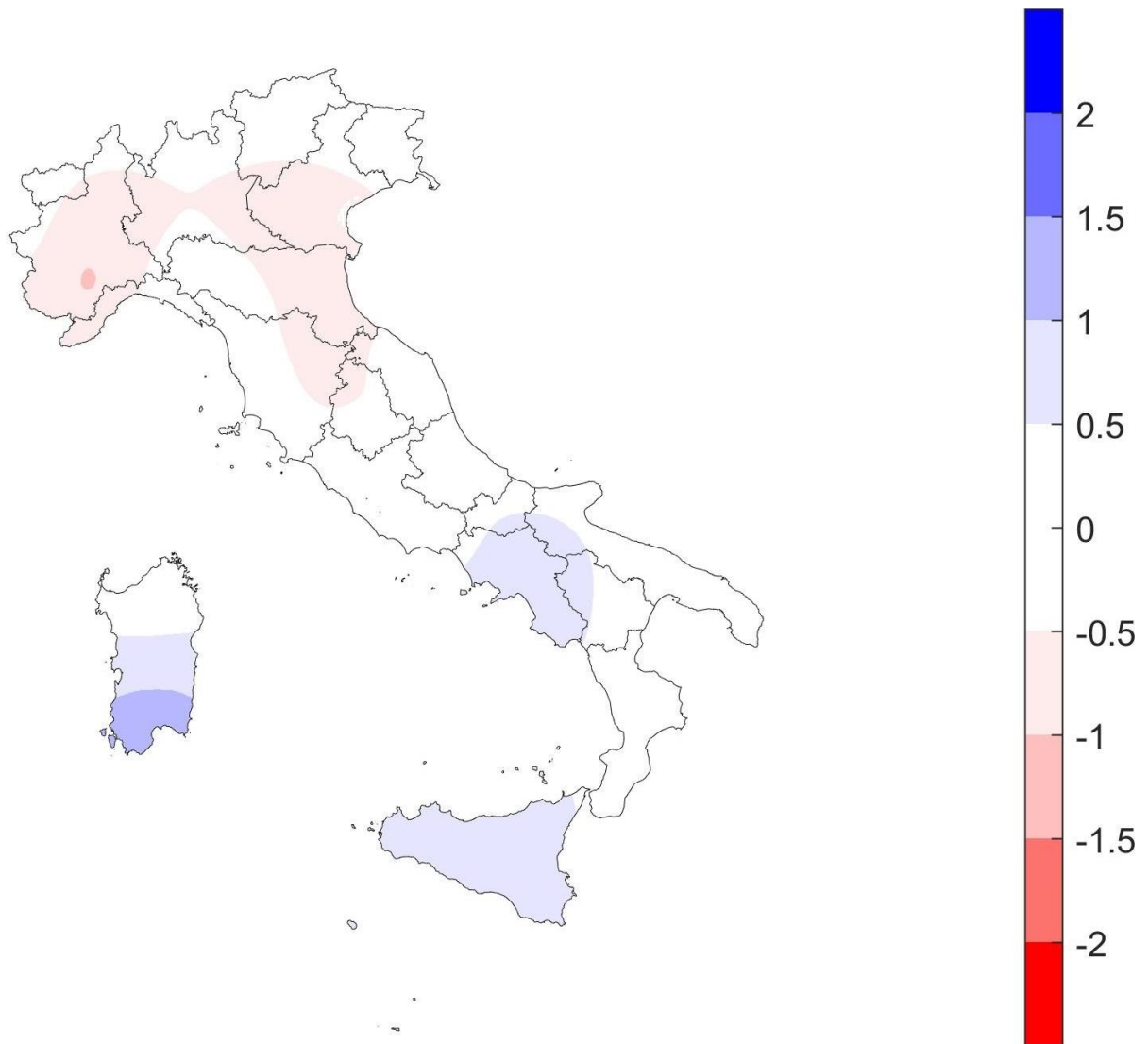
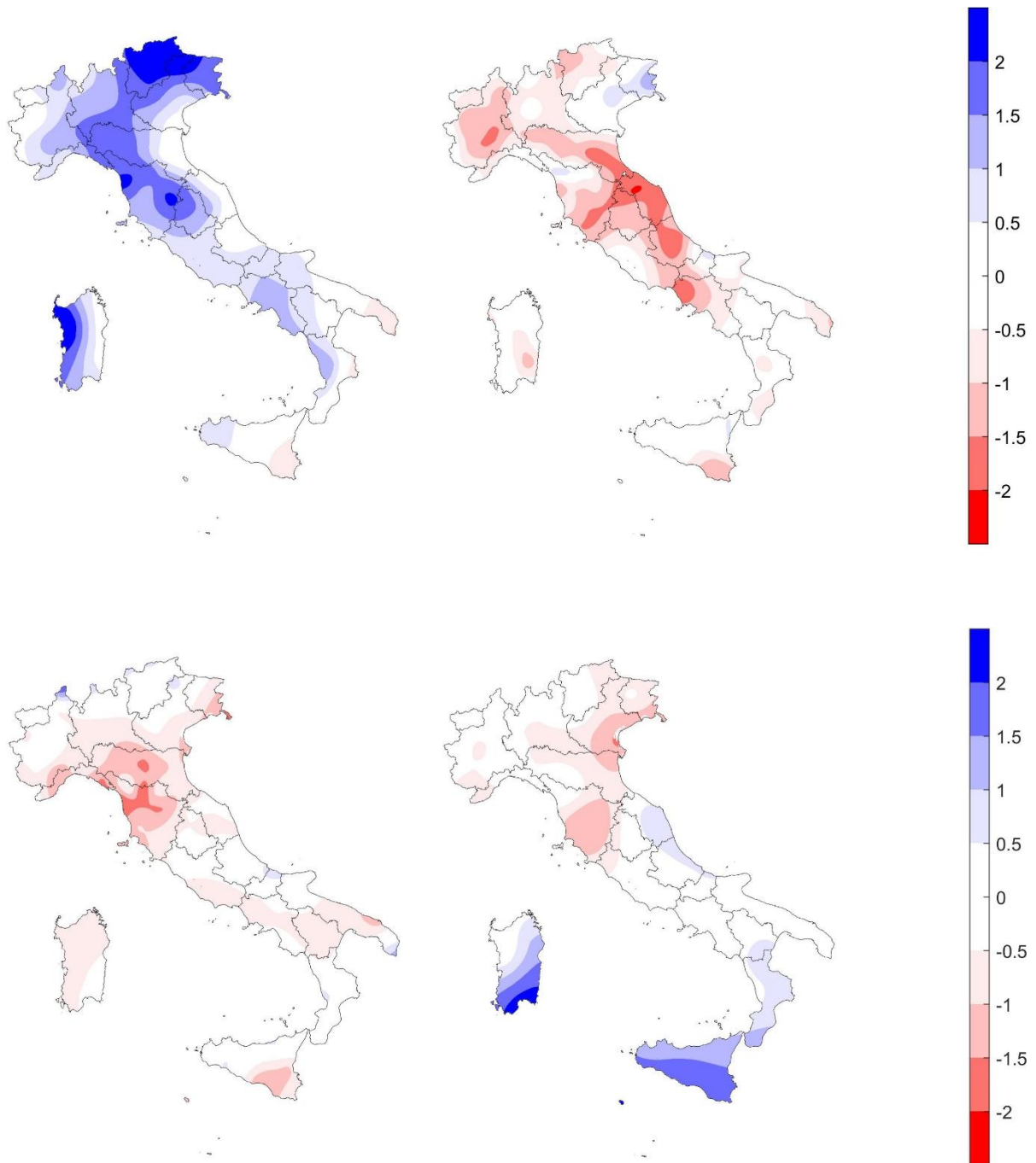


Figura 5.12: Indice di siccità SPI annuale (a 12 mesi) nel 2021.



> 2	estremamente umido
da 1.5 a 1.99	molto umido
da 1 a 1.49	moderatamente umido
da -0.99 a 0.99	nella norma
da -1.49 a -1	moderatamente secco
da -1.99 a -1.5	molto secco
< -2	estremamente secco

Figura 5.13: Indici di siccità SPI stagionali (a 3 mesi) nel 2021 (in alto, da sinistra, inverno e primavera; in basso, da sinistra, estate ed autunno).



> 2	estremamente umido
da 1.5 a 1.99	molto umido
da 1 a 1.49	moderatamente umido
da -0.99 a 0.99	nella norma
da -1.49 a -1	moderatamente secco
da -1.99 a -1.5	molto secco
< -2	estremamente secco

Figura 5.14: Indice di siccità (Consecutive Dry Days - CDD) nel 2021.

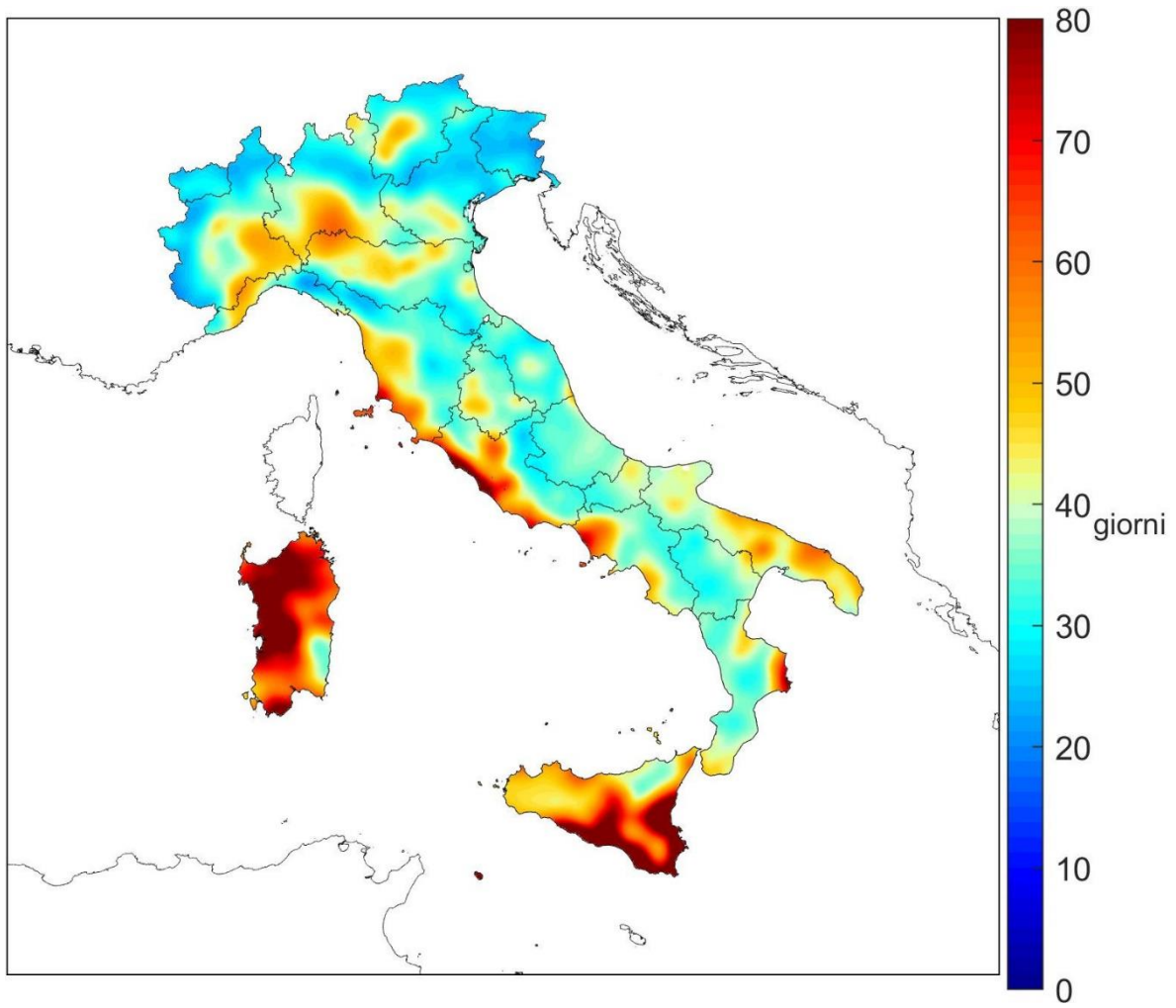


Figura 5.15: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore od uguale a 10 mm (R10mm), rispetto al valore normale 1991-2020.

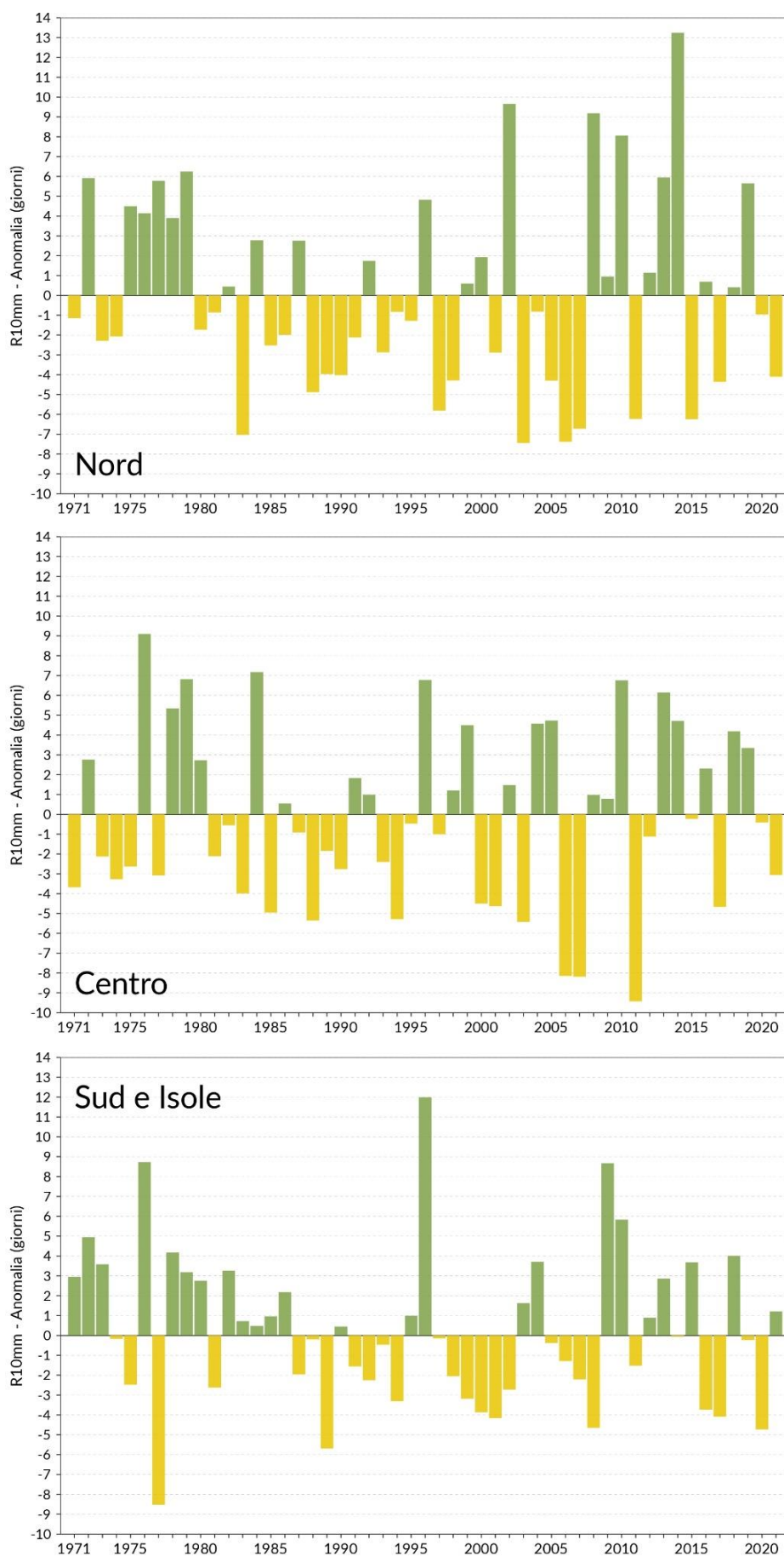


Figura 5.16: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p), rispetto al valore normale 1991-2020.

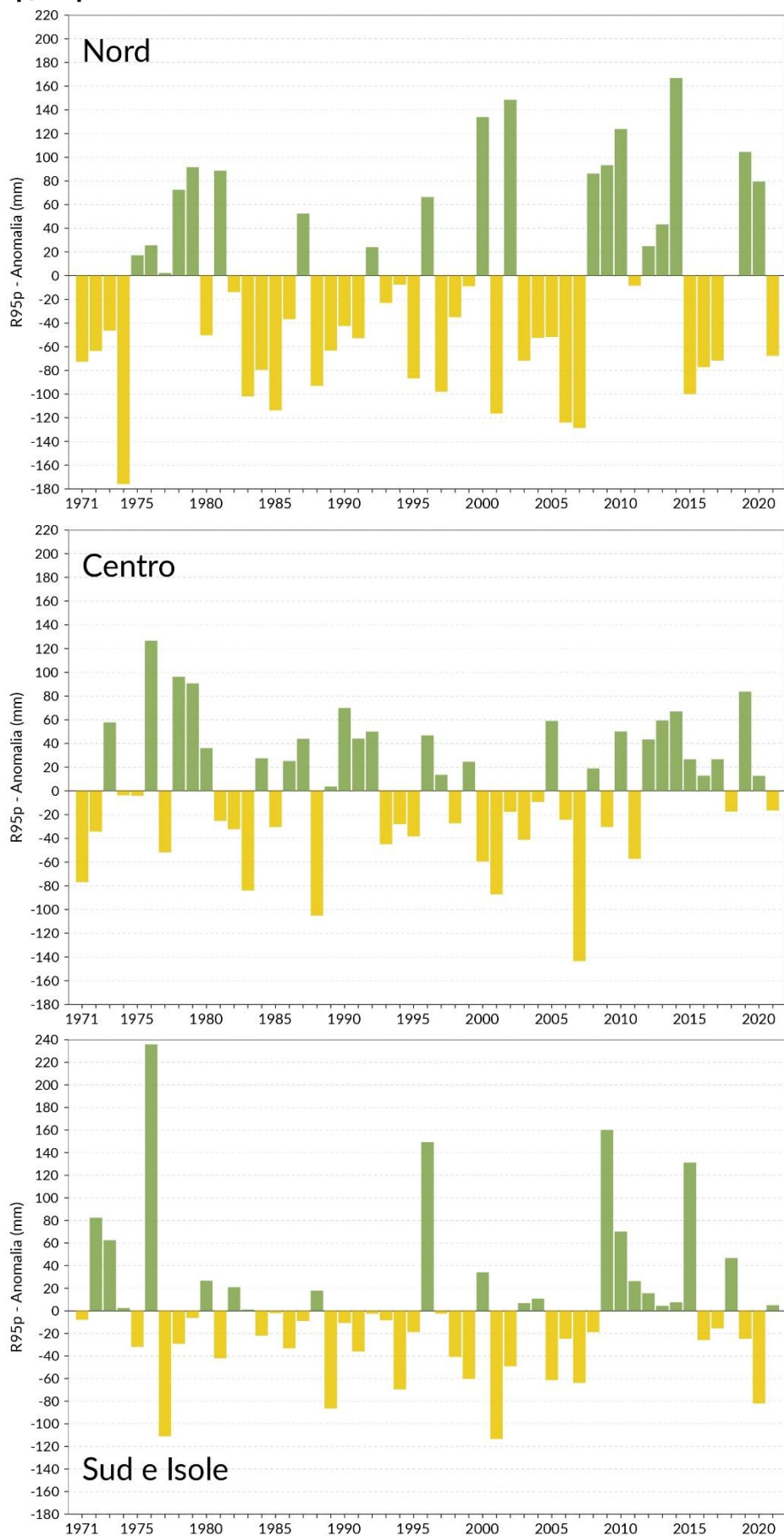
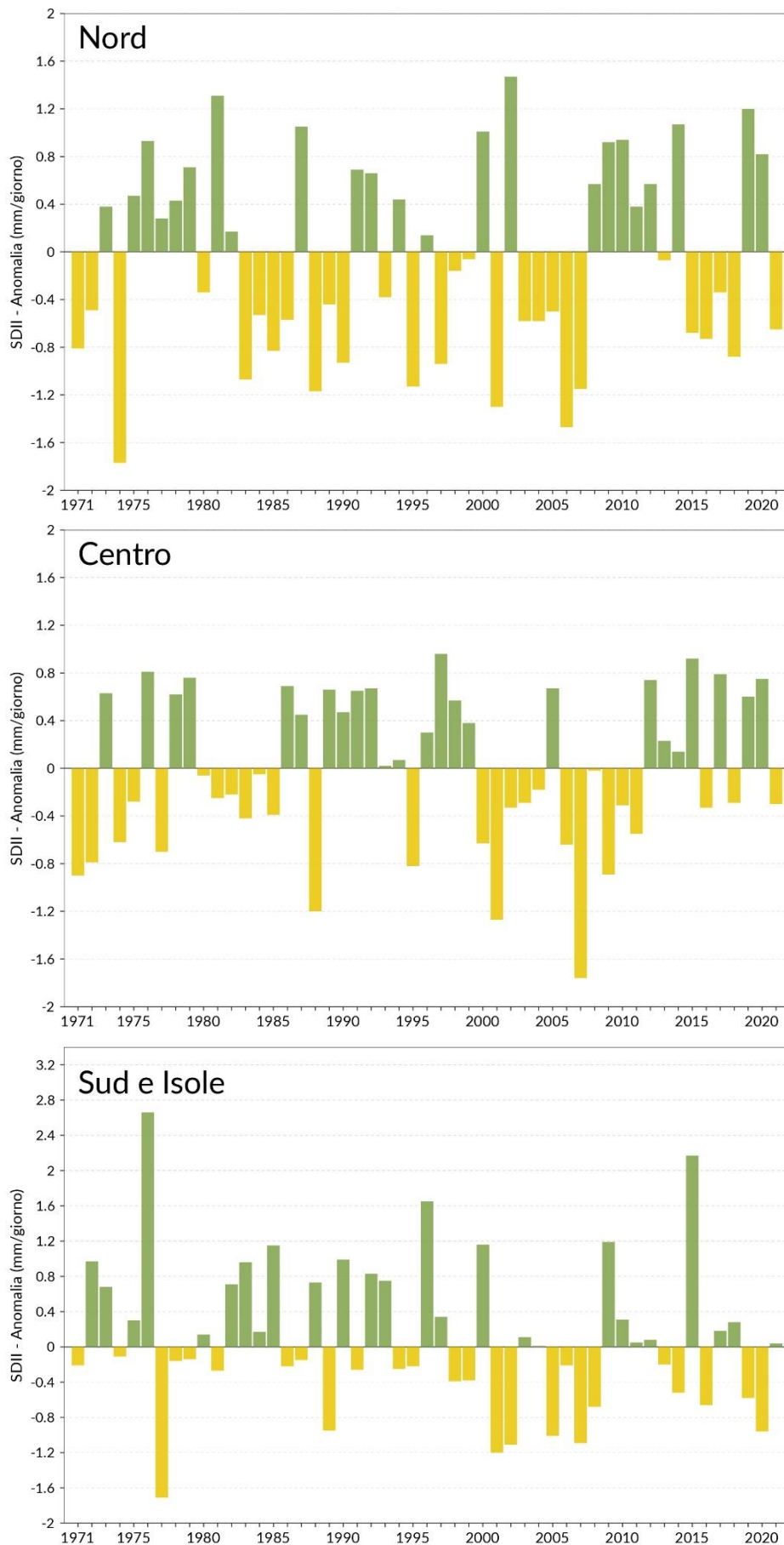


Figura 5.17: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, dell'intensità di pioggia giornaliera (SDII), rispetto al valore normale 1991-2020.



6 Umidità relativa

I valori dell'umidità relativa media annuale del 2021 sono compresi tra 57% e 96% circa (**figura 6.1**).

L'umidità relativa annuale è stata ovunque inferiore alla media climatologica 1991-2020 (**figura 6.2**), con il valore di anomalia più basso registrato al Centro e al Sud e Isole (-2.2%), seguito dal Nord (-1.9%).

Quasi tutti i mesi del 2021 sono stati ovunque più secchi della norma. Fanno eccezione gennaio, febbraio e luglio al Nord (fino a +2.9%), gennaio, febbraio, maggio, novembre e dicembre al Centro (fino a +2.1%), e novembre al Sud e Isole (con +3.5%); i picchi di anomalia negativa dell'umidità relativa si sono registrati al Nord a ottobre (-6.3%), al Centro a marzo (-5.9%), al Sud e Isole a giugno (-6.5%).

Nella **figura 6.3** viene rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 42 stazioni che soddisfano i requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2021. Il valore medio dell'anomalia di umidità relativa (-2.5%) colloca il 2021 al quarto posto tra gli anni più secchi a partire dal 1961, a conferma di un anno più secco della media

Figura 6.1: Umidità relativa media 2021.

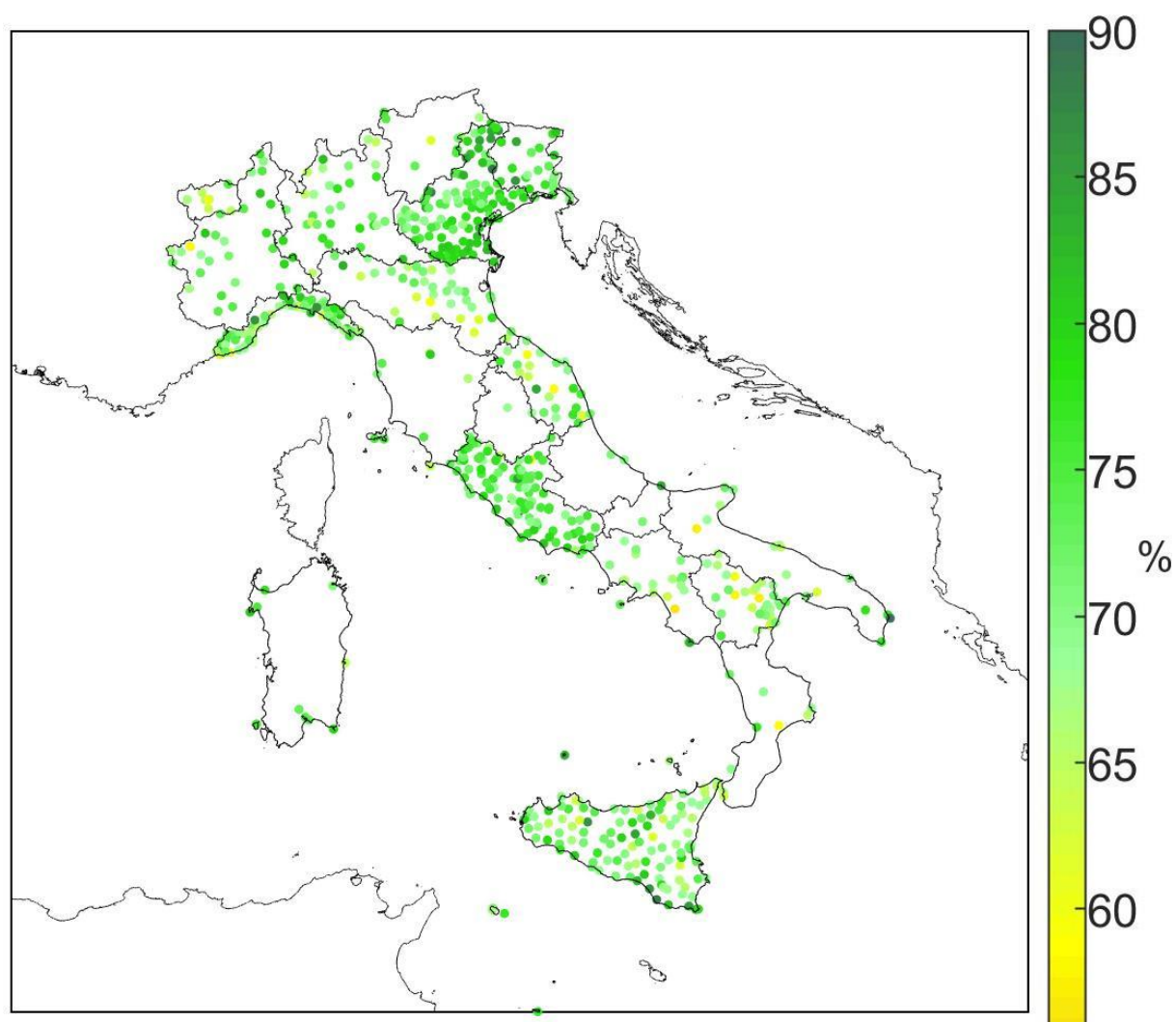


Figura 6.2: Anomalia media 2021 (annuale e mensile) dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1991–2020.

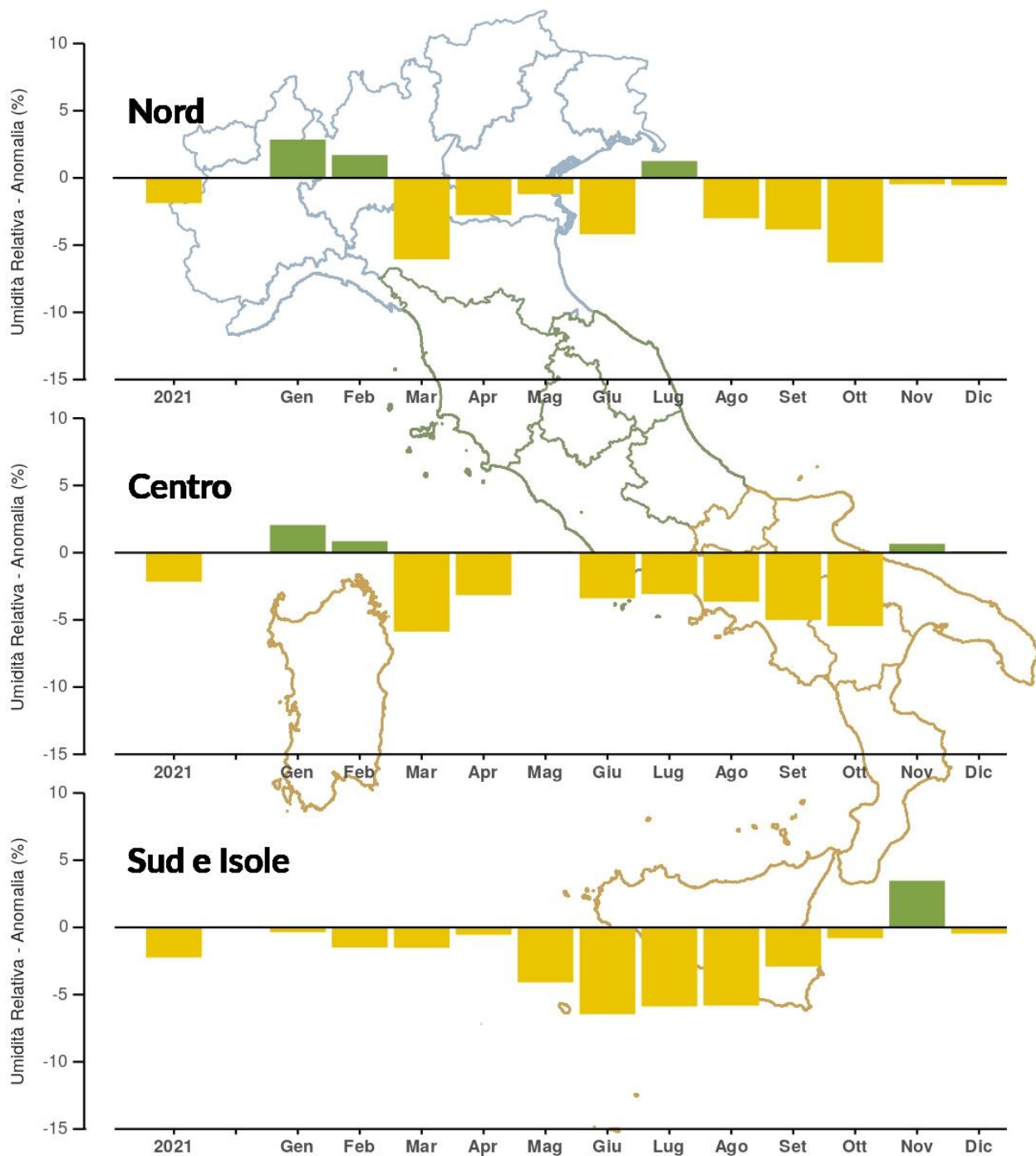
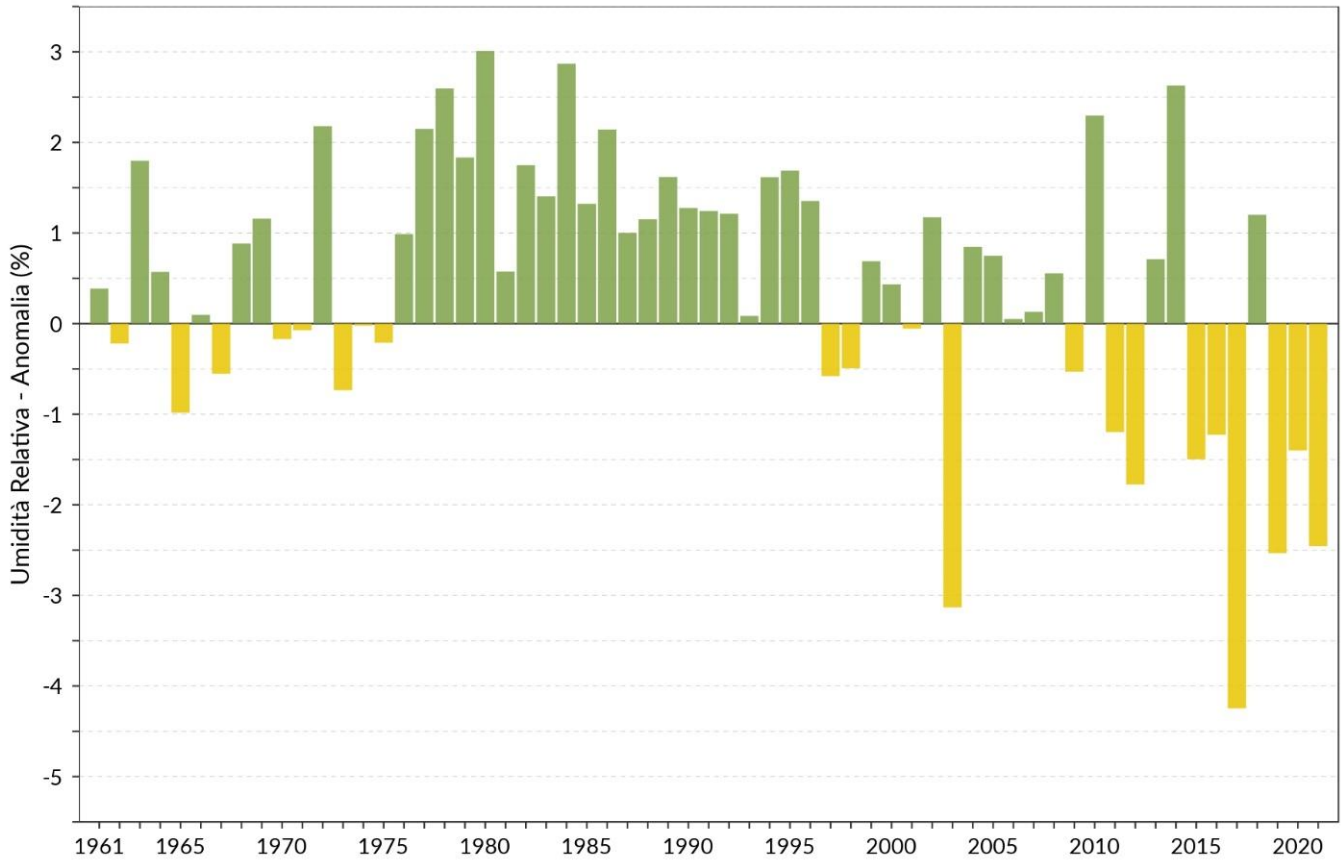


Figura 6.3: Serie delle anomalie medie annuali in Italia dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1991–2020.



Bibliografia

Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M. Vazquez-Aguirre J.L., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109. doi:10.1029/2005JD006290.

Baffo F., Suatoni B. e Desiato F., 2005, Indicatori climatici: i controlli di validità e la ricerca dei valori errati, *Bollettino Geofisico*, Anno XXVIII, N. 1-2.

Baffo F., Desiato F., Lena F., Suatoni B., Toreti A., Bider M., Cacciamani C. e Tinarelli G., 2005, SCIA - Criteri di calcolo degli indicatori meteo climatici, www.scia.isprambiente.it - Documentazione.

Cheng L., Trenberth K.E., Fasullo J., Boyer T., Abraham j., Zhu J., 2017, Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advanced* 3. doi: 10.1126/sciadv.1601545

Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2006, Un sistema per tutti – climatologia: i dati italiani. *Sapere*, Anno 72, n. 2, 62-69.

Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2007, SCIA: a system for a better knowledge of the Italian climate, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 48, n. 3, 351-358.

Desiato F., 2007, SCIA, un sistema nazionale unico per i dati climatologici, *ARPA Rivista*, N. 1, gennaio-febbraio 2007.

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Toreti A., 2011, Climate indicators for Italy: calculation and dissemination, *Advanced Science Research*, 6, 147-150. doi: 10.5194/asr-6-147-2011.

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Piervitali E., 2012, Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 32/2012.

Desiato F., Fioravanti G., Piervitali E., 2013, Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura in Italia, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 37/2013.

Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2015, Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 119, No 1-2 2015, doi:10.1007/s00704-014-1362-1.

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

Fioravanti G. e Piervitali E., 2018, Variazioni della temperatura in Italia: estensione della base dati e aggiornamento della metodologia di calcolo, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 81/2018.

Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2019, A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy, *International Journal of Climatology*, 39: 5635– 5654. doi: 10.1002/joc.6177.

Fioravanti G., Lena F., Frascchetti P., Perconti W. e Piervitali E., 2022, I normali climatici 1991-2020 di temperatura e precipitazione in Italia, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 99/2022.

Kendon M., Hollis D., 2014, How are UK rainfall-anomaly statistics calculated and does it matter? *Weather*, 69, 2. DOI: 10.1002/wea.2249

Klein Tank A. M. G. e Können G. P., 2003, Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99, *Journal of Climate*, 16, 3665–3680. doi:10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2.

Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. e Plummer N., 2001, Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.

Sen P. K., 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association.*, 63, 1379–1389. doi:10.2307/2285891.

Smith, T. M. e Reynolds R. W., 2003, Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854–1997), *Journal of Climate*, 16, 1495–1510. doi:10.1175/1520-0442-16.10.1495.

Smith, T. M. e Reynolds R. W., 2004, Improved Extended Reconstruction of SST (1854–1997). *Journal of Climate*, 17, 2466–2477. doi:10.1175/1520-0442(2004)017<2466:IEROS>2.0.CO;2.

Toreti A., Desiato F., 2007, Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, 51–58. doi:10.1007/s00704-006-0289-6.

Toreti A. e Desiato F., 2008, Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *International Journal of Climatology*, 28, 733–745. doi:10.1002/joc.1576.

WMO (World Meteorological Organization), 2011, Guide to Climatological Practices, WMO-No.100, ISBN 978-92-63-10100-6, Ginevra.

WMO (World Meteorological Organization), 2020, Guidelines on homogenization, WMO-No.1245, ISBN 978-92-63-11245-3, Ginevra.

