



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

IL CLIMA IN ITALIA NEL 2023

Delibera del Consiglio SNPA n.250/24 del 02.07.2024





IL CLIMA IN ITALIA NEL 2023

Delibera del Consiglio SNPA n.250/24 del 02.07.2024

REPORT AMBIENTALI | **42** 2024

Il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della legge 28 giugno 2016, n. 132 di "Istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente e disciplina dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale" (ISPRA). Il SNPA è composto dall'ISPRA, ente pubblico nazionale di ricerca che ne coordina le attività, e dalle agenzie per la protezione dell'ambiente delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano. Attraverso la cooperazione a rete, il Sistema lavora per raggiungere prestazioni tecniche ambientali uniformi sull'intero territorio nazionale, a vantaggio della tutela dell'ambiente e a beneficio della popolazione, dell'attività delle imprese e del sistema pubblico in generale. Le prestazioni tecniche riguardano le attività ispettive e di controllo ambientale, il monitoraggio dello stato dell'ambiente, il controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, il supporto alle attività in campo ambientale dello Stato, delle Regioni e degli enti locali, la ricerca finalizzata a tali scopi nonché la raccolta, l'organizzazione e diffusione dei dati e delle informazioni ambientali che sono riferimenti ufficiali dell'attività di tutta la pubblica amministrazione. Il Sistema produce documenti tecnici quali Report ambientali SNPA, Linee guida SNPA, Pubblicazioni tecniche SNPA e pareri vincolanti in base alla legge. Organo deliberativo del Sistema è, ai sensi dell'art. 10 della legge n. 132/2016, il Consiglio del Sistema Nazionale, presieduto dal Presidente dell'ISPRA e composto dai rappresentanti legali delle agenzie e dal Direttore generale dell'Istituto. Le persone che agiscono per conto delle componenti del Sistema non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:
SNPA, Il clima in Italia nel 2023, Report ambientali SNPA, n. 42/2024

La collana Report ambientali SNPA include raccolte sistematiche e periodiche di dati e/o informazioni ambientali, anche in chiave evolutiva, su tematiche di rilievo nazionale e per la diffusione al pubblico.

ISBN 978-88-448-1217-1
© Report ambientali SNPA, 42/2024

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:
Daria Mazzella – ISPRA

Copertina:
Alessia Marinelli – Ufficio Grafica ISPRA

Foto di copertina: Antonio Meloni

Luglio 2024

Riassunto

Il Rapporto SNPA "Il clima in Italia nel 2023" illustra i principali elementi che hanno caratterizzato il clima nel corso del 2023 e aggiorna la stima delle variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia. La prima parte descrive l'andamento del clima a scala nazionale, la seconda è composta da approfondimenti sul clima a scala nazionale, regionale e locale e sugli eventi idro-meteorologici e meteo-marini più rilevanti del 2023.

Parole chiave: indicatori climatici, variazioni climatiche, estremi climatici, eventi estremi.

Abstract

The SNPA Report "The climate in Italy in 2023" outlines the main features of climate during 2023 and updates the estimate of climate variations over the last decades in Italy. The first part illustrates climate trends at the national scale. The second one is composed of in-depth analyses on the climate at the national, regional, and local scales and on most relevant events of 2023.

Keywords: climate indicators, climate variations, climate extremes, extreme events.

Autori

Parte I – Gli indicatori del clima in Italia

Piero Frascchetti, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali, Giulio Settanta – ISPRA (capitoli 1 – 6);
Valentina Pavan – ARPAE EMILIA-ROMAGNA (capitolo 2);
Gabriele Nardone, Marco Picone – ISPRA (capitolo 4)

Parte II – Focus

Siccità e severità idrica

Lo stato della siccità e della severità idrica: approfondimento a scala nazionale

Stefano Mariani, Giovanni Braca, Barbara Lastoria, Robertino Tropeano, Francesca Piva, Martina Bussetti – ISPRA

Siccità nel bacino dell'Adda in Lombardia: nel 2023 graduale ritorno alla normalità

Matteo Zanetti, Orietta Cazzuli, Paola Parravicini – ARPA LOMBARDIA

La lunga siccità del 2022 si protrae in Piemonte anche nel 2023

Barbara Cagnazzi, Roberto Cremonini, Mattia Faletto, Mariella Graziadei, Christian Ronchi, Alessio Salandin – ARPA PIEMONTE

Deficit pluviometrico di lungo periodo sul Veneto

Fabio Zecchini, Marco Sangatti, Francesco Rech – ARPA VENETO

Contributo della neve e dei ghiacciai al contenimento del deficit-idrico nell'anno idrologico 2022/2023 in Valle d'Aosta

Paolo Pogliotti, Gianluca Filippa, Umberto Morra di Cella, Marta Galvagno, Federico Grosso – ARPA VALLE D'AOSTA

Sara Ratto – Centro Funzionale di Protezione Civile, REGIONE VALLE D'AOSTA

Simone Gabellani – FONDAZIONE CIMA

Anomalie di temperatura e onde di calore

Gli estremi termici dell'estate 2023 in Sardegna

Michele Fiori, Pier Luigi Trudu, Ilaria Peana e Alessandro Mario Sergio Delitala – ARPA SARDEGNA

Anomalie termiche nel 2023: analisi delle temperature in quota

Loredana Marsico, Roberta Rotundo, Eugenio Filice – ARPA CALABRIA

Evento di foehn di dicembre: venti record e incendi boschivi

Barbara Cagnazzi, Roberto Cremonini – ARPA PIEMONTE

Alluvioni

Alluvione in Romagna: l'evento, la gestione dell'emergenza, gli impatti

Valentina Pavan, Gabriele Antolini, Rosanna Foraci, Maria Stefania Tesini, Alice Vecchi, Cinzia Alessandrini – ARPAE EMILIA-ROMAGNA

Evento alluvionale in Toscana del 2 novembre 2023

Sandra Botticelli, Stefano Santi, Marcello Mossa Verre – ARPA TOSCANA

Bernardo Gozzini, Tommaso Torrigiani Malaspina – CONSORZIO LAMMA

Eventi idro-meteo-climatici e meteo-marini significativi

I violenti eventi temporaleschi di luglio 2023 in Lombardia

Matteo Zanetti, Orietta Cazzuli, Paola Parravicini – ARPA LOMBARDIA

24-25 luglio 2023: una grandinata da record in Friuli Venezia Giulia – Analisi dell'evento e alcuni effetti nel settore agricolo

Andrea Cicogna, Elena Ermacora – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA

Mariangela Sandra, Lara Manzoni, Linda Stel, Valentina Caron – ERSA-FVG

Alessio Carlino – Servizio ispettorato regionale dell'agricoltura, REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

Ciarán: un autunno tempestoso con mareggiate storiche in Riviera

Luca Onorato, Veronica Bonati – ARPA LIGURIA

Gli eventi meteo-marini tra ottobre e novembre 2023 lungo la costa del Veneto e del Friuli Venezia Giulia

Andrea Bonometto, Marco Casaioli, Devis Canesso, Elisa Coraci, Franco Crosato, Stefano Mariani, Riccardo Mel – ISPRA

Alvise Papa – Centro previsioni e segnalazioni maree - COMUNE DI VENEZIA

Livio Stefanuto – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA

Aldo Primiero – Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile, REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

Fabio Brunetti – OGS

Percorso istruttorio

Documento elaborato nell'ambito dell'articolazione istruttorie del Consiglio SNPA Rete Tematica RR TEM 28 "Meteorologia, climatologia e idrologia operativa", Linea di attività RR TEM 28-01 "Climatologia operativa".

Documento condiviso con:

Rete tematica RR TEM 09 "Acque superficiali e sotterranee

Rete tematica RR TEM 13 "Geologia"

Rete tematica RR TEM 17 "Reporting e indicatori"

Rete tematica RR TEM 27 "Impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici"

Osservatorio OSS 02 Comunicazione e informazione SNPA

Coordinamento Tecnico Operativo (CTO) del SNPA

Documento adottato dal Consiglio SNPA, con Delibera del Consiglio SNPA n. 250 del 02/07/2024

Ringraziamenti

L'analisi a scala nazionale (Parte I) si basa in gran parte su statistiche e indicatori climatici elaborati attraverso SCIA - Sistema nazionale per l'elaborazione e diffusione di dati climatici, realizzato dall'ISPRA e alimentato grazie alla collaborazione e alle serie di dati, aggiornate al 2023, del SNPA e dei seguenti organismi:

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare;

Regione Marche, AMAP-Agenzia per l'Innovazione nel settore Agroalimentare e nella Pesca "Marche Agricoltura Pesca";

Regione Marche, Centro Funzionale di Protezione Civile;

Regione Lazio, ARSIAL-Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio, Servizio Integrato Agrometeorologico;

Regione Basilicata, ALSIA-Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura;

Regione Sicilia, SIAS-Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano;

Regione Sicilia, Autorità di Bacino della Regione Siciliana.

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

Dipartimento della Protezione Civile;

ARPA Sardegna;

Protezione Civile Regione Sardegna;

SIAS-Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano;

ARPA Campania

Regione Campania, Centro Funzionale Multirischi;

Regione Marche, Centro Funzionale;

Regione Molise, Dipartimento della Protezione Civile, Centro Funzionale;

Consorzio LaMMA;

Regione Toscana, Servizio Idrologico del Centro Funzionale;

Regione Umbria, Servizio Idrografico;

Regione Basilicata, Centro Funzionale Decentrato;
Regione Calabria, Centro Funzionale Multirischi;
ARPA Calabria;
ARPAE Emilia-Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima;
ARPA Liguria e Centro Funzionale della Regione Liguria;
ARPA Piemonte, Dipartimento Servizi Previsionali;
Regione Autonoma Valle d'Aosta, Centro Funzionale Regionale;
ARPA Lombardia, Servizio Idro-Nivo-Meteo e Clima;
Provincia Autonoma di Trento;
Provincia Autonoma di Bolzano;
ARPA Veneto, Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio;
ARPA Friuli Venezia Giulia, OSMER-Osservatorio Meteorologico Regionale.

Per le analisi delle precipitazioni (Parte I) si ringraziano, altresì, gli uffici e i servizi idro-meteorologici regionali e delle province autonome afferenti al Tavolo nazionale per i servizi di idrologia operativa e il SIAS, sopra menzionati, che hanno fornito i dati pluviometrici utilizzati nel BIGBANG-Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare, modello sviluppato dall'ISPRA, e contribuito quindi all'aggiornamento al 2023 delle stime del BIGBANG.

Si ringraziano inoltre:

Silvia Brini – ISPRA, Responsabile dell'Area per il monitoraggio della qualità dell'aria e per la climatologia operativa

Stefano Mariani – ISPRA, Responsabile della Sezione "Analisi e previsioni meteo-idrologiche e risorse idriche", Coordinatore della Rete Tematica SNPA RR TEM 28 "Meteorologia, climatologia e idrologia operativa"

Coordinamento editoriale del documento

Emanuela Piervitali – ISPRA, Coordinatrice della linea di attività RR TEM 28-01 "Climatologia operativa"

SOMMARIO

| | |
|---|-----|
| PREMESSA..... | 9 |
| SINTESI..... | 10 |
| PARTE I: GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA..... | 14 |
| 1. INTRODUZIONE | 15 |
| 2. IL CLIMA NEL 2023 | 17 |
| 2.1 Il clima nel 2023 a larga scala..... | 17 |
| 2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia | 28 |
| 2.1.1 Inverno..... | 28 |
| 2.1.2 Primavera | 29 |
| 2.1.3 Estate | 32 |
| 2.1.4 Autunno e dicembre | 36 |
| 3. TEMPERATURA | 46 |
| 3.1 Analisi annuale | 46 |
| 3.2 Variazioni e tendenze | 55 |
| 3.3 Frequenza, intensità, estremi | 62 |
| 4. TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE | 68 |
| 5. PRECIPITAZIONE..... | 76 |
| 5.1 Analisi annuale | 76 |
| 5.2 Variazioni e tendenze | 84 |
| 5.3 Frequenza, intensità, estremi | 89 |
| 6. UMIDITÀ RELATIVA..... | 96 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 100 |
| PARTE 2: FOCUS..... | 102 |
| 1 SICITÀ E SEVERITÀ IDRICA..... | 103 |
| 1.1 Lo stato della siccità e della severità idrica: approfondimento a scala nazionale..... | 103 |
| 1.2 Siccità nel bacino dell'Adda in Lombardia: nel 2023 graduale ritorno alla normalità | 109 |
| 1.3 La lunga siccità del 2022 si protrae in Piemonte anche nel 2023 | 114 |
| 1.4 Deficit pluviometrico di lungo periodo sul Veneto | 120 |

| | |
|--|------------|
| 1.5 Contributo della neve e dei ghiacciai al contenimento del deficit-idrico nell'anno idrologico 2022/2023 in Valle d'Aosta | 125 |
| 2 ANOMALIE DI TEMPERATURA E ONDE DI CALORE | 132 |
| 2.1 Gli estremi termici dell'estate 2023 in Sardegna | 132 |
| 2.2 Valutazione delle anomalie termiche in Calabria dell'anno 2023 – indicatori climatici per le stazioni in quota | 137 |
| 2.3 Evento di foehn di dicembre: venti record e incendi boschivi..... | 142 |
| 3 ALLUVIONI | 144 |
| 3.1 Alluvione in Romagna: l'evento, la gestione dell'emergenza, gli impatti..... | 144 |
| 3.2 Evento alluvionale in Toscana del 2 novembre 2023 | 148 |
| 4 EVENTI IDRO-METEO-CLIMATICI E METEO-MARINI SIGNIFICATIVI | 155 |
| 4.1 I violenti eventi temporaleschi di luglio 2023 in Lombardia | 155 |
| 4.2 24-25 luglio 2023: una grandinata da record in Friuli-Venezia Giulia - analisi dell'evento e alcuni effetti nel settore agricolo | 161 |
| 4.3 Ciarán: un autunno tempestoso con mareggiate storiche in riviera | 166 |
| 4.4 Gli eventi meteo-marini tra ottobre e novembre 2023 lungo la costa del Veneto e del Friuli-Venezia Giulia | 171 |

PREMESSA

Il Rapporto sul clima in Italia del Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale (SNPA) illustra lo stato e le variazioni del clima in Italia negli ultimi decenni, anche nel contesto climatico globale ed europeo, e analizza i valori medi e i trend delle principali variabili idro-meteo-climatiche e i loro valori estremi. Inoltre, il Rapporto fornisce approfondimenti sul clima a scala nazionale, regionale e locale, e sugli aspetti e sugli eventi idro-meteorologici e meteo-marini più rilevanti e più critici che si sono verificati nel corso dell'anno passato in esame.

Questo Rapporto rappresenta l'evoluzione del Rapporto ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia", la cui pubblicazione, promossa e avviata nel 2006, è proseguita con cadenza annuale fino all'edizione del 2022. L'evoluzione del Rapporto in ambito SNPA, a partire dall'edizione 2023, è stata possibile attraverso la più forte collaborazione tra l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le Agenzie di protezione dell'ambiente regionali e delle province autonome (ARPA/APPA) in ambito climatico e di analisi degli eventi estremi idro-meteorologici e meteo-marini. Questa più forte collaborazione interessa anche gli altri soggetti istituzionali, nazionali e locali, che per norma hanno competenza nel monitoraggio idro-meteorologico e marino, contribuendo difatti al Rapporto attraverso la fornitura di loro dati, informazioni e contributi ai focus sugli eventi più rilevanti dell'anno appena trascorso.

Il Rapporto SNPA si inquadra nell'ambito delle attività di reporting svolte dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, in relazione ai compiti a esso attribuiti dalla Legge n. 132 del 2016.

Il monitoraggio del clima e della sua evoluzione rappresenta uno degli elementi fondamentali nel contesto dell'attuale crisi climatica. Da un lato la stima dell'andamento del clima su larga scala è necessaria per monitorare l'andamento del riscaldamento globale e confrontarlo con l'obiettivo dell'Accordo di Parigi: mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2 °C in più rispetto ai livelli preindustriali e proseguire gli sforzi per limitarlo a 1.5 °C. Dall'altro lato l'analisi dello stato del clima e delle sue variazioni, dalla scala nazionale alla scala regionale e locale, costituisce una base necessaria sia per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici che per scopi di adattamento e pianificazione del territorio.

L'obiettivo finale del Rapporto è quello di fornire utili elementi di conoscenza e discussione per tecnici, decisori politici e cittadini.

SINTESI

Il 2023 è stato un anno caldo, confermando la tendenza all'aumento della temperatura osservata negli ultimi decenni. Il 2023 si colloca al secondo posto fra i più caldi della serie, dopo il 2022, per la temperatura media e per la temperatura massima, e ha fatto registrare il nuovo record della media annuale delle temperature minime giornaliere. Ottobre è stato il mese relativamente più caldo: con oltre 3 °C sopra la media 1991-2020 ha segnato il valore più alto della propria serie mensile dal 1961. Anche in estate l'Italia è stata investita da intense onde di calore, con le temperature di 48.2 °C registrate il 24 luglio a Jerzu e Lotzorai, nella Sardegna sud-orientale, massimo assoluto mai registrato in Sardegna. La siccità e i conseguenti problemi di severità idrica hanno continuato a interessare l'Italia nel corso del 2023, sebbene in maniera differenziata rispetto alla situazione critica riscontrata nel 2022. I territori del nord e centro Italia nei primi quattro mesi dell'anno sono stati caratterizzati da situazioni di siccità severa ed estrema che si sono andate attenuando nel corso del 2023. Negli ultimi tre mesi dell'anno, che generalmente risultano i più piovosi, si è registrato, in particolare, in Sicilia e in parte della Calabria ionica un consistente deficit di precipitazione, che ha determinato una condizione di siccità estrema.

Numerosi sono stati gli eventi estremi che hanno interessato il territorio nazionale. Particolarmente disastrose sono state le alluvioni che hanno colpito l'Italia centrale. Nel corso del mese di maggio i territori centro-orientali dell'Emilia-Romagna sono stati investiti da due eventi pluviometrici in rapida successione, entrambi di entità eccezionale, con quantitativi totali complessivi di precipitazione stimati tra un quarto e metà del valore atteso (medio climatologico 1991-2020) per l'intero anno, causando 17 decessi, piene eccezionali, migliaia di fenomeni franosi e danni gravissimi ed estesi su tutto il territorio. Il 2 novembre in Toscana forti temporali hanno fatto registrare quantitativi di pioggia eccezionali, con cumulati massimi puntuali fino 180-200 mm in 3 ore sulle zone settentrionali delle province di Pisa e Livorno e fino a 130-170 mm in 5-6 ore sulle zone meridionali della provincia di Pistoia e sulla provincia di Prato. Gli effetti al suolo sono stati disastrosi, con esondazioni che hanno interessato importanti aree commerciali e molte zone residenziali e causato 8 vittime.

Temperatura

Mentre a scala globale sulla terraferma il 2023 è stato l'anno più caldo della serie, con un'anomalia di +0.86 °C rispetto alla media 1991-2020, **in Italia il 2023 è risultato il secondo anno più caldo della serie dal 1961, con un'anomalia media di +1.14 °C**, rispetto allo stesso periodo di riferimento.

A partire dal 2000 le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state quasi sempre positive: fanno eccezione solo quattro anni (2004, 2005, 2010 e 2013); il 2023 è stato il decimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Il 2023 si colloca al secondo posto della serie anche per l'anomalia della temperatura massima (+1.07 °C), mentre si colloca **al primo posto della serie per l'anomalia della temperatura minima** (+1.20 °C).

Temperature medie superiori ai valori normali 1991-2020 hanno interessato tutti i mesi dell'anno, ad esclusione di aprile e maggio. **Marcate anomalie positive, superiori a 2 °C, si sono registrate a luglio, settembre e ottobre, che ha fatto registrare il picco di +3.27 °C, collocandosi al primo posto della corrispondente serie mensile.**

La temperatura media annuale è stata superiore alla media 1991-2020 ovunque: al Nord (+1.27 °C), al Centro (+1.20 °C) e al Sud e Isole (+0.97 °C).

Su base stagionale l'anomalia positiva più elevata è stata registrata in **autunno**, che **si colloca al primo posto della serie dal 1961** con il valore di +2.14 °C sopra la media, seguito dall'inverno (+1.28 °C), al quinto posto della serie dal 1961, e dall'estate (+1.07 °C), al settimo posto della serie dal 1961; la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia prossima alla media climatologica 1991-2020. **La stima del tasso di variazione della temperatura media dal 1981 è di (+0.40 ± 0.04) °C / 10 anni**, della temperatura massima di (+0.42 ± 0.05) °C / 10 anni e della temperatura minima di (+0.38 ± 0.04) °C / 10 anni. **Su base stagionale i maggiori trend positivi per la temperatura si registrano in estate (+0.60 ± 0.09) °C / 10 anni e autunno (+0.37 ± 0.08) °C / 10 anni**, seguiti da primavera (+0.34 ± 0.09) °C / 10 anni e inverno (0.32 ± 0.10) °C / 10 anni.

Gli **indici estremi si collocano tutti fra il secondo e il terzo posto fra i più caldi delle rispettive serie (indici degli estremi di caldo) e fra il secondo e il terzo posto fra i più bassi (estremi di freddo)**, confermando un consistente segnale di riscaldamento nel 2023, coerentemente con quanto rilevato per i valori medi di temperatura.

Il 2023 si colloca al secondo posto fra i valori più alti per il numero di giorni estivi (+19.3 giorni) e al terzo posto per il numero di notti tropicali (+13.9 giorni), per il numero di giorni torridi (+7.3 giorni) e per l'indice WSDI-*Warm Spell Duration Index* (+29.5 giorni), rappresentativo dei "periodi di caldo prolungato e intenso nel corso dell'anno". Per il numero di giorni con gelo (-10.4 giorni), il 2023 si colloca al terzo posto fra i più bassi della serie.

Le notti e i giorni caldi hanno fatto registrare entrambi il secondo valore più alto della serie dal 1961, mentre le notti e i giorni freddi hanno fatto registrare il secondo valore più basso della serie dal 1961.

Analogamente alla temperatura dell'aria, la **temperatura superficiale dei mari italiani nel 2023 si colloca al secondo posto della serie dal 1982**, con un'anomalia di +0.9 °C rispetto alla media climatologica 1991-2020. Escludendo il 2003, gli ultimi dodici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie e il 2023 è stato il tredicesimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma. Le anomalie medie sono state positive in tutti i mesi dell'anno, con gli scostamenti positivi dai valori normali massimi a luglio (+1.95 °C) e ottobre (+1.91).

Precipitazione

Le precipitazioni cumulate annuali in Italia nel 2023 sono state complessivamente inferiori alla media climatologica di circa il 4%.

La precipitazione cumulata annuale è stata inferiore al valore normale su gran parte del territorio nazionale, soprattutto nelle aree occidentali del Nord e del Centro, in Sardegna e in Sicilia, e nelle aree centro-meridionali di Puglia e Calabria.

Il 2023 è stato caratterizzato da una prevalenza di anomalie negative mensili durante l'anno, persistenti nell'ultimo quadrimestre (settembre-dicembre). Anomalie negative hanno caratterizzato inoltre i mesi di gennaio, maggio, giugno ed agosto.

L'anomalia di precipitazione è stata negativa al Sud e Isole (-8%), mentre è stata prossima alla media al Nord e al Centro.

I **mesi relativamente più secchi** sono stati **febbraio (-56%) e settembre (-51%),** mentre i **mesi relativamente più piovosi sono stati maggio,** con un'anomalia di +143%, **e giugno (+77%).**

Le anomalie più marcate si sono avute tutte al Sud e Isole: quelle positive a maggio (+222%) e a giugno (+154%), e quella negativa a luglio (-84%).

L'analisi su base stagionale indica che la stagione relativamente più piovosa è stata la primavera (+27%), che si colloca al quinto posto tra le più piovose, seguita dall'estate (+24%), che si colloca al quindicesimo posto tra le più piovose; l'autunno (-23%) si colloca al sedicesimo posto tra le meno piovose, mentre l'inverno ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-5%).

Dall'analisi statistica dei trend della precipitazione cumulata annuale e stagionale nel periodo 1961-2023 non emergono tendenze statisticamente significative.

I valori più elevati di precipitazione giornaliera sono stati registrati in Emilia-Romagna in occasione dell'evento del 23-24 ottobre: la precipitazione giornaliera ha raggiunto il massimo di 326 mm a Lagdei (PR, 1315 m s.l.m.), seguito dal valore di 253 mm registrato a Bosco di Corniglio (PR, 849 m s.l.m.).

Riguardo agli indici climatici rappresentativi delle condizioni di siccità, il 2023 ha fatto registrare i valori più alti di giorni asciutti su Piemonte, Liguria di Ponente, Emilia-Romagna, Puglia, su gran parte delle aree costiere, e su Sicilia e Sardegna, dove si rilevano localmente i valori più elevati, con picchi di oltre 330 giorni asciutti. I valori più bassi (fino a circa 200 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi e sulla dorsale appenninica.

L'indice di siccità CDD-*Consecutive Dry Days*, che rappresenta il **numero massimo di giorni asciutti consecutivi nell'anno, ha fatto registrare valori abbastanza contenuti su gran parte del territorio nazionale. Valori elevati si osservano solo sulla quasi totalità della Sicilia e della Sardegna** (fino a 165 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 100 in Sardegna), seguita dalla **costa ionica** (fino a 100 giorni) e da gran parte della **Puglia**. La durata minima registrata dei periodi di siccità in termini dell'indice CDD è di 20-22 giorni e si riscontra al Centro-Nord.

Considerando, invece, lo SPI-*Standardized Precipitation Index* e lo SPEI-*Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index* su una scala temporale breve a 3 mesi, si osserva come nel complesso la siccità, da moderata a estrema, abbia interessato maggiormente il territorio italiano nel mese di aprile e negli ultimi 3 mesi dell'anno. Su una scala temporale a 12 mesi, sono invece i primi 4 mesi dell'anno quelli in cui il Paese è stato maggiormente caratterizzato da siccità, come conseguenza in primis del deficit di precipitazione occorso durante il 2022 e delle scarse precipitazioni di febbraio e marzo.

Focus

La Parte II del Rapporto – Focus – include diversi contributi di approfondimento a scala nazionale, regionale e locale, che mettono in evidenza gli elementi climatici più rilevanti e gli eventi idro-

meteorologici e meteo-marini che hanno caratterizzato il 2023. In particolare, sono stati individuati i seguenti focus: 1) Siccità e severità idrica, 2) Anomalie di temperatura e onde di calore, 3) Alluvioni, 4) Eventi idro-meteo-climatici e meteo-marini significativi.

PARTE I: GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA

1. INTRODUZIONE

In questa prima parte del rapporto – Gli indicatori del clima in Italia – dedicata all'analisi del clima a scala nazionale, 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. L'analisi si basa in gran parte su dati e indicatori disponibili attraverso il Sistema nazionale per l'elaborazione e diffusione di dati climatici (SCIA; Desiato et al., 2006, 2007, 2011; Desiato, 2007), realizzato dall'ISPRA in collaborazione con gli organismi titolari delle principali reti osservative presenti sul territorio nazionale per favorire l'elaborazione, la rappresentazione e la diffusione di indicatori sul clima in Italia. 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, decadal, mensili e annuali nonché i valori climatologici normali di diverse variabili meteorologiche.

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: <https://scia.isprambiente.it/>. I criteri generali adottati per il calcolo e la rappresentazione degli indicatori climatici sono dettati dalla World Meteorological Organization (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).

Da quest'anno le mappe e le serie temporali della precipitazione cumulata (valori cumulati e anomalie annuali, stagionali e mensili) sono state realizzate utilizzando le spazializzazioni su griglia prodotte dal modello [BIGBANG](#)-Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare, sviluppato dall'ISPRA (Braca et al., 2023; 2022a; 2022b; 2021), che vengono elaborate sui dati pluviometrici degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome, afferenti al Tavolo nazionale per i servizi di idrologia operativa, che federa gli enti locali e nazionali erogatori di servizi pubblici di responsabilità, di cui al DPCM 24 luglio 2002, e sui dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

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

Le statistiche e gli indici climatici dell'anno 2023 sono derivati complessivamente dalle osservazioni di stazioni distribuite sull'intero territorio nazionale il cui numero varia tra circa 1300 a circa 2500, a seconda della variabile analizzata.

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 (sia degli indicatori dei valori medi che degli estremi) sono stati applicati alle serie temporali metodi aggiornati di omogeneizzazione (Fioravanti e Piervitali, 2018; Fioravanti et al., 2019).

La base climatologica per il calcolo delle anomalie si riferisce al trentennio più recente, 1991-2020 (Fioravanti et al., 2022), secondo quanto indicato dalla WMO che suggerisce un aggiornamento della base climatologica ogni dieci anni per finalità di climatologia operativa. Con particolare riferimento alla temperatura, che presenta un marcato trend in crescita, l'utilizzo della base climatologica più recente consente infatti il monitoraggio dell'andamento del clima dell'anno appena trascorso rispetto a valori medi più rappresentativi del clima attuale o del passato recente. I dati e le informazioni sul clima in Italia vengono trasmessi alla WMO e contribuiscono a comporre il quadro conoscitivo sull'evoluzione del clima a scala globale.

Si fa inoltre presente che la selezione di stazioni utilizzate per produrre le mappe di anomalia a scala nazionale e i metodi utilizzati per interpolare i dati sul territorio italiano possono essere diversi da quelli utilizzati dai singoli servizi meteo-climatici regionali e questo può giustificare differenze, anche significative, tra le mappe pubblicate in questo rapporto e quelle pubblicate dalle singole regioni.

Questa parte del rapporto è articolata in 6 capitoli. Dopo l'introduzione riportata nel capitolo 1, il capitolo 2 descrive gli aspetti salienti del clima nel 2023, 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; vengono poi riportate le principali caratteristiche delle condizioni meteorologiche in Italia nel corso dell'anno, con una breve descrizione degli eventi maggiormente rilevanti e dei conseguenti impatti locali. I capitoli successivi sono dedicati ciascuno a una variabile meteoroclimatica (temperatura dell'aria, temperatura del mare, precipitazione e umidità). La prima parte di ogni capitolo illustra sinteticamente gli indicatori relativi all'anno 2023, 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 relativi al 2023, 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., 2016b; Desiato et al., 2012, 2013).

2. IL CLIMA NEL 2023

2.1 Il clima nel 2023 a larga scala

Il clima a livello globale

A livello globale, il 2023 è stato l'anno più caldo dal 1961, sia considerando la temperatura media della superficie degli oceani sia la temperatura globale (oceani e terre emerse). In particolare, l'indice di temperatura globale stimato dal *fifth generation ECMWF reanalysis dataset* (ERA5) disponibile nel *Copernicus Climate Change Service* (C3S)¹ ha superato di 0.17 °C il precedente record del 2016, con un'anomalia di 1.48 °C rispetto alla media del periodo pre-industriale 1850-1900.

La serie delle anomalie della temperatura media globale sulla terraferma, rispetto alla media climatologica 1991-2020, è mostrata nella Figura 2.1, secondo le stime fornite dalla NOAA-*National Oceanic and Atmospheric Administration* (USA). Queste sono consistenti con quelle degli altri dataset globali².

Nel corso dell'anno le anomalie dell'indice di temperatura globale rispetto al periodo pre-industriale per vari mesi hanno superato la soglia di 1.5 °C indicata dagli accordi di Parigi come un obiettivo da non superare, al fine di contenere gli impatti dei cambiamenti climatici. In particolare, il 2023 è stato il primo anno in cui ogni giorno l'indice di temperatura globale ha superato di più di 1 °C il corrispondente valore climatico pre-industriale; per quasi la metà dei giorni l'indice ha superato il valore climatico di 1.5 °C e per 2 giorni, per la prima volta, ha superato il valore climatico di 2 °C².

Le anomalie termiche mensili si sono intensificate nella seconda parte dell'anno, quando ogni mese è risultato il più caldo della rispettiva serie. In particolare, luglio e agosto sono stati i più caldi mai osservati, così come l'estate boreale meteorologica (da giugno ad agosto) nel suo insieme. A settembre è stato registrato un valore di anomalia mensile di 0.93 °C rispetto al clima 1991-2020, il più alto mai registrato per qualsiasi mese dell'anno all'interno del dataset. Infine, le anomalie rispetto al clima 1991-2020 di ottobre, novembre e dicembre sono risultate pari a 0.85 °C, secondo valore più alto mai registrato.

Le stime ERA5 indicano inoltre che **nel corso della seconda metà dell'anno le anomalie di temperatura superficiale dei mari, al di fuori delle aree polari estese, sono risultate quasi ovunque positive e molto intense**. Il grafico in Figura 2.2, pubblicato dal C3S nell'*ESOTC-European State of the Climate 2023* (C3S, 2024), presenta i valori medi delle temperature superficiali dei mari tra 60 °S e 60 °N per l'anno 2023, a confronto con i valori del periodo 1979-2022. Esso mette in evidenza come, a partire da aprile, le temperature globali, al di fuori delle aree polari, abbiano sviluppato anomalie estremamente intense. Queste, giorno dopo giorno, sono risultate nettamente superiori a qualsiasi valore stimato dal 1979, anno di inizio delle misurazioni satellitari.

¹ Il C3S-*Copernicus Climate Change Service* è uno dei 6 servizi tematici operativi del *Copernicus Earth Observation Programme* dell'Unione Europea: <https://www.copernicus.eu/>.

² C3S *Global Climate Highlights 2023*: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>.

Nel 2023 si è registrata una elevata anomalia positiva della temperatura globale; il marcato incremento di 0.3 °C stimato tra il 2022 e il 2023 solo in parte può essere spiegato dal trend in crescita della temperatura globale, pari a 0.2 °C per decennio tra il 1979 e il 2023. Sono in corso vari studi per individuare le cause che hanno concorso al verificarsi di questa marcata anomalia: tra queste, il passaggio di ENSO-*El Niño-Southern Oscillation* dalla fase negativa, presente nei primi mesi dell'anno, a una fase positiva in via di amplificazione nella seconda parte dell'anno; inoltre, il fatto che le oscillazioni multi-decennali degli Oceani Atlantico e Pacifico fossero entrambe in una fase associata ad anomalie positive; infine, il fatto che il ciclo di attività solare sia attualmente al suo massimo. A queste cause, legate alla variabilità naturale, si aggiunge un progressivo calo delle polveri atmosferiche nelle aree tropicali oceaniche, che sono collegate sia a una generale diminuzione dell'inquinamento dovuto al traffico navale, sia a una minore intensità degli alisei, i venti tropicali, che ha ridotto il trasporto di sabbia dai deserti sugli oceani. Il calo degli aerosol atmosferici potrebbe aver aumentato l'irraggiamento diretto della superficie degli oceani. Tuttavia, va ricordato che nei mesi primaverili ed estivi, in Canada si sono verificati estesi e persistenti incendi boschivi che hanno causato un peggioramento della qualità dell'aria in vaste aree dell'America settentrionale e del Nord Atlantico. Un'ultima possibile causa delle intense anomalie termiche potrebbe essere legata alle grandi quantità di vapore acqueo liberate nella stratosfera dall'eruzione del vulcano Hunga Tonga–Hunga Haʻapai (Jenkins et al., 2023) che potrebbe aver causato un momentaneo ma intenso aumento dell'effetto serra, che potrebbe quindi ridursi quando le particelle di vapore acqueo rientreranno nella troposfera. Il 2023 è iniziato, come i tre anni precedenti, in presenza di un'anomalia negativa delle temperature superficiali del Pacifico tropicale di tipo La Niña, che ha raggiunto il suo apice a novembre 2022, quando l'indice di Niño 3.4 ha raggiunto il valore di -0.9 °C. Nei primi mesi dell'anno l'indice risultava ancora lievemente negativo ed è poi progressivamente transitato a valori positivi; a dicembre 2023 ha poi raggiunto il valore massimo di +2.0 °C, comunque inferiore ai massimi osservati nel 2015-2016 e 1997-1998. La presenza di una anomalia termica positiva superficiale delle aree marine tropicali riduce l'assorbimento di calore da parte dell'oceano in una regione particolarmente esposta alla radiazione solare. Si pensa che per questo motivo nel recente passato gli anni caratterizzati da anomalie positive di tipo El Niño siano stati caratterizzati da anomalie termiche globali più intense rispetto agli altri anni. Nonostante le varie componenti sopra citate possano in parte giustificare l'innalzamento delle temperature globali oceaniche, l'entità delle anomalie evidenziate in Figura 2.2 è giunta del tutto inaspettata e non preannunciata dalle previsioni annuali, seppure in linea con le probabili evoluzioni della temperatura globale in condizioni di cambiamento climatico.

Particolare attenzione va inoltre data all'estensione e intensità delle **anomalie di temperatura superficiale dell'Oceano Atlantico settentrionale**, che ha presentato, **nel corso della seconda metà dell'anno, valori record massimi rispetto alle serie mensili**. Anomalie di temperature superficiali nettamente positive sono state osservate anche nell'Atlantico tropicale e questo ha favorito lo sviluppo di intensi cicloni tropicali in quest'area, tanto che per il 2023 il numero di cicloni tropicali atlantici (considerando quelli che hanno i venti sostenuti maggiori di una certa soglia e a cui viene assegnato un nome) è risultato il quarto valore della serie, iniziata nel 1950.

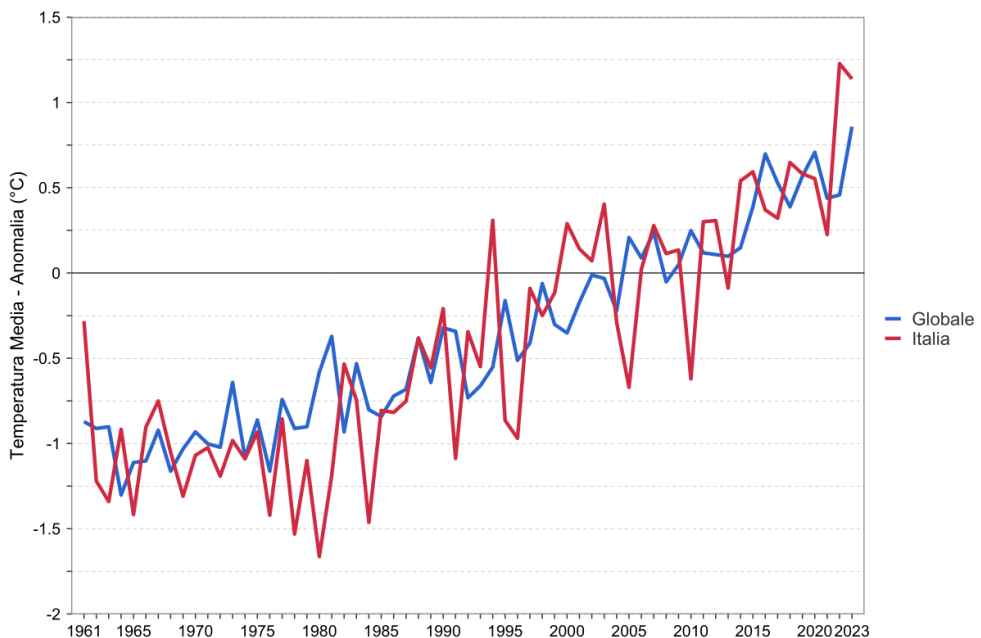
Analoghe anomalie sono state osservate nel Mar Mediterraneo; come nell'Oceano Atlantico anche nel Mediterraneo si sono verificate diverse **ondate di calore marine**. La maggiore è occorsa nel mese di

luglio: iniziata nelle **aree occidentali del Mediterraneo e si è progressivamente estesa nel corso del mese a tutto il bacino**, portando devastanti conseguenze per gli ecosistemi marini e la biodiversità, nonché significativi impatti per le industrie attive in queste aree, da quella della pesca e acquacoltura a quella del turismo.

L'aumento termico ha inoltre coinvolto i mari australi, in particolare l'**Oceano Antartico**. In connessione a queste anomalie è stato osservato un record minimo di estensione della calotta polare antartica, monitorata dal 1980, inferiore al precedente record del 2022 (WMO, 2024). Il calo di questo indice negli ultimi anni evidenzia il persistere del cambiamento nelle dinamiche dei ghiacci marini antartici che, tra la metà degli anni Ottanta e il 2015, avevano invece registrato un periodo di progressivo aumento nella loro estensione (WMO, 2023), plausibilmente legato all'intensificazione delle precipitazioni sul continente in presenza di basse temperature all'interno del vortice antartico.

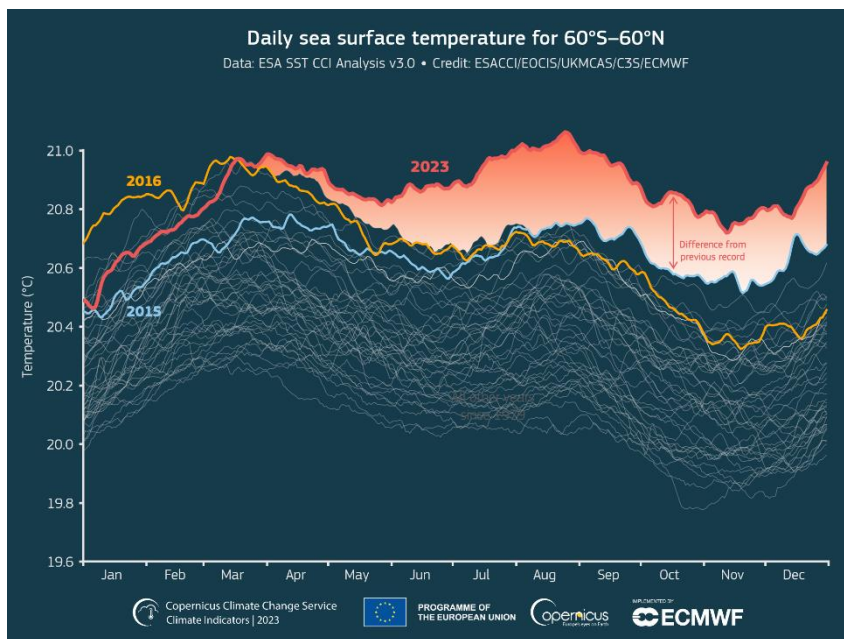
L'estensione del ghiaccio artico si è mantenuta sotto la media 1991-2020 per gran parte dell'anno e l'estensione minima della calotta raggiunta a settembre è stata la sesta più bassa registrata dal 1979.

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



Fonte: Dati del NCDC-National Climatic Data Center del NOAA e di SCIA dell'ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

Figura 2.2: Serie delle temperature giornaliere globali del mare, mediate tra 60 °S e 60 °N. Sono evidenziati il valore del 2023, quello del 2015 e quello del 2016; in bianco i valori degli altri anni, dal 1979 al 2022.



Fonte: C3S ESOTC 2023, dataset ERA5.

Il clima nelle regioni del mondo

Nella **Figura 2.3** è riportata una sintesi dei principali eventi che hanno caratterizzato il clima a scala globale nel corso del 2023.

Scendendo nel dettaglio geografico, **il 2023 è stato il secondo anno più caldo in Europa**, dopo il 2020, **oltre che in Asia**. È stato inoltre **l'anno più caldo in Nord e Sud America e in Africa**. Le temperature medie annuali sono risultate di oltre 1.0°C superiori alla media 1991-2020 in gran parte dell'Europa e in Nord America, con valori di anomalia fino a 3.0-3.5 °C in alcune aree del Canada. Ciononostante, nella seconda metà dell'anno si sono osservate anomalie negative in Islanda, Scandinavia e Alaska, nelle estremità nord-orientali dell'Asia, in Australia e in alcune aree dell'Antartide e dell'Oceano Pacifico meridionale a sud-ovest del Sud America e nel vicino Antartico. Nella prima metà dell'anno invece sono state osservate anomalie negative in Australia.

Le alte temperature hanno accelerato la fusione dei ghiacciai: si è stimato che la massa totale persa dai ghiacciai abbia raggiunto un nuovo valore record di 600 Gt di acqua, pari a una perdita media di 1.1 m di spessore e valori locali tra 0.5 e 3.0 m. Tale valore è di circa 100 Gt superiore a qualsiasi altro valore annuo stimato dal 1979 a oggi, e si pensa che nel corso dell'anno abbia contribuito a un innalzamento del livello del mare medio globale di 1.7 mm (C3S, 2024).

Per quanto riguarda le precipitazioni, le anomalie a livello globale sono state consistenti in molti casi. La presenza di valori estremamente alti per la temperatura del mare, in combinazione con la fase positiva di ENSO, hanno fatto sì che le piogge rilevate nella Zona di Interconvergenza Tropicale (ITCZ) tra 0 °N e 10 °N siano risultate le più alte mai stimate dal 1979. Sono state invece osservate anomalie pluviometriche annue inferiori alle attese in Europa sud-occidentale, in Nord Africa, in parti del Nord America, in Brasile, in alcune aree dell'Argentina e dell'Asia nord-orientale. Anomalie pluviometriche annue positive sono state invece riscontrate nelle aree centro-settentrionali e orientali dell'Europa, sulla costa orientale degli Stati Uniti e nella fascia che si estende dalla California alle grandi pianure centrali, oltre che in numerose aree dell'Asia meridionale e sud-orientale. Nove fiumi atmosferici, in particolare, hanno colpito la California a gennaio riducendo significativamente le condizioni di persistente siccità.

Tra i cicloni tropicali vanno ricordati: **l'uragano Idalia**, il ciclone più intenso che abbia colpito la Florida negli ultimi 125 anni; **l'uragano Otis** che ha colpito Acapulco, in Messico, causando danni devastanti alla città di circa un milione di abitanti; **il ciclone Daniel** che ha scaricato quantitativi eccezionali di pioggia sulle aree orientali della Libia, devastando il territorio, distruggendo dighe a monte di alcune città e causando la morte di più di 10 mila persone.

In agosto, si è osservata una **stagione monsonica prolungata sulla penisola indiana** che ha causato in Pakistan e India l'allagamento di centinaia di villaggi e portato all'evacuazione di più di 100 mila persone lungo il fiume Sutlej. In Bangladesh, importanti allagamenti hanno colpito più di 1.2 milioni di persone, coinvolgendo il 90% del territorio del distretto di Bandarban.

Le piogge intense iniziate in ottobre, a seguito di un prolungato periodo di **siccità in Etiopia, Somalia e Kenya**, hanno causato la morte di almeno 130 persone e la migrazione di almeno mezzo milione di abitanti. Nello stesso mese, piogge intense hanno colpito anche il Ghana orientale, causando estesi allagamenti e l'evacuazione di circa 26 mila abitanti.

In Europa, il C3S nel suo ultimo rapporto sullo stato del clima (C3S, 2024) afferma che il valore medio annuo delle precipitazioni nel 2023 è risultato sopra la norma (circa +7%) ed è il quarto più alto dal

1981. Ciononostante, alcune aree hanno ricevuto quantitativi di pioggia significativamente inferiori alla norma, come, ad esempio, i territori a ovest del Mar Nero e le aree meridionali della Penisola Iberica e della Francia, oltre a diverse parti del territorio nazionale, dove da febbraio ad aprile si sono osservate condizioni di siccità.

Nella penisola Scandinava la compresenza di anomalie termiche negative e precipitazioni superiori alla norma ha aumentato il numero di giorni nevosi rispetto alla media di lungo periodo. Al contrario, sull'arco alpino, gran parte delle località ha registrato un numero di giorni nevosi inferiori alla norma, in alcuni casi così esiguo da provocare condizioni di assenza del manto nevoso per buona parte dell'inverno.

Al fine di evidenziare il legame tra le anomalie climatiche nell'area Euro-Mediterranea e le anomalie di circolazione atmosferica sull'Euro-Atlantico, viene presentata in figura 2.4 la mappa dell'anomalia media annuale di altezza di geopotenziale a 500 hPa (Z500) per l'area Euro-Atlantica. A livello mensile, questa grandezza è strettamente legata a due fattori: da un lato, alle anomalie di circolazione generale, poiché i flussi medi mensili atmosferici all'interno della troposfera sono generalmente orientati in direzione tangente alle isolinee del geopotenziale; dall'altro, essa è proporzionale alla temperatura dello strato, per cui valori di geopotenziale superiori alla norma sono legati al verificarsi di anomalie termiche positive. In particolare, alti valori di geopotenziale nella media troposfera sono strettamente legati a condizioni di alta pressione superficiale e viceversa. Anomalie annuali significative per questo indice sono possibili in presenza di anomalie di circolazione di larga scala particolarmente persistenti, strettamente legate alle caratteristiche emergenti del clima regionale nell'anno considerato. La mappa in figura 2.4 mostra che l'anomalia media annua di geopotenziale sull'Europa per il 2023, rispetto al periodo 1991-2020, è profondamente segnata dal persistere di alti valori di Z500 e quindi dal persistere al suolo di condizioni di alta pressione e di intense anomalie termiche positive. I valori nella mappa sono infatti positivi in tutta la fascia dell'Europa centro-meridionale e sul Mediterraneo, con un'anomalia positiva particolarmente intensa anche sulla Groenlandia. Anomalie prossime allo zero o negative sono invece osservabili sulla penisola Scandinava e nelle aree centrali dell'Atlantico Settentrionale.

Il clima in Italia

In Italia, il 2023 è risultato il **secondo anno più caldo dall'inizio delle osservazioni (Figura 2.1)**, raggiungendo un'anomalia media rispetto al trentennio 1991-2020 di 1.13°C, un decimo di grado in meno rispetto al 2022. L'anno è però risultato nettamente **il più caldo dal 1961 per le temperature minime**, con un valore di 0.17 °C in più rispetto al 2022, e il secondo più caldo per le massime, dopo il 2022. L'eccezionale intensità dell'anomalia termica è associabile alla persistenza di anomalie di larga scala legate a condizioni di blocco atmosferico, che hanno favorito il persistere di valori termici superiori alla norma. Un ulteriore contributo è costituito dall'avvezione di masse d'aria particolarmente calda provenienti dall'Atlantico, dove nel corso dell'anno si sono sviluppate anomalie di temperatura del mare eccezionalmente alte, come riportato in precedenza. Il fatto che le temperature minime abbiano presentato un'anomalia più elevata rispetto alle massime è probabilmente legato alle condizioni di instabilità convettiva che hanno caratterizzato le regioni settentrionali nel corso dei mesi estivi e alla contemporanea presenza di valori di umidità più alti nel corso dell'estate 2023 rispetto all'anno precedente, quando gran parte dell'Italia centro-settentrionale versava in condizioni di siccità estrema

(Braca et al., 2023, SNPA, 2023). La presenza di maggiore umidità nei primi strati del suolo e negli strati più bassi dell'atmosfera ha infatti l'effetto di ridurre le anomalie di temperatura massima diurne e aumentare le temperature minime notturne. La presenza di intensi flussi di calore dalle aree tropicali e atlantiche ha comunque favorito l'innalzamento medio dei valori termici: è infatti da notare che gran parte dell'anomalia annuale è legata al record termico osservato per la stagione autunnale, quando le temperature medie nazionali hanno superato di 0.78 °C il precedente record del 2022. Nello stesso periodo, le temperature dei mari tropicali hanno cominciato a sviluppare anomalie termiche particolarmente elevate e del tutto eccezionali.

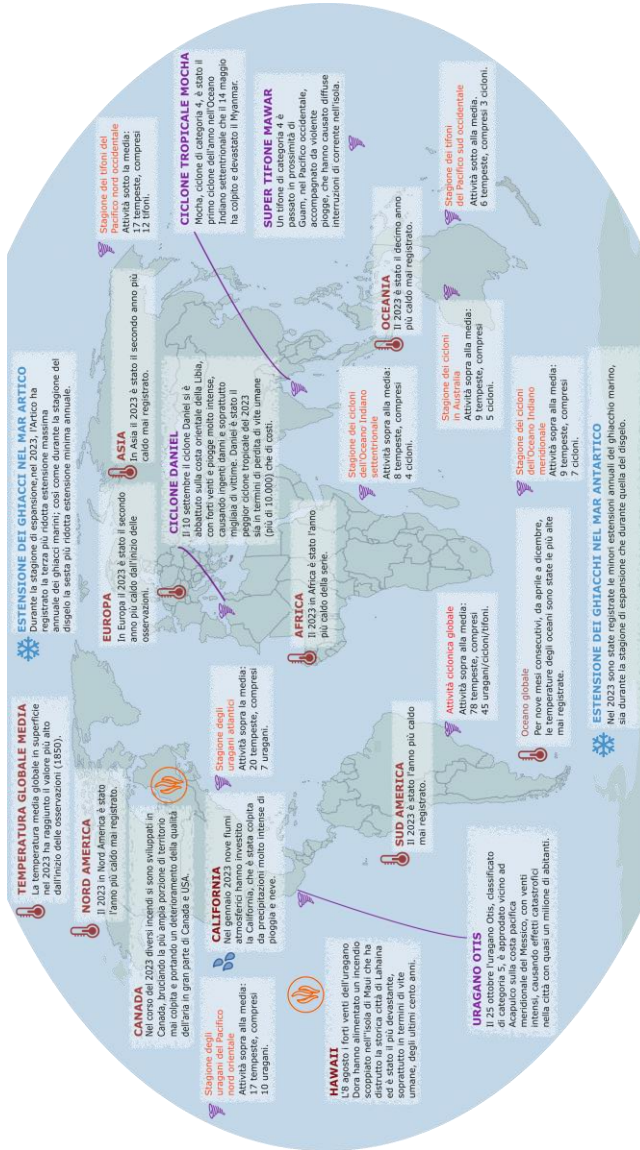
Dal punto di vista pluviometrico l'anno si è posizionato all'interno della normale variabilità rispetto al clima 1991-2020, un dato che non restituisce però la distribuzione fortemente disomogenea delle precipitazioni dal punto di vista temporale e spaziale: **le piogge** si sono concentrate prevalentemente in periodi circoscritti e **sono risultate scarse nelle regioni meridionali e in Sardegna e Sicilia, dove nella seconda metà dell'anno si sono progressivamente instaurate condizioni di siccità.**

Queste condizioni climatiche hanno favorito l'espandersi degli incendi boschivi: il C3S e il *Copernicus Emergency Management Service* (CEMS)³ hanno infatti riportato che nel corso dell'anno in Italia gli incendi boschivi hanno bruciato una superficie totale superiore a 1000 km², pari a circa sei volte le dimensioni di Bruxelles. Ciò ha reso l'Italia la seconda nazione europea con la maggiore estensione di incendi boschivi dopo la Grecia, dove si è verificato il più esteso incendio boschivo mai registrato in Europa, durante il quale sono bruciati 96000 ettari di bosco. In generale, l'estensione complessiva degli incendi boschivi a livello europeo è risultata la quarta più alta dal 1991.

Anche le temperature superficiali dei mari italiani hanno risentito della persistenza di condizioni meteorologiche favorevoli all'insolazione e sono risultate costantemente positive, con un'anomalia media annuale rispetto al periodo 1991-2020 di +0.91 °C, seconda solo a quella del 2022.

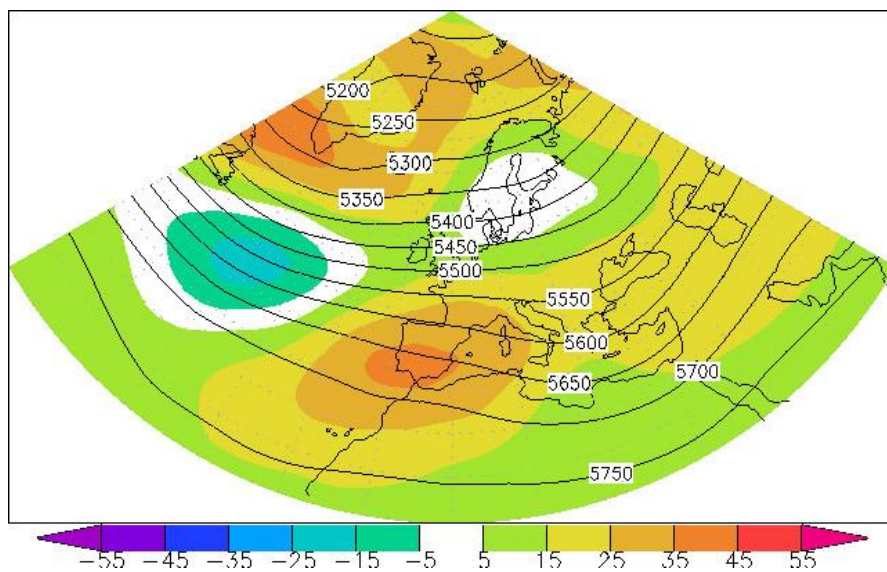
³ Il CEMS-Copernicus Emergency Management Service è uno dei 6 servizi tematici operativi del *Copernicus Earth Observation Programme* dell'Unione Europea: <https://emergency.copernicus.eu/>.

Figura 2.3: Sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2023.



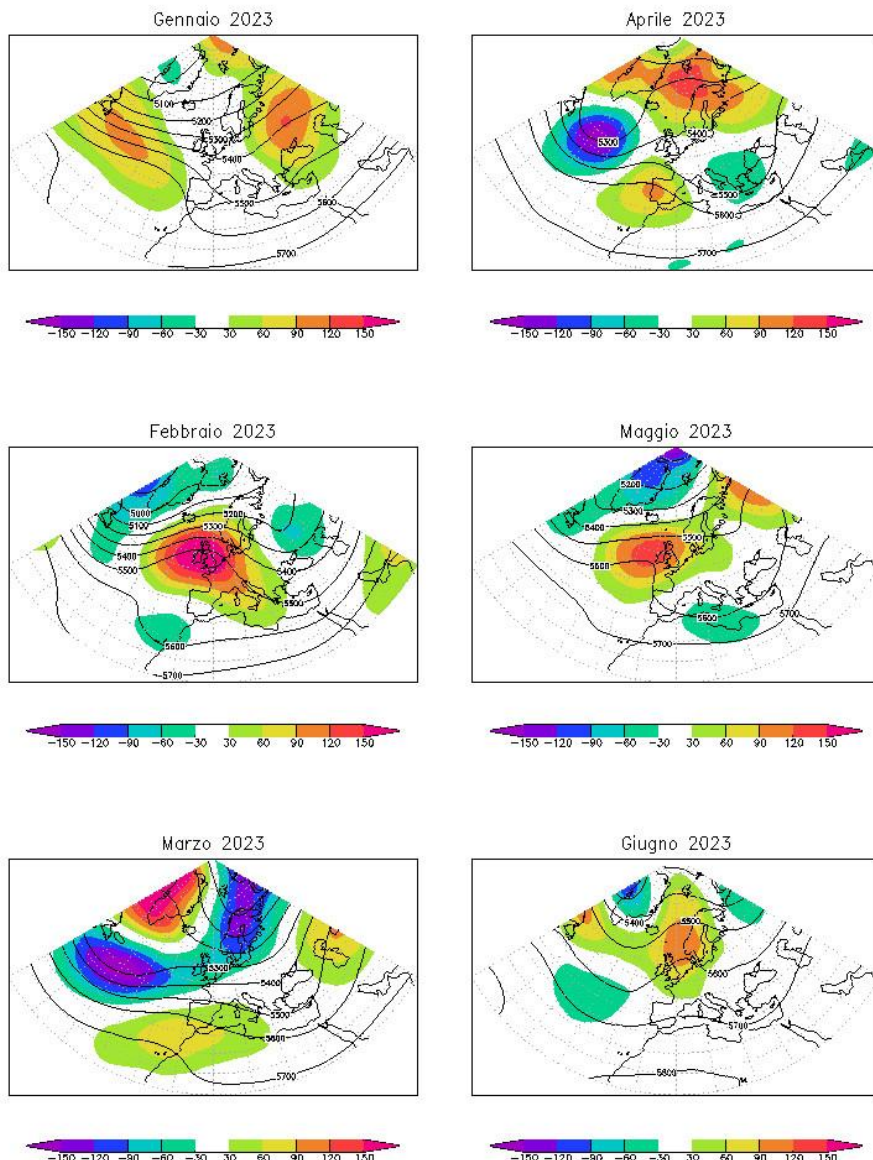
Fonte: NOAA. Elaborazione: ISPRA.

Figura 2.4: Mappa del geopotenziale medio annuale 2023 a 500 hPa, in mgp. L'intervallo tra le isolinee è 50 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2023 rispetto al valore normale 1991-2020.



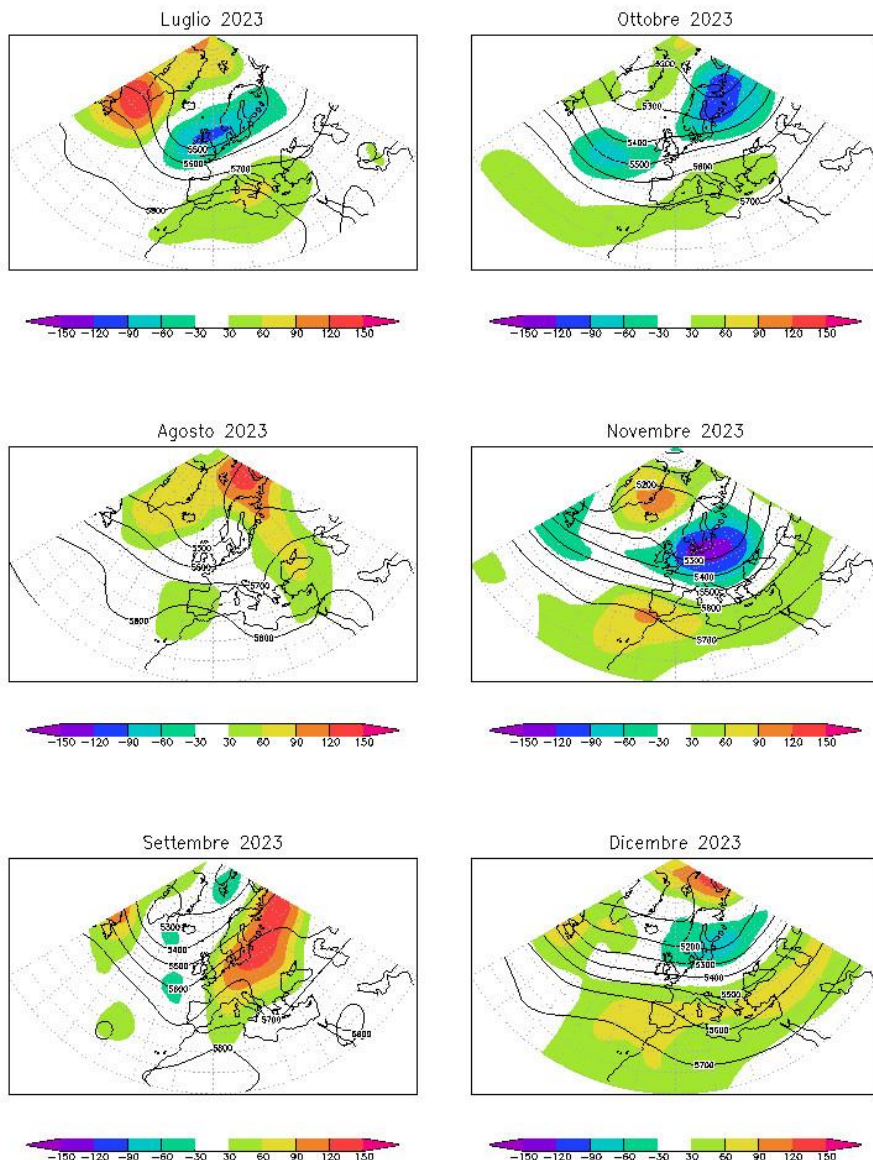
Fonte: C3S, dataset ERA5.

Figura 2.5a: Mappe del geopotenziale medio mensile (da gennaio a giugno 2023) a 500 hPa, in mgp. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2023 rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: C3S, dataset ERA5.

Figura 2.5b: Mappe del geopotenziale medio mensile (da luglio a dicembre 2023) a 500 hPa, in mgp. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2023 rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: C3S, dataset ERA5.

2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia

2.1.1 Inverno

Le Figure 2.4a e 2.4b presentano le anomalie mensili di Z500 rispetto al trentennio 1991-2020, ottenute a partire dal dataset ERA5 disponibile nel C3S. Questo parametro può essere considerato un buon indicatore delle anomalie di flusso atmosferico di larga scala nella troposfera extra-tropicale e delle anomalie di temperatura media della troposfera.

Come si può notare dalla Figura 2.4a, a gennaio le regioni italiane si sono trovate in corrispondenza di una saccatura di geopotenziale. Di conseguenza, nonostante su gran parte della regione euro-mediterranea le anomalie di questo parametro abbiano presentato valori positivi, l'Italia si è trovata in corrispondenza di anomalie più contenute, se non lievemente negative. Le anomalie termiche medie mensili sono state positive ovunque, al più dell'ordine di 1 °C, e le precipitazioni generalmente all'interno della normale variabilità climatica, con anomalie positive più pronunciate nelle regioni centro-meridionali.

Nei primissimi giorni dell'anno sono state però osservate intense anomalie termiche. Tra l'1 e il 4 **gennaio**, in Emilia-Romagna, l'anomalia termica giornaliera regionale ha superato i record massimi mai registrati dal 1961, arrivando il giorno 4 a superare il precedente record di 1.7°C rispetto alla media 1991-2020. Le temperature sono però poi rientrate nella normale variabilità climatica.

Il mese di gennaio è risultato particolarmente piovoso in Sardegna, dove i settori centro-settentrionali hanno ricevuto le maggiori precipitazioni. Il massimo mensile, pari a 258.0 mm, è stato registrato a Calangianus (SS, 476 m s.l.m.), ed è risultato pari a 3.4 volte la media climatica. Le precipitazioni sui rilievi principali dell'isola sono state frequentemente di tipo nevoso, con accumuli anche consistenti al suolo, fino a 40 cm a Fonni (NU, 1139 m s.l.m.).

Il 16 gennaio la provincia di Salerno, è stata colpita da intensissime precipitazioni che hanno causato frane e colate detritiche, con danni alla rete dei servizi essenziali, alle infrastrutture, a strutture pubbliche e private e alle attività produttive.

Tra il 21 e il 23 gennaio un ciclone ha transitato lentamente sul Mediterraneo, portando sulle regioni italiane aria fredda di origine artica e sulle Marche precipitazioni diffuse e abbondanti, in particolare sul settore centro-settentrionale della regione, con nevicate al di sopra dei 400-500 m. Le cospicue precipitazioni, più abbondanti nelle aree settentrionali, hanno raggiunto massime cumulate di evento di 142.6 mm presso la stazione di Bronzo (PU, 173 m s.l.m.), causando l'innalzamento dei livelli di diversi corsi d'acqua, specie nel settore centro-settentrionale, con alcuni locali episodi di esondazione. Le copiose nevicate hanno provocato diversi episodi valanghivi nel comparto orientale dei Monti Sibillini, alcuni anche di grandi dimensioni. Il deciso rafforzamento della ventilazione, in particolare lungo la fascia costiera, ha determinato l'intensificazione del moto ondoso, con conseguenti episodi di mareggiata, specie sul litorale settentrionale. In questa occasione la neve ha imbiancato anche tutto l'arco alpino e appenninico.

A partire da **febbraio** le precipitazioni sono calate ovunque, in presenza di prevalenti condizioni di blocco centrato sulle isole britanniche. Queste anomalie climatiche hanno favorito in alcune regioni l'acutizzarsi della siccità, presente sul territorio dall'anno precedente. È il caso, ad esempio, della Liguria, del Piemonte, della Lombardia, dell'Emilia-Romagna e della Sardegna che hanno sperimentato

tra febbraio e aprile deficit non trascurabili di precipitazione, con finanche situazioni localizzate di siccità estrema.

Nella stazione di Trento Laste nei pressi del capoluogo della Provincia Autonoma di Trento, febbraio è risultato completamente privo di precipitazioni. In Veneto, quello del 2023 è stato il febbraio più secco dal 1992, a causa del persistere di condizioni di blocco atmosferico instauratesi il 24 gennaio: nel Veronese e nelle aree meridionali delle Dolomiti questo periodo di scarsissime precipitazioni si è esteso per 49 giorni, fino al 13 marzo.

Tra il 3 e il 4 febbraio, sempre in Veneto, sulle Dolomiti venti sostenuti di intensità medie giornaliere fino a 40.2 km/h il giorno 2 e fino a 49.2 km/h il giorno 3, con raffiche superiori a 100 km/h in molte stazioni, e picchi fino a 160 km/h, hanno sradicato diversi alberi.

In questi stessi giorni la neve è tornata a imbiancare le Alpi e gli Appennini fino a quote collinari. Sull'Appennino marchigiano (Figura 2.6) nella prima metà di febbraio il manto nevoso era generalmente consistente, al contrario dei rilievi altoatesini che a metà febbraio presentavano uno scarso manto nevoso alpino

Tra il 9 e il 10 febbraio la tempesta sub-tropicale Helios ha interessato le aree sud-orientali della Sicilia scaricando piogge persistenti con accumuli compresi tra 200 e 450 mm in 48 ore su una vasta area tra le provincie di Siracusa, Ragusa e Catania; l'evento ha provocato l'esonazione dei fiumi Ficuzza e Acate, oltre a danni alle colture e a circa 2000 abitazioni, nonché 3 decessi. I venti intensi associati al passaggio di questa perturbazione, con valori massimi registrati presso la stazione di Pachino (SR, 50 m s.l.m.) fino a 105 km/h, sono stati associati ad intense mareggiate che hanno causato l'allagamento del Borgo Marinaro di Marzamemi. Nella parte meridionale della provincia di Ragusa, le precipitazioni in questi due giorni sono risultate pari ad oltre il 50 % delle piogge totali cadute nel 2023.

Nella seconda decade di febbraio, sulle Dolomiti venete oltre i 1700 m di quota, è stata registrata una spiccata anomalia termica intorno a +8 °C rispetto al valore climatico 1991-2020. In questa regione, lungo la costa e le pianure sud-orientali, tra il 26 e il 27 febbraio sono stati inoltre registrati venti intensi con una media giornaliera di 49 km/h misurati presso la stazione di Rosolina (RO, -2 m s.l.m.), con conseguenti danni lungo la costa. A fine febbraio, un sistema depressionario ha stazionato sul paese fino a inizio marzo e associato ad aria molto fredda proveniente dalla penisola scandinava, ha nuovamente determinato nevicate diffuse, particolarmente abbondanti sul versante adriatico degli Appennini. In questa occasione, in Emilia-Romagna la neve ha raggiunto anche le aree pedecollinari.

2.1.2 Primavera

A **marzo** il flusso atmosferico medio è tornato a essere di tipo zonale, seppure con un asse della corrente a getto leggermente spostato verso l'Europa settentrionale, come si può notare dalle mappe delle anomalie di Z500. Le anomalie termiche hanno presentato, per il terzo mese di fila, valori ovunque positivi anche se non particolarmente intensi, e le precipitazioni sono state ovunque leggermente inferiori alla norma.

Queste condizioni hanno favorito l'intrusione di aria calda da sud, l'innalzamento dello zero termico e piogge in alta quota sull'arco alpino: già a inizio primavera era presente una compatta copertura di ghiaccio sui pendii delle Alpi occidentali piemontesi (Figura 2.7).

Il 10 marzo il Piemonte è stato interessato da venti di foehn a tutte le quote, con picco tra le ore 20 e

21 (UTC): la massima raffica a quote inferiori a 700 m è stata registrata dalla stazione di Torino Alenia (TO) alle ore 20 UTC con un'intensità pari a 94.7 km/h. Il valore si posiziona al terzo posto dal 2005, dopo i 103 km/h del 21 novembre 2008 e i 102.2 km/h del 29 giugno 2013. I venti hanno causato danni nel torinese e nel pinerolese con la caduta di alberi, danni a ponteggi e coperture, e temporanee interruzioni dell'energia elettrica.

In Veneto, tra il 9 e il 10 marzo, sono stati segnati nuovi record positivi di anomalia di temperatura media presso alcune stazioni collocate nelle aree centro-meridionali della regione. Anche in Emilia-Romagna, negli stessi giorni, l'anomalia termica giornaliera media regionale ha superato i record dal 1961, con uno scarto massimo di 1.6 °C rispetto alla media 1991-2020 il giorno 11.

Ad **aprile** i flussi atmosferici medi si sono orientati a nord, le anomalie termiche medie mensili sono risultate ovunque negative e, nel corso del mese, si è concluso il periodo di scarse precipitazioni e di persistente condizione di siccità iniziato nell'anno precedente o anche prima, specie in alcune aree dell'Italia settentrionale.

Il cambio di regime si è osservato sin dai primi giorni del mese, caratterizzati da intense anomalie termiche negative. Il 5 aprile in Emilia-Romagna l'anomalia termica giornaliera regionale ha segnato un nuovo record minimo, inferiore a tutti i valori registrati dal 1961. Questo evento è stato associato tra il 5 e il 7 del mese a una notevole diminuzione delle temperature minime che hanno raggiunto valori nettamente inferiori a 0 °C in vaste aree della pianura per più giorni; le gelate tardive, a seguito di un inverno generalmente mite, hanno causato gravi danni alle colture frutticole, con perdite di produzione stimate intorno al 70% per le albicocche e all'80% per le pere.

In Veneto il 13 aprile si è concluso un lungo periodo di scarsità di precipitazioni nevose iniziato il 25 gennaio, particolarmente critico ed esteso a tutte le Dolomiti: l'indice standardizzato di manto nevoso ha infatti raggiunto ad aprile un valore di -0.80. La scarsità di neve ha causato problemi all'agricoltura e all'industria. Nella seconda metà del mese la neve è infatti tornata a imbiancare le Alpi, concedendo almeno un recupero finale delle riserve nevose, di grandissima importanza per il ricarica delle risorse idriche a ridosso della stagione estiva.

Con la fine di aprile il periodo di siccità si è concluso anche nelle regioni centro-meridionali. In Sardegna nel trimestre febbraio-aprile, le piogge hanno raggiunto cumulate del 40-50% della media climatica di riferimento.

Nel mese di **maggio**, nonostante l'asse principale del jet atlantico si sia spostato sull'Europa settentrionale, si è osservata una intensificazione dell'instabilità sul Mediterraneo, con richiamo di aria fredda da nord e precipitazioni più intense sui versanti orientali appenninici, ma comunque estese a tutto il territorio nazionale. Le temperature sono risultate ovunque nella norma o lievemente inferiori ad essa, e le precipitazioni ovunque abbondanti.

Nelle pianure meridionali del Veneto il mese di maggio è risultato il più piovoso dal 1992, con un indice standardizzato di precipitazione sul mese (SPI a 1 mese) superiore a 2. Maggio è risultato estremamente piovoso anche in Abruzzo, dove le piogge hanno causato danni estesi nelle province di Teramo, Pescara e Chieti per cui è stato dichiarato lo stato di emergenza. Per la Sicilia il mese di maggio, con una media regionale di 126 mm, è risultato il più piovoso dal 1916.

Tra il 2 e il 3 maggio sono state rilevate intense e persistenti precipitazioni sul versante ionico centro-settentrionale della Calabria, con cumulate totali sull'evento fino a 187.6 mm a Longobucco (CS, 900

m s.l.m.), nonché 14.6 mm in un'ora, 39.6 mm in tre ore, 67.8 mm in sei ore e 119.0 mm su 12 ore. Le precipitazioni hanno determinato un generale innalzamento dei livelli idrici, in particolare nel bacino del Fiume Trionto.

In Sicilia le piogge persistenti hanno causato, il 12 maggio, il distacco di una frana nel territorio del comune di San Fratello (ME); l'evento ha determinato una grave situazione di pericolo, causando l'evacuazione di 16 nuclei familiari e danni alla viabilità provinciale con relativa chiusura di alcune strade.

Le precipitazioni hanno poi colpito in particolare l'Appennino settentrionale. Tra l'1 e il 17 maggio due eventi pluviometrici in rapida successione, ciascuno di entità eccezionale, hanno scaricato sulla Romagna e sulle aree centrali della regione Emilia-Romagna un quantitativo di precipitazioni tra un quarto e metà del valore atteso per l'intero anno (secondo il clima 1991-2020); i totali di precipitazioni cumulate su 17 giorni hanno raggiunto valori fino a 609.8 mm nella stazione di Trebbio (FC, 570 m s.l.m.) e 563.4 mm a Le Taverne (BO, 486 m s.l.m.). Nonostante i fenomeni siano stati previsti con buona accuratezza, l'eccezionale intensità degli eventi ha provocato devastanti impatti sul territorio e 17 decessi (Figure 2.8-2.10; [v. focus](#)).

Tra il 15 e il 18 maggio intense precipitazioni hanno colpito anche le Marche, raggiungendo nelle aree settentrionali massimi totali di evento fino a 140.0 mm presso la stazione di Bronzo (PU, 173 m s.l.m.). Tutto il territorio è stato interessato da dissesto idrogeologico, con attivazione di numerose frane e colate detritiche, esondazioni di fossi e torrenti. La ventilazione dai quadranti orientali, a tratti di vento forte o burrasca lungo la fascia costiera, ha determinato uno stato del mare molto mosso o agitato, con mareggiate e accumulo di detriti lungo la costa e difficoltà nel deflusso delle acque fluviali.

Negli stessi giorni in Toscana, più precisamente tra il 16 e il 17 maggio, si sono riversate ingenti precipitazioni nella zona del Mugello, con cumulate su 24 ore fino a 200 mm e su 48 ore fino a 300 mm. Le piogge hanno innescato circa 180 frane che hanno interrotto le linee ferroviarie e varie strade provinciali; centinaia di persone sono rimaste isolate e molte famiglie sono state evacuate; questi eventi hanno causato danni all'agricoltura e all'industria stimati in circa 20 milioni di euro.

Anche in Veneto tra l'8 e il 12 maggio sono state registrate piogge insolitamente abbondanti, in particolare nella provincia di Rovigo e sui Colli Euganei, dove in molte stazioni sono state raggiunte, tra il 10 e l'11 maggio, cumulate totali superiori a 100 mm, con massimi di 161 mm a Trecenta (RO, 9-m s.l.m.) e 165 mm a Faedo (PD, 250 m s.l.m.), e tempi di ritorno stimati superiori a 50 anni. L'evento ha causato l'esondazione del fiume Ceresolo in Polesine, la chiusura di strade, l'allagamento di garage e cantine, la caduta di alberi e l'evacuazione di due abitazioni. Nel corso di questo evento, l'11 maggio, nelle aree centrali della pianura sono state registrate le temperature più basse degli ultimi 30 anni per la seconda decade di maggio.

Il 16 maggio un evento marino particolarmente intenso ha colpito le coste meridionali del Veneto, con danni alle spiagge e case allagate.

Tra il 19 e il 21 maggio le precipitazioni hanno interessato anche il Piemonte, con valori più significativi e particolare persistenza sulle aree pedemontane, collinari e di pianura occidentali e sud-occidentali. A fine evento le cumulate più elevate sono state registrate presso le stazioni di Barge (CN, 947 m s.l.m.) e di Trivero (VC, 1108 m s.l.m.), con valori rispettivamente di 317.2 mm e 300.2 mm. Nel torinese la cumulata più significativa dell'evento è stata registrata alla stazione di Praly (TO, 1385 m s.l.m.), con un valore pari a 251.9 mm e tempi di ritorno superiori a 20 anni. Le precipitazioni hanno determinato

un incremento significativo del livello idrico in vari fiumi regionali e situazioni di dissesto localizzato, soprattutto nel settore prealpino e in misura minore nell'area collinare.

Anche in Sardegna le precipitazioni totali di maggio sono risultate in linea o superiori ai valori climatici di riferimento, con massimi nel Golfo di Orosei, fino a 363.0 mm presso la stazione di Dorgali sul Monte Tului (NU, 915 m s.l.m.), pari a 3 volte il valore climatico di riferimento. In ristrette aree costiere settentrionali sono invece stati registrati quantitativi simili o di poco inferiori ai valori climatici; il valore minimo, inferiore a 20 mm, è stato registrato presso la stazione Capoterra Poggio dei Pini (CA, 165 m s.l.m.). Circa metà di queste precipitazioni si è concentrata nei giorni 20 e 21 maggio, quando due sistemi frontali occlusi associati a un minimo al suolo hanno investito la Sardegna, attraversandola da est a ovest e determinando diffusa instabilità. Le precipitazioni sono state persistenti e generalmente a carattere stratiforme, ma nel corso del secondo giorno sono state osservate due brevi fasi a carattere convettivo, accompagnate da diverse fulminazioni. Nell'intero evento le precipitazioni cumulate maggiori sono state osservate tra Ogliastra e Supramonte, in particolare: 329.0 mm a Dorgali sul Monte Tului (NU, 915 m s.l.m.), 299.8 mm a Genna Silana (NU, 1013 m s.l.m.) e 259.6 mm ad Arzana (NU, 727 m s.l.m.). Proprio a Dorgali, sul Monte Tului, sono state rilevate le intensità massime di precipitazione su 60 minuti, pari a 31.6 mm/h il giorno 20 e a 51.4 mm/h il 21.

Nella serata del 30 maggio un forte temporale si è abbattuto sull'abitato di Nago - Torbole in Provincia di Trento: in poco più di mezz'ora la stazione di Torbole Belvedere (TN, 90 m s.l.m.) ha registrato 36.4 mm di precipitazioni, mentre la temperatura è passata da 21.9 °C a 13.0 °C. Il nubifragio è stato accompagnato da una copiosa grandinata con chicchi di piccole dimensioni, che hanno coperto il suolo della località con uno strato di qualche cm, e raffiche di vento prossime agli 80 km/h.

2.1.3 Estate

L'estate è iniziata in presenza di flussi atmosferici mediamente occidentali o nord-occidentali, valori termici prossimi al clima 1991-2020 o superiori, favoriti dall'instaurarsi di anomalie termiche particolarmente elevate su gran parte dell'Atlantico centro-settentrionale e piovosità nella norma nelle regioni settentrionali, ma nettamente superiori nelle regioni centro-meridionali.

In particolare, **giugno** è risultato estremamente piovoso in Abruzzo, dove le piogge hanno causato danni estesi nelle province di Teramo, Pescara e Chieti, per cui è stato dichiarato lo stato di emergenza. In Sardegna le precipitazioni totali di giugno sono risultate molto abbondanti, di natura quasi sempre convettiva, e quasi esclusivamente concentrate nella prima metà del mese. I valori giornalieri più elevati, 104.2 mm e 145.0 mm, sono stati registrati il giorno 14, rispettivamente nelle stazioni di Arzachena (SS, 119 m s.l.m.) e Flumini maggiore (SU, 83 m s.l.m.). Le intensità di precipitazioni orarie hanno raggiunto in alcuni casi valori superiori a 30 mm in un'ora e 70 mm in tre ore.

Il 23 giugno un temporale estremamente intenso ha colpito il territorio dell'Umbria scaricando in poco più di tre ore quantitativi di pioggia massimi fino a 180 mm tra Assisi (PG) e Bastia Umbra (PG), stimati in base alla combinazione di riflettività da radar e dati rilevati al suolo. L'evento ha causato allagamenti locali e innescato instabilità di versante sui rilievi, con costi stimati per la fase di emergenza di oltre 250 mila euro e tempi di ritorno stimati superiori a 200 anni.

A partire da **luglio** la circolazione di larga scala ha favorito l'instaurarsi di anomalie termiche particolarmente significative, soprattutto nelle regioni centro-meridionali, dove si è anche osservato un

generale calo delle precipitazioni. Le anomalie termiche hanno avuto un riscontro anche nelle temperature superficiali dei mari italiani, che hanno raggiunto in questo mese anomalie mensili dell'ordine di 2 °C oltre i valori climatici di riferimento 1991-2020.

Il 6 luglio si è sviluppata una supercella temporalesca sul Piemonte che ha interessato la parte centro-meridionale della regione, con grandinate anche di grosse dimensioni. I fenomeni temporaleschi hanno determinato allagamenti e danni alle auto e alle colture, oltre allo sradicamento di alberi e rami finiti sulle carreggiate delle strade. Le intensità orarie più elevate sono state quelle di 43.5 mm ad Alba (CN, 172 m s.l.m.), 42.3 mm a Santena (TO, 237 m s.l.m.) e 31.4 mm a Roccaverano (AT, 640 m s.l.m.).

Nella seconda decade di luglio metà della superficie del Veneto è stata interessata da due brevi ma intense ondate di calore. Anche in provincia di Bolzano si è verificata una forte ondata di calore della durata di dieci giorni, che ha raggiunto il suo apice il 22 luglio, quando a Bolzano è stata rilevata la temperatura massima di 39.0 °C.

L'Emilia-Romagna ha registrato tra l'8 e il 24 luglio un'intensa ondata di calore durante la quale l'anomalia termica giornaliera media regionale ha superato i precedenti record nei giorni 10, 11, 12 e 18 del mese, con uno scarto massimo di +1.9 °C rispetto al precedente record (l'11 luglio); in questa regione il mese di luglio è risultato il quinto più caldo dal 1961.

Tra l'8 e il 20 luglio in Toscana è stata registrata la quarta ondata di calore più lunga mai osservata dal 1955 con un'anomalia termica media di +3.8°C rispetto al clima 1991-2020, presso la stazione di Firenze Peretola.

Anche in Campania tra il 12 e il 26 luglio sono state registrate ondate di calore di notevole intensità. In Sicilia, tra il 9 e il 25 luglio, è stata registrata un'ondata di caldo torrido persistente, durante la quale temperature superiori a 40 °C sono state rilevate per un numero di giorni consecutivi mai registrato il mese di luglio 2023 è stato il più caldo dall'inizio delle osservazioni (1921).

Durante questo periodo ondate di calore eccezionali hanno colpito anche la Sardegna. In particolare, il 19 luglio, le temperature massime assolute hanno raggiunto i 47.7 °C a Donori ARST (NU, 138 m s.l.m.). In seguito, il 24 luglio oltre l'80% delle stazioni delle reti della regione ha misurato una temperatura massima pari o superiore a 40 °C. L'area più calda dell'isola è stata la parte sud-orientale: oltre ai picchi eccezionali di Jerzu (NU, 47 m s.l.m.) e Lotzorai (NU, 7 m s.l.m.), dove la temperatura massima ha raggiunto il record di 48.2°C, sono stati registrati valori compresi tra 47 e 48 °C nelle stazioni di San Vito (NU, 4 m s.l.m.), Tortoli (NU, 17 m s.l.m.), Barisardo (NU, 27 m s.l.m.) e Tertenia (NU, 104 m s.l.m.). Nel restante 20% delle stazioni, collocate in aree costiere o in quota, si sono quasi sempre superati i 36 °C: di rilievo i 39.4 °C a Villanova Strisaili (NU, 813 m s.l.m.), i 39.8 °C ad Aritzo (NU, 880 m s.l.m.), e i 39.0 °C a Desulo Comune (NU, 902 m s.l.m.). La temperatura massima più bassa del giorno 24, pari a 33.8 °C, è stata registrata a Desulo Perdu Abes (NU, 1372 m s.l.m.). Il precedente record di temperatura massima (48 °C) era stato registrato il 23-24 luglio 2009, nella Sardegna settentrionale ([v. focus](#)).

In Sicilia la scarsità delle precipitazioni e le alte temperature hanno contribuito all'insorgere di condizioni di siccità e di problemi di severità idrica per usi idropotabili e irrigui⁴, che hanno continuato a persistere fino al termine dell'anno (e poi successivamente nel corso del 2024).

⁴ Portale ISPRA su "Lo stato di severità idrica a scala nazionale", nell'ambito delle attività degli Osservatori distrettuali per gli utilizzi idrici: https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html.

A partire dalla seconda decade di luglio, con il passaggio di fronti in condizioni atmosferiche di instabilità convettiva in un contesto di intense anomalie termiche positive e di alti valori di umidità relativa superficiale, si sono verificati fortissimi temporali sulle regioni settentrionali. In Veneto, frequenti temporali associati a migliaia di fulminazioni hanno causato danni alla rete elettrica e alle linee telefoniche e interruzioni ai servizi di emergenza. Il mese è risultato comunque particolarmente piovoso sulle Dolomiti venete e in parte della provincia di Verona, dove sono stati registrati valori dell'indice SPI a 1 mese superiori a 2.0. Il 18 luglio i temporali hanno colpito l'Alto Cadore tra Comelico e Cortina, dove, presso la stazione meteorologica di Cortina d'Ampezzo - Gilardon (BL, 1271 m s.l.m.), i venti, con un valore record di 129 km/h, ha causato la caduta di alberi in una ampia area circostante. Il 19 luglio una violenta grandinata a Carmignano di Brenta (PD), con chicchi del diametro di 16 cm, ha causato lesioni ad oltre 200 persone, oltre ad estesi danni a colture, verde pubblico, automobili, abitazioni e industrie, nonché danneggiamenti e ritardi anche sulle linee ferroviarie. I temporali sono culminati negli eventi del 21-22 luglio e del 24-25 luglio, associati a grandinate con chicchi di grandi dimensioni e a raffiche fino a 143 km/h a Montagnana (PD, 13 m s.l.m.); il 21 luglio, a Verona, un uomo è stato colpito da un fulmine. I danni relativi a questi ripetuti eventi meteorologici sono stati stimati dalla Regione Veneto a decine di milioni di euro.

Il 21 luglio intensi temporali hanno colpito anche Mantova, dove le precipitazioni sono state associate a grandinate con chicchi di diametro fino a 10 cm ([v. focus](#)).

Tra il 19 e il 22 luglio anche in Emilia-Romagna sono stati osservati intensi temporali spesso associati a grandine di medie dimensioni e forti raffiche di vento. Il 22 luglio, nel corso di un temporale, sono state osservate forti raffiche di vento con valori fino a 107.6 km/h presso la stazione di Sasso Marconi (BO, 275 m s.l.m.), mentre a Voltana (Lugo, RA) è stato avvistato un tornado.

Il 24 luglio in Friuli Venezia Giulia i temporali sono stati associati a grandine di dimensioni molto grandi con il chicco record del diametro di 19 cm misurato ad Azzano Decimo (PN); l'evento, esteso a gran parte della pianura friulana, ha causato moltissimi danni ([v. focus](#)).

Tra il 24 e il 25 luglio anche le aree centro-settentrionali della Lombardia sono state colpite da temporali organizzati associati a raffiche superiori a 100 km/h ([v. focus](#)).

Il 25 luglio il transito di un sistema temporalesco ha causato nel settore occidentale dell'Emilia-Romagna forte vento, locali allagamenti e grandine anche di grosse dimensioni tra il piacentino e il reggiano, con danni alle colture. Nella serata del 26 luglio, il transito sulla fascia costiera della regione di un'altra cella temporalesca e proveniente dal Veneto ha portato grandine sul ferrarese e raffiche lungo il suo percorso, causando allagamenti a Gatteo a Mare (FC) e Cesenatico (FC).

Nel mese di **agosto** la circolazione di larga scala ha favorito un contenimento parziale delle anomalie termiche, soprattutto nelle regioni centro-meridionali, dove si sono comunque continuate a osservare ondate di calore per periodi circoscritti. Le anomalie termiche più intense si sono verificate nelle regioni settentrionali. Nel corso del mese la piovosità è risultata all'interno della normale variabilità climatica, con anomalie mensili leggermente superiori alla norma nelle regioni centro-settentrionali e inferiori nelle regioni meridionali.

Dal 19 al 26 agosto una lunga ondata di calore ha colpito il Veneto, con il superamento dei record, in particolare delle temperature minime, nella parte centro-settentrionale della regione nei giorni dal 22 al 24 agosto. Nel corso delle ondate di calore estive presso i servizi di pronto soccorso è stata registrata

una media di 500 ingressi al giorno per problemi relativi alle alte temperature.

Anche in Lombardia nella terza decade di agosto sono state rilevate intense ondate di calore e il giorno 23, presso l'Osservatorio Meteorologico di Brera (MI, 122 m s.l.m.), è stata osservata la temperatura media giornaliera di 33 °C, la più alta dal 1763, anno di inizio osservazioni.

Tra l'11 e il 27 agosto anche in Emilia-Romagna si sono osservate intense ondate di calore, e tra i giorni 21 e 26 agosto l'anomalia termica giornaliera regionale ha superato i record massimi rilevati dal 1961. Lo scarto dal precedente record ha raggiunto il valore massimo di +0.7 °C il giorno 25, quando sono state registrate le massime temperature assolute regionali per il 2023: 40.7 °C presso le stazioni di Marzaglia (MO, 54 m s.l.m.) e Sant'Agata Bolognese (BO, 18 m s.l.m.).

Tra il 21 e il 23 agosto le temperature massime sono salite anche in Liguria, dove, nelle stazioni di Ellera Foglietto (GE, 80 m s.l.m.), Riccò del Golfo (SP, 143 m s.l.m.) e Padivarma (SP, 75 m s.l.m.) è stata registrata la temperatura di 41.3 °C il terzo valore più alto registrato in Liguria dal 2003.

Tra il 14 e il 27 agosto si è verificata in Toscana la terza ondata di calore più lunga mai registrata dal 1955; in questi giorni presso la stazione di Firenze Peretola è stata osservata un'anomalia termica media di +3.8 °C superiore alla media climatologica 1991-2020.

Nella prima decade di agosto in Veneto sono stati ancora registrati frequenti temporali, e il 3 agosto i forti venti sull'alto Adriatico hanno causato un'intensificazione del moto ondoso, che ha provocato danni sulle coste settentrionali della regione; sono stati inoltre registrati temporali particolarmente intensi associati a piogge abbondanti e persistenti, con tempi di ritorno stimati fino a 10-15 anni e raffiche di vento tra 90 e 115 km/h: l'evento ha causato danni a raccolti, edifici e automobili, anche a causa della caduta di alberi.

Nella serata del 13 agosto in Piemonte, una cella temporalesca collocata in testata del bacino del torrente Frejus ha dato origine a una colata detritica che ha interessato l'abitato di Bardonecchia (TO), danneggiando edifici e autovetture; sono state interrotte le comunicazioni stradali e segnalati problemi di erogazione di acqua potabile, gas e teleriscaldamento. La rete radar ha evidenziato lo sviluppo e lo stazionamento di una cella temporalesca che ha incrementato progressivamente le sue dimensioni, con intensità massime di precipitazione stimate tra 40 e 55 mm/h e totali areali sulla testata del bacino tra 25 e 30 mm.

Il 14 agosto nelle aree settentrionali della Valle d'Aosta si sono sviluppati intensi temporali che hanno riversato in 2 ore totali di precipitazione fino a 24 mm presso la stazione di Pont Valsavarenche (AO, 1951 m s.l.m.), con intensità massime pari a 17.4 mm in 30 minuti. Nel territorio di molti comuni le precipitazioni hanno innescato diverse colate detritiche lungo i torrenti, che si sono poi riversate in zone antropizzate e hanno interessato le strade provinciali, talvolta trascinando con sé autovetture, ma senza causare vittime.

In Piemonte, tra il 24 e il 28 agosto, sono stati registrati intensi e ripetuti fenomeni temporaleschi; le colate detritiche innescate hanno interrotto strade, coinvolto edifici e isolato centri abitati, evacuati con elicotteri dei Vigili del Fuoco. Le precipitazioni cumulate più elevate, superiori ai 300 mm, sono state misurate presso Verbano a Cursolo (VB, 318.8 mm, 940 m s.l.m.), Arvogno (VB, 309.4 mm, 1240 m s.l.m.) e Druogno (VB, 304,4 mm, 831 m s.l.m.), e in molte stazioni sono stati rilevati totali di evento superiori a 140 mm. La quota neve minima è stata raggiunta in alta Val Chisone e alta Val Susa, imbiancando Sestriere (TO), e in generale le montagne oltre i 1900 m.

Tra il 26 e il 29 agosto un nuovo passaggio di un minimo depressionario sull'Italia settentrionale ha causato lo sviluppo di intensi temporali sulla Lombardia, che hanno scaricato a Bormio (SO), in Alta Valtellina, precipitazioni con totali massimi fino a 150 mm ([v. focus](#)).

Tra il 27 e il 28 agosto intensi temporali si sono abbattuti sulla Liguria, con precipitazioni anche a carattere di rovescio o temporale di forte intensità, venti al suolo di burrasca forte con raffiche molto intense fino a 180 km/h misurati presso la stazione di Fontana Fresca (GE, 791 m s.l.m.), e moto ondosio in aumento fino a condizioni di "mare agitato". Le precipitazioni hanno assunto carattere convettivo e sono state accompagnate nel corso dell'evento da più di 60 mila fulminazioni. In una prima fase dell'evento sono state rilevate intensità di precipitazione molto forti, con massimi fino a 62.2 mm/h a Rapallo (GE, 40 m s.l.m.) e 59.0 mm/h a Santa Margherita Ligure (GE, 20 m s.l.m.). In una seconda fase le precipitazioni si sono concentrate sull'area metropolitana e hanno avuto massimi orari di 79.2 mm a Genova-Castellaccio (GE, 360 m s.l.m.), 70.8 mm a Genova-Bolzaneto (GE, 47 m s.l.m.), 66.7 mm a Busalla (GE, 358 m s.l.m.), e massimi su 3 ore di 113.2 mm a Genova-Castellaccio, 112.4 mm a Genova-Quezzi (GE, 200 m s.l.m.), 99.6 mm a Viganego (GE, 430 m s.l.m.). Le cumulate su 24 ore hanno raggiunto valori massimi molto elevati: 214.2 mm/24h a Genova-Castellaccio e 180.2 mm/24h a Genova-Quezzi. I maggiori danni sono stati rilevati nella seconda fase dell'evento, in termini di allagamenti, smottamenti, cadute di alberi e temporanee interruzioni della fornitura di energia elettrica e della linea ferroviaria.

L'estate 2023 è risultata la seconda più calda dal 1851 nella Provincia Autonoma di Bolzano. A causa delle alte temperature, si è registrato in questa zona anche un nuovo record nella fusione dei ghiacciai: da quando sono iniziate le misurazioni, nemmeno nell'estate record del 2003 i ghiacciai hanno perso così tanta massa come nel 2023.

In Calabria l'estate 2023 è risultata la più calda dal 1991, con anomalie che hanno toccato punte superiori a +5 °C sui rilievi della Sila ([v. focus](#)).

2.1.4 Autunno e dicembre

I mesi autunnali sono stati tutti caratterizzati da anomalie termiche eccezionali che hanno fatto segnare nuovi record in molte regioni italiane. A **settembre** le anomalie di Z500 sono risultate nettamente positive su tutta Italia, associate alla presenza di un promontorio di alta pressione che ha favorito l'afflusso sulle nostre regioni di venti caldi da sud e sud-ovest.

In Emilia-Romagna settembre 2023 è stato il secondo più caldo dal 1961.

In Veneto settembre è stato caratterizzato da temperature particolarmente elevate ed è risultato il secondo più caldo da inizio registrazioni. Tra l'8 e il 12 del mese è stata registrata una breve prima ondata di calore su metà della regione. In seguito, dopo una ulteriore ondata di calore che ha coinvolto tutto il territorio regionale tra il 26 settembre e il 3 ottobre, si è verificata, tra il 6 e il 15 ottobre, l'ondata di calore più lunga dall'anno: durante l'evento, l'8 e il 9 ottobre sono stati superati i record di temperatura massima presso varie stazioni collocate in montagna, in collina e nelle pianure sud-occidentali.

Tra il 17 e il 18 settembre in Sardegna sono state rilevate temperature del tutto eccezionali. Il giorno 17 nei settori occidentali della regione, caldi venti da sud hanno favorito l'innalzamento delle temperature e in una dozzina di stazioni sono stati rilevati valori massimi intorno o leggermente superiori a 40 °C e ad Alghero C.ra Rudas (SS, 27 m s.l.m.) e Narcao (SU, 126 m s.l.m.) sono state

misurate rispettivamente temperature massime di 40.9 °C e 40.7 °C. Il 18 settembre, complice un evento di foehn, si è osservato un netto innalzamento delle temperature anche nelle aree orientali della regione, e ancora nelle aree occidentali in una decina di stazioni sono stati misurati valori superiori a 37 °C (senza raggiungere i 40 °C).

Il 22 settembre in Lombardia in occasione di un intenso temporale è stato avvistato un tornado con intensità EF0-EF1 tra Rho e Pregnana Milanese (MI), a pochi chilometri a nord-est di Milano; l'evento ha causato un ferito, oltre a diversi danni ad edifici ed alberi. Anche a Borgoricco, nel Padovano, verso le 18 di sabato 23 settembre un tornado di categoria F1 ha fatto volare via le tegole da diverse abitazioni e la copertura dei capannoni.

A **ottobre** sull'Europa settentrionale e sulla penisola scandinava, hanno iniziato ad affacciarsi anomalie negative di Z500, che sono rimaste attive con intensità variabile per il resto dell'anno e dell'inverno successivo. L'Italia si è trovata sul fianco meridionale del jet; le anomalie termiche rispetto al clima 1991-2020 sono così risultate particolarmente elevate, superando nelle regioni centro-settentrionali in media i 3.0 °C, mentre nelle regioni meridionali si sono assestate in media sopra ai 2.0 °C. Le precipitazioni sono risultate nella media nelle regioni settentrionali e scarse al centro-sud.

In Friuli Venezia Giulia, in ottobre, varie stazioni hanno segnato nuovi record di temperatura massima mensile; un nuovo record per la stagione è stato segnato anche per la temperatura superficiale del mare: dopo l'8 ottobre a Trieste sono stati registrati valori record superiori a 23 °C, mai rilevati per questo periodo dall'inizio delle misurazioni (1900).

Nella Provincia Autonoma di Trento nel mese di ottobre le temperature sono risultate eccezionalmente alte; presso le stazioni di Castello Tesino (TN, 825 m s.l.m.) e Lavarone (TN, 1155 m s.l.m.) sono stati registrati i valori di temperatura massima giornaliera più alti per le rispettive serie storiche mensili; presso la stazione di Trento Laste (TN, 312 m s.l.m.) la temperatura mensile ha avuto una anomalia di 3.4 °C rispetto al clima 1991-2020 e nel corso del mese sono stati registrati 8 giorni estivi, con temperature massime giornaliere superiori a 25 °C, un valore che ha segnato un nuovo record per questo indice. Il mese è risultato il secondo ottobre più caldo anche in Veneto.

Il 6 ottobre in Piemonte è stato registrato un evento di caldo anomalo: ben 90 stazioni, molte delle quali localizzate sul medio e basso Piemonte tra torinese, cuneese, astigiano ed alessandrino, hanno registrato temperature uguali o superiori ai 30 °C. Tutti i capoluoghi di provincia, ad eccezione di Verbania e Novara, hanno misurato una temperatura massima record per il mese di ottobre; le temperature hanno infatti raggiunto valori massimi di 31.4 °C a Torino Consolata (TO, 244 m s.l.m.), 31.3 °C a Torino Reiss Romoli (TO, 241 m s.l.m.), 31.2 °C a Torino Giardini Reali (TO, 239 m s.l.m.), 31.2 °C a Vercelli (VC, 132m s.l.m.), 32.3°C ad Asti (AT, 175 m s.l.m.), 32.7 °C ad Alessandria (AL, 90 m s.l.m.), 32.1 °C a Cuneo (CN, 550 m s.l.m.), 29.8 °C a Biella (BI, 405 m s.l.m.), mentre Novara (NO, 151 m s.l.m.) si è mantenuta a soli 0.2 °C dal record dell'11 ottobre 2011 e Verbania (VB, 202 m s.l.m.) è rimasta al di sotto di 3 °C rispetto al record del 11 ottobre 2011 pari a 29.3 °C.

In Emilia-Romagna tra l'8 e il 10 ottobre l'anomalia termica giornaliera media regionale ha segnato un nuovo record, superando, nel giorno 9, il precedente record di 3.9 °C, a causa di un'intensa avvezione calda. Il mese in questa regione è risultato l'ottobre più caldo dal 1961.

In Sardegna in ottobre sono state registrate le temperature massime medie regionali più elevate degli ultimi vent'anni. In particolare, sono stati registrati valori massimi di 34.6 °C a Decimomannu (CA, 19 m

s.l.m.) il giorno 12, 34.9 °C a Oliena (NU, 131 m s.l.m.) il giorno 10, 34.9 °C a Iglesias (SU, 284 m s.l.m.) il giorno 11, 35.3 °C a Muravera (SU, 3 m s.l.m.) il giorno 14 e 35.4 °C a San Gavino Monreale (SU, 49 m s.l.m.) il giorno 13.

In Sicilia il mese di ottobre 2023 è risultato il più caldo e il meno piovoso dal 1921; tali anomalie climatiche hanno inevitabilmente aggravato le condizioni di siccità osservate a partire da luglio ([v. focus](#)).

In Toscana il 18 ottobre un minimo stazionario ha riversato 120 mm di precipitazione in 3 ore su Follonica (GR), lungo la costa, causando danni per 800 mila di euro alle infrastrutture pubbliche e 3 milioni di euro a proprietà private. Il giorno successivo fuori dalla costa di Livorno si è sviluppato un tornado di categoria 1, che si è poi rapidamente spostato nei 20 minuti successivi sulla città, causando danni a una struttura sportiva, ai tetti di alcune case e ribaltando alcune automobili.

Il 24 ottobre il passaggio di un nuovo fronte atlantico ha riversato sul Friuli Venezia Giulia forti piogge, localmente a carattere convettivo. Durante l'evento, nella stazione di Musi (UD, 600 m s.l.m.) è stata rilevata un'intensità massima di precipitazione pari a 283 mm in 12 ore, con tempo di ritorno stimato superiore a 30 anni.

Forti piogge hanno investito anche la regione Emilia-Romagna dalla sera del 23 ottobre e per tutta la giornata del 24, interessando soprattutto il settore appenninico centro-occidentale. Piogge intense superiori ai 100 mm/3 ore, con cumulate totali dell'evento generalmente superiori ai 150 mm si sono registrate su tutto il crinale. I quantitativi più elevati sono stati registrati a Lagdei (PR, 1315 m s.l.m.) e a Bosco di Corniglio (PR, 849 m s.l.m.), entrambi nel bacino del Parma, con valori rispettivamente di 325.6 mm/24 ore e 252.6 mm/24 ore. Le intense precipitazioni hanno generato diffusi smottamenti, ruscellamenti superficiali, allagamenti localizzati.

Tra il 26 e il 27 ottobre venti tesi hanno causato un progressivo innalzamento del livello dell'alto Adriatico e a Grado è stato registrato un evento eccezionale di acqua alta, con un livello di 167 cm sopra al livello medio del mare (Figura 2.11).

Tra il 26 e il 31 ottobre in Emilia-Romagna le precipitazioni hanno colpito principalmente i crinali appenninici centro-occidentali. Il valore massimo di precipitazione giornaliera, pari a 306.8 mm, è stato registrato a Lagdei (PR, 1315 m s.l.m.), dove è stato misurato anche il valore massimo di precipitazione totale su 7 giorni, pari a 770.6 mm. Le precipitazioni hanno causato significativi innalzamenti dei livelli idrometrici dei fiumi Enza, Nure, Taro e Parma-Baganza, esondazioni lungo rii e corsi d'acqua minori e numerose frane con danni alla viabilità principale e secondaria.

Negli stessi giorni in Liguria sono stati rilevati venti eccezionalmente elevati: a Casoni di Suvero (SP, 1070 m s.l.m.) è stata misurata una raffica massima di 203.4 km/h, secondo valore più alto mai registrato in questa regione dal 2003.

A partire dal 30 ottobre le regioni italiane sono state interessate dagli strascichi della tempesta extratropicale Daniel.

Il 31 ottobre in Lombardia un violento temporale ha scaricato sul bacino del Seveso una media di 50 mm di pioggia in 6 ore, risultati nell'esondazione del fiume in alcune parti della città di Milano; l'esondazione del Seveso in città non accadeva dal novembre 2014.

In Veneto, tra il 30 e il 31 ottobre, durante una marcata fase di tempo perturbato, sono state registrate precipitazioni significative su zone montane e pedemontane, in particolare sulle Prealpi vicentine, dove

i quantitativi giornalieri sono risultati anche molto abbondanti (100-150 mm/24h), localmente a carattere temporalesco, a tratti organizzato, e con forti rovesci.

Novembre è iniziato sotto il segno di condizioni di alta piovosità, favorite da un lieve spostamento a sud dell'asse del jet euro-atlantico rilevabile anche dalla mappa delle anomalie di Z500. I flussi atmosferici nord-occidentali hanno favorito un abbassamento medio dei valori termici, che sono rientrati nella normale variabilità climatica nelle regioni settentrionali, mentre sono rimasti superiori al clima 1991-2020 nelle regioni centro-meridionali, pur in presenza di una netta riduzione delle anomalie rispetto al mese precedente. Le precipitazioni sono risultate ovunque prossime alla norma.

Tra il 2 e il 3 novembre un intenso ciclone extratropicale di origine atlantica denominato Ciarán, che ha causato al suo passaggio gravissimi danni in Gran Bretagna e nell'Europa centro-settentrionale, ha toccato anche le regioni italiane.

In Veneto le precipitazioni sono state caratterizzate da particolare intensità e persistenza tra il 2 e 3 novembre, causando piene di fiumi; in particolare l'Adige ha raggiunto in varie sezioni portate vicine ai massimi osservati da inizio rilevazioni, nonostante l'apertura del tunnel di collegamento tra Adige e Lago di Garda per scaricare parte delle acque del bacino; picchi di piena di poco inferiori ai massimi mai registrati sono stati rilevati anche nel fiume Muson dei Sassi, mentre presso varie sezioni del Tagliamento sono stati registrati valori record massimi di portata per le serie storiche di riferimento. Durante gli eventi sono stati richiesti 509 interventi dei vigili del fuoco per mettere in sicurezza alberi e tetti danneggiati, e per limitare i danni di allagamenti e frane. Il 2 novembre un vigile del fuoco è annegato nelle acque del canale Rui vecchio a Puos d'Alpago. Il costo stimato per gli interventi necessari, a seguito degli eventi tra il 30 ottobre e il 5 novembre, è di circa un milione e 670 mila euro nella sola provincia di Belluno. Sempre negli stessi giorni, tra il 24 ottobre e il 5 novembre, sono stati osservati 22 eventi di alta marea sostenuta (superiore a 80 cm) di cui 11 con alta marea superiore a 110 cm ([v. focus](#)). Il sistema di difesa della costa Mo.S.E. è stato continuamente attivato dal 24 ottobre al 2 novembre.

Nello stesso periodo in Friuli Venezia Giulia si sono registrati totali pluviometrici fino a 305 mm ad Alesso (UD, 198 m s.l.m.), venti con raffiche fino a 162 km/h sul Monte Rest (PN, 1780 m s.l.m.), venti di scirocco con raffiche fino a 93 km/h a Lignano (UD, 7 m s.l.m.) e di libeccio fino a 106 km/h presso la Boa Paloma (Golfo di Trieste).

In Emilia-Romagna il 2 novembre sono state registrate raffiche fino a 154 km/h a Pennabilli (RN, 629 m s.l.m.) in Romagna e 148 km/h a Lago Scaffaiolo (MO, 1.794 m s.l.m.), provocando numerosi schianti di alberi e danni alla viabilità principale e secondaria e a edifici.

Negli stessi giorni sono stati osservati venti forti sul Mar Ligure ([v. focus](#)), che hanno causato il 2 novembre un'intensa mareggiata con onde da sud-ovest, con una altezza d'onda significativa di 6.48 m, un lunghissimo periodo di picco di 11.64 secondi e un'altezza d'onda massima stimata superiore a 10 m; il 3 novembre sono stati riportati diversi intervalli con onde di altezza superiore a 6 m (corrispondenti a "mare grosso"). Molte aree costiere hanno riportato estesi danni, in particolare la porzione di costa tra Savona e La Spezia (Figura 2.12); le onde hanno allagato le infrastrutture costiere in molti comuni. Per precauzione sono state temporaneamente chiuse diverse strade statali, tunnel e strade locali. Nelle Cinque Terre, le mareggiate hanno infine danneggiato la diga di Vernazza, mentre a Manarola una frana ha danneggiato l'argine della ferrovia.

In Toscana il 2 novembre si è sviluppata una linea temporalesca che ha riversato per 4-5 ore precipitazioni di eccezionale intensità con cumulate totali prossime a 200 mm in un'area compresa tra Pisa, Pistoia e Prato. L'evento alluvionale ha causato la morte di 8 persone e l'evacuazione di oltre 300 a seguito dell'esonazione di vari corsi d'acqua secondari, alcuni dei quali hanno completamente cambiato il loro corso, mettendo a rischio un'area densamente popolata su cui insistono importanti centri industriali. I danni totali ammontano a circa 1.2 milioni di euro, tra danni a magazzini, ai macchinari industriali, alle proprietà, oltre all'interruzione della produzione ([v. focus](#)).

Il 3 novembre intensi venti di libeccio con raffiche superiori a 120 km/h hanno causato lungo la costa toscana una violenta mareggiata, con onde che hanno raggiunto 6 m di altezza al largo e 4 m lungo la costa centro-settentrionale. La mareggiata ha allagato la città di Marina di Pisa, causando danni per 1 milione di euro, trasportando ingenti quantità di detriti sulle strade e causando danni in altre città costiere. In generale, tra il 18 ottobre e il 10 novembre, in Toscana sono state registrate precipitazioni totali dell'ordine di 900-1000 mm sui rilievi e tra 500 e 600 mm in pianura, quantitativi mai registrati in meno di un mese dal 1955.

A due giorni dal passaggio di Ciarán un nuovo fronte, associato al passaggio del ciclone extratropicale chiamato Domingo, ha colpito varie regioni del centro-nord Italia. Tra il 4 e il 5 novembre il passaggio di questo ciclone sull'Adriatico settentrionale, in Friuli Venezia Giulia, ha fatto segnare una pressione superficiale di 984 hPa presso la Boa Paloma, valore record minimo dal 2019. Nel corso dell'evento, i venti sostenuti da sud hanno raggiunto massimi di 88 km/h nel golfo di Trieste presso la Boa Paloma e hanno alimentato mareggiate particolarmente intense lungo le coste della regione, raggiungendo a Grado un'altezza di marea di 177 cm, il secondo livello più alto mai registrato, con fenomeno di acqua alta nelle aree costiere ([v. focus](#)).

Negli stessi giorni in Liguria sono stati registrati eccezionali venti di libeccio e presso la stazione di Casoni di Suvero (SP, 1070 m s.l.m.) è stata rilevata una raffica di vento di 211.7 km/h mentre l'intensità media oraria è stata di 152.64 km/h; entrambi i valori sono i più alti dal 2003. Il vento ha causato un'alta mareggiata con onde da sud-ovest, che hanno raggiunto altezze fino a 5.64 m e periodo di 11.64 secondi, corrispondenti a uno stato di mare "molto agitato".

Tra il 12 e il 14 novembre le aree nord occidentali della Valle d'Aosta sono state interessate da precipitazioni abbondanti, con massimi totali sull'evento pari a 160.6 mm presso la stazione di Valgrisenche Menthiou (AO, 1859 m s.l.m.): qui le massime precipitazioni su 24 ore sono state pari a 95.0 mm, ed è stata registrata una quota neve particolarmente alta per la stagione, intorno a 2800-2900 m. L'associazione di ingenti precipitazioni e alte temperature ha innescato rapidamente una significativa fusione della neve presente in alta quota, e si stima che in 24 ore, a una quota tra i 2000 e i 2500 m, si sia fuso uno strato di neve tra 50 e 60 cm; questa fusione ha causato un rapido innalzamento dei livelli idrometrici tra il 14 e il 15 del mese.

Con novembre si è concluso un trimestre autunnale particolarmente caldo, al primo posto della serie nazionale dal 1961.

Anche l'**ultimo mese dell'anno** è stato caratterizzato da intense anomalie termiche, a causa del persistere di anomalie di larga scala simili a quelle osservate nei due precedenti mesi.

In provincia di Trento la stazione di Malè ha registrato il valore di temperatura massima giornaliera più alto per il mese di dicembre.

In Veneto il 23 dicembre sono stati superati i precedenti record di temperatura massima presso varie stazioni collocate nelle pianure occidentali e meridionali e nella provincia di Belluno, e il mese è risultato per questa regione il secondo dicembre più caldo da inizio misurazioni.

In Emilia-Romagna, il mese di dicembre è risultato il più caldo dal 1961.

Tra l'11 e il 13 dicembre la Valle d'Aosta è stata attraversata da un fronte con zero termico tra 2400 e 2700 m e quota neve in progressivo aumento fino a 2600 m. Le precipitazioni totali sull'evento hanno raggiunto un massimo di 84.4 mm presso la stazione di Valgrisenche Menthiou (AO, 1859 m s.l.m.), e la neve che si era accumulata nella settimana precedente fino a quote di fondovalle di 690 m si è velocemente fusa, in un periodo in cui in genere si assiste all'accumulo della coltre nevosa, mentre in quota si è osservato il distacco di valanghe di categoria 3, senza conseguenze per persone o edifici.

Tra il 21 e 23 dicembre 2023 il Piemonte si è trovato al confine tra la zona di influenza di una vasta area di alta pressione, disposta sull'Oceano Atlantico, e un'area depressionaria in discesa dalla Scandinavia verso i Balcani. In questa situazione meteorologica si è innescato un forte episodio di venti di foehn da nord-ovest che si sono estesi a gran parte della regione, provocando locali disagi e danni. Scendendo dalla catena alpina l'aria si è sensibilmente riscaldata, determinando in queste giornate un marcato rialzo termico nelle vallate e sulle pianure piemontesi. Il 23 dicembre è così risultato il giorno di dicembre più caldo dal 1958. In questa giornata i termometri hanno fatto registrare una temperatura media sul Piemonte di 11.4 °C, ben 9 °C al di sopra della norma 1991-2020 del periodo ([v. focus](#)). Tra il 22 e il 24 dicembre anche l'Emilia-Romagna è stata interessata da questo intenso evento di foehn: l'anomalia termica giornaliera regionale ha superato i precedenti record massimi, e il giorno 23 gli scarti rispetto al record precedente sono stati pari a +3.8°C.

In Sicilia, con la fine di dicembre, si è concluso il semestre meno piovoso dal 1921.

Anche in Sardegna, nonostante le precipitazioni totali dell'ultimo semestre del 2023 siano state in media circa il 60% dei valori climatologici 1981-2010, lungo il versante orientale dell'isola sono state registrate precipitazioni totali per lo più comprese tra 80 e 150 mm, ben al di sotto della media climatica, con percentuali inferiori al 30% nella porzione sud-orientale, dove si è registrato un deficit compreso tra 200 e 300 mm rispetto alle attese.

Complessivamente, il 2023 è stato caratterizzato da elevatissime anomalie termiche ed eventi idro-meteorologici e meteo-marini di eccezionale intensità, che hanno causato moltissime vittime e ingenti danni all'ambiente, al territorio, alle infrastrutture e alle attività produttive.

Figura 2.6: Copertura nevosa nei pressi di Castelluccio di Norcia il 9 e il 10 febbraio 2023 (Cortesia Centro Funzionale Regione Marche).



Figura 2.7: Crosta da pioggia fino a 2100 m sopra neve invernale nell'alta valle del Po il 9 marzo 2023 (Cortesia ARPA Piemonte).



Figura 2.8: Foto delle aree alluvionate a Lugo (RA) (Cortesia Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco).



Figura 2.9: Interruzione di una strada locale in corrispondenza di una frana causata dall'alluvione in Romagna (Cortesia Regione Emilia-Romagna).



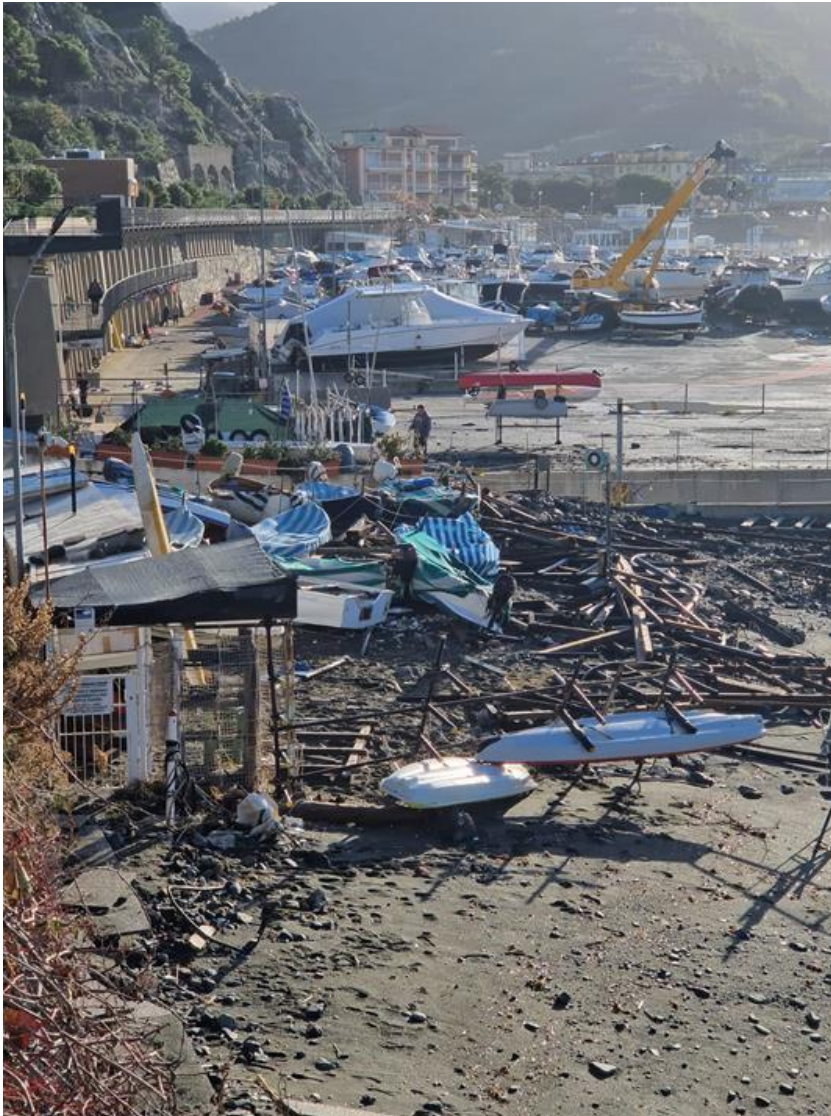
Figura 2.10: Acque dalla colorazione anomala nel Canale Zaniolo, primo tratto del canale Destra Reno, dovuta alla presenza di batteri purpurei della famiglia delle Chromatiaceae e di alghe unicellulari del genere Euglena (Cortesia Arpae Emilia-Romagna).



Figura 2.11: Acqua alta a Grado il 28 ottobre 2023 (Cortesia Alessandro Gimona, ARPA Friuli Venezia Giulia).



Figura 2.12: Danni della mareggiata sul lungo mare di Levanto, SP, il 5 novembre (Cortesia di Eva Zattera ARPA Liguria).



3. TEMPERATURA

3.1 Analisi annuale

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 2023 sono compresi tra i -1.9°C della stazione di Valtourneche - Cime Bianche (AO, 3018 m s.l.m.) e i 20.9°C della stazione di Lampedusa (AG).

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 -20.7°C è stato rilevato dalla stazione di Livigno - Passo Foscagno (SO, 2250 m s.l.m.).

La temperatura massima assoluta più elevata, pari a 48.2°C , è stata rilevata il 24 luglio nelle stazioni di Jerzu (NU, 269 m s.l.m.) e Lotzorai (NU, 7 m s.l.m.); valori elevati di temperatura massima, superiori a 45°C , sono stati rilevati nello stesso giorno anche in altre località della Sardegna, oltre che in Sicilia. L'andamento della temperatura media in Italia nel corso del 2023, in termini di anomalia rispetto al periodo climatologico 1991-2020, è illustrato nelle Figure 3.4 e 3.5.

Temperature medie superiori al valore normale 1991-2020 hanno interessato tutti i mesi dell'anno, a esclusione di aprile e maggio. **Marcate anomalie positive, superiori a 2°C** , si sono registrate a **luglio, settembre e ottobre: quest'ultimo ha fatto registrare il picco di $+3.27^{\circ}\text{C}$** . Riguardo alle rispettive serie mensili dal 1961, il mese di luglio si colloca al terzo posto, dicembre al secondo posto (dopo il 2022), mentre **settembre e ottobre si collocano al primo posto**, con il mese di ottobre che ha superato il precedente record del 2022 di circa 0.8°C . L'anomalia negativa più marcata si è avuta ad aprile (-0.62°C).

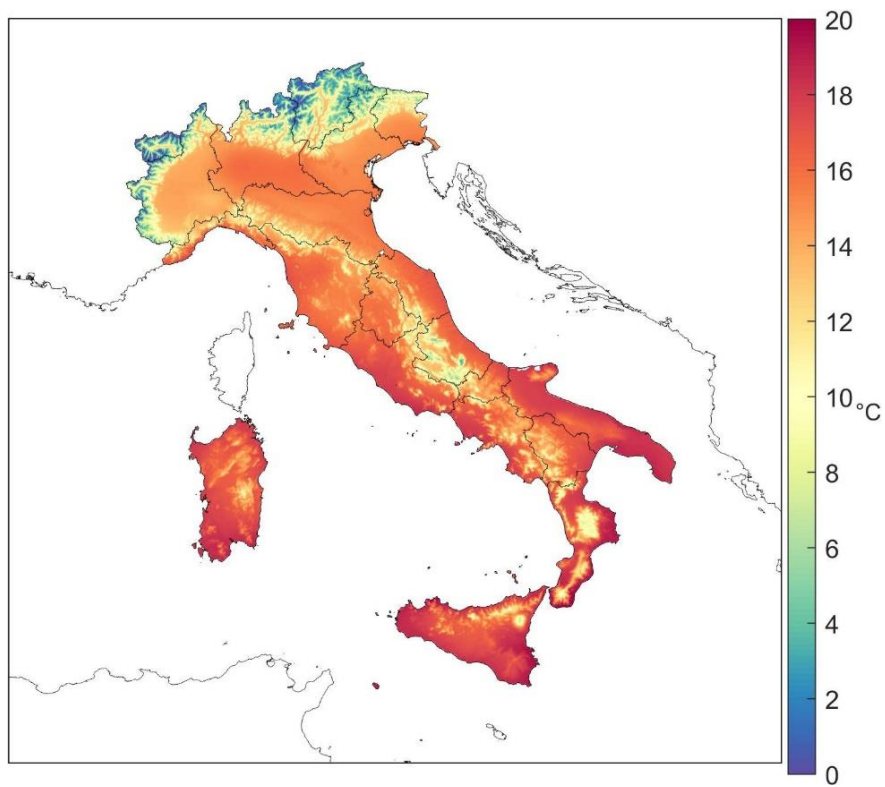
La temperatura media annuale (Figura 3.5) è stata superiore alla media 1991-2020 per tutte e tre le macro-aree italiane: al Nord ($+1.27^{\circ}\text{C}$), al Centro ($+1.20^{\circ}\text{C}$) e al Sud e Isole ($+0.97^{\circ}\text{C}$).

Il mese di aprile ha fatto registrare anomalie negative ovunque, il mese di maggio solo nelle macroaree del Centro e Sud e Isole. Tutti gli altri mesi sono stati più caldi della media, con il valore più alto di anomalia registrato ovunque a ottobre: $+3.20^{\circ}\text{C}$ al Nord, $+3.75^{\circ}\text{C}$ al Centro, $+3.05^{\circ}\text{C}$ al Sud e Isole. Aprile ha fatto invece registrare ovunque il valore più basso di anomalia: -0.52°C al Nord, -0.85°C al Centro, -0.58°C al Sud e Isole.

Le anomalie spazializzate della temperatura media per il 2023 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 con quelle della temperatura massima.

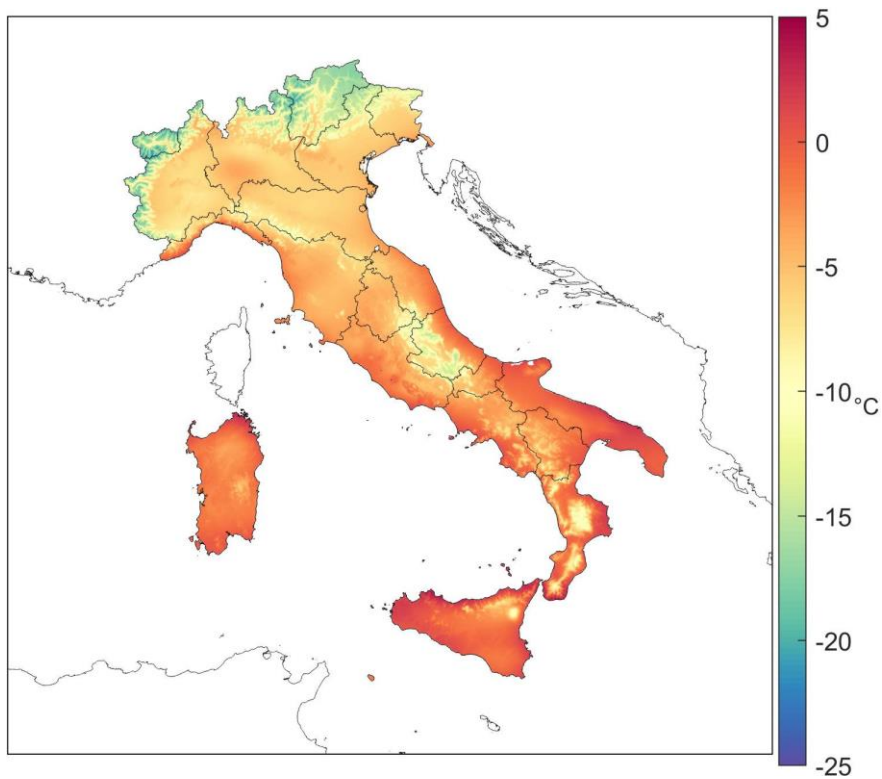
In generale, gli indici estremi si collocano tutti fra il secondo e il terzo posto fra i più caldi delle rispettive serie (indici degli estremi di caldo) e fra il secondo e il terzo posto fra i più bassi (estremi di freddo), confermando un consistente segnale di riscaldamento nel 2023, coerentemente con quanto rilevato per i valori medi di temperatura.

Figura 3.1: Temperatura media 2023.



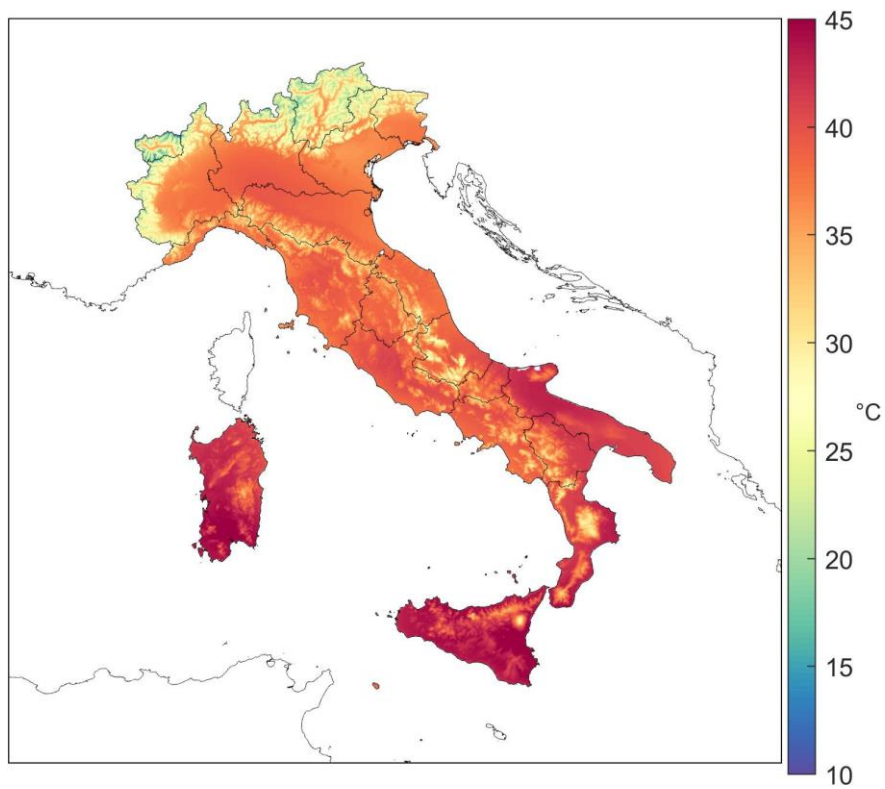
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.2: Temperatura minima assoluta 2023.



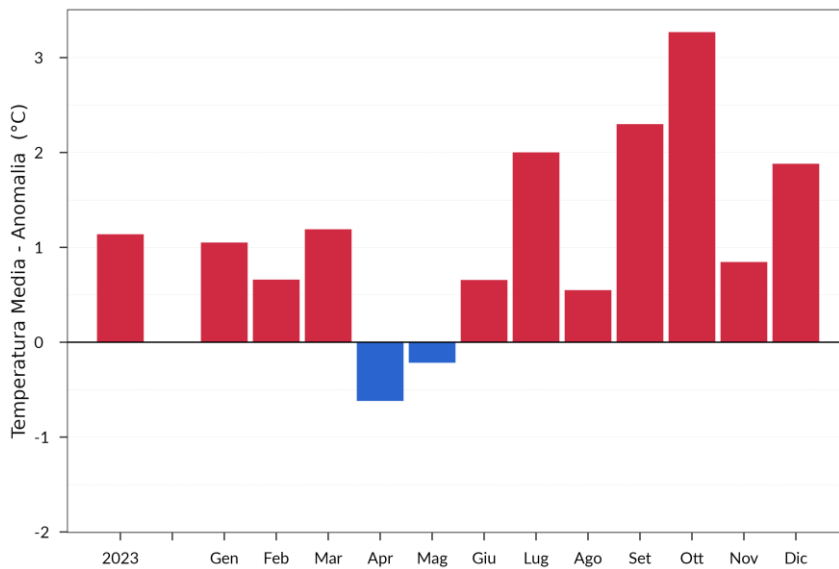
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.3: Temperatura massima assoluta 2023.



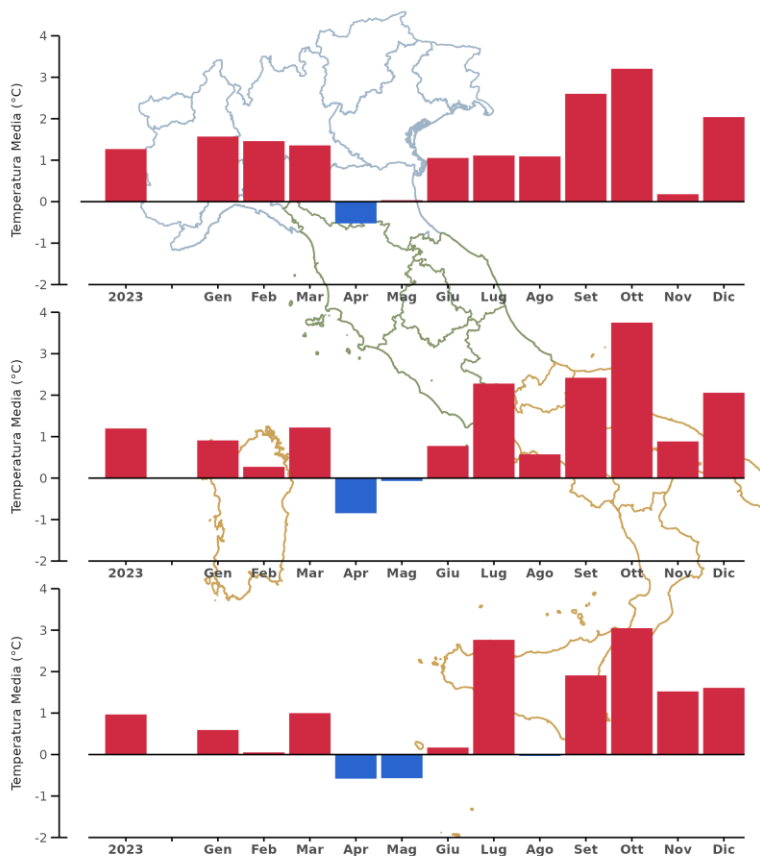
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.4: Anomalia media 2023 in Italia (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020.



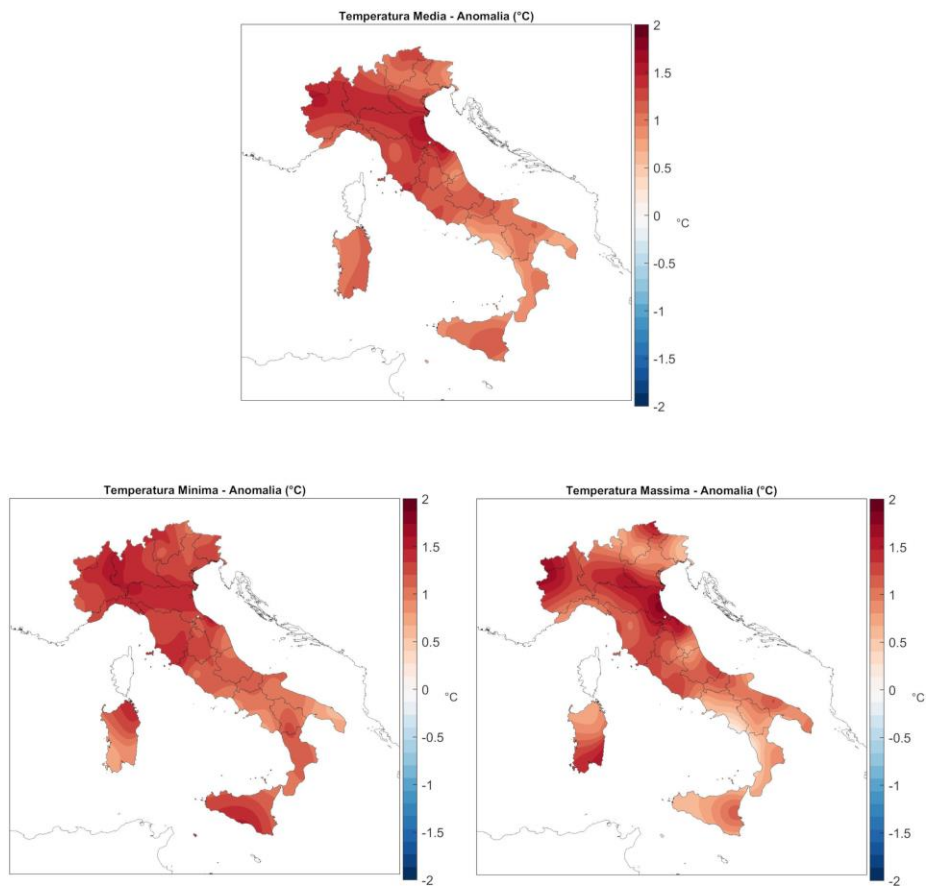
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.5: Anomalia media 2023 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020 – Nord, Centro, Sud e Isole.



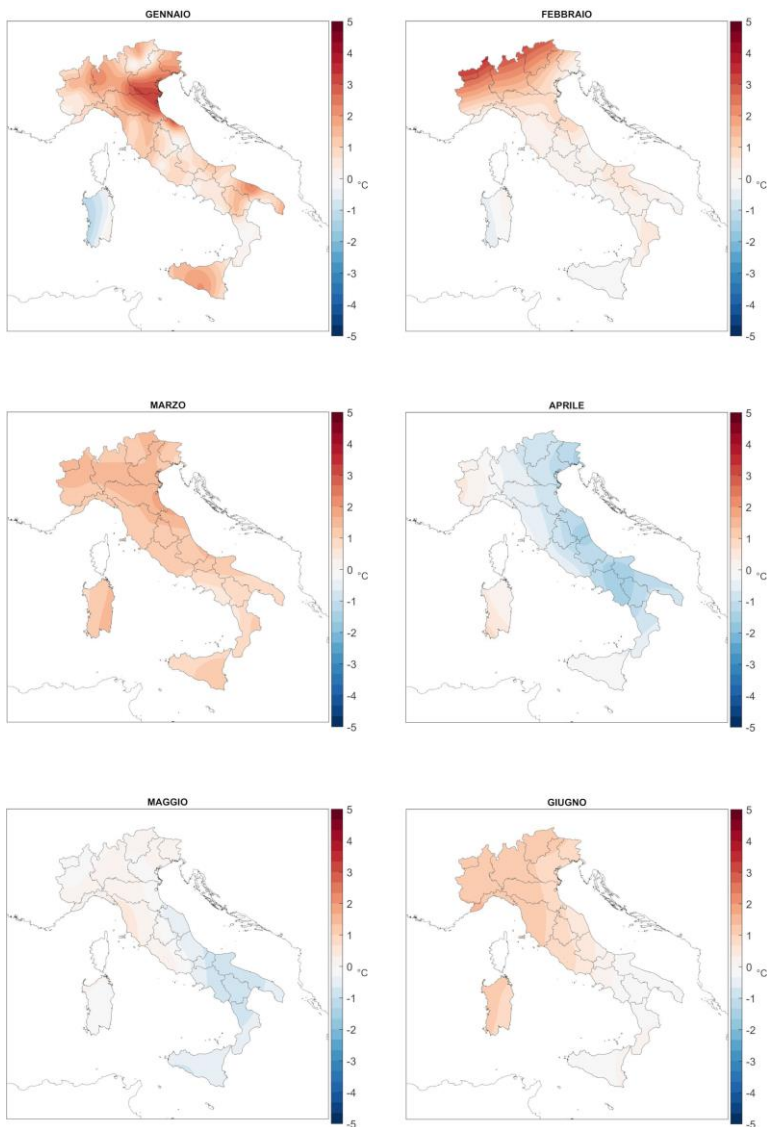
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.6: Anomalia della temperatura media, minima e massima annuale 2023 rispetto al valore normale 1991-2020.



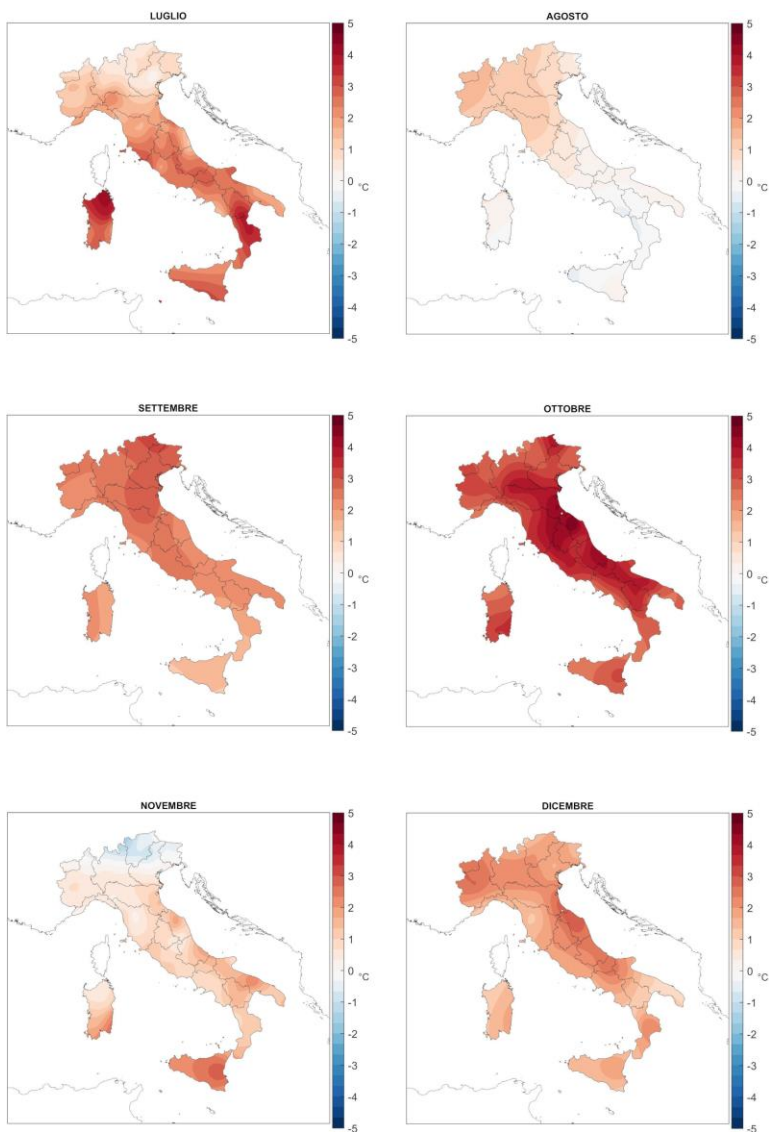
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.7a: Anomalie della temperatura media mensile 2023 rispetto ai valori normali 1991-2020 (gennaio-giugno). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.7b: Anomalie della temperatura media mensile 2023 rispetto ai valori normali 1991-2020 (luglio-dicembre). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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 2023 è risultato il **secondo anno più caldo della serie** dal 1961, dopo il record del precedente anno 2022, con una marcata anomalia positiva di temperatura media di **+1.14 °C**.

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 2023 è stato inoltre il decimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Il 2023 si colloca al secondo posto della serie per l'anomalia della temperatura massima (+1.07 °C), dopo il record del precedente anno 2022, **e al primo posto per l'anomalia di temperatura minima** (+1.20 °C), superando il record del precedente anno 2022.

L'analisi per macroaree geografiche mostra che per la temperatura media il 2023 si colloca ovunque al secondo posto della serie dal 1961 (Figura 3.10).

Nella Figura 3.11 sono illustrate le serie di anomalia della temperatura media su base stagionale. Per l'inverno (meteorologico), la temperatura media stagionale viene calcolata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

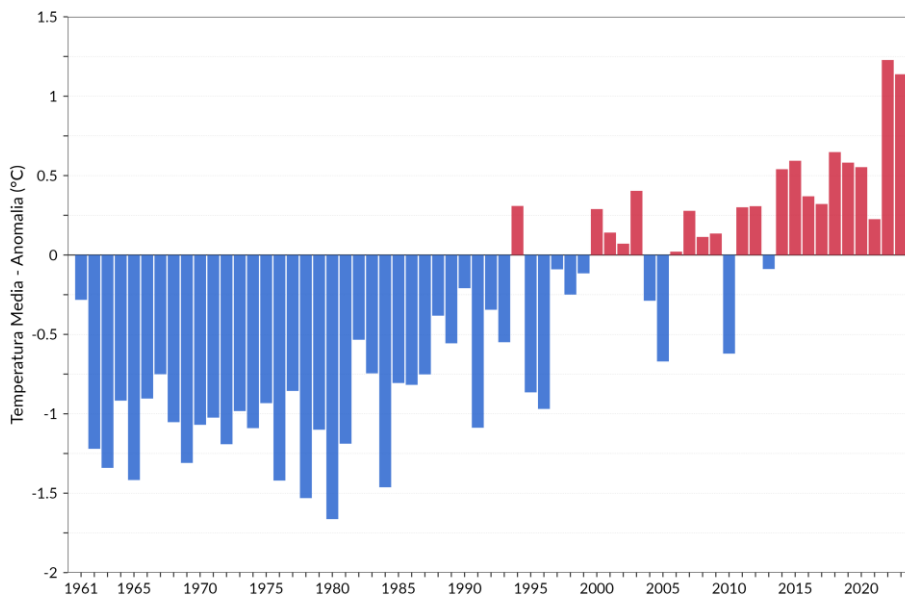
All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2023 ha contribuito in maniera più marcata l'autunno, che, con il valore di +2.14 °C sopra la media 1991-2020, si colloca al primo posto della serie dal 1961, seguito dall'inverno (+1.28 °C), al quinto posto della serie dal 1961, e dall'estate (+1.07 °C), al settimo posto della serie dal 1961; la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia prossima alla media climatologica 1991-2020. Nella Tabella 3.1 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, 2008a), i trend sono calcolati sul periodo 1981-2023. Le stime dei trend sono confermate anche dall'applicazione di un modello non parametrico (stimatore di Theil-Sen e test di Mann-Kendall; si veda, ad es. Sen, 1968). **La stima del tasso di variazione della temperatura media è di (+0.40 ± 0.04) °C / 10 anni**, della temperatura massima di (+0.42 ± 0.05) °C / 10 anni e della temperatura minima di (+0.38 ± 0.04) °C / 10 anni.

Su base stagionale, i maggiori trend positivi per la temperatura si registrano in estate (+0.60 ± 0.09) °C / 10 anni e autunno (+0.37 ± 0.08) °C / 10 anni, seguiti da primavera (+0.34 ± 0.09) °C / 10 anni e inverno (0.32 ± 0.10) °C / 10 anni. L'analisi per macroaree geografiche indica un tasso di variazione della temperatura media di (+0.45±0.05) °C / 10 anni al Nord, (+0.41±0.05) °C / 10 anni al Centro e (+0.36±0.04) °C / 10 anni al Sud e Isole. Tutti i trend sono statisticamente significativi.

Tabella 3.1: Trend (e relativo errore standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2023, stimati con un modello di regressione lineare semplice. Tutti i trend sono statisticamente significativi al livello del 5%.

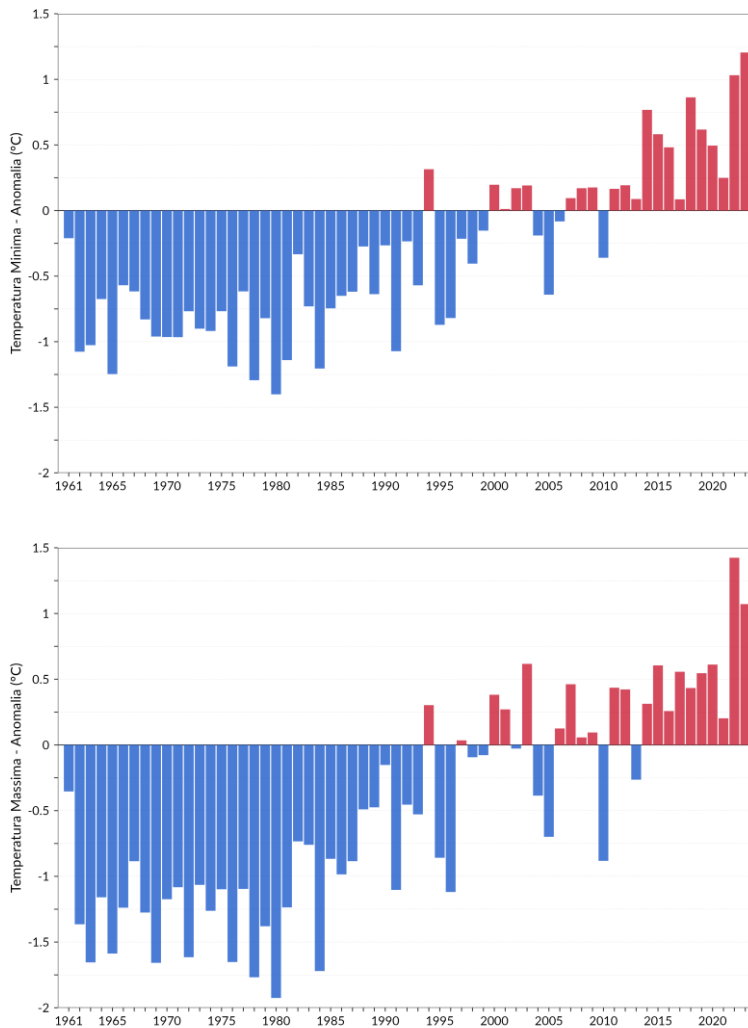
| Indicatore | trend (°C / 10 anni) |
|-------------------------------|-------------------------|
| ANNUALE | |
| Temperatura media Italia | +0.40±0.04 |
| Temperatura minima Italia | +0.38±0.04 |
| Temperatura massima Italia | +0.42±0.05 |
| Temperatura media Nord | +0.45±0.05 |
| Temperatura media Centro | +0.41±0.05 |
| Temperatura media Sud e Isole | +0.36±0.04 |
| STAGIONALE (Italia) | |
| Temperatura media inverno | +0.32±0.10 |
| Temperatura media primavera | +0.34±0.09 |
| Temperatura media estate | +0.60±0.09 |
| Temperatura media autunno | +0.37±0.08 |

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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

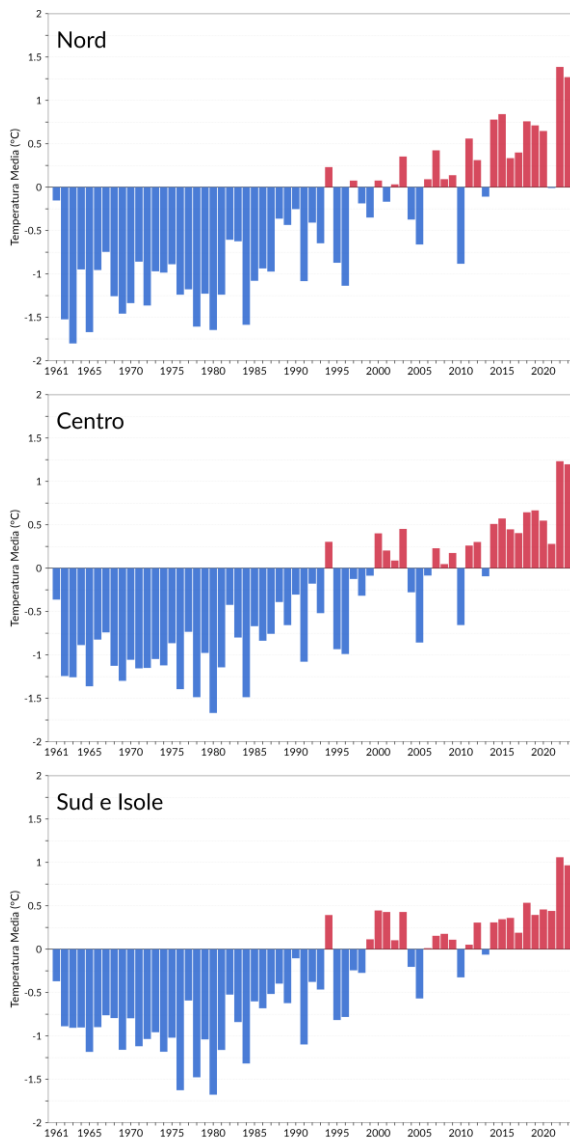
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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



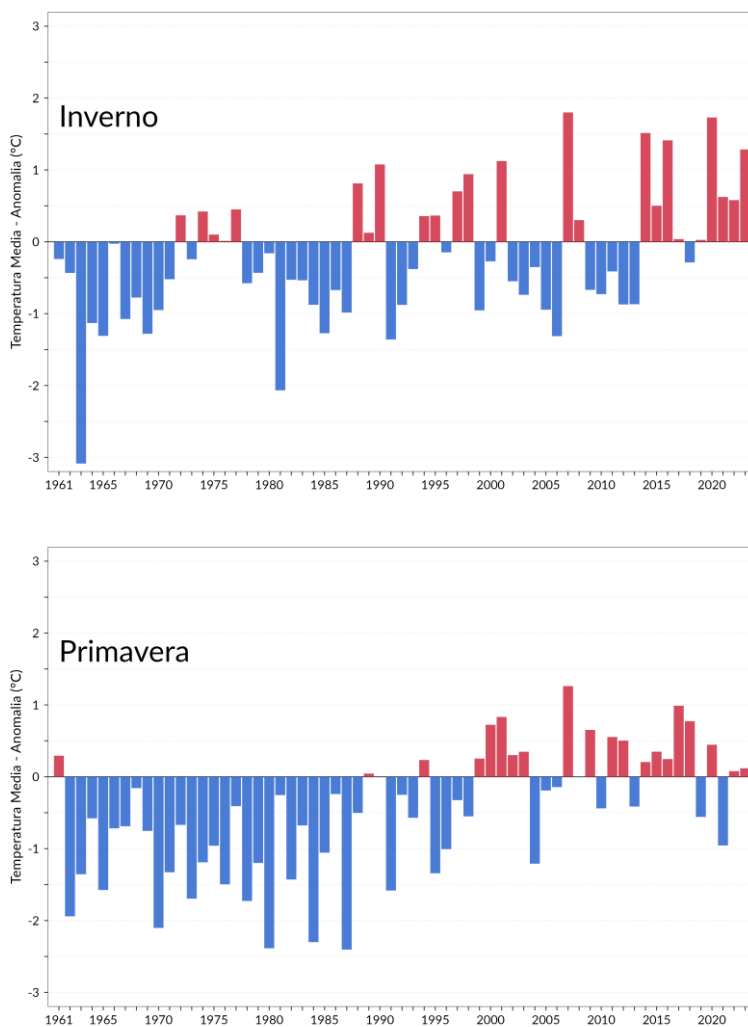
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.10: Serie delle anomalie medie al nord, centro, sud e isole, della temperatura media annuale in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



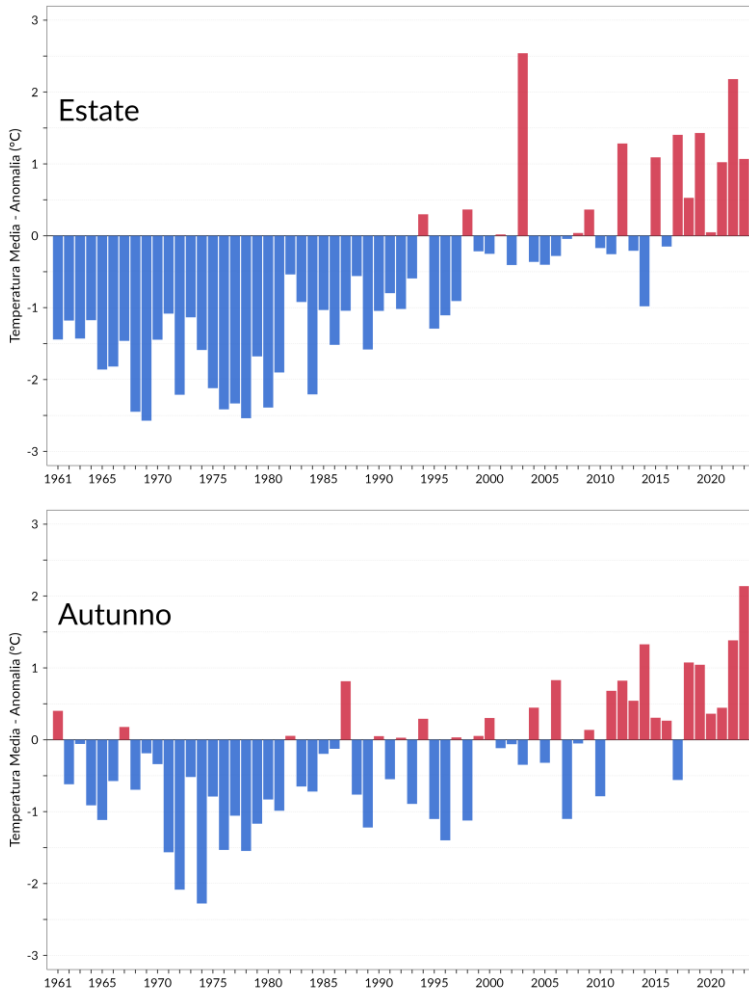
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.11a: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (inverno e primavera).



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.11b: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (estate e autunno).



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

3.3 Frequenza, intensità, 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 del WMO (Peterson et al., 2001, Toreti e Desiato, 2008b). 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 (Klein Tank e Können, 2003; Alexander et al., 2006), 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 a Fioravanti et al. (2016a).

Nel 2023 il numero medio di **giorni con gelo** (con temperatura minima minore o uguale a 0 °C) ha fatto registrare un'anomalia di -10.4 giorni rispetto alla media 1991-2020 e si colloca **al terzo posto fra i più bassi della serie** dal 1961 (Figura 3.12).

Per il numero medio di **notti tropicali** (con temperatura minima maggiore di 20 °C, Figura 3.13) il 2023 si colloca, con +13.9 giorni rispetto alla norma, **al terzo posto tra i più alti della serie** dal 1961, dopo il record del precedente anno 2022 e dopo il 2003. Per il numero medio di **giorni estivi** (con temperatura massima superiore a 25 °C, Figura 3.14), il 2023, con +19.3 giorni rispetto norma, si colloca **al secondo posto tra i più alti della serie** dal 1961, dopo il record del precedente anno 2022. Il numero medio di **giorni torridi** (con temperatura massima superiore a 35 °C, Figura 3.15) ha fatto registrare il **terzo valore più alto della serie**, dopo il record del 2003, caratterizzato dall'estate più calda di sempre, e dopo il secondo posto del precedente anno 2022.

L'indice *WSDI-Warm Spell Duration Index* 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. L'indice identifica perciò periodi prolungati e intensi di caldo nel corso dell'anno. 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 2023 un'anomalia media nazionale pari a +29.5 giorni rispetto alla media climatologica 1991-2020 (Figura 3.16). **Per l'indice WSDI il 2023 si colloca al terzo posto tra i più alti della serie dal 1961**, dopo il record del precedente anno 2022 e dopo il 2003.

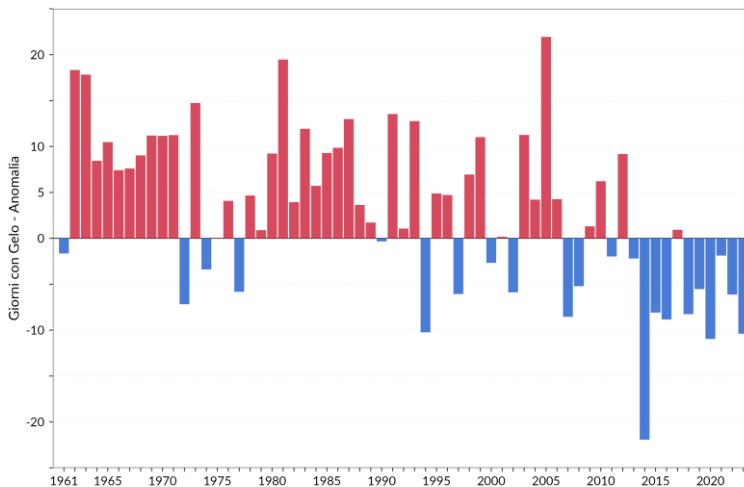
Altri indici di estremi di temperatura, che si basano sul confronto con la distribuzione statistica dei valori normali, sono le notti fredde (TN10p, percentuale di giorni in un anno con temperatura minima inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione sul periodo 1991-2020), i giorni 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 3.17-3.20 **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 sempre inferiori alla media climatologica 1991-2020, mentre le notti calde sono stati sempre superiori alla media e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.

In particolare, nel 2023 **le notti e i giorni caldi hanno fatto registrare entrambi il secondo valore più alto della serie** dal 1961, mentre **le notti e i giorni freddi hanno fatto registrare il secondo valore più basso della serie** dal 1961.

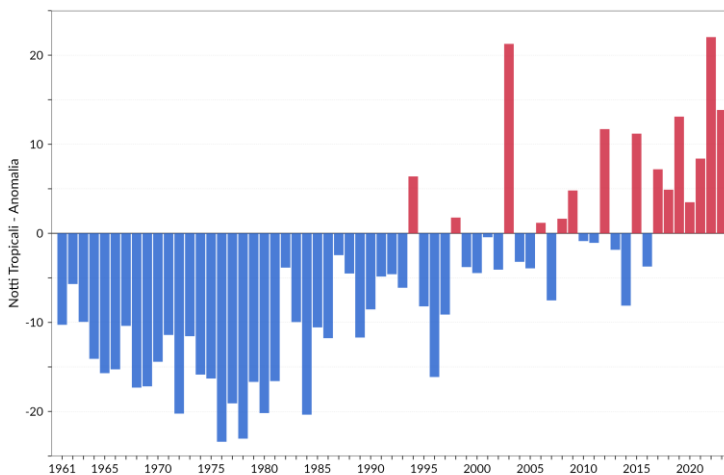
Figura 3.12: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con gelo⁵ in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

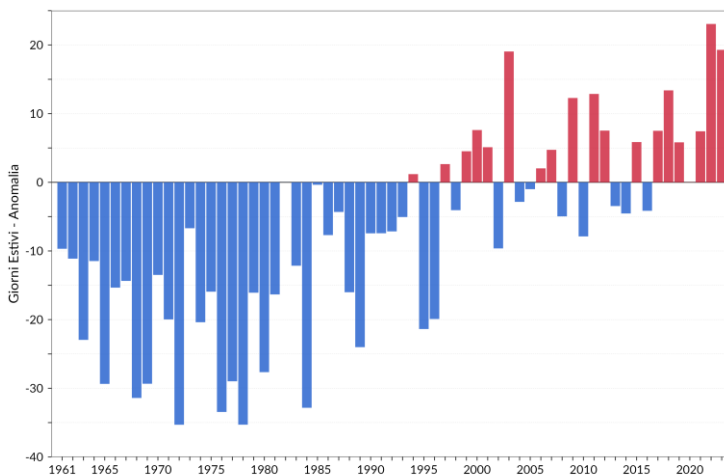
⁵ Numero di giorni l'anno con temperatura minima giornaliera < 0 °C.

Figura 3.13: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali⁶ in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.14: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi⁷ in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

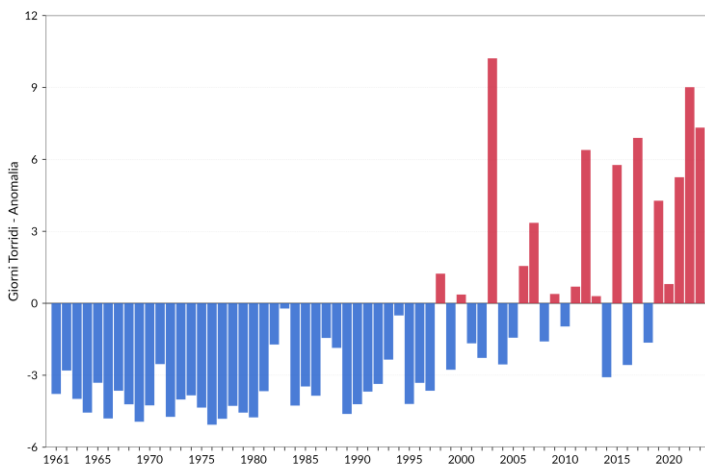


Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

⁶ Numero di giorni l'anno con temperatura minima giornaliera > 20 °C.

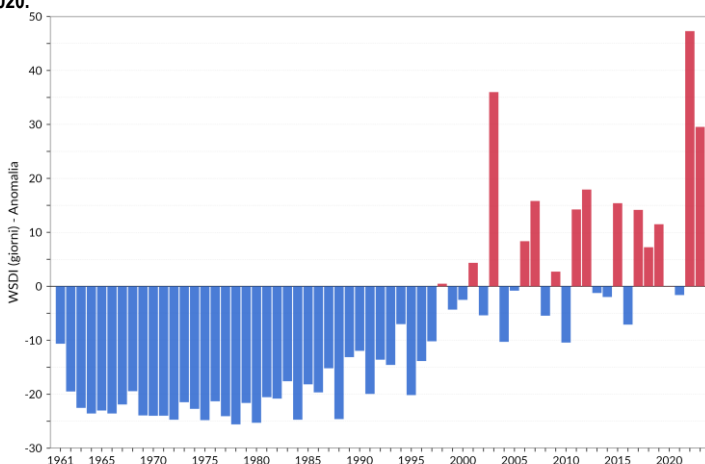
⁷ Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera > 25 °C.

Figura 3.15: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni torridi⁸ in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.16: Serie delle anomalie medie annuali dell'indice WSDI-Warm Spell Duration Index⁹ in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

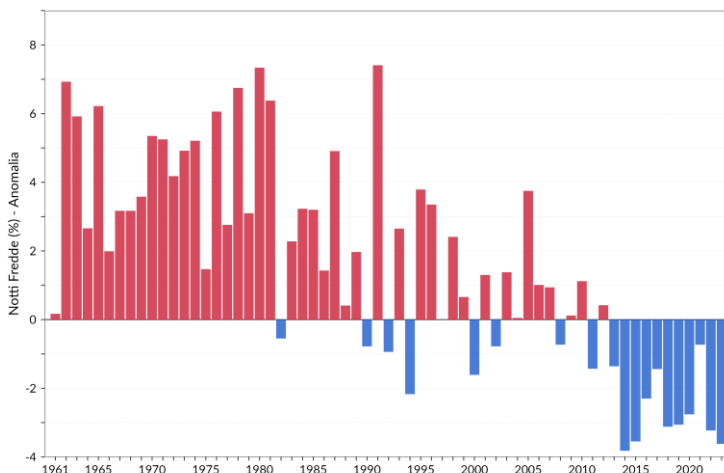


Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

⁸ Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera > 35 °C.

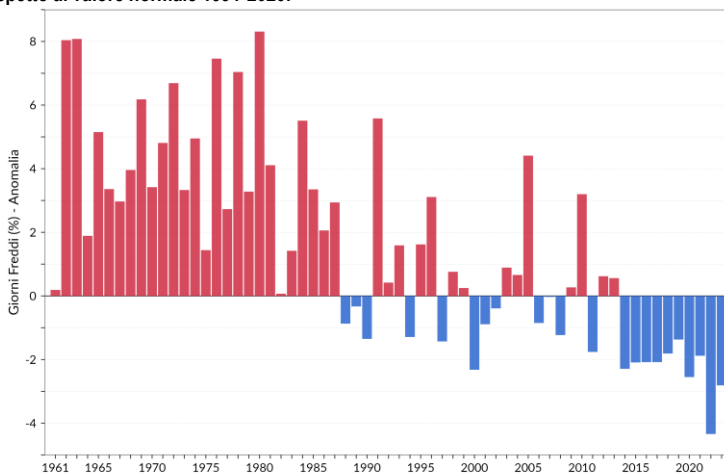
⁹ Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera > 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico 1991-1990, per almeno sei giorni consecutivi.

Figura 3.17: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti fredde in Italia (TN10p)¹⁰, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.18: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni freddi in Italia (TX10p)¹¹, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.

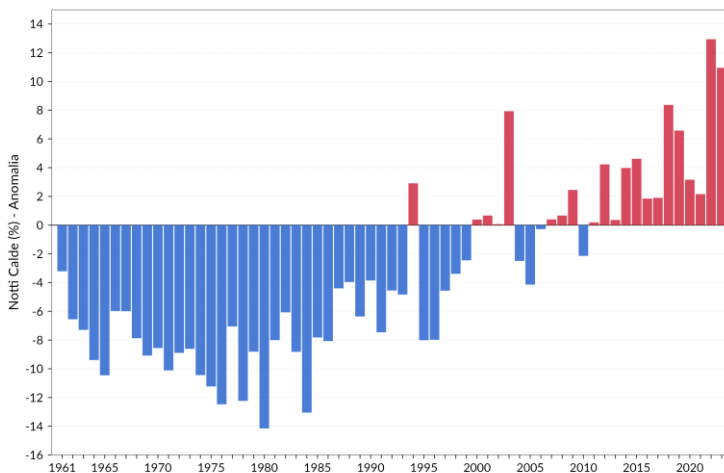


Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

¹⁰ Percentuale di giorni l'anno con temperatura minima < 10° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.

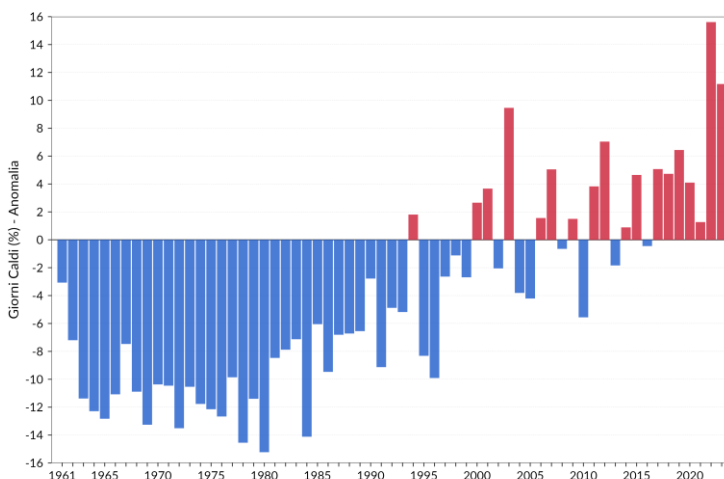
¹¹ Percentuale di giorni l'anno con temperatura massima < 10° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.

Figura 3.19: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti calde in Italia (TN90p)¹², espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.20: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni caldi in Italia (TX90p)¹³, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

¹² Percentuale di giorni l'anno con temperatura minima > 90° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.

¹³ Percentuale di giorni l'anno con temperatura massima > 90° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.

4. TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

Gli indicatori della temperatura superficiale dei mari italiani (SST-*Sea Surface Temperature*) per il 2023 sono stati elaborati a partire dai dati forniti dalla piattaforma del *Copernicus Marine Service* (CMS)¹⁴. Il prodotto utilizzato consiste nella stima della SST su un grigliato regolare con passo orizzontale di 0.05°, ottenuta dall'interpolazione di dati satellitari¹⁵. Il periodo coperto dal prodotto va dal 1982 al 2023 e comprende l'intero bacino del Mar Mediterraneo.

Ai fini dell'analisi, sono state selezionate 7 regioni rappresentative dei mari italiani, la cui estensione è riportata in Figura 4.1.

I valori medi annui della SST dei mari italiani nel 2023, così ottenuti, sono compresi tra 18.9 °C del Mar Ligure e 21.0 °C del Canale di Sicilia (Figura 4.2).

Per tutti i mari, i valori mensili più bassi si registrano a febbraio, mentre quelli più alti a luglio. Il valore medio mensile minimo è stato registrato nel Mar Adriatico (13.3 °C), quello massimo nel Mar Ionio (27.5 °C).

I valori della temperatura media per il 2023 sono inoltre riportati nella Figura 4.3. Oltre al normale gradiente di temperatura che segue la latitudine, è ben visibile un'area più calda localizzata nel Canale di Sicilia e nello Ionio. L'Adriatico settentrionale risulta invece la zona più fredda tra i mari italiani, compatibile con il consistente afflusso di acqua dolce dai bacini fluviali, fra i quali quelli del Po, dell'Adige e del Piave.

Considerata nel suo insieme, la **temperatura superficiale dei mari italiani nel 2023** (Figura 4.4) è stata superiore alla media climatologica 1991-2020; le **anomalie medie sono state positive in tutti i mesi**, con i massimi scostamenti positivi dai valori normali a luglio (+1.95 °C) e ottobre (+1.91 °C). Con un'anomalia media di **+0.9 °C rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1991-2020**, quello del 2023 si configura come **il secondo valore più alto dell'intera serie dal 1982**, dopo il record assoluto del 2022 (Figura 4.5). Gli ultimi tredici anni hanno registrato inoltre le anomalie positive più elevate di tutta la serie, se non si considera il 2003.

Le anomalie riportate nelle figure precedenti mostrano una generale tendenza di aumento della SST nei mari italiani, con valori particolarmente pronunciati nel 2023. I mari italiani, tuttavia, mostrano importanti differenze nella distribuzione di tali valori (Figura 4.6). A fronte di aree con anomalie meno pronunciate (Ionio e Mar Ligure), si nota un evidente incremento (oltre 1.5 °C) rispetto al periodo di riferimento nell'Adriatico centrale, nel Canale di Sardegna, nel Mare di Sardegna, e nel Canale di Sicilia. I mari italiani presentano dunque un comportamento che differisce a seconda del bacino considerato. Per ottenere un'immagine complessiva dei cambiamenti in atto, sull'intera serie storica della SST è stato eseguito un *fit* basato su una regressione lineare. Il risultato, riportato in Figura 4.7,

¹⁴ Il CEMS-*Copernicus Marine Service* è uno dei 6 servizi tematici operativi del *Copernicus Earth Observation Programme* dell'Unione Europea: <https://marine.copernicus.eu>.

¹⁵ *Mediterranean Sea - High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed dataset*. <https://doi.org/10.48670/moi-00173>.

mostra un trend molto marcato nell'area del **Mar Ligure**, che raggiunge **trend prossimi a $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C} / 10$ anni**. Anche l'area del **Golfo di Taranto** e l'intero bacino dell'**Adriatico** mostrano una significativa tendenza al riscaldamento. I valori più bassi, ma comunque positivi, si registrano nel canale di Sicilia.

Figura 4.1: Regioni selezionate per l'analisi della temperatura media dei mari italiani. 1: Mar Adriatico, 2: Mar Ionio, 3: Canale di Sicilia, 4: Canale di Sardegna, 5: Mare di Sardegna, 6: Mar Ligure, 7: Mar Tirreno.

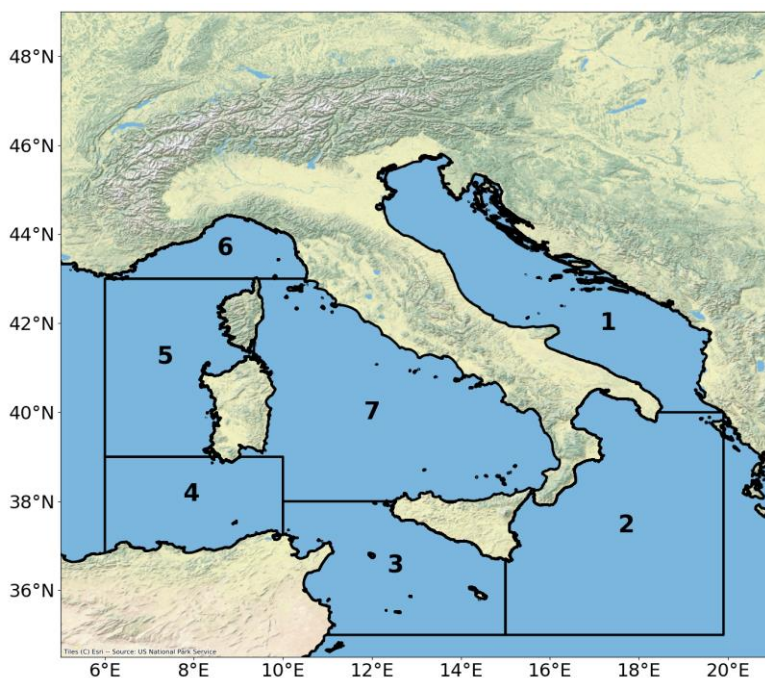
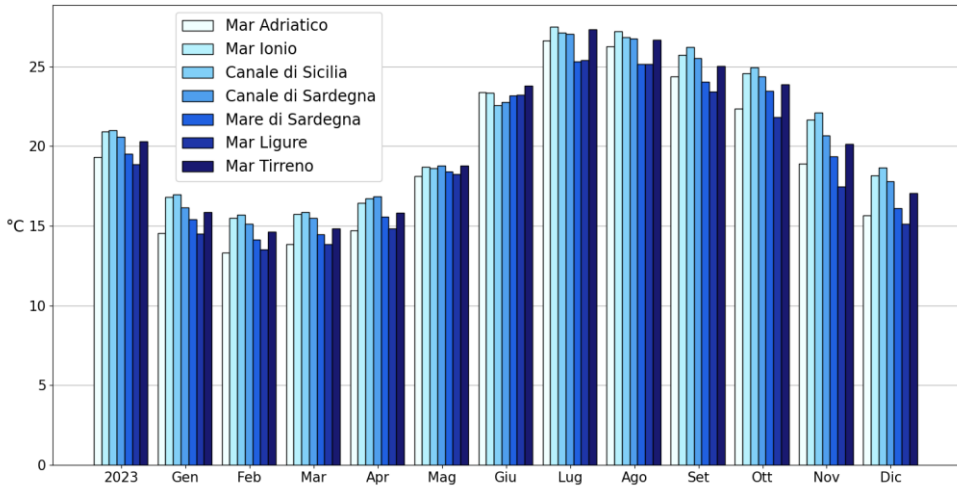
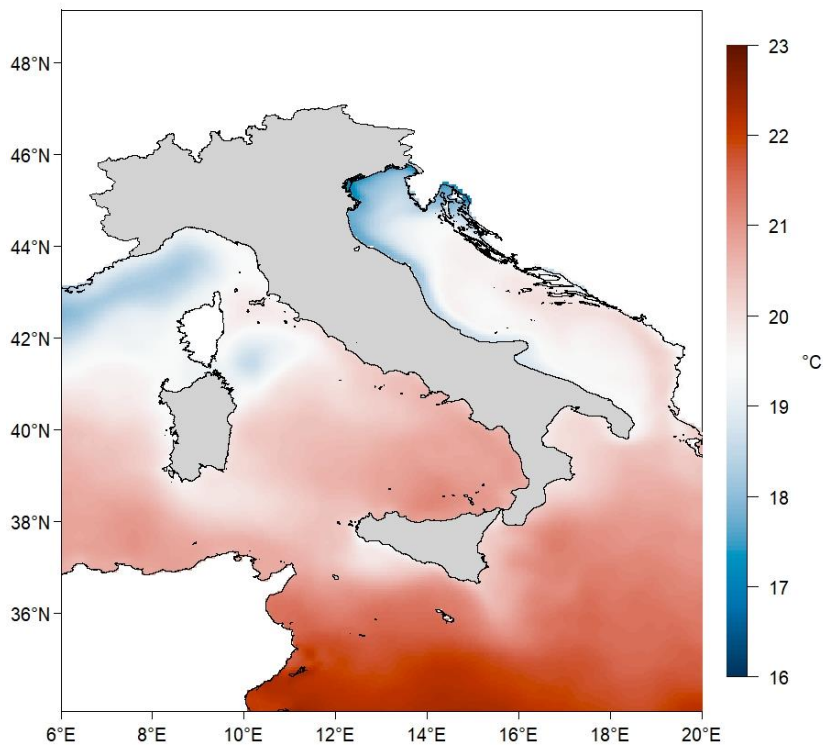


Figura 4.2: Temperatura media superficiale del mare nel 2023 in Italia (annuale e mensile).



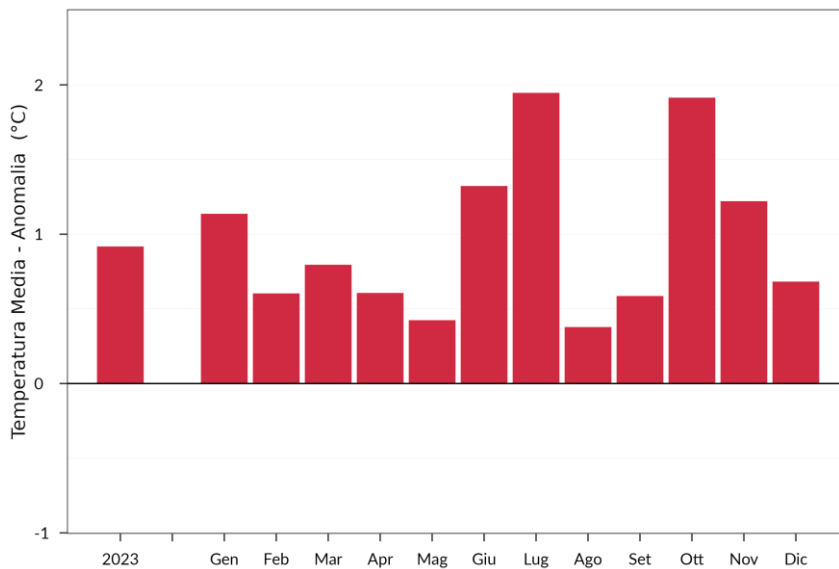
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

Figura 4.3: Temperatura media superficiale del mare nel 2023 in Italia.



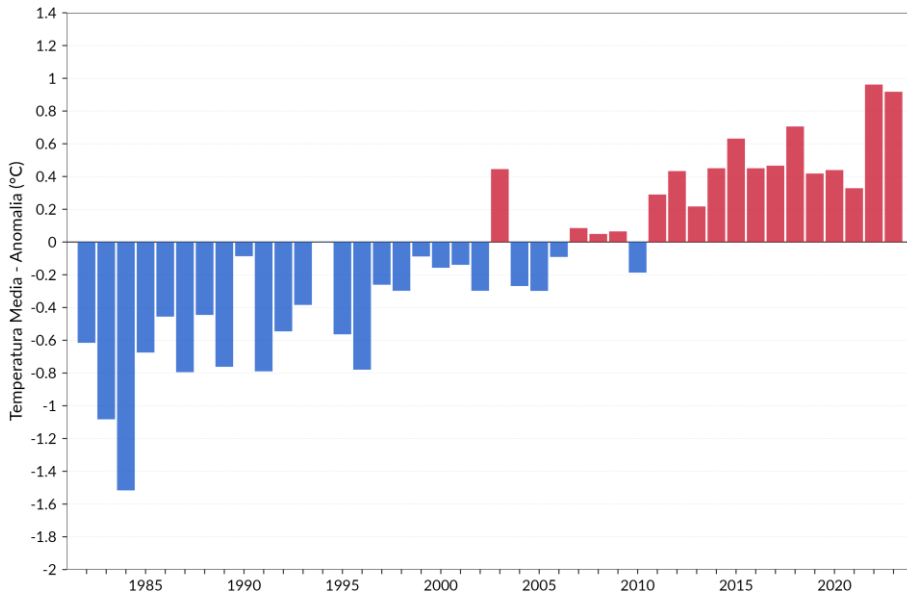
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

Figura 4.4: Anomalia media 2023 (annuale e mensile) della temperatura media superficiale dei mari italiani rispetto al valore normale 1991-2020.



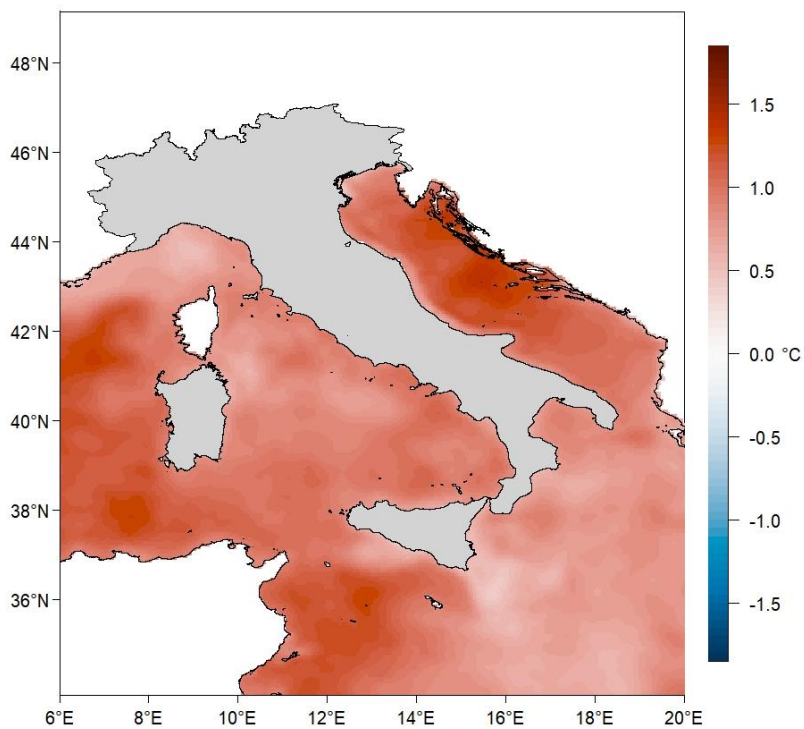
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

Figura 4.5: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media superficiale dei mari italiani, nell'intervallo 1982-2023, rispetto al valore normale 1991-2020.



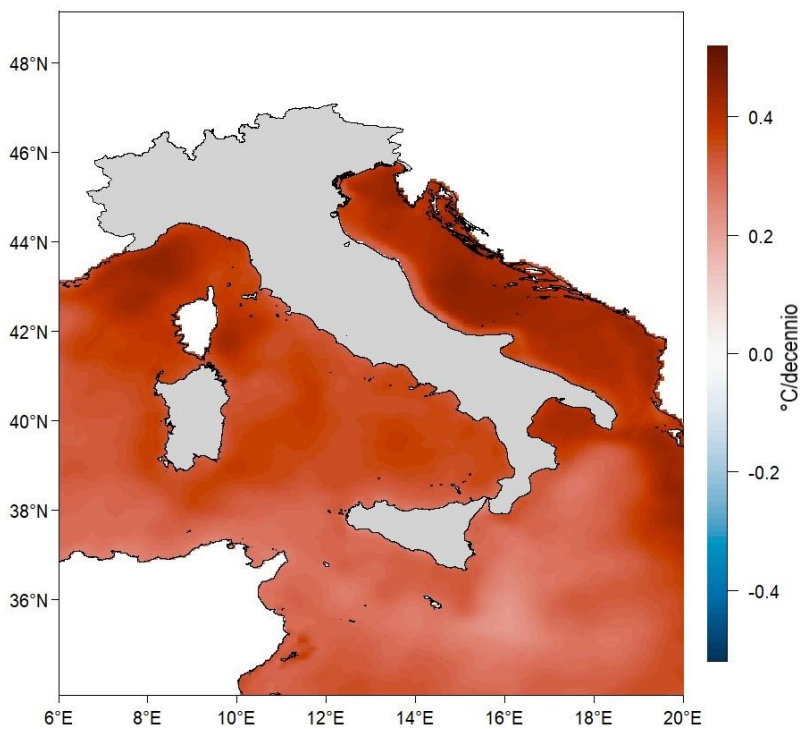
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

Figura 4.6: Anomalia media annuale 2023 della temperatura media superficiale dei mari italiani, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

Figura 4.7: Trend della temperatura superficiale dei mari italiani, calcolato nell'intervallo 1982-2023, rappresentato in °C/decennio.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature dal portale CMS.

5. PRECIPITAZIONE

5.1 Analisi annuale

Nella Figura 5.1 è rappresentata la mappa delle precipitazioni cumulate annuali. I valori più elevati sono stati registrati su Prealpi centrali e orientali, sull'Appennino centrale e meridionale, con i valori massimi (fino a 2500 mm) in Emilia-Romagna, Lombardia e Friuli Venezia Giulia. I valori più bassi sono stati registrati su ampie aree di Emilia-Romagna e Piemonte, Puglia e Basilicata e Italia insulare: su quest'ultima si è registrato il valore minimo, di 161 mm, presso la stazione sinottica di Ustica (PA). A seguire, i 240 mm della stazione di Agrigento.

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 2023 sono state complessivamente inferiori alla media climatologica di circa il 4%.** Il 2023 è stato caratterizzato da una prevalenza di anomalie negative mensili durante l'anno, persistenti nell'ultimo quadrimestre (settembre-dicembre). Le anomalie positive hanno interessato invece i mesi di gennaio, maggio, giugno ed agosto. **I mesi relativamente più secchi** sono stati **febbraio** (-56%) e **settembre** (-51%), mentre i mesi relativamente più piovosi sono stati maggio, con un'anomalia di +143%, e giugno (+77%).

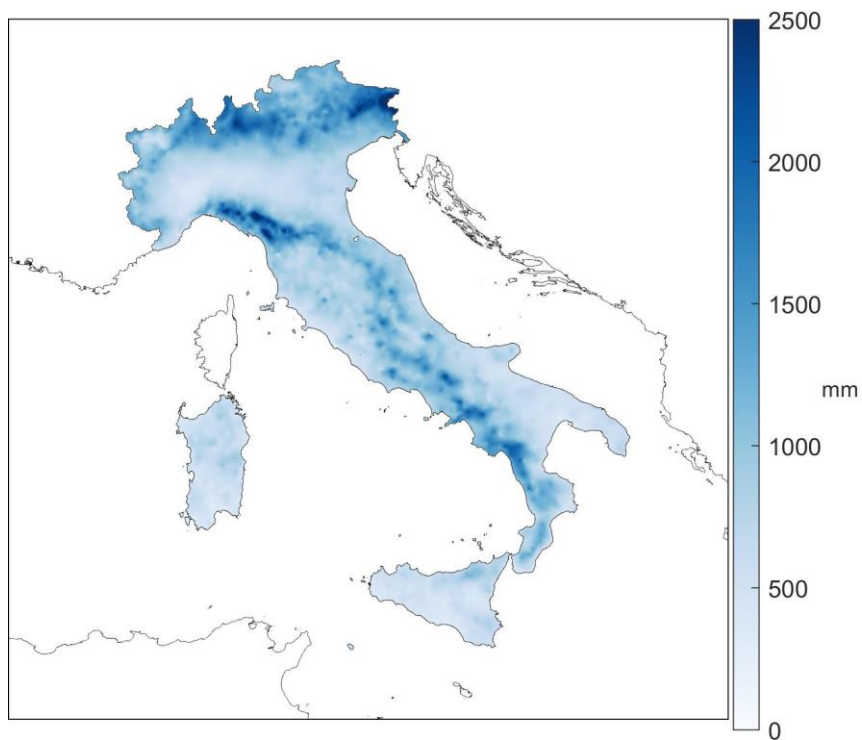
L'anomalia di precipitazione è stata negativa al Sud e Isole (-8%), mentre è stata prossima alla media al Nord e al Centro.

Le precipitazioni sono state inferiori alla norma ovunque a febbraio, marzo, settembre e dicembre, mentre sono state superiori alla norma ovunque a gennaio e maggio. Le anomalie più marcate si sono avute tutte al Sud e Isole: quelle positive a maggio (+222%) e a giugno (+154%), e quella negativa a luglio (-84%). In questa macroarea le precipitazioni sono state inferiori alla media per tutta la seconda metà dell'anno. Al Nord si sono registrate anomalie comprese tra -81 % (febbraio) e +92% (maggio), mentre al Centro si sono registrate anomalie comprese tra -61 % (settembre) e +111% (maggio).

Le Figure 5.4 e 5.5 mostrano la distribuzione spaziale dell'anomalia di precipitazione cumulata annuale del 2023, 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 su gran parte del territorio nazionale, soprattutto nelle aree occidentali** del Nord e del Centro, in Sardegna e in Sicilia, e nelle aree centro-meridionali di Puglia e Calabria.

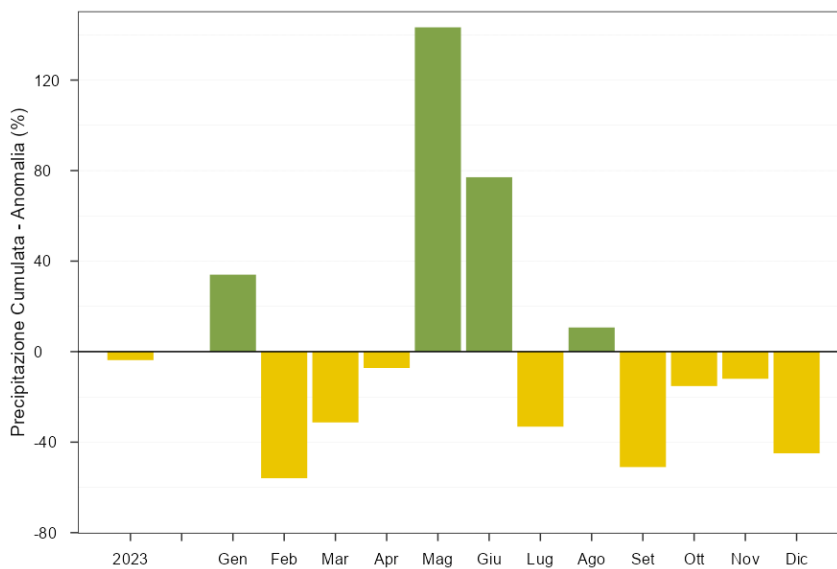
Le mappe nelle Figure 5.6a e 5.6b mostrano l'andamento delle precipitazioni sul territorio nazionale per ciascun mese. È evidente la prevalenza delle **forti ed estese anomalie negative nei vari mesi dell'anno, soprattutto a febbraio, marzo, luglio (ad eccezione del Nord), settembre e dicembre.** Si notano anche le **anomalie positive più marcate ed estese a maggio e giugno.**

Figura 5.1: Precipitazione cumulata 2023.



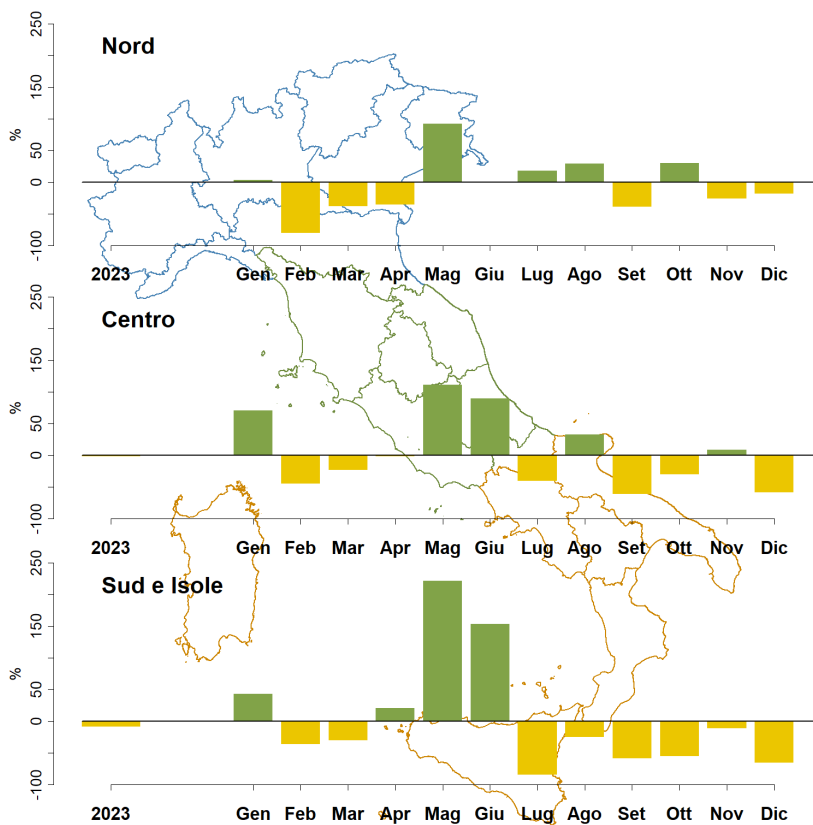
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.2: Anomalia media mensile ed annuale 2023, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata in Italia, rispetto al valore normale 1991-2020.



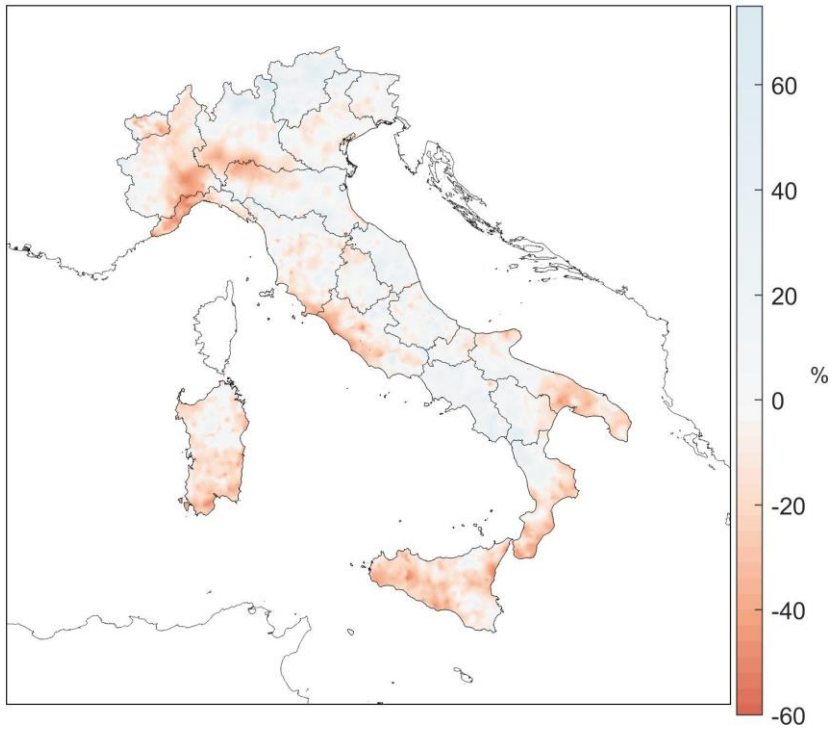
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.3: Anomalia media mensile ed annuale 2023, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1991-2020.



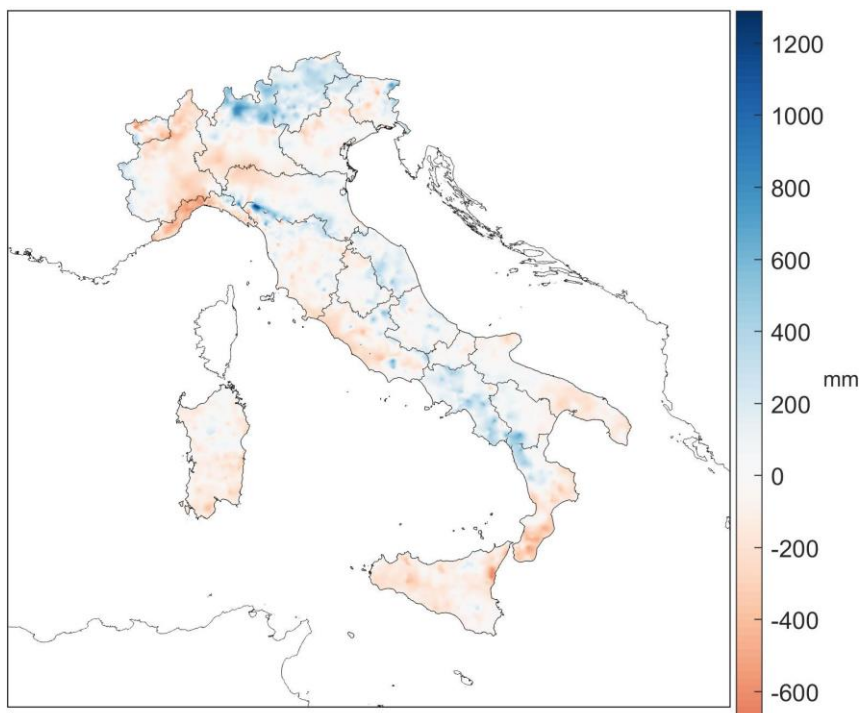
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.4: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2023, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020.



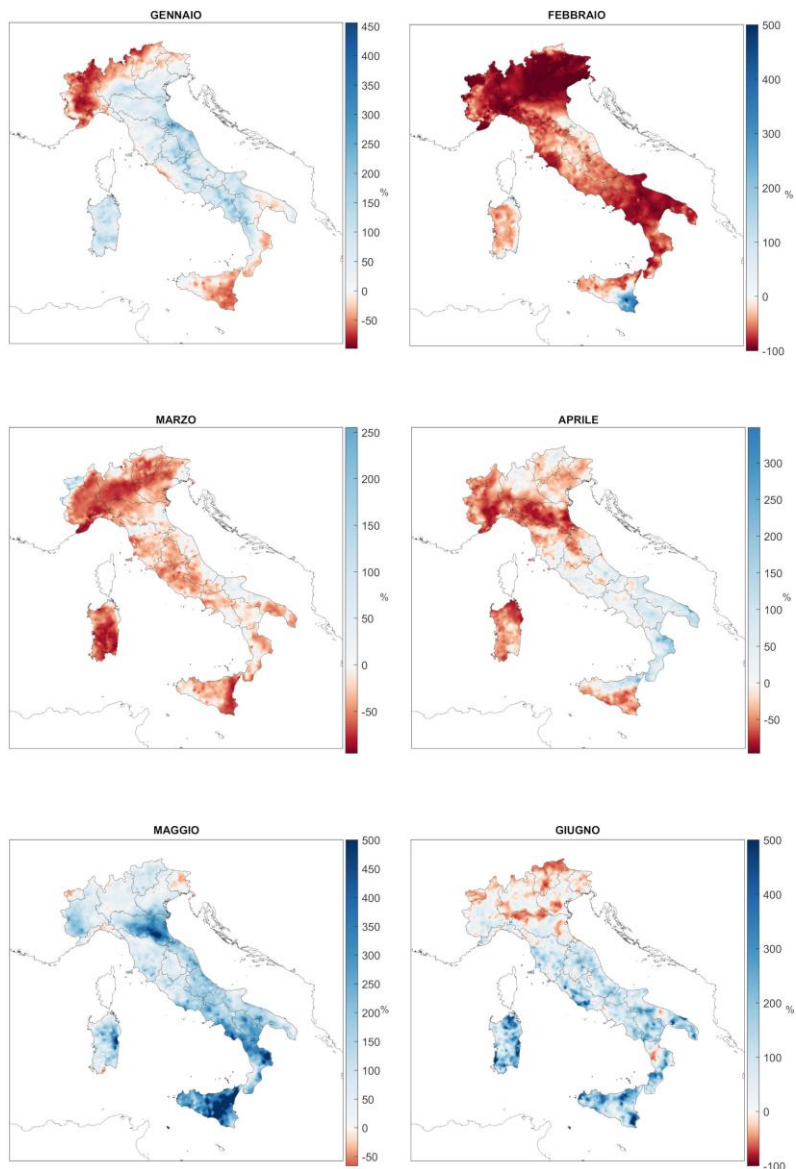
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.5: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2023, espressa in mm, rispetto al valore normale 1991-2020.



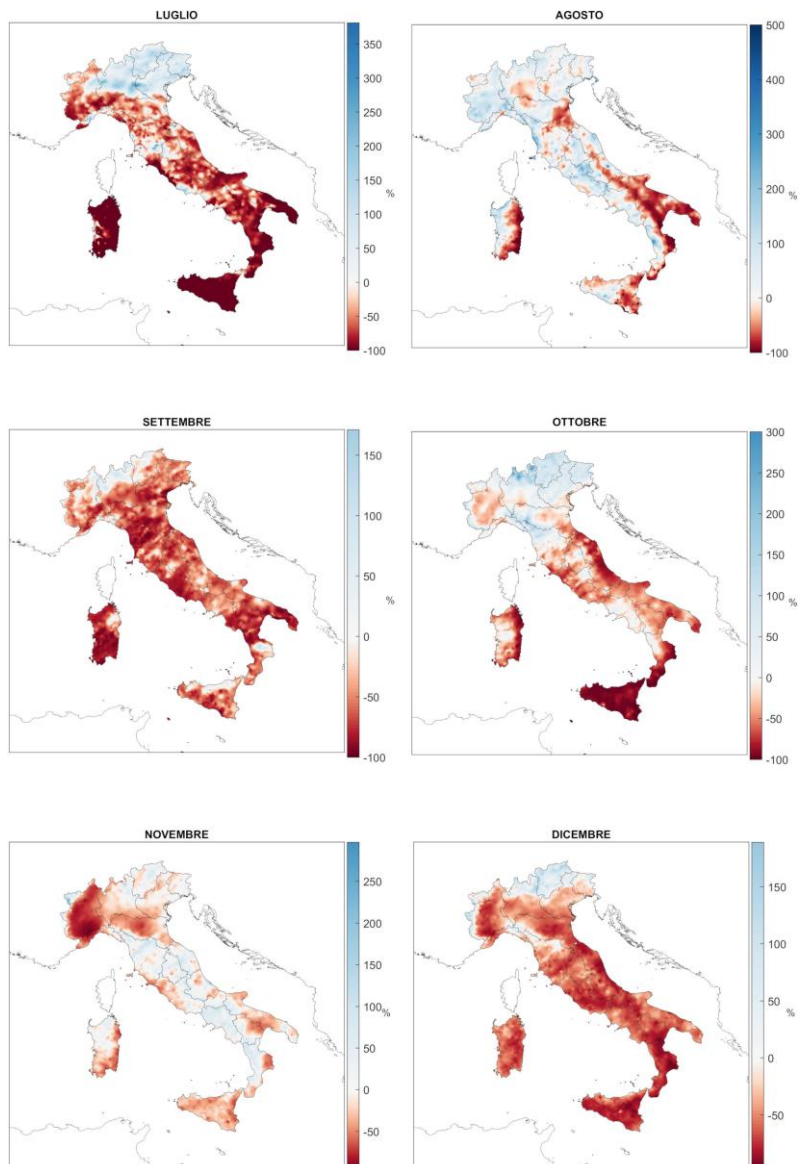
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.6a: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (gennaio-giugno) 2023 espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.



Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.6b: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (luglio-dicembre) 2023, espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.



Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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 1961-2023, rispetto al valore climatologico 1991-2020 (Figure 5.7 e 5.8).

Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia di -4% circa, il 2023 è risultato pressoché in linea con il valor medio climatologico 1991-2020.

Dalle serie di anomalia della precipitazione cumulata stagionale (Figura 5.9) si rileva che la primavera e l'estate sono state più piovose della norma. La stagione relativamente più piovosa è stata la primavera (+27%), che si colloca al quinto posto tra le più piovose, seguita dall'estate (+24%), che si colloca al quindicesimo posto tra le più piovose; l'autunno (-23%) si colloca al sedicesimo posto tra le meno piovose, mentre l'inverno ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-5%). Va sottolineato che, per l'inverno (meteorologico), la precipitazione cumulata stagionale viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

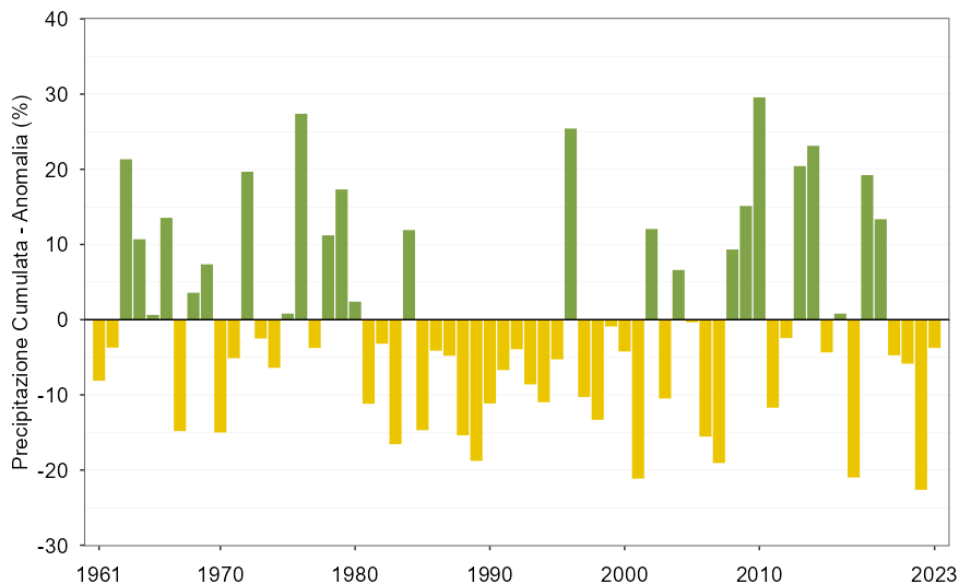
Nella Tabella 5.1 vengono riassunti i trend della precipitazione cumulata nel periodo 1961-2023, calcolati con un modello di regressione lineare semplice. Le stime sono confermate anche dall'applicazione di un modello non parametrico (stimatore di Theil-Sen e test di Mann-Kendall, si veda ad es., Sen, 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. Si osservano deboli trend negativi, ma non statisticamente significativi, nelle serie annuali (nazionale e per macroaree) e nelle serie nazionali stagionali di inverno ed estate.

Tabella 5.1: Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2022, 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 | (-0.4 ± 0.9) |
| Nord | (-0.1 ± 1.1) |
| Centro | (-1.5 ± 1.0) |
| Sud e Isole | (-0.1 ± 1.1) |
| STAGIONALE (Italia) | |
| Inverno | (-2.5 ± 2.2) |
| Primavera | $(+0.3 \pm 1.4)$ |
| Estate | (-1.5 ± 2.2) |
| Autunno | $(+1.1 \pm 1.5)$ |

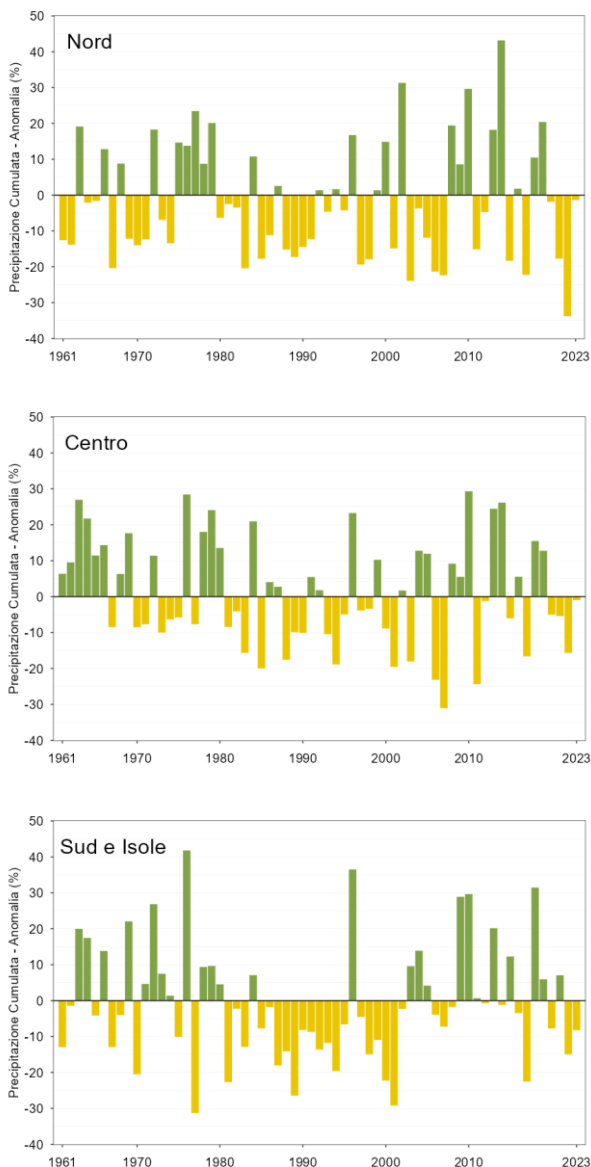
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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



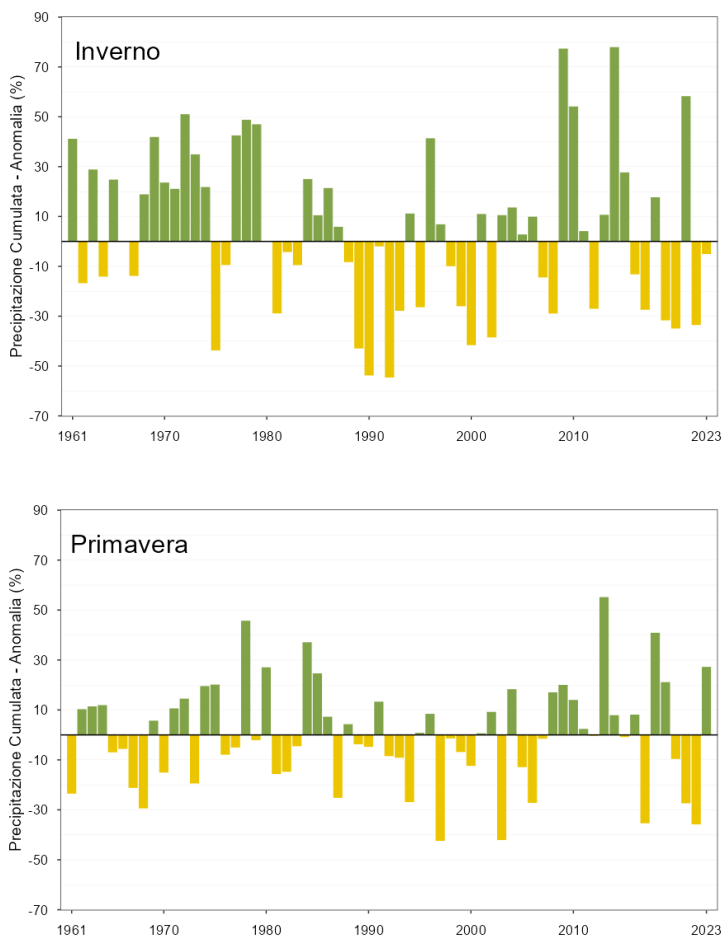
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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.



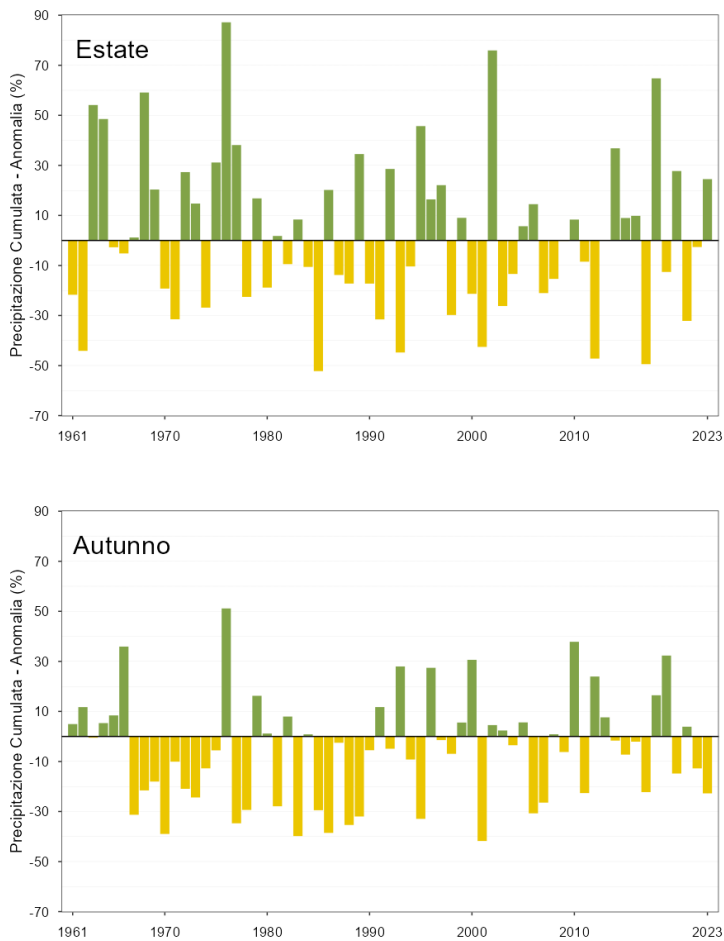
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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).



Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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).



Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

5.3 Frequenza, intensità, estremi

Nella Figura 5.10 sono rappresentate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2023. 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 giornaliera sono stati registrati in Emilia-Romagna in occasione dell'evento del 23-24 ottobre: la precipitazione giornaliera ha raggiunto il massimo di 326 mm a Lagdei (PR, 1315 m s.l.m.), seguito dal valore di 253 mm registrato a Bosco di Corniglio (PR, 849 m s.l.m.).

Nella Figura 5.11 è rappresentato il **numero di giorni asciutti** (con precipitazione inferiore o uguale a 1 mm). I valori più alti si registrano su Piemonte, Liguria di Ponente, Emilia-Romagna, Puglia, su gran parte delle aree costiere, e su Sicilia e Sardegna, dove si registrano localmente i valori più elevati, con picchi oltre i 330 giorni asciutti. I valori più bassi (fino a circa 200 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi e sulla dorsale appenninica.

Nella Figura 5.12 sono rappresentati i valori dell'indice di siccità *CDD-Consecutive Dry Days*, che rappresenta il **numero massimo di giorni asciutti consecutivi** nell'anno.

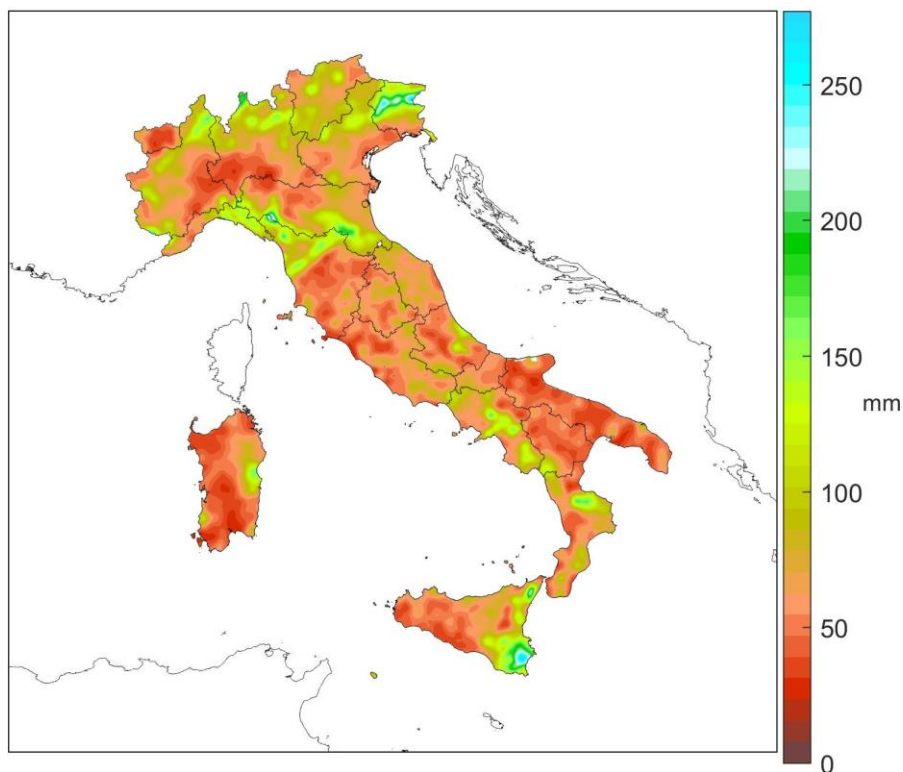
Questo indice ha fatto registrare **valori abbastanza contenuti su gran parte del territorio nazionale. Valori elevati si osservano solo sulla quasi totalità della Sicilia e della Sardegna** (fino a 165 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 100 in Sardegna), seguita dalla **costa ionica** (fino a 100 giorni) e dalla gran parte della **Puglia**. La durata minima registrata dei periodi di siccità in termini dell'indice CDD è di 20-22 giorni e si riscontra al Centro-Nord.

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 del WMO (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 (Alexander et al., 2006; Toreti e Desiato, 2008b), 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, il periodo di analisi inizia dal 1971.

L'indice R10mm rappresenta il **numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm** (Figura 5.13). 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 5.14). L'**intensità di pioggia giornaliera** (SDII-*Simple Daily Intensity Index*) rappresenta infine 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 5.15).

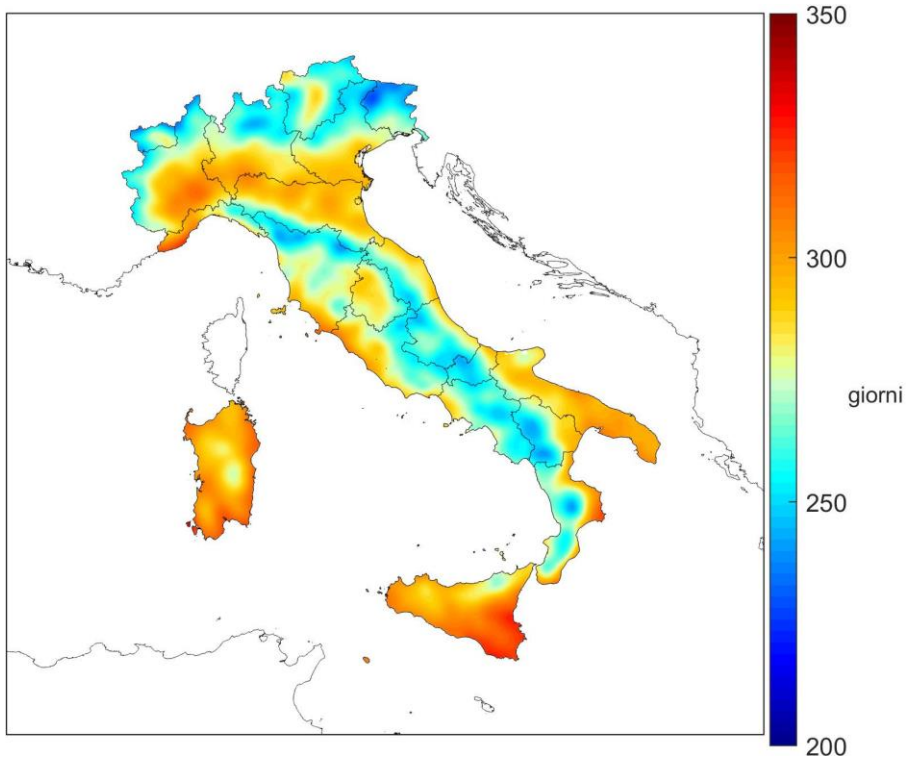
Complessivamente, dall'analisi delle serie temporali di questi indici, sulla base delle stazioni disponibili, non emergono segnali netti di variazioni della frequenza e della intensità delle precipitazioni nel medio-lungo periodo. **Per il 2023 l'analisi mette in evidenza valori di anomalia inferiori alla media per tutti e tre gli indici al Nord e al Sud e Isole e per l'indice R10mm al Centro**; in generale, il 2023 ha fatto registrare valori contenuti delle anomalie degli indici estremi.

Figura 5.10: Precipitazione massima giornaliera 2023.



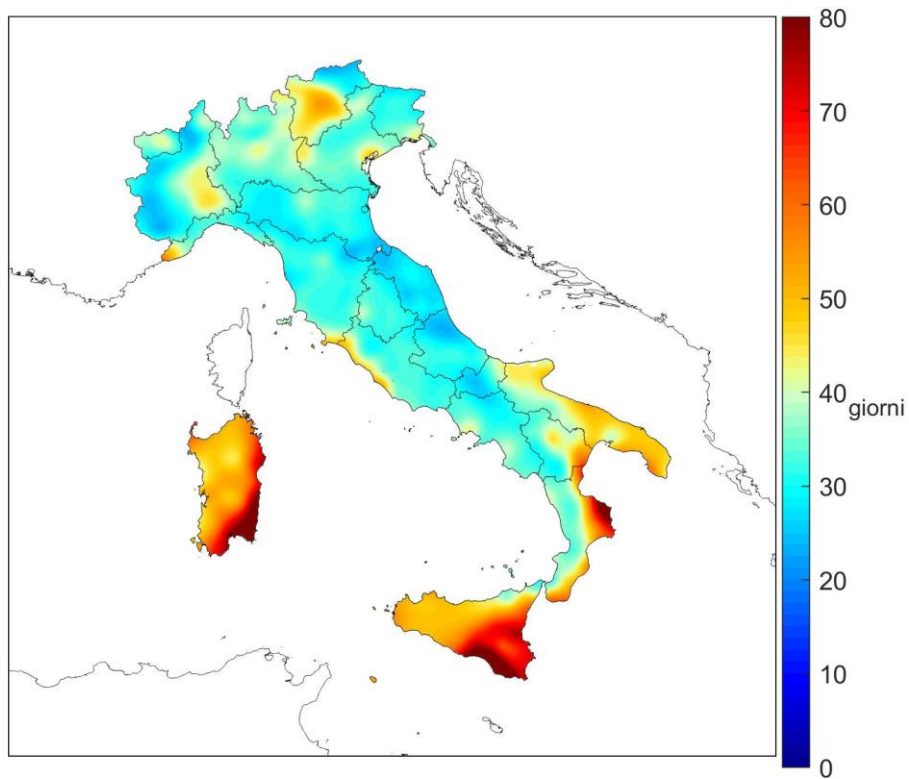
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 5.11: Giorni asciutti nel 2023.



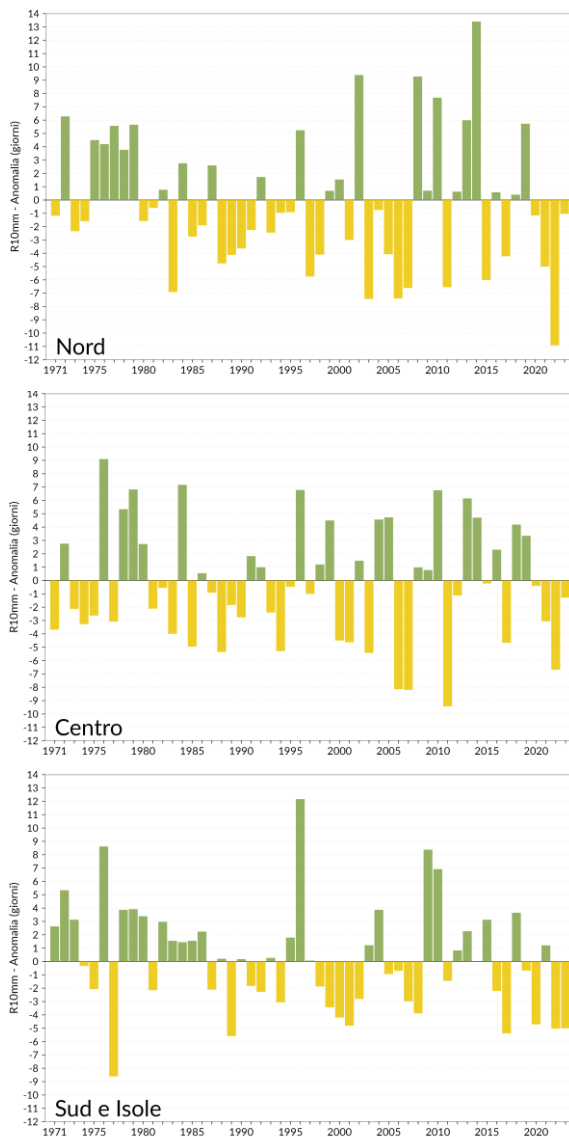
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 5.12: Indice di siccità CDD-*Consecutive Dry Days* nel 2023.



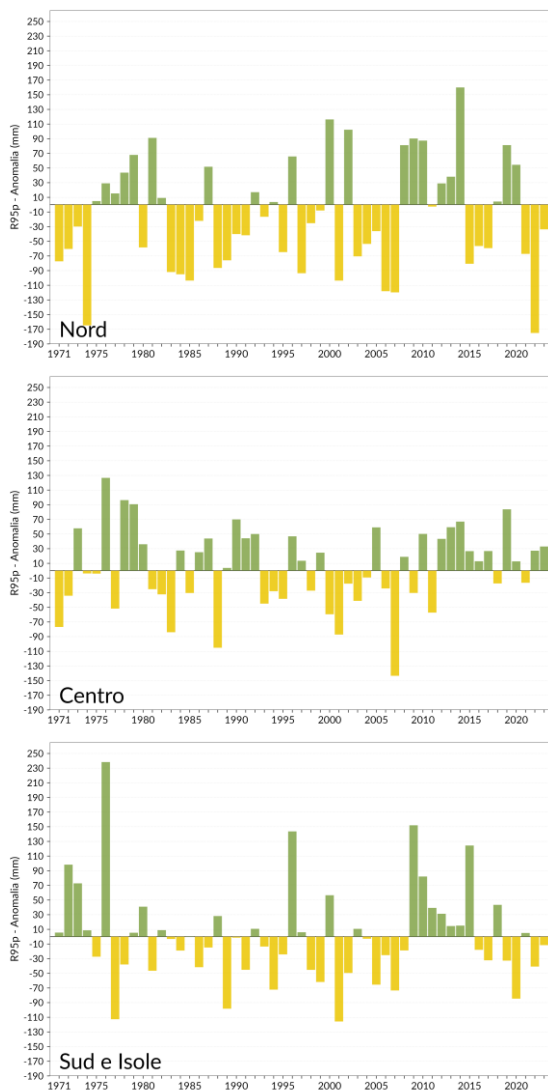
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 5.13: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore o uguale a 10 mm (R10mm), rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

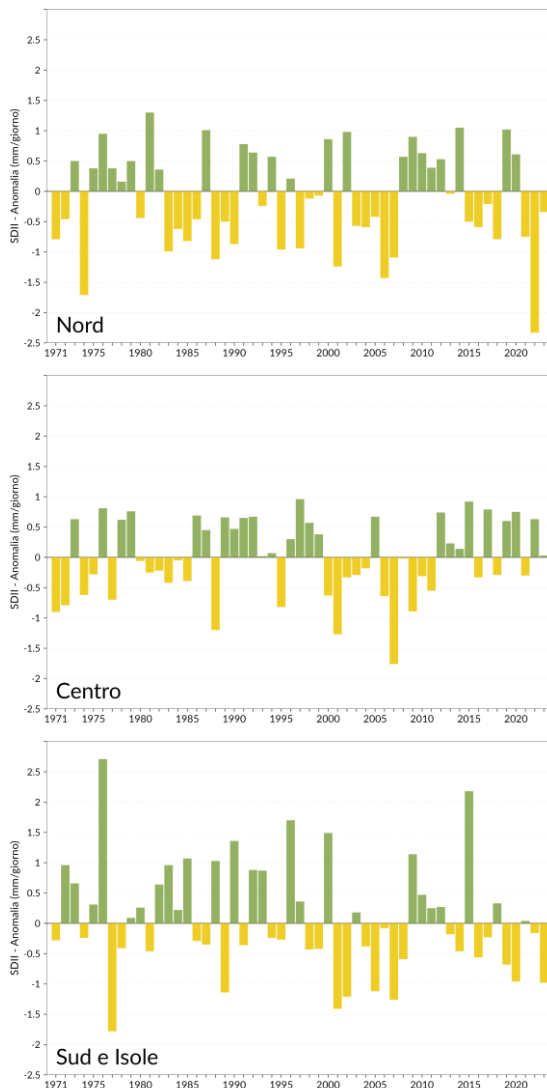
Figura 5.14: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p)¹⁶, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

¹⁶ Somma delle precipitazioni giornaliere > 95° percentile della distribuzione nei giorni piovosi nel periodo climatico.

Figura 5.15: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, dell'intensità di pioggia giornaliera (SDII)¹⁷, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

¹⁷ Precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno.

6. UMIDITÀ RELATIVA

I valori dell'umidità relativa media annuale del 2023 sono compresi tra circa il 57% e il 90% (Figura 6.1).

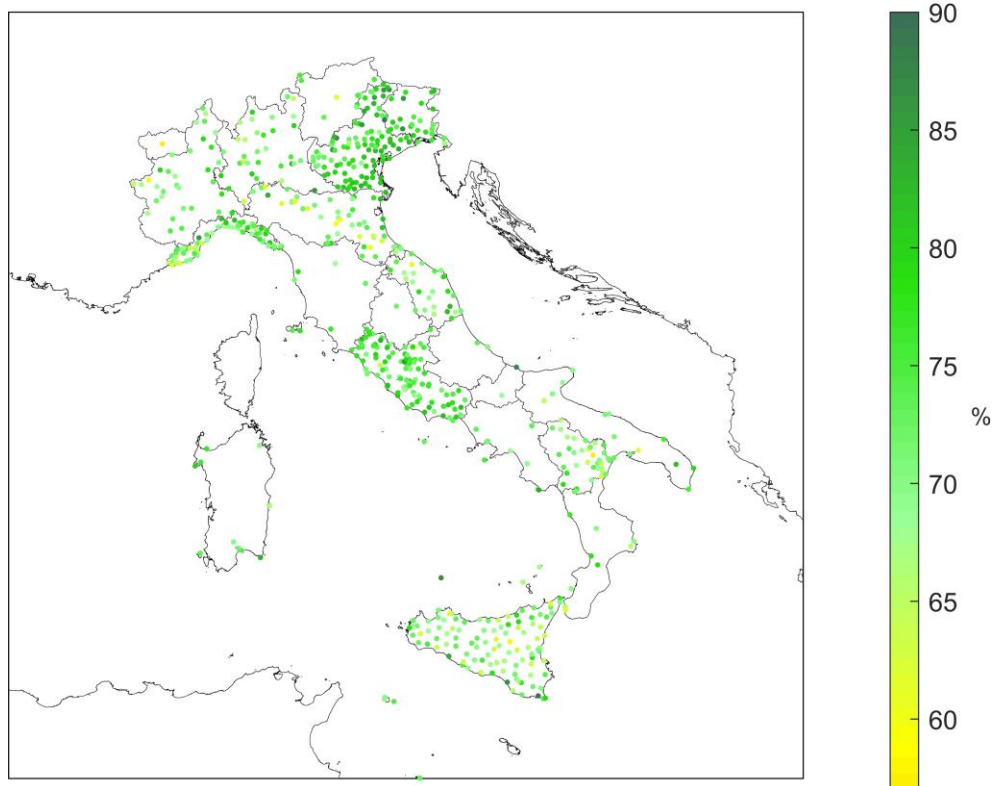
L'umidità relativa annuale è stata ovunque inferiore alla media climatologica 1991-2020 (Figura 6.2), con il valore di anomalia più basso registrato Sud e Isole (-1.6%), seguito dal Nord (-1.2%), e poi dal Centro (-0.6%).

La maggior parte dei mesi del 2023 sono stati ovunque più secchi della norma, con anomalie negative ovunque a febbraio e da agosto a dicembre. I picchi di anomalia negativa dell'umidità relativa si sono registrati a novembre al Nord (-5.5%), a settembre al Centro (-6.4%), e al Sud e Isole (-7.2%).

I picchi di anomalia positiva dell'umidità relativa si sono registrati ovunque a maggio: +3.6% al Nord, +6.6% al Centro, +8.1% e al Sud e Isole. Come riportato nel Capitolo 5, maggio è stato anche il mese relativamente più piovoso dell'anno, rispetto alla media climatologica.

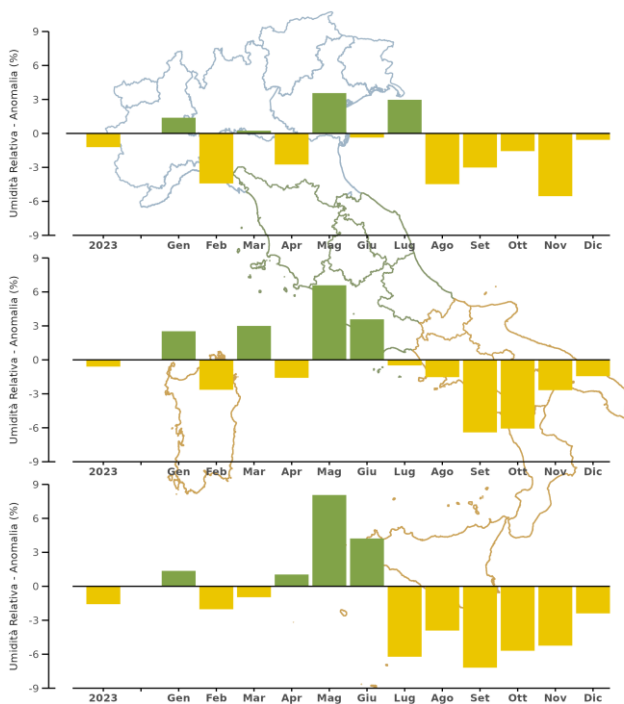
Nella Figura 6.3 viene rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 30 stazioni che soddisfano i requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2023. Il valore medio dell'anomalia di umidità relativa (-1.1%) colloca il 2023 all'ottavo posto tra gli anni più secchi a partire dal 1961, con un'anomalia abbastanza contenuta, coerentemente con quanto rilevato dall'analisi delle precipitazioni.

Figura 6.1: Umidità relativa media 2023.

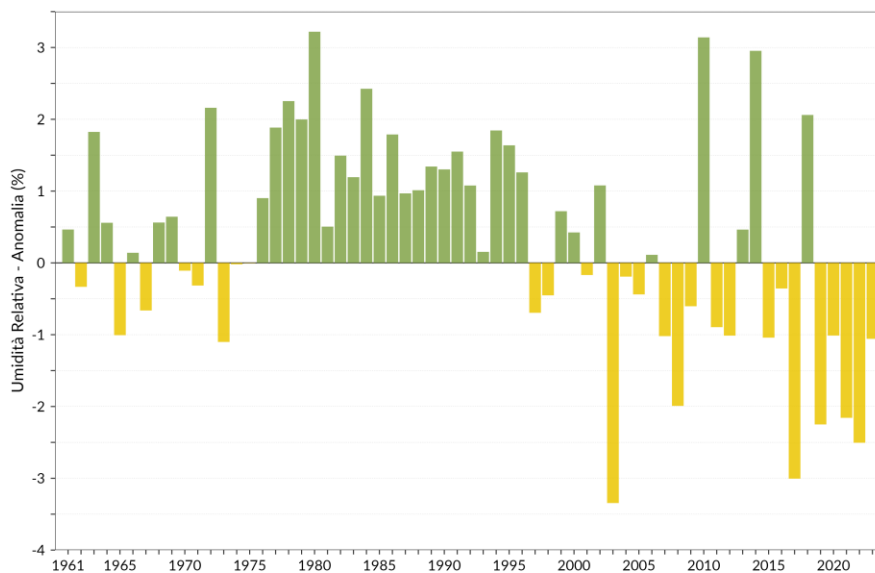


Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 6.2: Anomalia media 2023 (annuale e mensile) dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1991–2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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., and Vazquez-Aguirre J.L., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, **111**, D05109. <https://doi.org/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. Disponibile su: <https://scia.isprambiente.it/documentazione/>.
- Braca G., Mariani S., Lastoria B., Piva F., Archi F., Botto A., Casaioli M., Forte T., Marchetti G., Peruzzi C., Tropeano R., Vendetti C., e Bussetтини M., 2023: Bilancio idrologico nazionale: focus su siccità e disponibilità naturale della risorsa idrica rinnovabile. Aggiornamento al 2022. Rapporti n. 388/2023, ISPRA, Roma.
- Braca G., Bussetтини M., Gafà R.M., Monti G.M., Martarelli L., Silvi A., and La Vigna F., 2022a: The Nationwide Water Budget Estimation in the light of the New Permeability Map of Italy. *Acque Sotterranee–Italian Journal of Groundwater*, **11(3)**, 31-39.
- Braca G., Bussetтини M., Lastoria B., Mariani S., e Piva F., 2022b: Il modello di bilancio idrologico nazionale BIGBANG: sviluppo e applicazioni operative. La disponibilità della risorsa idrica naturale in Italia dal 1951 al 2020 / The BIGBANG National Water Balance Model: Development and Operational Applications. The Availability of Renewable Freshwater Resources in Italy from 1951 to 2020. *L'Acqua*, 2/2022.
- Braca G., Bussetтини M., Lastoria B., Mariani S., e Piva F., 2021: Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica. Rapporti n. 339/21, ISPRA, Roma.
- C3S-Copernicus Climate Change Service, 2024: European State of the Climate 2023, Full report: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2023>.
- 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. *Adv. Sci. Res.*, **6**, 147-150. <https://doi.org/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 n. 32/2012.

- Desiato F., Fioravanti G., e Piervitali E., 2013: Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura in Italia. Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente n. 37/2013.
- Fioravanti G., Piervitali E. and Desiato F., 2016a: Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis. *Theor. Appl. Climatol.*, **123**, 473-486. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1362-1>.
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E. e Desiato F., 2016b: Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente n. 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 n. 81/2018.
- Fioravanti G., Piervitali E., e Desiato F., 2019: A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy, *Int. J. Climatol.*, **39**, 5635-5654. <https://doi.org/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 n. 99/2022.
- Jenkins S., Smith C., Allen M., and Grainger R., 2023: Tonga eruption increases chance of temporary surface temperature anomaly above 1.5 °C. *Nature Climate Change*, **13**, 127-129. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01568-2>.
- Kendon M., and Hollis D., 2014: How are UK rainfall-anomaly statistics calculated and does it matter? *Weather*, **69**, 2. <https://doi.org/10.1002/wea.2249>.
- Klein Tank A.M.G., and Können G.P., 2003: Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate*, **16**, 3665-3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2).
- Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., and 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. *J. Am. Stat. Ass.*, **63(324)**, 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- SNPA, 2023, Il clima in Italia nel 2022. Report n. 36/2023, SNPA, Roma.
- Toreti A. and Desiato F., 2008a: Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology*, **91**, 51-58. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0289-6>.
- Toreti A., and Desiato F., 2008b: Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology*, **28**, 733-745. <https://doi.org/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, 2023. State of the global climate 2022. WMO-No. 1316, ISBN 978-92-63-11316-0, Ginevra.
- WMO-World Meteorological Organization, 2024. State of the global climate 2023. WMO-No. 1347, ISBN 978-92-63-11347-4, Ginevra.

PARTE 2: FOCUS

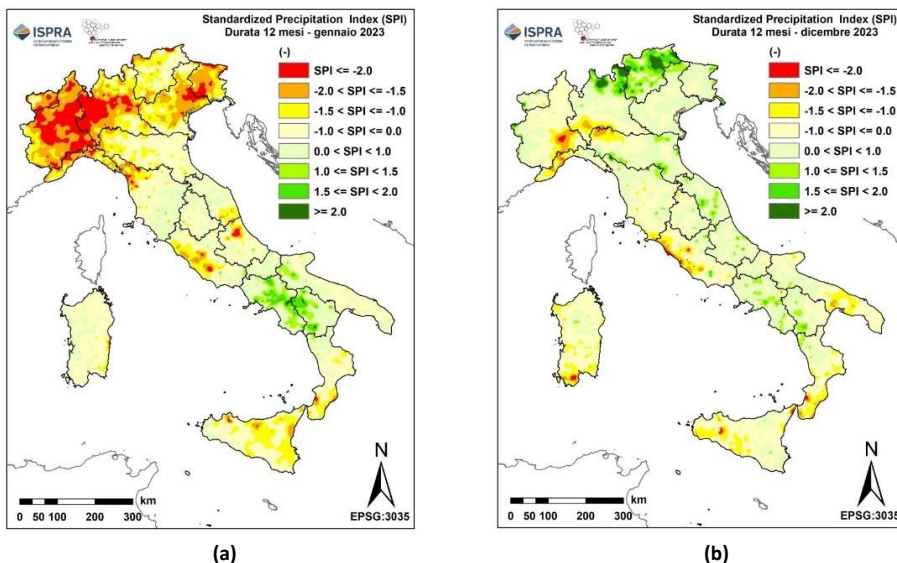
1 SICCATÀ E SEVERITÀ IDRICA

1.1 Lo stato della siccità e della severità idrica: approfondimento a scala nazionale

Sebbene in maniera differenziata rispetto alla situazione critica riscontrata nel 2022, la siccità e i conseguenti problemi di severità idrica hanno continuato a interessare e caratterizzare l'Italia nel corso del 2023.

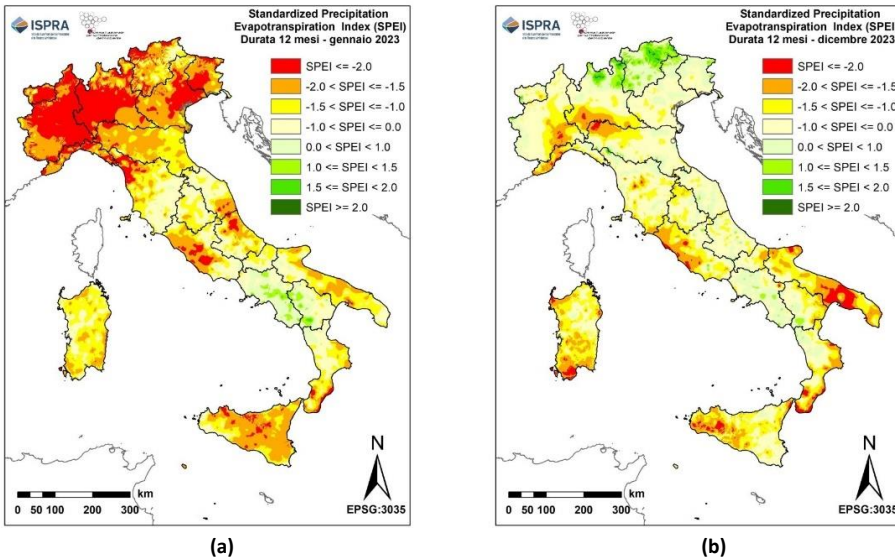
Le valutazioni a scala annuale in termini di SPI-*Standardized Precipitation Index* e di SPEI-*Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index* effettuate dall'ISPRA, mediante la versione 8.0 del modello nazionale di bilancio idrologico BIGBANG¹⁸ (Braca et al., 2021, 2024), evidenziano che nei primi quattro mesi dell'anno, i territori del nord e del centro Italia ([v. focus Lombardia](#) e [focus Piemonte](#)), già colpiti dalla grave siccità del 2022, sono stati interessati da condizioni di siccità estrema ($SPI/SPEI \leq -2.0$) e severa ($-2.0 < SPI/SPEI \leq -1.5$). Tuttavia, la situazione su questi territori è andata migliorando nel corso del 2023 (Figure 1 e 2).

Figura 1: Indice di siccità SPI a 12 mesi a: (a) gennaio 2023; (b) dicembre 2023. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.



¹⁸ Le stime e le elaborazioni prodotte con la versione 8.0 del modello BIGBANG sono liberamente disponibili alla pagina web: https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_80/.

Figura 2: Indice di siccità SPEI a 12 mesi a: (a) gennaio 2023; (b) dicembre 2023. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.



Su una scala temporale più breve, si è registrato in particolare in Sicilia e in parte della Calabria ionica un consistente deficit di precipitazione negli ultimi tre mesi dell'anno, generalmente i più piovosi, oltre che un record nelle anomalie mensili della temperatura media a ottobre 2023 (+3.27 °C, record assoluto per il mese di ottobre dal 1961, [v. Cap.3 Parte I](#)) e a dicembre 2023 (+1.88 °C, secondo valore più alto per il mese di dicembre dal 1961, [v. Cap.3 Parte I](#)). Tale deficit ha determinato una situazione di siccità estrema, evidenziata anche dalle valutazioni di SPI e SPEI a 3 mesi per dicembre 2023 (Figura 3), con effetti in termini di severità idrica media sui Distretti idrografici della Sicilia e della Sardegna, che si sta protraendo nel corso del 2024 e che è ulteriormente aggravata dalle scarse precipitazioni occorse nei territori del sud Italia dall'inizio del 2024.

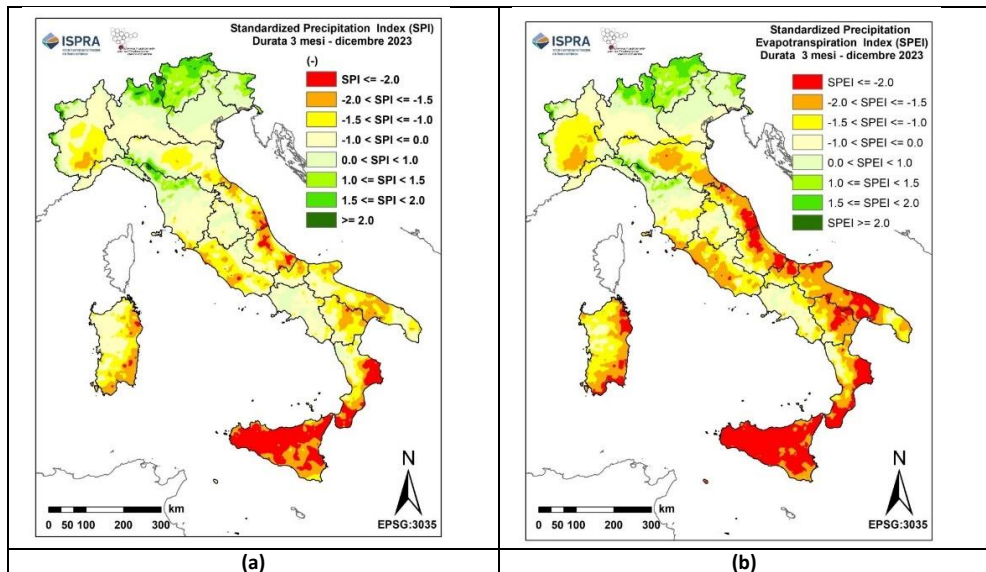
Dalla prima metà di febbraio 2024, l'Osservatorio distrettuale per gli utilizzi idrici, organo dell'Autorità di bacino distrettuale della Sicilia¹⁹, ha assegnato all'intero territorio distrettuale una condizione di severità idrica alta, sia per gli usi potabili che per quelli irrigui²⁰. Il persistere delle condizioni di grave

¹⁹ A seguito dell'emanazione del c.d. decreto siccità D.L. 39/2023 e della sua successiva conversione in legge, con la L. 68/2023, l'Osservatorio diviene organo dell'Autorità di Bacino Distrettuale, ai sensi dell'art. 63, comma 3, del D.Lgs. 152/2006 (c.d. T.U. Ambientale), e opera sulla base degli indirizzi adottati ai sensi dell'art. 63, commi 2 e 5 dello stesso decreto legislativo.

²⁰ Lo stato di severità idrica a livello nazionale è consultabile alla pagina https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Severidrica.html, gestita dall'ISPRA nell'ambito delle attività del Comitato tecnico di coordinamento nazionale degli Osservatori, coordinato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.

deficit idrico ha portato all'emanazione della Dichiarazione di stato di emergenza, con delibera del Consiglio dei Ministri del 6 maggio 2024.

Figura 3: Indice di siccità SPI a 3 mesi (a) e SPEI a 3 mesi (b) per dicembre 2023. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.



L'aggiornamento al 2023 dei termini di bilancio idrologico nazionale, attraverso l'applicazione della versione 8.0 modello BIGBANG (Braca et al., 2024), e delle relative statistiche sulla disponibilità di risorsa idrica (*Internal Flow*²¹) confermano il trend negativo, statisticamente significativo, registrato da diversi anni in Italia (Figura 4). La disponibilità di risorsa idrica totale del 2023 è stimata in 372.2 mm, corrispondente a 112.4 miliardi di metri cubi, a fronte di un valore di precipitazione totale di circa 279 miliardi di metri cubi (v. [Figura 5.1 Parte I](#)). Nel corso del 2023 si è manifestata una ripresa rispetto al 2022, anno in cui con i circa 67 miliardi di metri cubi (Braca et al., 2023, SNPA, 2023) si è toccato il record negativo dal 1951 ad oggi di disponibilità di risorsa idrica. Nonostante ciò, l'anno appena trascorso ha fatto registrare una riduzione del 18.4% della disponibilità di risorsa idrica a livello nazionale rispetto alla media annua sul lungo periodo 1951–2023. Conferma ulteriore del trend negativo riguardante la riduzione di disponibilità si ha prendendo come riferimento l'ultimo trentennio

²¹ L'*Internal Flow* è la risorsa idrica che si produce naturalmente nel territorio di riferimento esclusivamente dalle precipitazioni, che al netto dell'evapotraspirazione, sono cadute all'interno dello stesso territorio, a cui si somma eventualmente la risorsa naturale proveniente dall'esterno del territorio, ossia l'*Actual External Inflow*.

climatologico 1991–2020 rispetto al quale, tuttavia, la riduzione si attesta su valori percentuali più bassi (intorno al 16%) rispetto a quelli riferiti al lungo periodo.

A livello di distretto idrografico, le maggiori riduzioni si sono registrate in Sicilia e Sardegna con percentuali dell'ordine del 50% (Figura 5). A rendere meno severa la diminuzione della disponibilità di risorsa idrica ha contribuito l'elevato volume di precipitazione (stimato in circa 49 miliardi di metri) che si è riversato nel mese di maggio, con valori cumulati di pioggia che localmente hanno superato di oltre 6 volte quelli medi riferiti allo stesso mese (Figura 6), e che hanno provocato i tragici eventi alluvionali in Emilia-Romagna, con vittime e ingenti danni a persone, territorio e attività economiche ([v. focus](#)).

Figura 4: Situazione della disponibilità di risorsa idrica (*Internal Flow*) a livello nazionale dal 1951 al 2023, con indicazione del valore medio (linea nera tratteggiata) e della linea di tendenza (linea rossa continua). Fonte: Elaborazioni ISPRA prodotte mediante il modello di bilancio idrologico BIGBANG, versione 8.0, sulla base dei dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dei dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

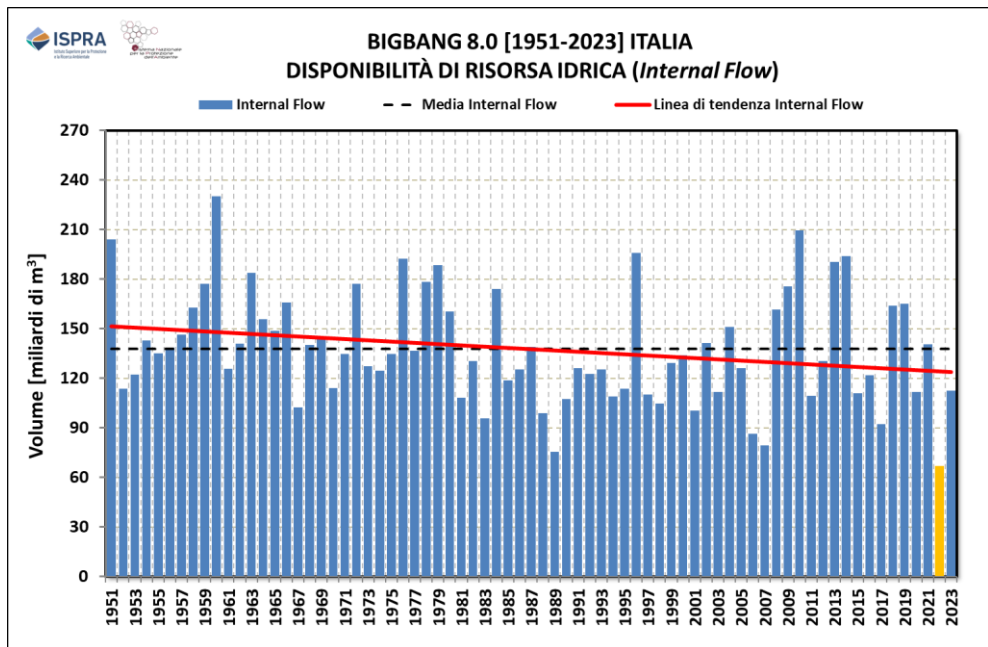


Figura 5: Situazione della disponibilità di risorsa idrica (Internal Flow) a livello di distretto idrografico: 2023 vs. la media annua sul lungo periodo (LTAA-Long term annual average) 1951–2023. Fonte: Elaborazioni ISPRA prodotte mediante il modello nazionale di bilancio idrologico BIGBANG, versione 8.0, sulla base dei dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dei dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

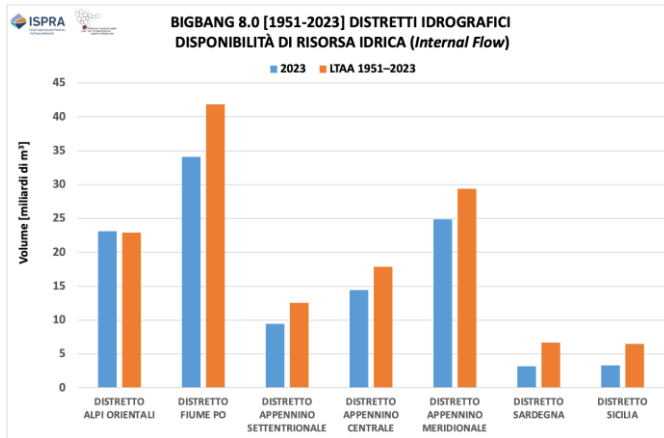
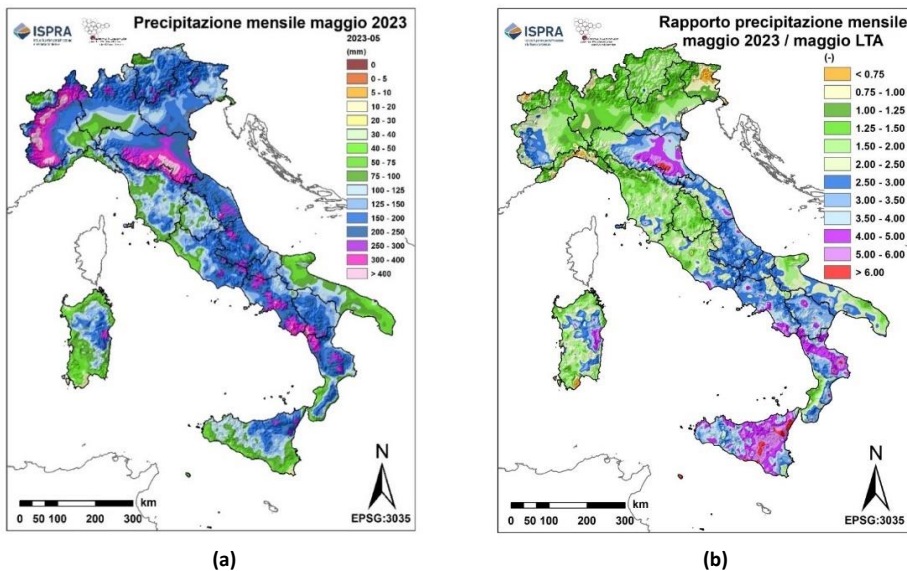


Figura 6: Precipitazione mensile a maggio 2023 (a) e rapporto tra la precipitazione mensile a maggio 2023 e la media mensile per maggio sul lungo periodo 1951–2023. Fonte: Elaborazioni ISPRA su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.



Per quanto concerne il contributo alla ricarica degli acquiferi, il BIGBANG stima per il 2023 un valore nazionale di 53 miliardi di metri cubi, corrispondente al 19% delle precipitazioni, inferiore quindi all'aliquota media annua di lungo periodo (1951–2023) del 22.7%; analoga la situazione per l'aliquota di precipitazione che si è trasformata in deflusso superficiale (ossia che non è infiltrata o trattenuta dal suolo). Nel 2023, infatti, il deflusso superficiale è stimato in 66 miliardi di metri cubi, corrispondenti al 23.7% della precipitazione, rispetto all'aliquota media annua del 25.4% sul lungo periodo.

Al contrario, la quota di evapotraspirazione ha raggiunto nel 2023 il 59.4% della precipitazione, ponendosi nuovamente al di sopra della media annua di lungo periodo di circa il 52%, così come era già accaduto nel 2022 (quando aveva raggiunto circa il 70% della precipitazione). Ciò in conseguenza delle alte temperature registrate durante l'anno (il 2023 è risultato essere stato il secondo anno più caldo di tutta la serie dal 1961, dopo il 2022, con una anomalia della temperatura media di +1.14 °C rispetto alla media climatologica 1991–2020 – [v. Cap.3 Parte I](#)).

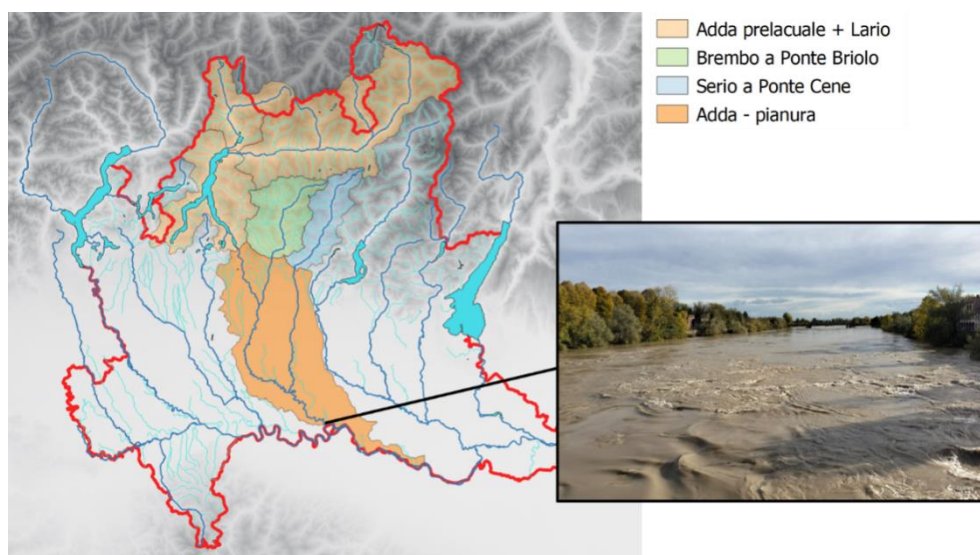
Bibliografia

- Braca G., Mariani S., Lastoria B., Tropeano R., Casaioli M., Piva F., Marchetti G., Bussetini M., 2024: Bilancio idrologico nazionale: stime BIGBANG e indicatori sulla risorsa idrica. Aggiornamento al 2023. Rapporti n. 401/2024, ISPRA, Roma.
- Braca G., Mariani S., Lastoria B., Piva F., Archi F., Botto A., Casaioli M., Forte T., Marchetti G., Peruzzi C., Tropeano R., Vendetti C., e Bussetini M., 2023: Bilancio idrologico nazionale: focus su siccità e disponibilità naturale della risorsa idrica rinnovabile. Aggiornamento al 2022. Rapporti n. 388/2023, ISPRA, Roma.
- Braca G., Bussetini M., Lastoria B., Mariani S., e Piva F., 2021: Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica. Rapporti n. 339/21, ISPRA, Roma.
- SNPA, 2023: Il clima in Italia nel 2022. Report n. 36/2023, SNPA, Roma.

1.2 Siccità nel bacino dell'Adda in Lombardia: nel 2023 graduale ritorno alla normalità

Dopo l'approfondimento sulla siccità 2022 nel bacino del fiume Adda (7927 km², corrispondente all'11% della superficie del bacino del Po; Figura 1), si propone un aggiornamento della situazione al 2023, che ha visto un graduale ritorno alla normalità, grazie principalmente alle precipitazioni primaverili ed estive.

Figura 1: Geografia del bacino dell'Adda. A destra una foto scattata il 3 novembre /2023 a Pizzighettone (CR).

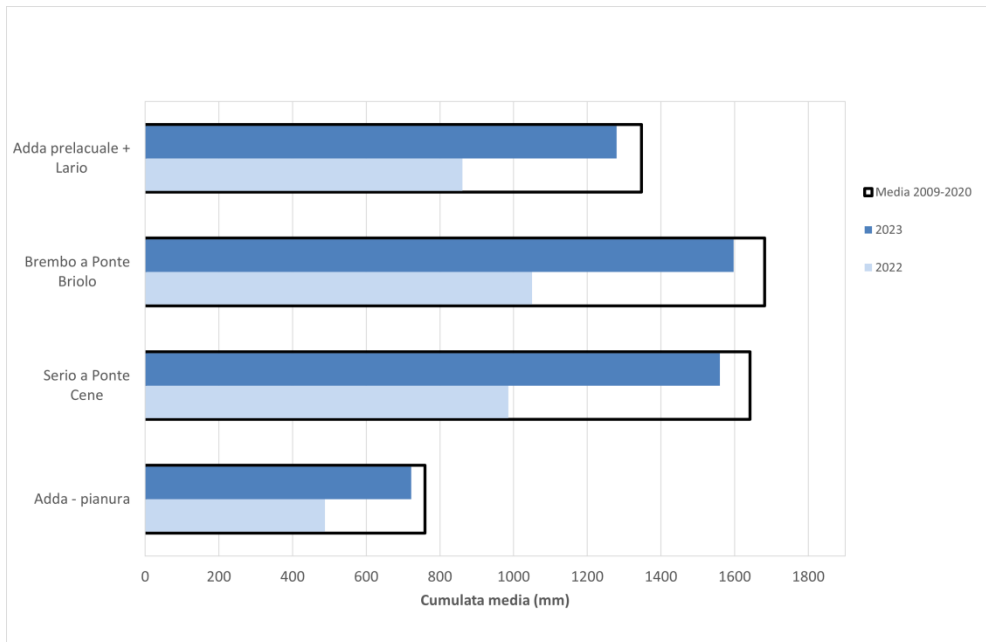


L'autunno-inverno 2022 si è infatti concluso con precipitazioni, che hanno permesso un parziale recupero di riserva idrica; i quantitativi di pioggia e neve registrati, tuttavia, non sono stati sufficienti a riportare in media il totale delle riserve: al 31 dicembre si registrava ancora -33% per il bacino dell'Adda e -44% per Brembo e Serio.

Nel corso del 2023, nel bacino dell'Adda come a scala regionale, le precipitazioni registrate sono state sostanzialmente in linea con la media (-7%) del periodo di riferimento 2009-2020, con forti variabilità tra i diversi mesi. I primi mesi dell'anno, infatti, hanno proseguito la tendenza del 2022 con precipitazioni significativamente inferiori alla media, con deficit compresi tra -13% di aprile e -92% di febbraio, che ha fatto registrare mediamente solo 5 mm su tutto il bacino. I mesi di maggio, luglio e agosto sono invece stati interessati da piogge intense, che hanno permesso di registrare precipitazioni superiori alla media (+26% maggio, +60% luglio).

Differenze significative sono state osservate anche tra le diverse zone del bacino. I settori di pianura, che comprendono il bacino dell'Adda sublacuale, quello del Brembo a valle della sezione di Ponte Briolo e quello del Serio a valle della sezione di Ponte Cene, hanno registrato precipitazioni inferiori alla media per quasi tutti i mesi dell'anno, con le sole eccezioni di gennaio (+46%), maggio (+30%) e luglio (+118%). Il deficit sulla cumulata media annua, per la zona di pianura, è stato del 25%. Sui bacini montani, invece, le precipitazioni sono risultate sostanzialmente in linea con la media, con scostamenti di -9% per Brembo e Serio e di +1% per l'Adda (incluso il bacino del lago di Como). Rispetto ai bacini di pianura, il mese di gennaio è risultato meno piovoso, con deficit intorno a -35% per tutti i sottobacini, mentre il mese di agosto si conferma più piovoso della media (+20% per Brembo e Serio, + 25% per l'Adda prelacuale). In Figura 2 si riporta la precipitazione cumulata media annua sui sottobacini, rapportata alla media del periodo 2009-2020 e al 2022.

Figura 2: Cumulata media annua di precipitazione sui sottobacini dell'Adda e confronto con la media annua 2009-2020 e con la cumulata media annua 2022.



La pioggia caduta a partire da maggio ha avuto influenze significative sulla riserva idrica, in particolare sui volumi stoccati nei grandi laghi regolati. La stagione invernale 2022-2023, come la precedente è stata avara di neve sull'arco alpino: gli unici accumuli significativi sono stati registrati all'inizio di dicembre 2022, successivamente i valori di SWE-*Snow Water Equivalent* si sono mantenuti pressoché costanti fino alla fine di aprile, con valori sempre al di sotto della media (riferimento 2006-2020) e, tra marzo e aprile, prossimi ai minimi. Le temperature inferiori alla media dei mesi di aprile e, in parte, maggio hanno però rallentato la fusione nivale, consentendo allo SWE di mantenersi stabile o in lieve diminuzione fino alla fine di maggio. Nel mese di giugno, invece, la tendenza alla diminuzione si è accentuata e lo SWE si è esaurito prima della fine del mese.

Le precipitazioni dei mesi di maggio e luglio hanno però permesso di aumentare i volumi immagazzinati nei grandi laghi regolati, compensando la scarsità di riserva nivale.

I grafici in Figura 3 riportano l'andamento del totale delle riserve (lago + invasi + SWE) lungo l'arco dell'anno: si evidenzia come, a partire da maggio, la riserva idrica complessivamente disponibile abbia iniziato ad aumentare per tutti i bacini, mantenendosi al di sopra dei minimi del periodo di riferimento e, a partire da settembre/ottobre, anche al di sopra della media.

Alla fine di marzo, la riserva idrica disponibile per il bacino dell'Adda era di circa 475 Mm³, ossia il 54% in meno rispetto alla media del periodo di riferimento 2006-2020. Nel dettaglio, il lago di Como registrava un invaso del 16% inferiore alla media, gli invasi alpini +22% e lo SWE -61%. Complessivamente, la situazione era di poco migliore rispetto a quella osservata l'anno precedente, soprattutto per la mancanza della componente nivale.

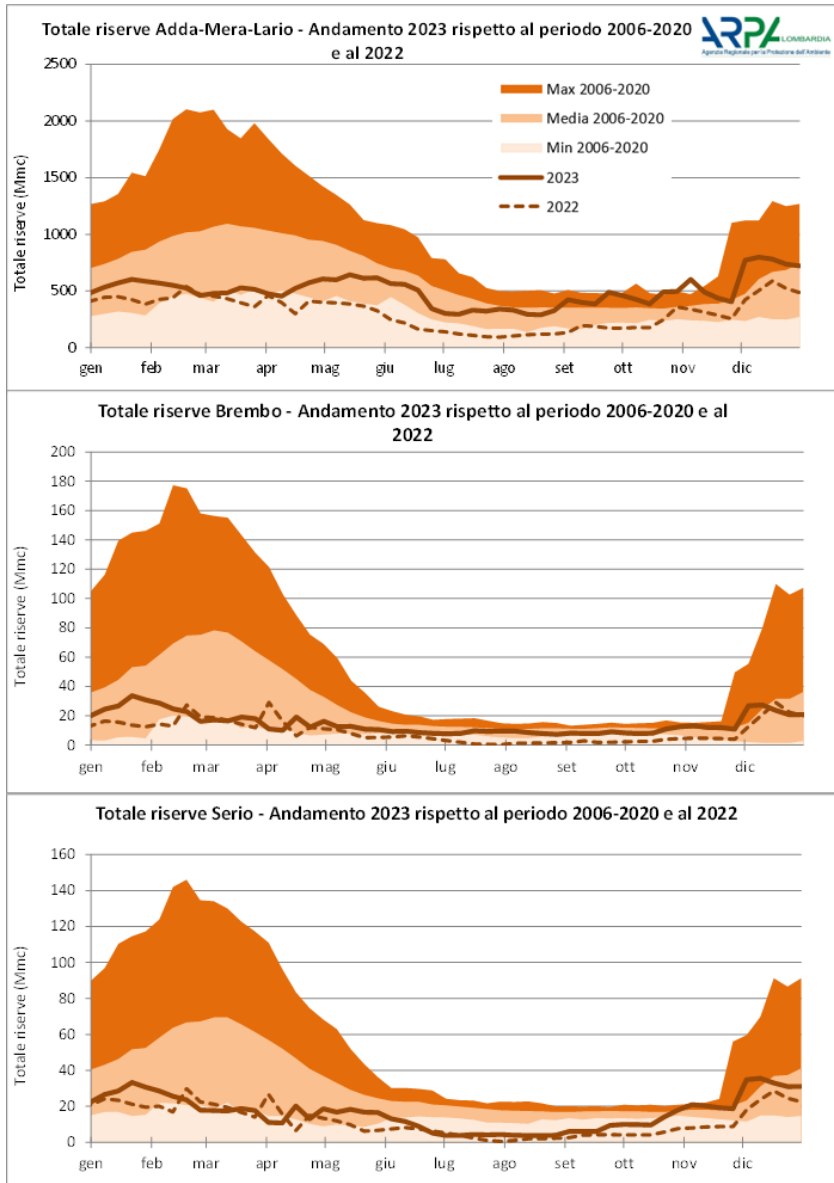
Le temperature rigide del mese di aprile e le precipitazioni di maggio hanno permesso da un lato di conservare la poca risorsa nivale disponibile e dall'altro di incrementare la risorsa invasata nei grandi laghi. Nel complesso, alla fine di maggio, la riserva per il bacino dell'Adda era in netto recupero e si attestava a -16% sotto la media, con il lago e gli invasi sostanzialmente in linea con la media (+9% e -6% rispettivamente) e lo SWE in lenta diminuzione (-29%).

Per i bacini di Brembo e Serio la riserva idrica si compone unicamente di SWE e invasi artificiali: la componente nivale, che nella stagione invernale e primaverile è normalmente preponderante, risultava a fine marzo il 47% e il 42% sotto la media per Brembo e Serio rispettivamente, determinando un bilancio complessivo della riserva di -39% per il Brembo e -37% per il Serio, nonostante valori di riempimento degli invasi in linea con la media di riferimento. Su questi due bacini, le precipitazioni del mese di maggio hanno permesso di riportare il totale complessivo in linea con la media già alla fine del mese.

A fine settembre, la riserva totale per il bacino dell'Adda si attestava a 6% rispetto alla media, mentre per Brembo e Serio la differenza era -8% e +6% rispettivamente, grazie alle precipitazioni di luglio e agosto.

La condizione di rientro alla normalità, non solo per il bacino dell'Adda ma per tutto il distretto padano, è stata sancita anche dalla riunione dell'Osservatorio Permanente per gli utilizzi idrici del Distretto idrografico del Fiume Po che, nella seduta del 31 ottobre 2023, ha definito una situazione di severità idrica "normale".

Figura 3: Andamento complessivo delle riserve idriche per i sottobacini dell'Adda.



Il bacino dell'Adda è stato anche interessato dagli eventi temporaleschi che hanno investito la regione Lombardia alla fine del mese di agosto. A un'intensa fase di caldo eccezionale, che ha raggiunto il suo apice tra mercoledì 23 e giovedì 24 agosto, ha infatti fatto seguito una fase perturbata altrettanto intensa. Tra il 26 e il 29 agosto 2023 sulla Lombardia si sono succeduti diversi eventi precipitativi che hanno fatto registrare complessivamente quantitativi di precipitazione diffusamente superiori ai 100 mm soprattutto sulla fascia alpina e prealpina, con picchi oltre i 200 mm su Valchiavenna (Alpe Motta 303.8 mm, Lago Truzzo 263.6 mm, Gordona - Alpe Cermine 244.6 mm, Madesimo – Spluga 238.4 mm, Val Genasca 221.4 mm), Valtellina (Chiesa Valmalenco – Alpe dell'Oro 222 mm, Gerola Alta – Pescegallo 202.6 mm, Lago Reguzzo 202.4 mm), Varesotto (Porto Valtravaglia San Michele 268 mm, Cuveglio 224.8 mm, Laveno molo 206.8 mm) e sul bacino del Brembo (Rota d'Imagna 204.2 mm). Durante l'evento, sulla regione sono caduti mediamente 111 mm di pioggia, pari alla media per l'intero mese di agosto sul periodo di riferimento 2006-2020.

Le forti precipitazioni hanno provocato l'innalzamento dei livelli idrometrici in tutta la Valtellina, con il fiume Adda che ha superato la soglia di allertamento nelle sezioni di Cepina – Valdisotto ($h_{max} = 3.19$ m) e Le Prese-Sondalo ($h_{max} = 2.14$ m). La portata al colmo nella sezione di Le Prese è stata di circa 110 mc/s, mentre la portata massima in chiusura di bacino a Fuentes-Gera Lario è stata di circa 490 mc/s (Figura 4).

In comune di Valdisotto (SO), dodici persone sono state evacuate a causa della parziale esondazione del torrente Frodolfo alla confluenza con l'Adda; sono state inoltre chiuse diverse strade e piste ciclabili, tra cui un tratto della Strada Statale 38 dello Stelvio prima dell'arrivo a Bormio.

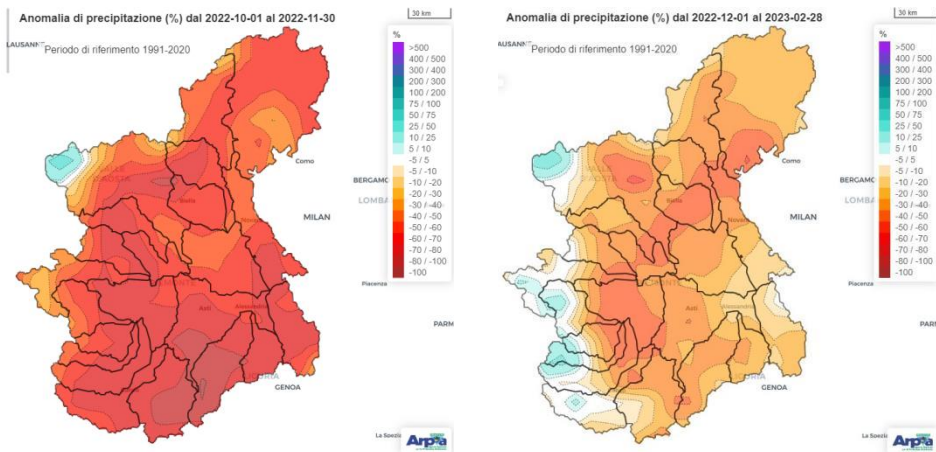
Figura 4: Misura di portata sul fiume Adda a Le Prese – Sondalo (SO), 28 agosto 2023.



1.3 La lunga siccità del 2022 si protrae in Piemonte anche nel 2023

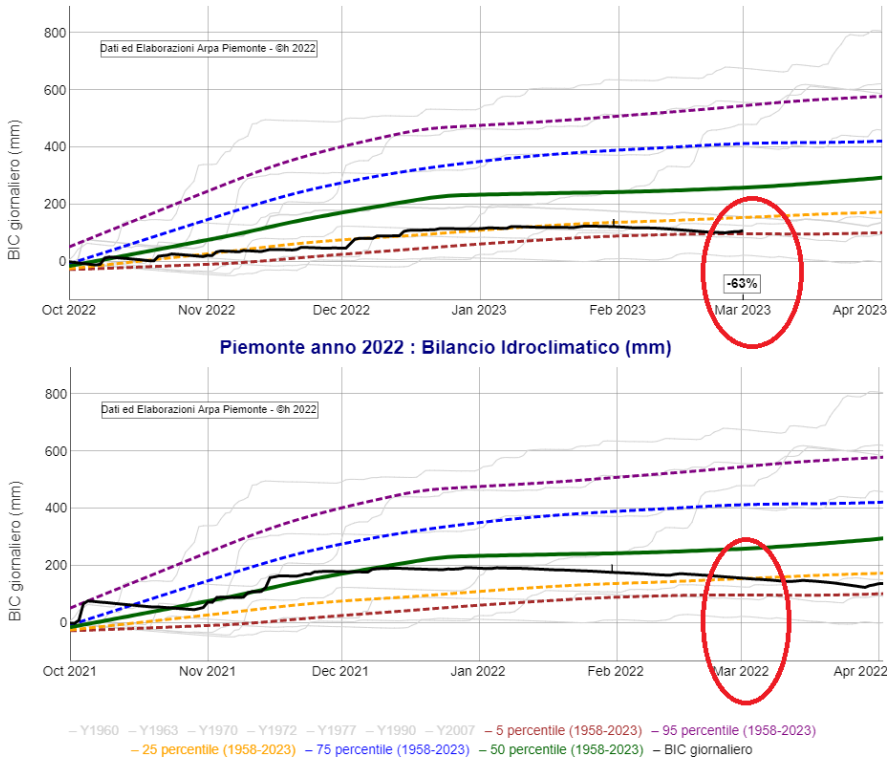
L'anno 2023 inizia con condizioni di siccità severa; infatti, la siccità iniziata a fine 2021 e perdurata per tutto il 2022 si protrae anche nei primi mesi del 2023. I mesi invernali della stagione 2022-2023 non sono stati particolarmente ricchi di pioggia e neve. Con la fine del mese di febbraio si è chiuso l'inverno meteorologico 2022-2023, l'ennesima stagione ancora molto anomala sia dal punto di vista delle temperature (9° inverno più caldo degli ultimi 66 anni) sia dal punto di vista delle precipitazioni solide e liquide che hanno fatto registrare un deficit complessivo di circa 45% rispetto alla norma 1991-2020. L'anomalia delle precipitazioni, tuttavia, non è stata uniforme sul territorio regionale: se le nevicate alpine hanno contribuito ad un locale surplus su alcune zone delle Alpi Cozie Meridionali e Marittime Settentrionali, altrove il deficit è stato marcato, oltre il 50% sulle zone pedemontane occidentali, sulle Alpi settentrionali e attorno al 30% su quelle Appenniniche (Figura 1).

Figura 1: Anomalia di precipitazione cumulata nell'autunno 2022 (a sinistra) e nell'inverno 2022-2023 (a destra) rispetto alla norma del medesimo periodo nel trentennio 1991-2020.



La sequenza autunnale e invernale di piogge scarse e temperature ben sopra la norma, fa sì che il bilancio idroclimatico medio (la differenza tra precipitazione ed evapotraspirazione) sul Piemonte, calcolato a fine inverno 2022-2023 nell'anno idrologico ottobre 2022-settembre 2023, si collochi al 5° percentile negli ultimi 65 anni ed è addirittura inferiore (124 mm medi contro 154 mm, rispetto ad una media climatica di 260 mm) se lo si confronta con il febbraio 2022 (Figura 2).

Figura 2: Bilancio idro-climatico in Piemonte negli anni idrologici 2021-2022 (sopra) e 2022-2023 (sotto).



Le alte temperature della seconda decade di febbraio 2023 hanno favorito una fusione generalizzata del manto nevoso con una parziale risalita dovuta alle nevicate e le temperature sotto media della fine del mese. Le nevicate di fine febbraio/inizio marzo hanno infatti ristabilito solo in parte condizioni di normalità con spessori del manto nevoso più in linea coi valori tipici del periodo, soprattutto sui settori occidentali e meridionali della regione. A livello regionale si nota comunque uno scarso innevamento dalle Alpi Graie fino ad Alpi Lepontine, zona marginalmente coinvolte dalle ultime nevicate di febbraio. Per quanto riguarda l'equivalente in acqua del manto nevoso (SWE-*Snow Water Equivalent*), le stime modellistiche effettuate sul bacino del Po alla confluenza col Ticino, mostrano valori complessivi che, seppur migliori rispetto al 2022, rimangono ben al di sotto della media del periodo, con un deficit stimato attorno al -55% (Figura 3).

All'inizio della primavera meteorologica 2022, la testata del bacino del Po poteva contare su circa 665 Mmc di acqua stoccata nel manto nevoso, un valore così basso da sfiorare il 5° percentile negli ultimi 30 anni, nel 2023 la situazione non è stata molto migliore visto che gli 880 Mmc si collocano all'altezza del 25° percentile, un numero ancora molto esiguo (Figura 4).

Figura 3: Deficit relativo agli spessori di neve al suolo (Hs) su alcune delle stazioni automatiche e manuali di Arpa Piemonte

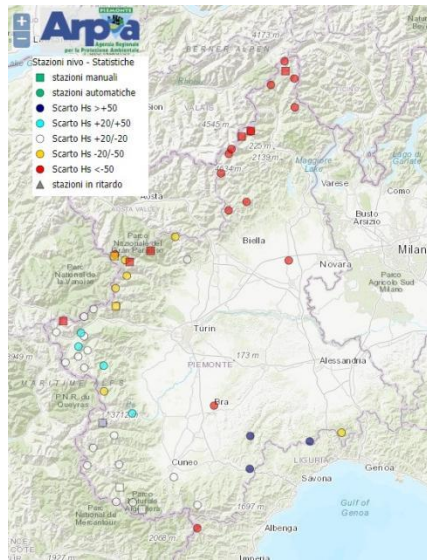


Figura 4: Stima del SWE-Snow Water Equivalent a metà marzo sul bacino del Po chiuso alla sezione di Ponte Becca (PV) a valle della confluenza col Ticino per gli anni 2023 a confronto con il 2022.

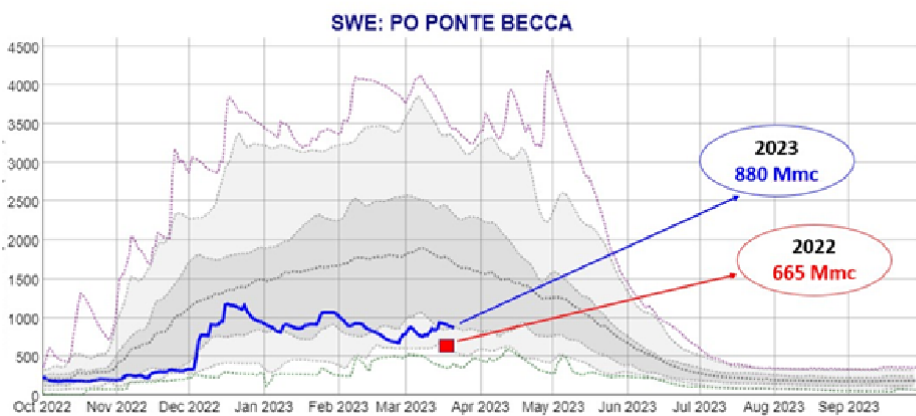
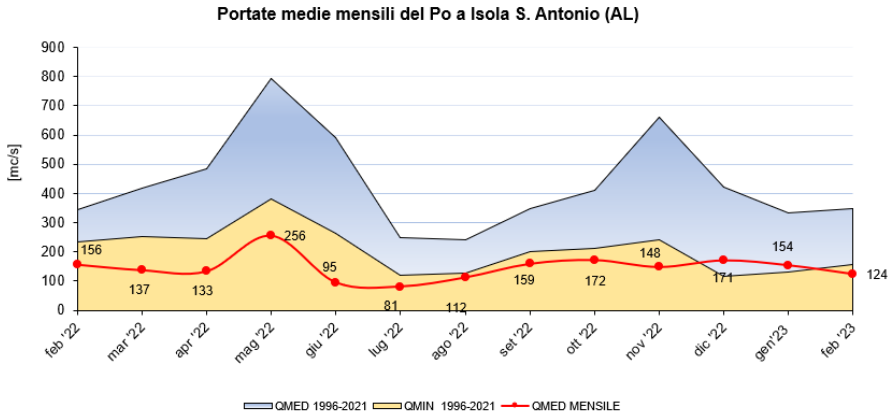


Figura 5: Portate medie mensili osservate all'idrometro del Po a Isola Sant'Antonio e confronto con i valori medi calcolati sugli anni di funzionamento delle stazioni.



I deflussi presentano scarti negativi molto significativi su tutto l'arco temporale e quasi uniformemente nello spazio, con situazioni più critiche nei bacini di Sesia e Tanaro e più contenute su Toce e Dora Baltea. Nella sezione di chiusura del bacino del Po piemontese, Isola S. Antonio (AL), mediamente il deficit è rimasto intorno al 60% (Figura 5).

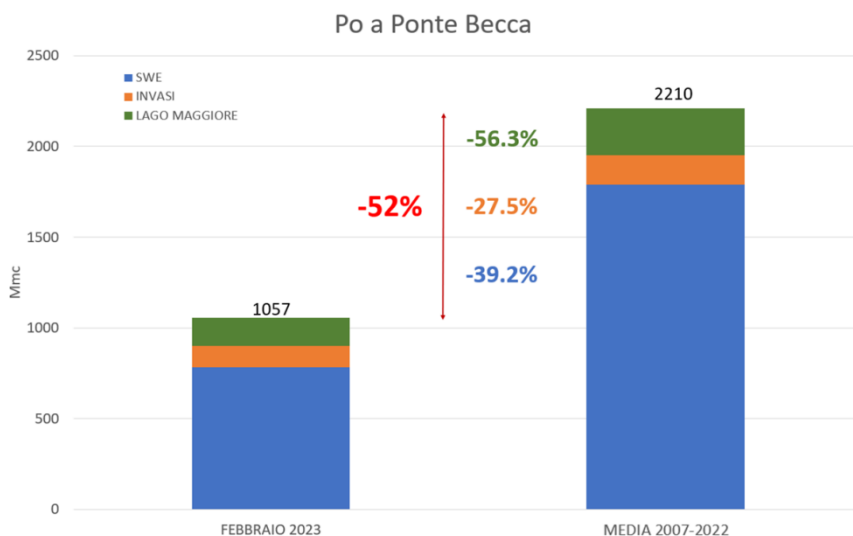
In chiusura di bacino di Po la portata media di febbraio 2023, pari a 124 mc/s, in una classifica di portate mensili di febbraio dal 1996 al 2022, si **posiziona al primo posto tra le più basse**, seguita dal 2005 dove la portata media di febbraio era stata pari a 158 mc/s.

Considerando l'insieme delle risorse idriche disponibili a fine febbraio 2023 come somma in milioni di metri cubi d'acqua data da SWE, principali invasi piemontesi (esclusi quelli del Ticino Svizzero) e Lago Maggiore, si vede come le risorse d'acqua stoccate in Piemonte a fine inverno 2022-2023 siano -50% rispetto alla media dello stesso mese nel periodo storico 2007-2022 (Figura 6). Da notare come il deficit maggiore risieda nei volumi invasati nel Lago Maggiore (-56%) seguiti dall'acqua disponibile nel manto nevoso (-39%).

Anche il mese di aprile ha continuato a registrare un grave deficit idrico: l'anomalia delle precipitazioni dell'anno idrologico sull'intero bacino del Po, chiuso alla confluenza con il Ticino, ha evidenziato deficit di pioggia importanti, oltre il 50%, sulle pianure torinesi, cuneesi, in provincia di Asti e nel Biellese. Analogamente le stime di riserve nivali sono state al di sotto del 50% riflettendosi sulle portate; all'idrometro di Isola Sant'Antonio, che rappresenta la chiusura dell'intero bacino piemontese del Po, la portata media di marzo, pari a 154 mc/s, in una classifica di portate mensili di marzo dal 1996 al 2022 per questa stazione, si posiziona al primo posto tra le più basse.

Le stime modellistiche dello SWE effettuate su tutto il bacino del Po alla confluenza col Ticino, mostravano un deficit complessivo stimato in circa il 40% circa, concentrato prevalentemente sul settore settentrionale della regione.

Figura 6: Andamento a febbraio 2023 delle riserve idriche stoccate sul bacino del Po chiuso alla sezione di Ponte Becca (PV) a valle della confluenza col Ticino, come somma di SWE, invasi e Lago Maggiore, confrontati con i medesimi dati nel febbraio medio del periodo 2007-2022.



Dal punto di vista delle portate fluviali i valori sono rimasti ovunque significativamente al di sotto dei valori medi storici di riferimento; gli scarti più significativi sono stati nel bacino del Sesia (-85%), del Tanaro (-81%) e **lungo l'asta del Po in cui la situazione rimaneva critica**, con uno scarto di -79% a Torino e del -77% alla confluenza con il Ticino, a Isola S. Antonio (AL). La portata media di aprile in quest'ultima sezione, pari a 107 mc/s, in una classifica di portate mensili di aprile dal 1996 al 2022, si posiziona al **primo posto tra le più basse**.

La situazione si è poi modificata in maniera sostanziale a maggio quando, dopo circa un anno e mezzo di precipitazioni al di sotto della media nelle zone alla testata del bacino del fiume Po, si è registrata una cumulata media di pioggia e neve significativa, quantificabile in 215 mm, ovvero +80% rispetto alla norma climatica del mese nel trentennio di riferimento 1991-2020. Grazie ai generosi apporti precipitativi di maggio, il deficit pluviometrico calcolato dall'inizio dell'anno 2023 è stato quasi completamente recuperato, mettendo fine a questo lunghissimo periodo di siccità iniziato nel 2022.

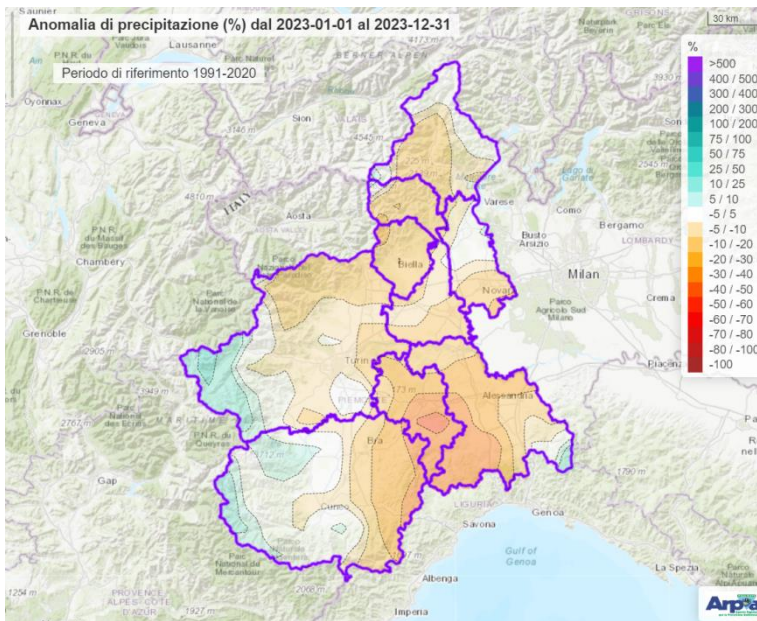
In conclusione, le condizioni siccitose si sono protratte nei primi mesi del 2023 con un inverno mite e scarsi apporti nevosi, seppur superiori all'inverno precedente. Il fiume Po ha registrato un minimo storico delle portate nel mese di febbraio con 124 mc/s e nel mese di aprile (107 mc/s), minimi mensili record.

L'anno 2023 si è concluso con apporti complessivi alla chiusura di Isola S. Antonio (AL) lievemente sotto la norma del periodo, attestandosi al -8%, ma con una distribuzione delle precipitazioni disuniforme (Figura 4). Mentre il Piemonte occidentale ha registrato un'abbondanza di precipitazioni,

quello orientale, in particolare alessandrino e Alta Langa, ha registrato anomalie annuali negative comprese tra -30% e -40%. La scarsità di risorsa ha determinato nell'autunno condizioni di criticità per l'approvvigionamento di acqua potabile con diversi comuni riforniti da autobotti (Acquese e Ovadese le aree maggiormente colpite).

L'anomalia di precipitazione complessiva a scala annuale per il 2023 è riportata in Figura 7.

Figura 7: Anomalia di precipitazione per l'anno 2023.

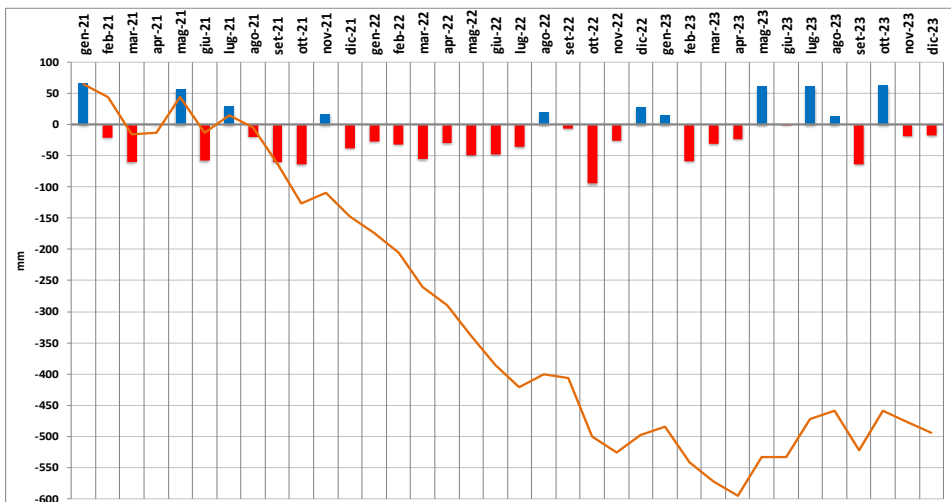


1.4 Deficit pluviometrico di lungo periodo sul Veneto

Nel corso dell'intero triennio 2021-2023 sul Veneto (similmente a quanto accaduto nel resto del Nord Italia) è stata osservata una persistenza di condizioni di deficit pluviometrico rispetto alla media del periodo 1993-2020 (ARPAV, Rapporti risorsa idrica, 2023).

Per l'analisi sono state utilizzate le misure effettuate da una rete di 130 stazioni pluviometriche automatiche dell'ARPA Veneto, operative a partire dal 1993. Le stime degli apporti pluviometrici regionalizzati sono state calcolate mediante spazializzazione dei dati mensili puntuali attraverso l'applicazione del *Kriging* ordinario. Nel grafico in Figura 1 le barre di colore rosso evidenziano i mesi con apporti regionalizzati inferiori alla media: nel triennio considerato 22 mesi presentano condizioni di deficit pluviometrico, 3 mesi sono nella norma e 10 mesi hanno apporti superiori alla media. La linea spezzata mostra l'andamento della somma delle differenze delle precipitazioni rispetto alla norma a partire da gennaio 2021. Ad aprile 2023 il deficit cumulato regionalizzato raggiungeva il massimo valore di quasi 600 mm. Per confronto si consideri che le precipitazioni medie annue regionalizzate sono stimate in circa 1100 mm (Barbi et al. 2013).

Figura 1: Differenza rispetto alla media 1993-2020 delle precipitazioni mensili (istogrammi) e somma delle differenze nei 36 mesi da gennaio 2021 a dicembre 2023 (linea spezzata arancione). Valori in mm stimati sulla Regione Veneto.

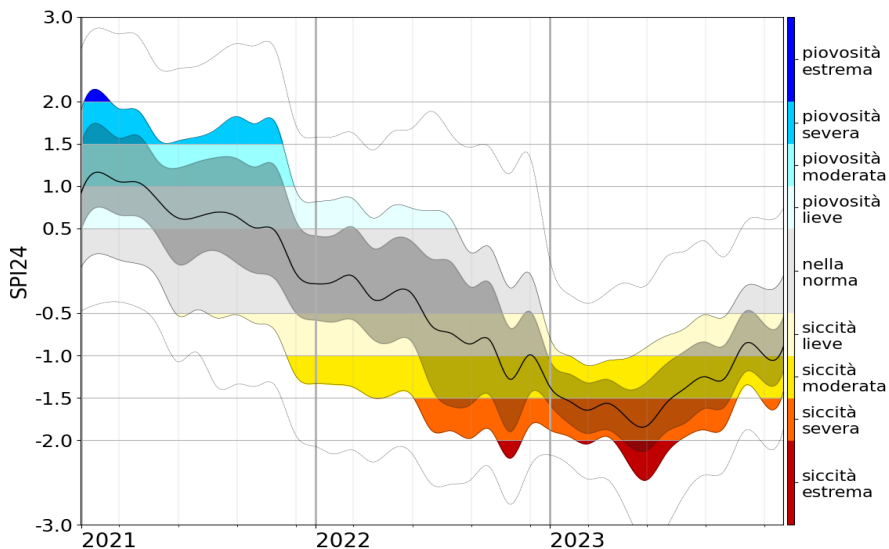


Il periodo di maggiore consistenza del deficit pluviometrico si è collocato tra dicembre 2021 e luglio 2022 (o più esattamente fino alla metà di agosto) con evidenti effetti sul comparto agricolo, sulla disponibilità di risorse idriche e sulla risalita del cuneo salino alle foci dei principali fiumi. La situazione siccitosa si è protratta fino ad aprile 2023. Successivamente si è registrata un'inversione di tendenza avviatasi con le abbondanti precipitazioni di maggio (+55% rispetto alla media sulla regione e con i

bacini della pianura meridionale del Fissero-Tartaro-Canal Bianco e del Po parte veneta che hanno registrato i massimi apporti del mese di maggio dal 1993) e proseguita poi con un'estate con apporti regionalizzati superiori alla norma del 27% e con un autunno sostanzialmente nella norma. Le precipitazioni cadute tra maggio ed agosto ed in ottobre 2023 hanno garantito una migliore disponibilità delle risorse idriche sul territorio.

L'andamento della pluviometria sul Veneto è stato analizzato utilizzando lo SPI-*Standardized Precipitation Index* (McKee et al., 1993, McKee et al., 1995, Edwards et al., 1997) per 24 mesi. Lo SPI consente di definire il deficit o surplus di precipitazione a diverse scale temporali e territoriali in relazione ai dati storici. L'umidità del suolo e l'andamento della stagione agraria rispondono alle anomalie di precipitazione su scale temporali brevi (1-3-6 mesi), mentre la disponibilità dell'acqua in fiumi, bacini e nel sottosuolo, rispondono a scale temporali più lunghe (6-12-24 mesi). Il grafico in Figura 2 sintetizza l'andamento negli anni 2021-2023 dell'indice SPI a 24 mesi sul Veneto. Per il calcolo sono state utilizzate le serie pluviometriche di 130 stazioni pluviometriche di ARPA Veneto. La fascia centrale del grafico evidenzia i valori della mediana (linea nera), del 25° e 75° percentile dei valori dello SPI calcolati per ciascun mese, le ulteriori fasce individuano l'andamento del 10° e 90° percentile nonché del massimo e minimo valore assoluto. L'indice (mediana) passa da condizioni di piovosità moderata nell'inverno 2021 a condizioni di siccità severa a fine primavera - inizio estate 2023 (con oltre un 25% delle stazioni che danno segnali di siccità estrema). Questi valori, per il Veneto, costituiscono un minimo assoluto perlomeno dal 1993.

Figura 2: Andamento dello SPI a 24 mesi per il periodo gennaio 2021 dicembre 2023 calcolato su 130 serie pluviometriche puntuali nel periodo 1993-2023. La griglia verticale individua gli anni (rette più scure) e le stagioni meteorologiche (rette più chiare).



Per comprendere quale effetto ha avuto questa prolungata situazione di deficit pluviometrico sulla disponibilità delle risorse idriche, si è considerato l'andamento dei livelli della falda freatica nell'alta pianura veneta.

In Figura 3a vengono riportate le osservazioni del livello freaticometrico di Castelfranco Veneto (TV) nel periodo gennaio 2021-dicembre 2023; questo pozzo può essere considerato rappresentativo della situazione dell'alta pianura veneta centrale ed orientale. Nel corso del 2021 i livelli erano inizialmente nella norma, ma dal mese di settembre 2021 è iniziata una fase discendente che, a partire da aprile 2022, ha portato i valori di falda stabilmente al di sotto dei minimi storici. Questa prima fase discendente è culminata nell'estate del 2022 e più precisamente tra giugno e luglio. Successivamente, le limitate dinamiche di ricarica della falda hanno contribuito a mantenere i valori sotto i minimi storici raggiungendo il minimo assoluto tra aprile e la metà di maggio 2023. Solo dopo novembre 2023 i livelli sono rientrati nel normale campo di variabilità dei valori attorno alla media.

In Figura 3b vengono riportate le osservazioni del livello freaticometrico di S. Massimo, alla periferia di Verona, nel periodo gennaio 2021-dicembre 2023; questo pozzo può essere considerato rappresentativo della situazione dell'alta pianura veneta occidentale ed evidenzia un'elevata inerzia dell'acquifero. Qui infatti fino ad ottobre 2021 i livelli permangono su valori prossimi o poco inferiori alla norma, solo successivamente inizia una fase discendente (o più precisamente ad una fase di ricarica decisamente inferiore alla norma) che ad aprile 2022 porta i valori a livello dei minimi storici e che dalla fine di luglio 2022 porta i livelli su valori stabilmente inferiori ai minimi storici. Il minimo assoluto viene raggiunto nell'aprile 2023, ma fino ad ottobre 2023 l'altezza di falda rimane su valori molto inferiori ai minimi mensili. A fine 2023 i livelli, pur mostrando segnali di recupero, sono ancora su valori prossimi ai minimi storici osservati nei precedenti 15 anni.

Figura 3a: Andamento del livello piezometrico del pozzo di misura a Castelfranco Veneto (TV) nel periodo gennaio 2021-dicembre 2023 linea blu e confronto con la statistica (massime, medie, minime) del periodo 2004-2020. I valori sono espressi in m di altezza sul livello del medio mare.

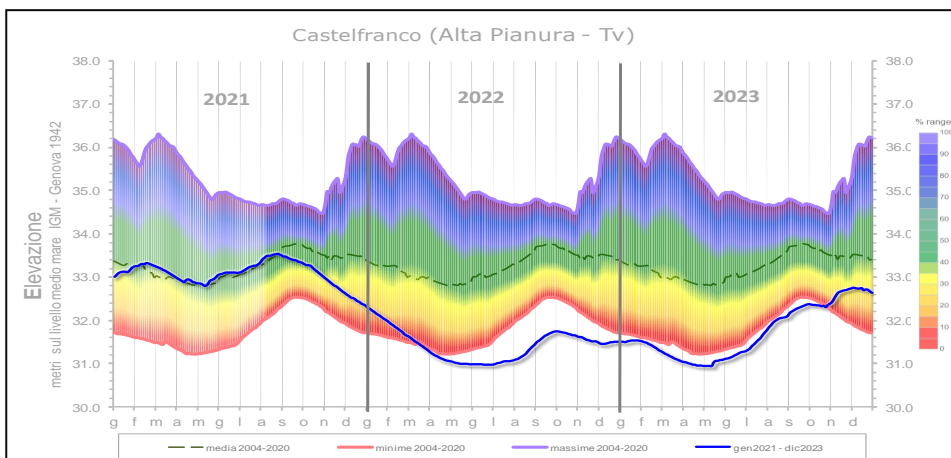


Figura 3b: Andamento del livello piezometrico del pozzo di misura a San Massimo (VR) nel periodo gennaio 2021-dicembre 2023 e confronto con la statistica (massime, medie, minime) del periodo 2006-2020. I valori sono espressi in m di altezza sul livello del medio mare.

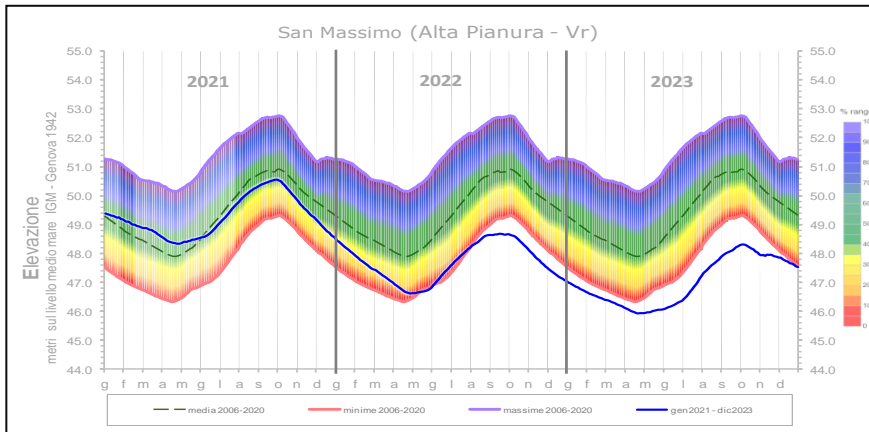
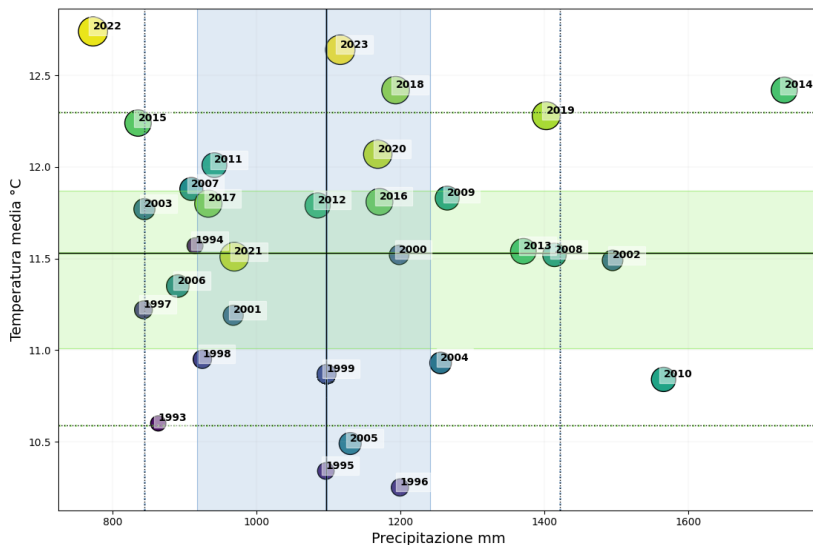


Figura 4: Grafico a dispersione che mette in relazione i valori di temperatura media annua (°C) e di precipitazione annua (mm) del periodo 1993-2023. I valori sono spazializzati sul Veneto utilizzando le osservazioni della rete di stazioni meteorologiche automatiche di ARPA Veneto. Dimensione e colore delle bolle sono riferite alla scala temporale. Per le due serie (temperatura e precipitazione) le due linee del grigliato più spesse rappresentano i valori mediani, le due bande colorate evidenziano l'intervallo tra il 25° e 75° percentile e le quattro rette tratteggiate rappresentano il 10° e 90° percentile.



Infine, poiché l'andamento termometrico influisce in vari modi (processi di evapotraspirazione e disponibilità delle risorse nivali) sulle dinamiche del ciclo dell'acqua e quindi sul bilancio idrico, si è tentato di delineare un sintetico quadro della situazione termo-pluviometrica regionale mediante il diagramma a bolle in Figura 4 che mette in relazione le precipitazioni annuali regionalizzate (in ascissa) e le temperature medie annue regionalizzate (in ordinata) per gli anni dal 1993 al 2023. Il 2021 è stato relativamente poco piovoso con temperature nella norma, il 2022 spicca per essere stato, in Veneto, l'anno più caldo e il meno piovoso dal 1993 e il 2023 presenta precipitazioni prossime ai valori mediani e temperature di poco inferiori alle massime assolute del precedente anno. Da questi sintetici dati risulta evidente il trend di aumento delle temperature che interessa il nostro territorio.

Bibliografia

- Barbi A. et al., 2013. Atlante climatico del Veneto – Precipitazioni. Basi informative per l'analisi delle correlazioni tra cambiamenti climatici e dinamiche forestali nel Veneto. Regione del Veneto, Mestre.
- Edwards DC, and McKee TB., 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Atmospheric Science Paper No. 634, Climatology Report 97–2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 155 pp.
- McKee TB, Doesken NJ, and Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston: 179-184.
- McKee TB, Doesken NJ, and Kleist J., 1995: Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, Texas, American Meteorological Society: 233-236.

Sitografia

Raccolta di rapporti mensili dal 2007 a oggi sulla **risorsa idrica in Veneto**: www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/idrologia/rapporti-risorsa-idrica.

1.5 Contributo della neve e dei ghiacciai al contenimento del deficit-idrico nell'anno idrologico 2022/2023 in Valle d'Aosta

Introduzione

La Valle d'Aosta è una regione montuosa con oltre il 60% del territorio posto a quote superiori ai 2000 m e dove la neve e i ghiacciai rappresentano da sempre elementi importanti della cultura locale.

A causa degli impatti che i cambiamenti climatici hanno su questo prezioso elemento naturale, la neve ed i ghiacciai sono da tempo al centro delle attenzioni dell'amministrazione regionale e attorno a questo tema sono nate importanti sinergie e collaborazioni tra soggetti che, sul territorio, operano su diverse tematiche: protezione dell'ambiente, rischio idrogeologico, risorse idriche, idroelettrico, per citarne alcune.

In Valle d'Aosta esistono attualmente diverse attività di studio e monitoraggio della criosfera volte alla quantificazione della risorsa idrica, tra queste, la quantificazione dello SWE-*Snow Water Equivalent*, ovvero l'equivalente in acqua stoccato nella copertura nevosa, e il bilancio di massa dei ghiacciai. Lo SWE in particolare, espresso in mm di acqua (come la pioggia) o in milioni di metri cubi (Mm³), è dato dal prodotto tra altezza e densità del manto nevoso ed è molto importante per diverse finalità. Sul territorio regionale, le principali attività di monitoraggio comprendono: (i) la misura in continuo dell'altezza della neve mediante nivometri automatici in oltre 30 stazioni gestite dal Centro Funzionale regionale; (ii) la misura manuale di altezza e densità della neve in oltre 50 punti fissi con frequenza 15/20gg da parte del Corpo Forestale, guardiani delle dighe CVA-Compagnia Valdostana delle Acque, operatori AINEVA e operatori ARPA Valle d'Aosta; (iii) il monitoraggio satellitare dell'estensione della copertura nevosa (*SCA-snow covered area*). Un utile strumento di sintesi riguardante lo stato di evoluzione della criosfera in Valle d'Aosta è certamente rappresentato dal portale SottozeroVdA gestito dalla Fondazione Montagna Sicura (<https://www.sottozerovda.it/>) che offre una panoramica semplice e sintetica dei principali indicatori.

I dati raccolti dalle attività di monitoraggio sono funzionali alla validazione e alimentazione di alcuni modelli numerici che a diversa scala spaziale e con diverse finalità simulano l'accumulo e la fusione del manto nevoso. Questi strumenti modellistici sono ormai fondamentali e costituiscono un potente strumento di indirizzo e decisionale in materia di protezione civile, stima delle risorse idriche e produzione idroelettrica.

Nel presente studio verrà analizzato l'andamento meteo-climatico della stagione invernale 2022/2023 ponendo particolare attenzione al ruolo che la neve ed i ghiacciai hanno giocato nel contenimento del deficit-idrico regionale. I dati utilizzati derivano dalla rete delle stazioni meteo automatiche regionali, da rilievi in campo e da attività modellistiche condotte sia a scala regionale che in alcuni bacini montani utilizzati per la produzione di energia idroelettrica e scelti perché rappresentativi dei diversi settori della Valle d'Aosta. Tali attività sono condotte da ARPA Valle d'Aosta, Centro Funzionale Regionale e Fondazione CIMA con il supporto di CVA.

Andamento meteo-climatico 2022/2023 in Valle d'Aosta

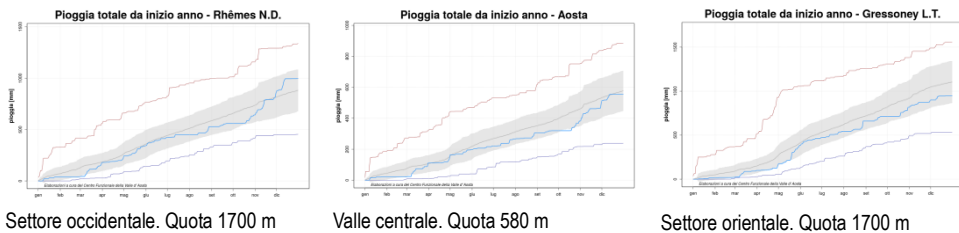
L'anno idrologico 2022/2023 in Valle d'Aosta è stato caratterizzato da precipitazioni nevose estremamente variabili sia in termini spaziali (localizzazione delle nevicate) che temporali (frequenza)

associate a temperature invernali particolarmente elevate le quali hanno determinato, nella prima parte dell'inverno, condizioni di deficit idrico severo già a fine febbraio. In seguito, alcune abbondanti precipitazioni nevose primaverili sono risultate determinanti per riportare i valori di disponibilità idrica regionale intorno alla media storica seppur con importanti differenze tra i settori occidentale ed orientale della regione.

Per descrivere nel dettaglio le condizioni che si sono verificate si riportano di seguito una serie di grafici relativi all'andamento dell'altezza della neve, pioggia e temperature misurate in diverse località poste in alta, media e bassa Valle d'Aosta.

Andando a vedere i dati relativi alle piogge, la Figura 1 mostra le curve delle precipitazioni cumulate in 3 località dove le serie storiche contano oltre un secolo di misurazioni. Come si può notare osservando le linee blu, le precipitazioni nei mesi di gennaio e febbraio sono state pressoché assenti in tutte le stazioni. In seguito, le precipitazioni di marzo, aprile e maggio hanno fortunatamente riportato le quantità cumulate verso la linea della media storica. Nei mesi estivi ed autunnali le precipitazioni sono state nuovamente scarse ed a fine ottobre le cumulate erano nuovamente verso il limite inferiore dei valori normali su tutti i settori della Valle d'Aosta.

Figura 1. Precipitazione cumulata in 3 stazioni della Valle d'Aosta. Linea blu: pioggia 2023; linea grigia: media 1991-2020; area grigia: valori nella norma; linea rossa e blu scuro: rispettivamente massimo e minimo assoluto dall'inizio delle misurazioni in ciascuna stazione (1917 per Gressoney, 1891 per Aosta, 1916 per Rhêmes N.D.; Dati Centro Funzionale Regionale).



L'andamento delle temperature medie giornaliere nella piana di Aosta (Figura 2) evidenzia come, sia all'inizio dell'inverno che durante i mesi estivi, le temperature siano state mediamente elevate seppur con anomalie decisamente meno intense e persistenti rispetto a quelle del 2022. L'unica eccezione è rappresentata dalla prima metà di ottobre 2023, quando le elevate temperature hanno determinato per i ghiacciai valdostani un allungamento significativo del periodo di fusione particolarmente accentuato dall'assenza di nevicate precoci in quota.

Per quanto riguarda le precipitazioni nevose dell'inverno 2022/2023 (Figura 3) si può notare che il settore occidentale (zona Monte Bianco) è stato quello che ha ricevuto nel complesso la maggior parte degli apporti, con alcuni eventi rilevanti sia all'inizio che alla fine della stagione invernale. Negli altri settori, in media (valle centrale) e soprattutto in bassa Valle d'Aosta (settore orientale), a parte qualche modesta nevicata iniziale, gli apporti sono stati in generale molto scarsi. In diverse occasioni è stato

raggiunto il minimo storico giornaliero dall'inizio delle misurazioni e, in generale, si è verificata una scomparsa totale del manto nevoso anticipata soprattutto nei settori orientali.

La modellistica dello SWE a livello regionale (Figura 4) riflette l'andamento temporale descritto dai nivometri e riporta in termini di milioni di metri cubi di acqua la quantità di risorsa idrica stoccata nel manto nevoso nel corso dell'anno. Come si può notare, le condizioni di scarsità idrica alla fine di febbraio erano addirittura più severe rispetto a quelle del 2022 che è stato finora l'anno peggiore dall'inizio delle osservazioni. Come già osservato per le precipitazioni, le nevicate primaverili (marzo, aprile e maggio) hanno riportato i valori regionali intorno alla media storica; tuttavia, osservando una mappa di anomalia del 1 maggio 2023 si nota come a livello spaziale ci sia una netta differenza tra i settori occidentale ed orientale della Valle d'Aosta, con deficit decisamente marcati nel settore del Monte Rosa (Figura 5).

Figura 2: Andamento della temperatura media giornaliera nella piana di Aosta per l'anno 2023 (Saint-Christophe, a quota 550 m).

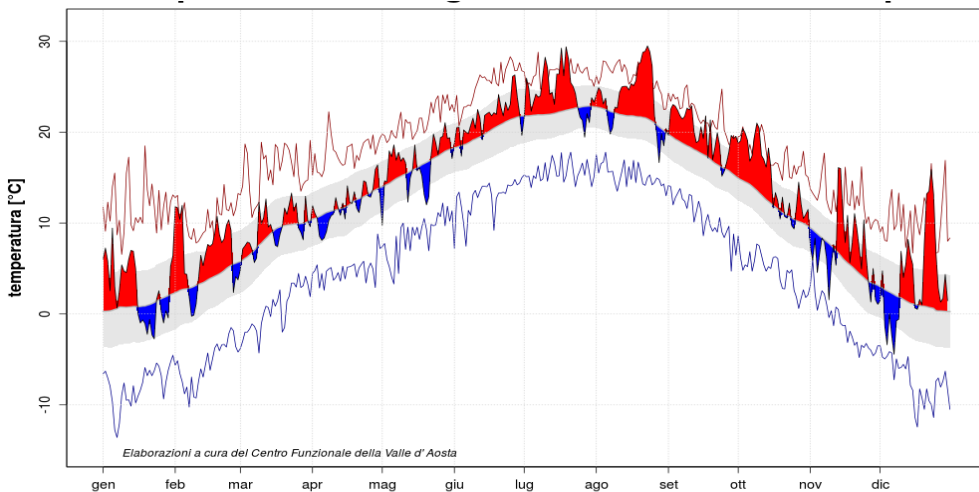


Figura 3: Andamento della precipitazione nevosa dell'inverno 2022/2023 in tre località rappresentative dei principali settori della Valle d'Aosta. Linea blu: altezza neve 2023; linea grigia: media 2001-2020; area grigia: valori nella norma; linea rossa e blu scuro: rispettivamente massimo e minimo assoluto dal 2001. (Dati: Centro Funzionale Regionale)

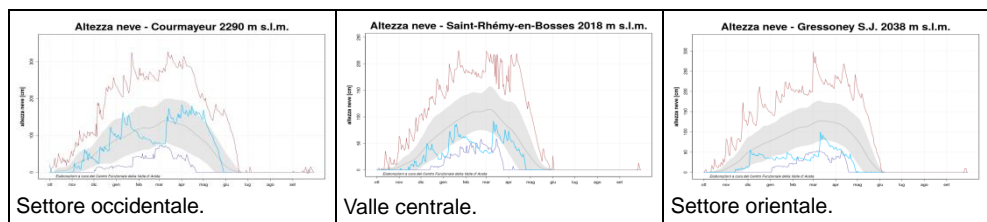


Figura 4: Andamento stagionale dello SWE-Snow Water Equivalent in Valle d'Aosta nell'anno idrologico 2022/2023 (Dati: Fondazione CIMA, Centro Funzionale VdA).

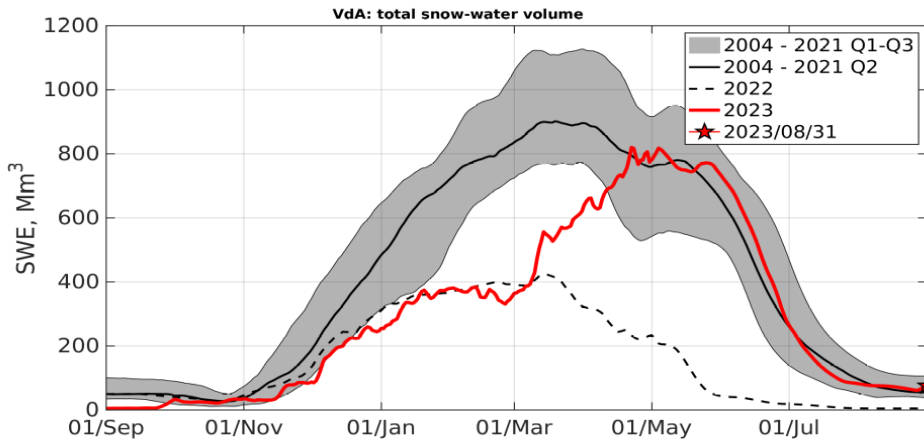
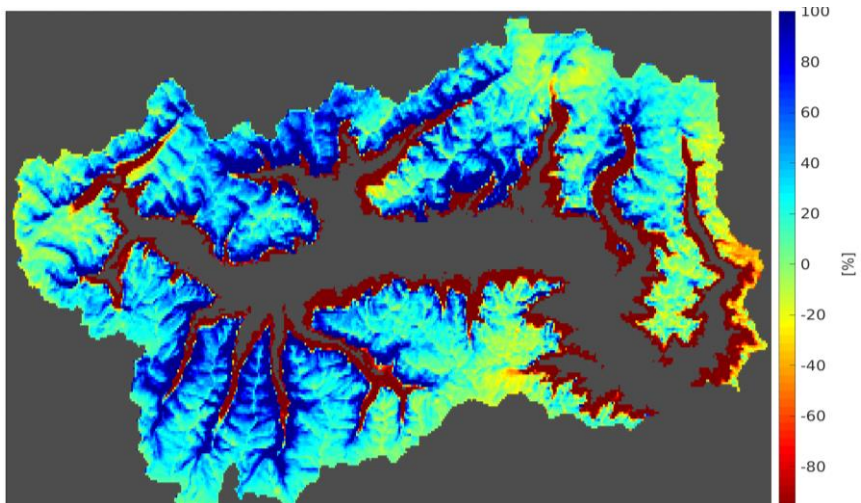


Figura 5: Mappa di anomalia dello SWE-Snow Water Equivalent in Valle d'Aosta nell'anno idrologico 2022/2023 rispetto alla media storica 2001-2020 (Dati: Fondazione CIMA, Centro Funzionale VdA).



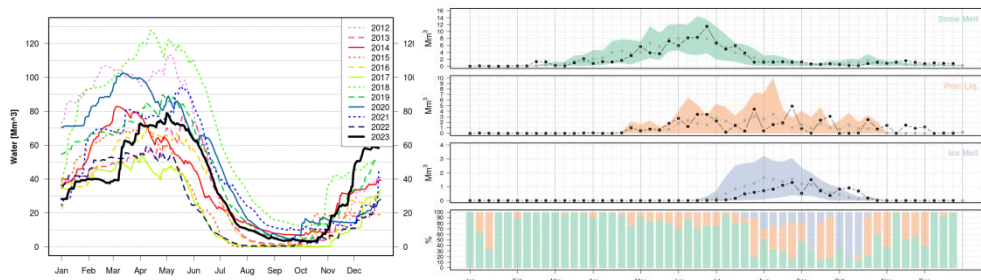
Impatti sulle componenti del deflusso superficiale

Per analizzare con maggiore dettaglio l'impatto che le condizioni meteo-climatiche sopra descritte hanno avuto sulle componenti del deflusso superficiale, si riportano di seguito i risultati di alcune attività modellistiche condotte a supporto della pianificazione per la produzione di energia idroelettrica sul territorio regionale.

Le simulazioni in oggetto sono realizzate con un modello numerico (Endrizzi et al., 2014) che utilizza in ingresso oltre al modello digitale del terreno (DEM), i dati delle stazioni meteo più vicine e significative per il bacino di interesse, in particolare: temperatura e umidità dell'aria, precipitazione, radiazione solare, vento, pressione barometrica. Il modello è in grado di risolvere le equazioni matematiche che governano il bilancio energetico della superficie terrestre e quindi di calcolare, per ogni pixel del DEM, una serie di parametri di interesse come, ad esempio, l'altezza della neve (accumulo e fusione), la temperatura dell'aria, la quantità di pioggia, la radiazione solare, ecc. Le corse del modello, che gira ogni giorno simulando le 24 ore precedenti con frequenza oraria, vengono controllate e validate mediante il confronto con dati indipendenti misurati a terra e da satellite.

Di seguito si riportano i dati relativi a due bacini rappresentativi del territorio regionale: il bacino idrografico, che alimenta la diga di Place-Moulin in alta Valpelline nel settore centro settentrionale della regione con un'estensione di circa 140 km², ed il bacino idrografico, che alimenta la diga del Gabiet in alta valle di Gressoney nel settore orientale della regione nel massiccio del Monte Rosa, con un'estensione di circa 10 km². Entrambi i bacini sono di alta quota ed hanno, in proporzione, un'importante componente glaciale. Nel caso in esame, il bacino di Place-Moulin rappresenta i settori dove il deficit nivale è stato meno forte, il bacino del Gabiet invece è esattamente nel settore dove i deficit sono stati maggiori.

Figura 6: Risultati delle simulazioni sul bacino di Place-Moulin. Sinistra: evoluzione giornaliera dello SWE per gli anni 2012-2023. **Destra:** andamento settimanale delle componenti del deflusso per l'anno 2023 in rapporto allo storico (2012-2022) delle simulazioni, dall'alto verso il basso: fusione nivale, pioggia, fusione glaciale, contributo percentuale di ciascuna componente al deflusso totale.



La Figura 6 mostra i risultati delle simulazioni per il bacino di Place-Moulin. Il grafico di sinistra riporta l'andamento dello SWE a partire dal 2012 e si nota come la curva relativa al 2023 (linea nera) presenti

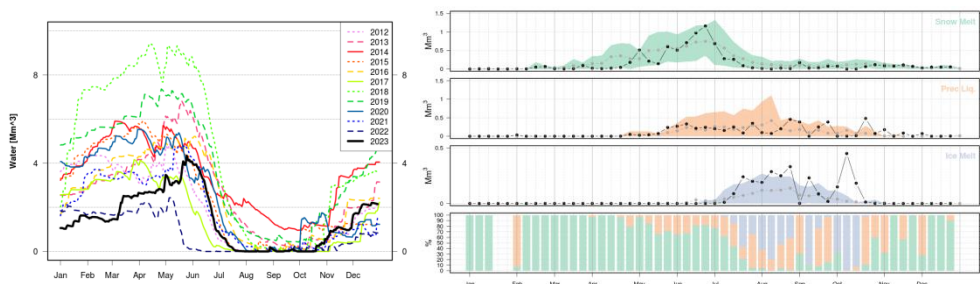
all'inizio dell'inverno gli accumuli più scarsi dall'inizio delle attività, addirittura peggiori rispetto all'inverno 2021/2022. Anche in questo bacino si può apprezzare l'importante recupero in termini volumetrici verificatosi nel periodo primaverile.

Se andiamo ad analizzare nel dettaglio (frequenza settimanale) le componenti del deflusso (Fig.6, destra) notiamo che la curva di fusione nivale (verde) presenta il suo picco intorno alla metà di giugno, in linea con l'andamento storico della fusione nivale e persiste in modo importante fino alla metà di luglio. Le piogge (arancione), ad eccezione di alcune settimane sopra la media presentano dall'inizio di luglio fino a metà ottobre un andamento prevalente sotto la media storica. La componente di origine glaciale (violetto) fornisce un dato abbastanza positivo ad inizio stagione con una fusione scarsa nei mesi di luglio e agosto seguita a settembre e poi in particolare ad ottobre da una fusione decisamente intensa e persistente inusuale per il periodo.

Infine, se andiamo ad analizzare i rapporti percentuali tra le 3 componenti (barplot in basso) è possibile notare due cose interessanti. La prima riguarda le piogge nella seconda e terza settimana di gennaio che hanno costituito il 40-50% dei deflussi di quelle settimane ad indicare una quota del limite pioggia/neve estremamente elevata quindi zero termico molto in alto in pieno inverno. La seconda cosa da notare è la percentuale veramente importante di contributo al deflusso raggiunta dalla componente glaciale nelle settimane di fine settembre ed inizio ottobre che, in assenza di precipitazioni si è attestata addirittura intorno all'80-90%.

Ora, se riportiamo le stesse considerazioni nel bacino del Gabiet (Figura 7) notiamo quanto le condizioni che si sono verificate in questo settore siano state più severe rispetto al resto della regione. Nella figura di sinistra, l'andamento della curva dello SWE evidenzia, oltre ad un volume totale molto scarso fino alla metà di maggio, che, da gennaio ad aprile, non ci sono state variazioni significative ad indicare che la neve era stoccata solo alle quote più elevate (poca fusione) e che non ci sono stati significativi eventi di accumulo se non nella prima settimana di marzo ed a fine maggio.

Figura 7. Risultati delle simulazioni sul bacino del Gabiet. Sinistra: evoluzione giornaliera dello SWE per gli anni 2012-2023. Destra: andamento settimanale delle componenti del deflusso per l'anno 2023 in rapporto allo storico (2012-2022) delle simulazioni, dall'alto verso il basso: fusione nivale, pioggia, fusione glaciale, contributo percentuale di ciascuna componente al deflusso totale.



Il picco di accumulo si è verificato a fine maggio seguito da una fase di fusione particolarmente rapida indotta dalle temperature elevate e nella seconda metà di luglio la neve era di fatto esaurita. In questo settore le piogge (arancione) presentano valori nella media fino alla fine di luglio seguiti da un'alternanza di settimane secche e piovose. Tuttavia, la componente glaciale (violetto) mostra valori di fusione particolarmente intensa immediatamente dopo la scomparsa della neve, un trend che persiste anche in concomitanza delle settimane piovose, ad indicare una quota delle piogge estremamente elevata.

Osservando infine i rapporti percentuali tra le componenti (barplot) si può notare l'importante contributo al deflusso della fusione glaciale durante il mese di agosto e poi nuovamente nella prima metà di ottobre, anche in questo caso con valori prossimi all'80-90% del deflusso totale.

Conclusioni

L'anno idrologico 2022/2023 in Valle d'Aosta è stato caratterizzato da precipitazioni intermittenti e accumuli nevosi estremamente variabili nel corso della stagione. Tali condizioni, associate a temperature invernali particolarmente elevate, hanno determinato inizialmente una situazione di deficit idrico severo già a fine febbraio seguita fortunatamente da abbondanti precipitazioni nevose primaverili le quali hanno ripristinato condizioni generali di disponibilità idrica intorno alla media storica seppur con importanti differenze tra i settori occidentale ed orientale della regione.

Durante l'estate, il deficit idrico è stato generalmente contenuto in media-alta valle e più importante in bassa valle soprattutto a partire dal mese di agosto fino a fine estate-inizio autunno con segnali significativi sulla portata dei corsi d'acqua, sui livelli delle falde e la produttività dei pascoli. Per i ghiacciai il mese di ottobre in particolare ha fatto registrare temperature estremamente elevate anche in quota ed ha protratto la fusione ben oltre il normale periodo di ablazione.

Bibliografia

Endrizzi S., Gruber S., Dall'Amico M., and Rigon, R., 2014: GEOtop 2.0: simulating the combined energy and water balance at and below the land surface accounting for soil freezing, snow cover and terrain effects. *Geoscientific Model Development*, **7(6)**, 2831-2857.

2 ANOMALIE DI TEMPERATURA E ONDE DI CALORE

2.1 Gli estremi termici dell'estate 2023 in Sardegna

Il 2023 in Sardegna è stato un anno molto caldo in termini di valori medi annui, secondo solo al 2022 nella serie storica recente; le temperature massime sono state superiori alle corrispondenti medie climatiche per ben 10 mesi e le minime per 9 mesi. Di rilievo le anomalie negative delle temperature massime nei mesi di maggio e giugno, a causa delle frequenti condizioni perturbate.

Le anomalie termiche mensili, calcolate rispetto alle medie del periodo 1995-2014, mostrano i valori più elevati nel mese di ottobre, con anomalie medie sul territorio regionale di circa +2.2 °C per le minime e +3.9 °C per le massime, e nel mese di luglio con +2.4 °C e +3.2 °C, rispettivamente.

Nel corso dell'anno sono state registrate dalle stazioni delle reti dell'ARPA Sardegna temperature massime giornaliere eccezionali nel mese di luglio (in questo caso con valori record) e successivamente nel mese di settembre. In ottobre, invece, non si sono osservati valori giornalieri estremi per il periodo nonostante si siano registrate temperature mediamente elevate nel corso del mese, come si è accennato in precedenza.

Nel mese di luglio è da osservare che, benché siano state registrate temperature giornaliere molto elevate in alcuni periodi, le frequenti giornate relativamente fresche hanno contenuto l'anomalia media mensile su valori non elevati. Il mese di luglio in Sardegna è iniziato infatti con temperature relativamente fresche, a causa di una perturbazione che ha caratterizzato la fine del mese precedente. Successivamente è iniziata una progressiva rimonta anticiclonica che ha determinato una costante risalita delle temperature per tutta la prima decade, quindi, si è registrato il periodo più caldo a cavallo tra la seconda e la terza decade e infine, negli ultimi giorni del mese, si è verificato un brusco calo dei valori per alcuni giorni.

Il periodo più caldo del mese è compreso tra il giorno 10 e il giorno 25, quando le temperature medie giornaliere sono rimaste costantemente oltre i 27 °C nella maggior parte delle stazioni.

Focalizzandosi solo sul campo delle temperature massime giornaliere, il periodo più caldo può restringersi tra il 16 e il 24, quando le massime caratteristiche sono rimaste quasi costantemente sopra i 37 °C. Ancora più stringente è l'analisi delle temperature minime giornaliere tra il 18 e il 24, le quali hanno raggiunto diffusamente i 24 °C.

In questo periodo nella maggior parte delle stazioni le temperature medie giornaliere sono state frequentemente superiori ai 30 °C e le massime hanno superato i 40 °C in almeno tre giorni (18, 19 e 24). Durante questi sette giorni le massime puntuali hanno superato i 40 °C per almeno un giorno in quasi tutta l'isola, fino a isolati picchi di 47-48 °C nei giorni 19 e 24.

In quei giorni, l'anticiclone africano, già presente sull'isola dal giorno 16 ha favorito la permanenza di aria relativamente molto calda nei livelli medio-bassi (Figura 1). Come effetto al suolo le temperature massime il 19 luglio hanno raggiunto il picco estremo di 47.7 °C nella stazione di Donori (Sud

Sardegna), mentre su circa 2/3 delle stazioni si sono raggiunti valori massimi pari o superiori a 40 °C con picchi oltre i 45 °C localizzati nel basso Campidano e più in generale nella parte meridionale dell'Isola (ad es., oltre alla stazione di Donori, citata in precedenza, le stazioni di Villasor, Nuraminis, Decimomannu, Capoterra, Dolianova e Siliqua; Figura 2).

Nei giorni seguenti un'altra onda di calore ha investito la Sardegna facendo segnare il nuovo record storico delle temperature massime dell'Isola.

Infatti, dopo un breve periodo caratterizzato da avvezione di aria relativamente fresca proveniente dai quadranti settentrionali durato fino al 22, dal giorno seguente la saccatura atlantica, che lambiva con il suo margine orientale la costa europea, ha iniziato una fase di contrazione verso nord favorendo la rimonta barica sul Mediterraneo Occidentale. Nei giorni 23 e 24 l'avanzata verso est della saccatura ha determinato la risalita di aria calda meridionale lungo il suo ramo ascendente, favorendo una nuova avvezione di aria relativamente molto calda nei bassi strati (Figura 3).

Figura 1: Altezza del campo di geopotenziale (dam) e temperatura (°C) al livello di 850 hPa - 18 luglio 2023.

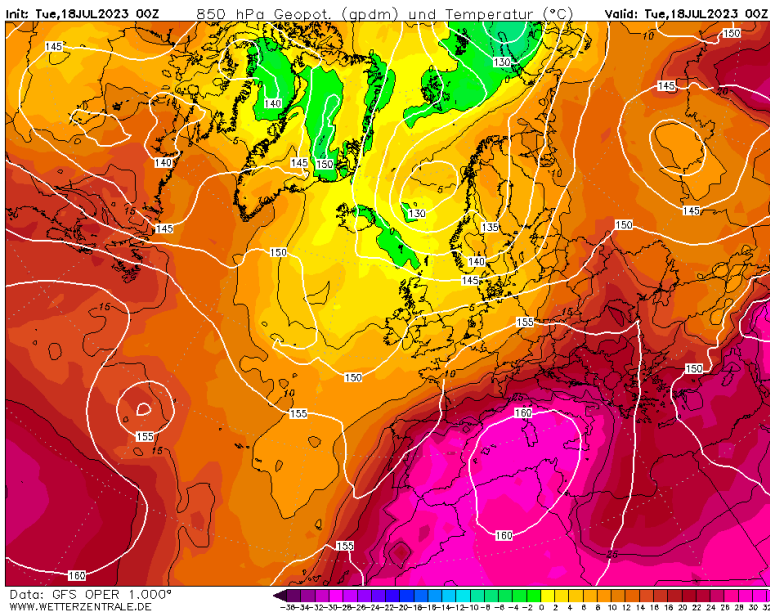
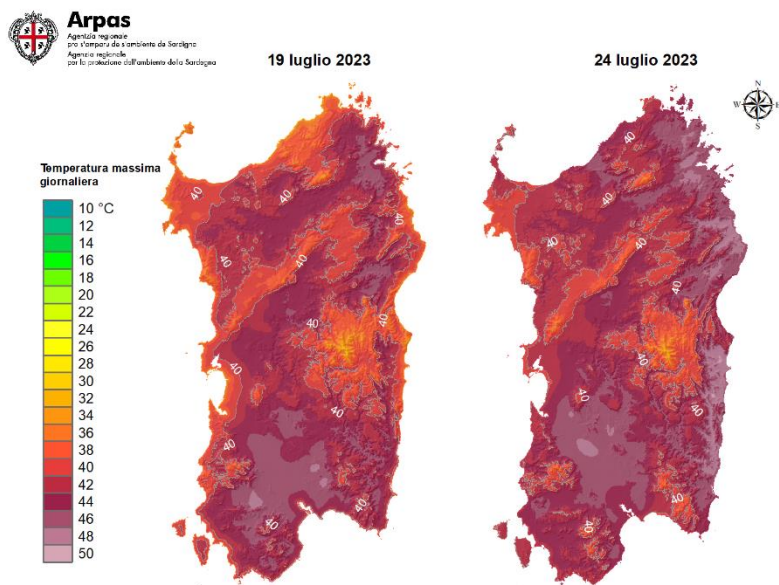


Figura 2: Temperature massime dei giorni 19 e 24 luglio 2023.



Il 24 luglio, infatti, sull'Isola si sono registrate temperature massime molto elevate, che hanno raggiunto il picco di 48.2 °C nelle due stazioni di Jerzu e Lotzorai, localizzate in Ogliastra, nella Sardegna Sud-occidentale (Figura 2).

Nello stesso giorno oltre l'80% delle stazioni delle reti della Regione Sardegna ha misurato una massima pari o superiore ai 40 °C. L'area più calda dell'Isola è stata la parte sud-orientale, dove oltre ai picchi eccezionali di Jerzu e Lotzorai sono stati registrati valori compresi tra 47 e 48 °C nelle stazioni di San Vito, Tortolì, Barisardo e Tertenia.

Nel restante 20%, comprendente stazioni costiere o in quota si sono quasi sempre superati i 36 °C: di rilievo i 39.4 °C di Villanova Strisaili i 39.8 °C di Aritzo e i 39 °C di Desulo, stazioni ubicate nella fascia altimetrica 800-900 m s.l.m. La massima più bassa del giorno 24, pari a 33.8 °C, è stata registrata a Desulo Perdu Abes (1372 m s.l.m.).

Oltre al record assoluto per l'intera Sardegna, molti dei valori rilevati nel mese di luglio rappresentano anche dei record assoluti per le serie storiche di molte stazioni meteorologiche.

È necessario inoltre sottolineare l'entità del successivo raffreddamento da maestrale, che in soli due giorni, 25 e 26, ha determinato un calo di circa 15 °C.

Il precedente record di temperatura risaliva al 23-24 luglio 2009, quando le stazioni di Perfugas e Santa Maria Coghinas (in Anglona, Sardegna settentrionale) raggiunsero i 48 °C. In quei due giorni numerose stazioni in diverse località della Sardegna misurarono temperature massime tra i 45 °C e i 48 °C.

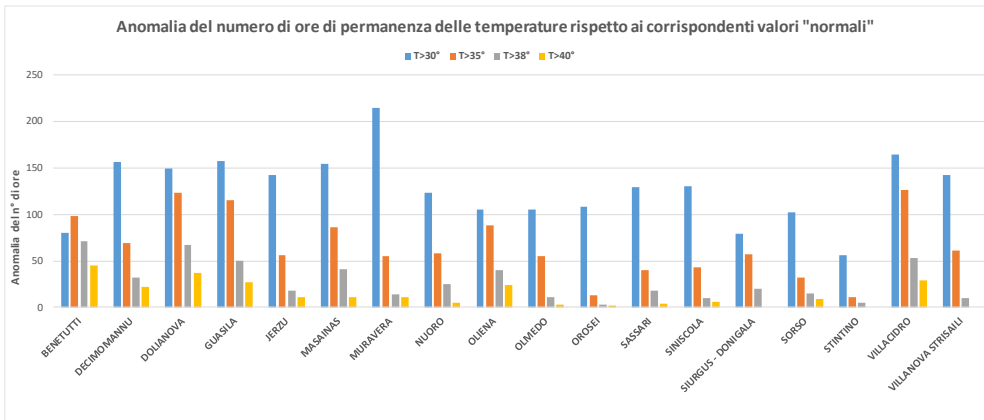
In teoria esisterebbe un valore estremo anche superiore: 49 °C a Tempio Pausania il 28 luglio 1983, ma si tratta di una misura condizionata dalla vicinanza di un importante incendio che devastò quella parte di Sardegna. Si tratta, dunque, di una temperatura massima da non considerare per una statistica degli eventi estremi.

Negli ultimi decenni numerose altre onde di calore hanno interessato l'Isola, portando temperature superiori ai 45 °C, come ad esempio il 2003, il 2017 e il 2021.

Per valutare i possibili effetti delle condizioni termiche sulla fisiologia degli organismi viventi è stata analizzata la persistenza delle temperature orarie al di sopra di determinate soglie critiche. In particolare, molte stazioni hanno fatto registrare in almeno una decade del mese oltre 100 ore al di sopra della soglia di 30 °C, tra 50 e 100 ore sopra i 35 °C, tra 30 e 60 ore sopra i 38 °C e nelle situazioni più critiche circa 10-40 ore decadali con valori superiori a 40 °C.

Tali condizioni risultano nettamente superiori rispetto ai valori medi di riferimento, come evidenzia il grafico in Figura 4 che riporta le anomalie mensili della permanenza della temperatura al di sopra delle soglie di 30, 35, 38 e 40 °C, relative ad alcune stazioni selezionate.

Figura 4: Anomalia del numero totale di ore di permanenza della temperatura sopra le soglie di 30, 35, 38 e 40 °C per il mese di luglio 2023.



Un'ulteriore onda di calore significativa, al di fuori dell'estate meteorologica, si è verificata all'inizio della seconda metà del mese di settembre, quando una particolare configurazione ha favorito l'avvezione di aria relativamente calda dal Nord Africa sulla nostra regione (Figura 5).

Per effetto di tale configurazione le temperature massime hanno raggiunto valori elevati nei giorni 17 e 18. Il 17 è stato quello più caldo con valori massimi prossimi o leggermente superiori a 40 °C in una dozzina di stazioni su circa 300 disponibili, con i picchi massimi nelle stazioni di Alghero e Narcao che hanno misurato temperature di 40.9 °C e 40.7 °C, rispettivamente (Figura 6). Le sub-regioni più calde della giornata sono state Nurra e Sassarese, Oristanese e Sulcis, dove le massime sono state superiori a 37 °C. Di rilievo, inoltre, il netto gradiente longitudinale, con i settori occidentali su valori superiori a 34 °C (circa il 40% delle stazioni disponibili), mentre su quelli orientali le massime caratteristiche sono state intorno o leggermente inferiori a 30 °C.

Figura 5: 17 settembre 2023. A sinistra: altezza del campo di geopotenziale (dam) e temperatura (°C) al livello di 850 hPa; a destra: temperature massime

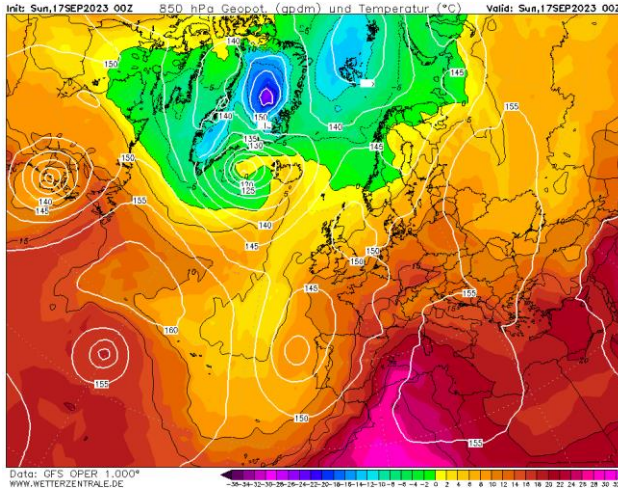


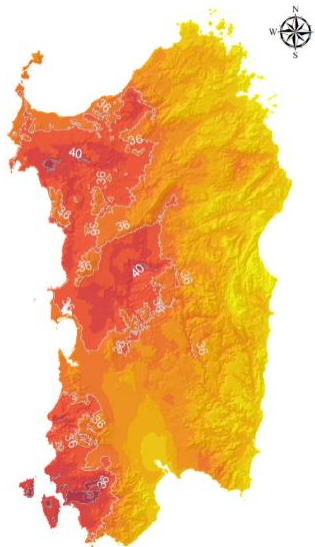
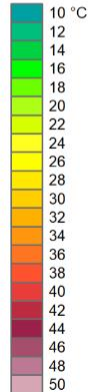
Figura 6: Temperature massime del giorno 17 settembre 2023.



Arpas
 Agenzia regionale
 pro l'ambiente de l'Arbore de Sardigna
 Agenzia regionale
 pro le prestazioni dell'ambiente de la Sardegna

17 settembre 2023

Temperatura massima giornaliera



2.2 Valutazione delle anomalie termiche in Calabria dell'anno 2023 – indicatori climatici per le stazioni in quota

Premessa

Il 2023 è stato un anno particolarmente caldo nella nostra regione in linea con il resto del territorio nazionale. Ciò è evidente dal confronto tra le temperature registrate nel 2023 dalle 106 stazioni termometriche e le temperature normali del trentennio 1991-2020.

Nel Rapporto Meteoclimatico 2023 redatto dal Centro Funzionale Multirischi dell'ARPA Calabria è stata valutata l'anomalia termica stagionale intesa come differenza tra le temperature medie **stagionali** registrate nel 2023 e le relative **temperature normali** del trentennio 1991-2020: si evince, in particolare, che le temperature estive e autunnali del 2023 hanno superato di oltre 2 °C i loro valori normali, ragion per cui si è ravvisata l'opportunità di approfondire, in questo articolo, l'analisi delle anomalie mensili estive ed autunnali.

Inoltre, per l'intero anno 2023 sono stati calcolati gli indicatori climatici **numero di giornate estive**, **numero di giorni tropicali** e **numero di giorni con gelo** per alcune stazioni in quota confrontandoli con i dati a partire dal 2000.

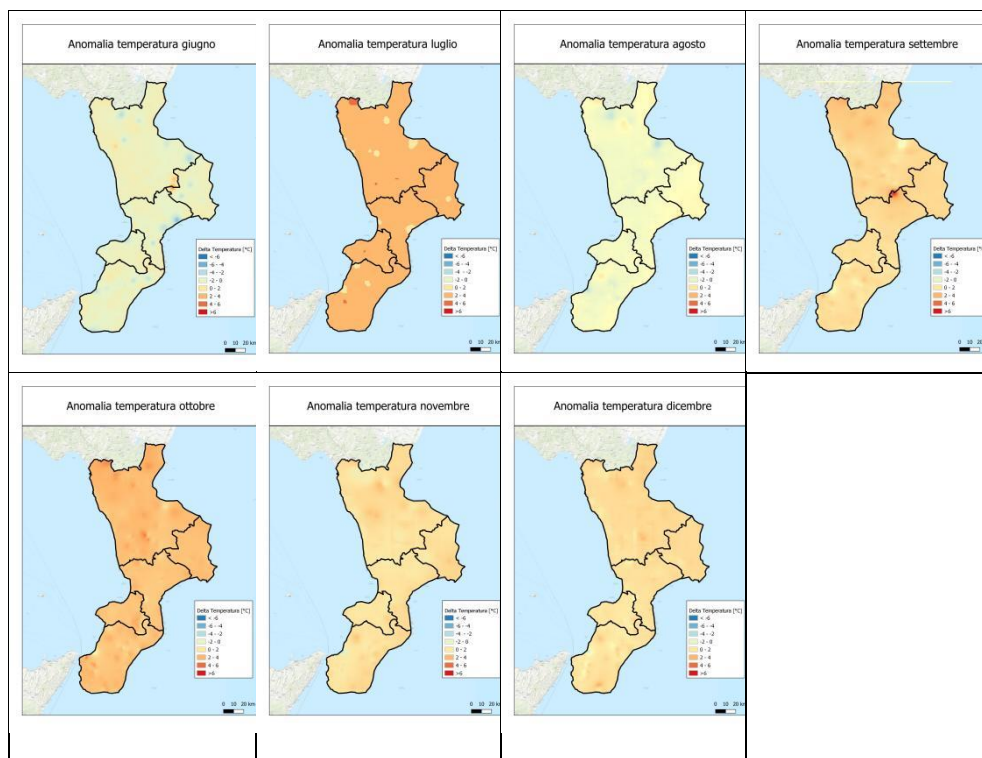
Mappe di anomalia termica

Dal mese di giugno e fino a dicembre 2023 sono state calcolate le anomalie termiche mensili, riportate nelle mappe in Figura 1. Da queste si evince chiaramente che per tutto il periodo considerato, tranne che per giugno e agosto dove l'anomalia è leggermente negativa, le temperature medie hanno superato abbondantemente i valori normali, in modo molto significativo per i mesi di luglio e ottobre. Dal calcolo dei valori medi sul territorio regionale si ottengono i dati riportati in tabella 1: emerge che, nei mesi di luglio e ottobre, l'anomalia termica ha raggiunto valori prossimi ai 3 °C.

Tabella 1: confronto tra le temperature medie mensili del 2023 e le relative temperature normali.

| | Tmedia 2023 [°C] | Tnormale [°C] | ΔT [°C] |
|-----------|------------------|---------------|---------|
| giugno | 20,90 | 21,40 | -0,50 |
| luglio | 26,67 | 23,85 | 2,82 |
| agosto | 23,70 | 24,05 | -0,35 |
| settembre | 21,85 | 19,91 | 1,94 |
| ottobre | 19,30 | 16,23 | 2,97 |
| novembre | 13,64 | 12,15 | 1,49 |
| dicembre | 10,12 | 8,52 | 1,60 |

Figura 1: Mappe di anomalia mensile da giugno a dicembre 2023.



Indicatori climatici

Dall'analisi della figura 1 sembra evidente che le anomalie mensili sono più marcate per le stazioni in quota, in particolare per quelle che ricadono sull'altopiano della Sila, quindi, relativamente ad alcune di queste è stata approfondita l'analisi utilizzando tre indicatori al fine di valutare il loro andamento:

- numero di giornate estive;
- numero di giorni tropicali;
- numero di giorni con gelo.

La valutazione è stata effettuata per le stazioni di Nocelle - Arvo (1300 m s.l.m.), Cecita (1140 m s.l.m) e Camigliatello Monte Curcio (1779 m s.l.m.), considerando le serie storiche dei massimi e dei minimi

giornalieri di temperatura a partire dal 2000. Da ogni serie sono stati eliminati gli anni con molti dati mancanti utilizzando:

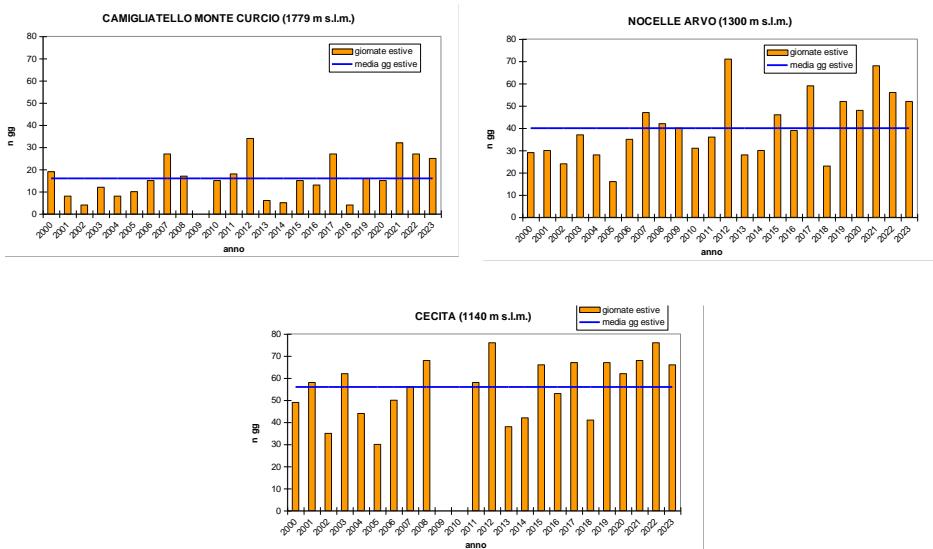
- per Nocelle Arvo la serie completa;
- per Cecita, la serie depurata dai valori relativi agli anni 2009 e 2010 per il calcolo delle giornate estive e tropicali, e anche del 2011 per la valutazione dei giorni di gelo;
- per Camigliatello Monte Curcio, tutta la serie storica per il calcolo dei giorni di gelo, mentre nel calcolo delle giornate estive e tropicali è stato escluso l'anno 2009 poiché risultano mancanti diversi dati nei mesi di agosto e settembre.

Numero giornate estive

Per giornata estiva si intende quella in cui la temperatura massima supera il valore di 25 °C.

In Figura 2 è riportato, per le tre stazioni individuate l'andamento dell'indicatore insieme al valore medio del periodo 2000-2022. Dalla figura emerge che negli ultimi anni il numero delle giornate estive ha superato il valore medio per tutte le stazioni considerate ragion per cui si è spinta l'analisi alla valutazione dei giorni tropicali.

Figura 2: Giorni estivi per le stazioni di Nocelle - Arvo, Cecita e Camigliatello Monte Curcio.



Numero giorni tropicali

Per giorno tropicale si intende quello in cui la temperatura massima supera il valore di 30 °C. In figura 3 è riportato l'andamento dell'indicatore e il valore medio del periodo 2000-2022. Anche in questo caso è evidente la tendenza ad un aumento del numero di giorni tropicali.

Numero giorni di gelo

Per giorno di gelo si intende quello in cui la temperatura minima è inferiore a 0 °C. In figura 4 è riportato l'andamento dell'indicatore e il valore medio del periodo 2000-2022: in questo caso si nota un decremento generale dell'indicatore, più evidente per la stazione di Camigliatello Monte Curcio che rispetto alle altre due stazioni si trova ad una quota superiore sul livello del mare.

Figura 3: Giornate tropicali per le stazioni di Nocelle - Arvo, Cecita e Camigliatello Monte Curcio.

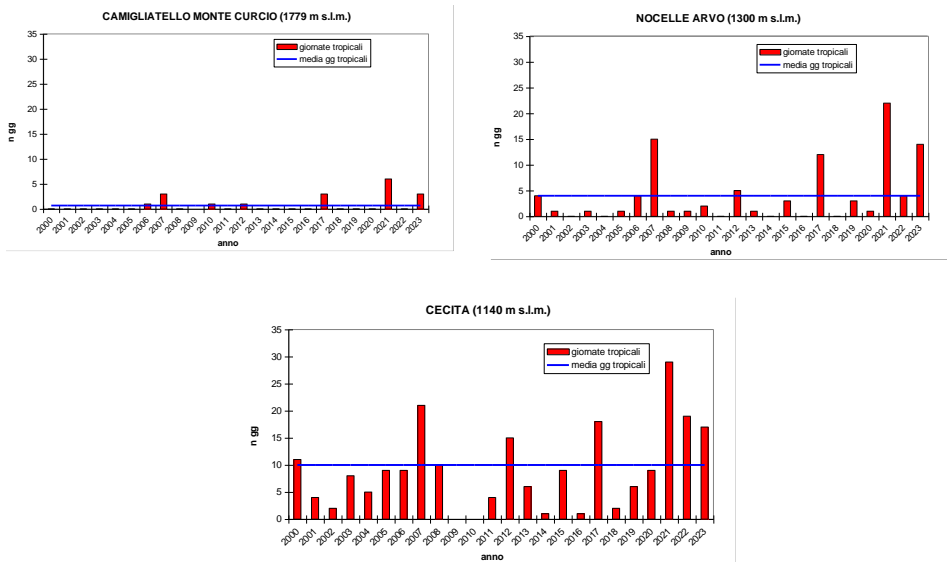
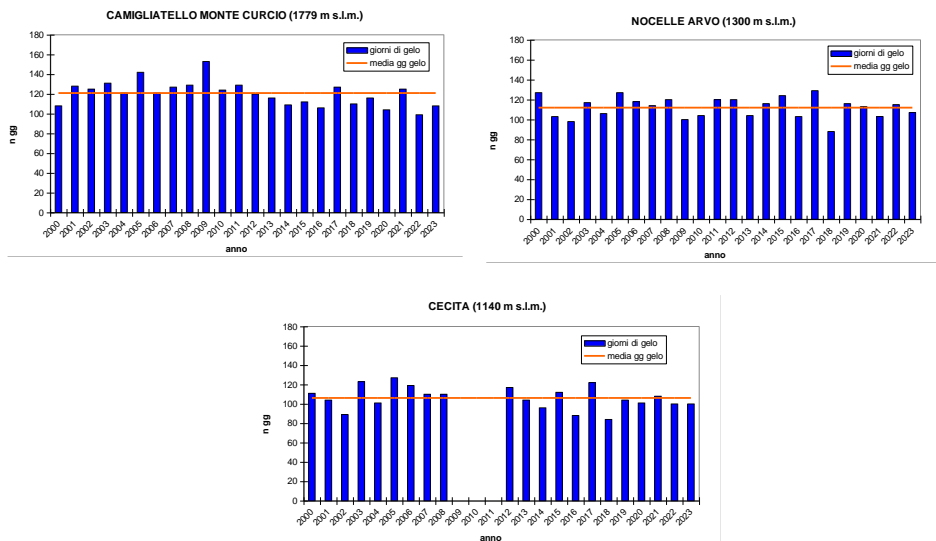


Figura 4: Giorni con gelo per le stazioni di Nocelle - Arvo, Cecita e Camigliatello Monte Curcio.



Sitografia

ARPACAL, Rapporto: Andamento meteorologico anno 2023. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.cfd.calabria.it/DatiVari/Pubblicazioni/rapporto%20meteorologico%202023.pdf>.

2.3 Evento di foehn di dicembre: venti record e incendi boschivi

Tra il 21 e 23 dicembre 2023 il Piemonte si è trovato al confine tra la zona di influenza di una vasta area di alta pressione disposta sull'Oceano Atlantico e quella di una circolazione depressionaria in discesa dalla Scandinavia verso i Balcani.

In questa situazione meteorologica si è innescato un forte episodio di venti di foehn da nordovest che si sono estesi a gran parte della regione, provocando locali disagi e danni. L'aria discendente dalla catena alpina si è sensibilmente riscaldata, determinando, in queste giornate, un marcato rialzo delle temperature nelle vallate e sulle pianure piemontesi.

Il 23 dicembre è così risultato il "giorno di dicembre più caldo dell'intera serie storica a partire dal 1958" con la colonnina di mercurio che ha fatto segnare mediamente 11.4 °C, ben 9 °C al di sopra della norma del periodo.

In questa giornata 105 termometri della rete ARPA Piemonte, pari a quasi il 30% del totale, hanno stabilito il primato di temperatura massima per il mese di dicembre dal momento della loro installazione. Picco più elevato a Cumiana (TO) con 25.2 °C, ma anche a BRA (CN), Treiso (CN) e Villanova Solaro (CN) la temperatura massima giornaliera ha superato la soglia "primaverile" dei 25 °C.

Resiste invece a Torino Giardini Reali il record di 21.6 °C stabilito il giorno precedente, 22 dicembre 2023.

Interessante è osservare la differenza di temperatura in 24 ore misurata dalla rete ARPA Piemonte per la giornata del 22 dicembre alle 7:00 ora locale (Figura 1): su alcuni punti stazione sono stati superati i 20 °C di differenza rispetto la mattina precedente, mentre i colori azzurri sulle creste fanno notare la presenza del muro del foehn.

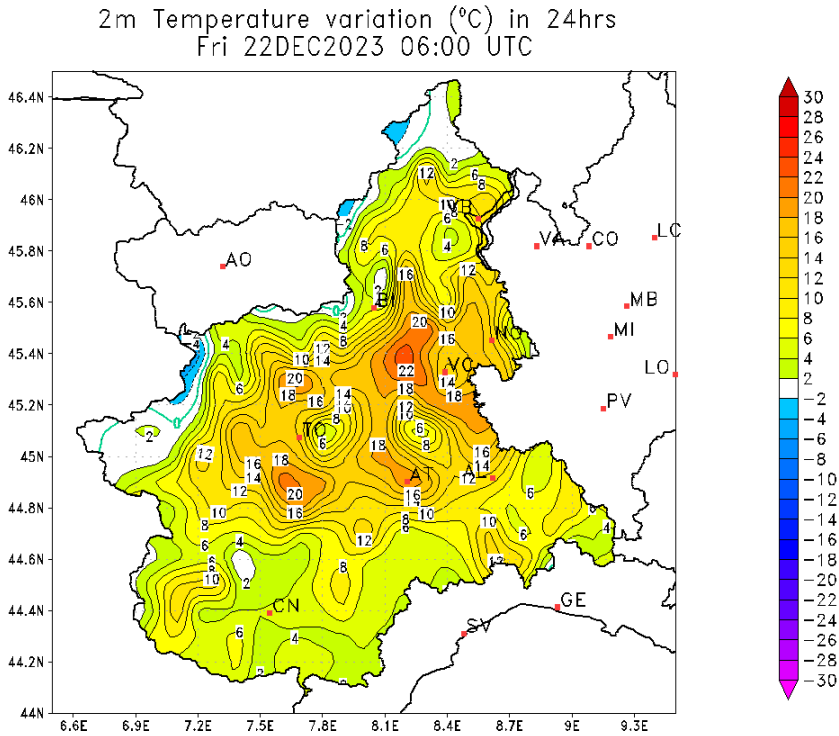
L'intensificazione del vento sulle creste delle Alpi Occidentali è iniziata già dalla mattina di giovedì 21, per poi progressivamente estendersi nelle vallate dalle ore centrali ed infine raggiungere le pianure nella notte tra giovedì 21 e venerdì 22.

Durante l'evento di foehn sono state raggiunte velocità molto elevate e le stazioni della rete meteorologica di Arpa Piemonte di Rifugio Vaccarone, in funzione dal 1996 (179 Km/h) e di Avigliana, in funzione dal 1991 (115 km/h) hanno segnato il loro record di velocità della raffica; altre velocità particolarmente elevate son state registrate dagli anemometri di 95 km/h a Torino-Alenia (95 km/h), 98 km/h a Caselle (98 Km/h), e di Susa (117 km/h).

La stazione della Sacra di San Michele installata dalla comunità dei rosminiani, in collaborazione con la società meteorologica italiana, allo sbocco della Valle di Susa, che per la sua posizione elevata e centrale nella valle ha colto il getto in uscita dalla stessa, registrando una raffica di 228.5 km/h al mattino di venerdì 22.

Nelle valli i venti molto intensi protratti per due giorni, e il brusco calo di umidità unito alla ventilazione e alla carenza di precipitazioni nei giorni precedenti hanno favorito il proliferare di diversi incendi boschivi presso Condove, Caprie, Pinerolo, all'imbocco della val Chisone, Giaveno, Lanzo Torinese e Valli di Lanzo.

Figura 1: Differenza di temperatura a 2 metri in 24 ore il 22 dicembre 2023 ore 6:00 UTC. Dati della rete ARPA Piemonte.



Sitografia

<https://www.arpa.piemonte.it/pubblicazioni-2/relazioni-tecniche/analisi-eventi/eventi-2023/rapporto-evento-di-foehn-del-22-24-dicembre-2023>.

3 ALLUVIONI

3.1 Alluvione in Romagna: l'evento, la gestione dell'emergenza, gli impatti

Nel corso del mese di maggio 2023, i territori centro-orientali dell'Emilia-Romagna sono stati investiti da due eventi pluviometrici in rapida successione, ciascuno di entità eccezionale, con quantitativi totali complessivi di precipitazione stimati tra un quarto e metà del valore atteso per l'intero anno (secondo il clima 1991-2020), causando 17 decessi, piene eccezionali, migliaia di fenomeni franosi e danni gravissimi ed estesi su tutto il territorio. Nel seguito viene fornito un resoconto che include una descrizione dell'evento, della gestione dell'emergenza e degli impatti sulla popolazione e sul territorio.

L'evento

Nei primi mesi del 2023 il territorio regionale risentiva ancora degli effetti della grave siccità protrattasi su tutto il bacino padano a partire da febbraio 2021, con poche, timide e brevissime interruzioni. Il periodo di siccità si è bruscamente interrotto con le piogge eccezionali di maggio, articolate in due eventi pluviometrici, il primo tra il 1° e il 3 maggio e il secondo tra il 16 e il 17 maggio, che hanno insistito sulla stessa porzione di territorio: la Romagna e i rilievi centrali della regione.

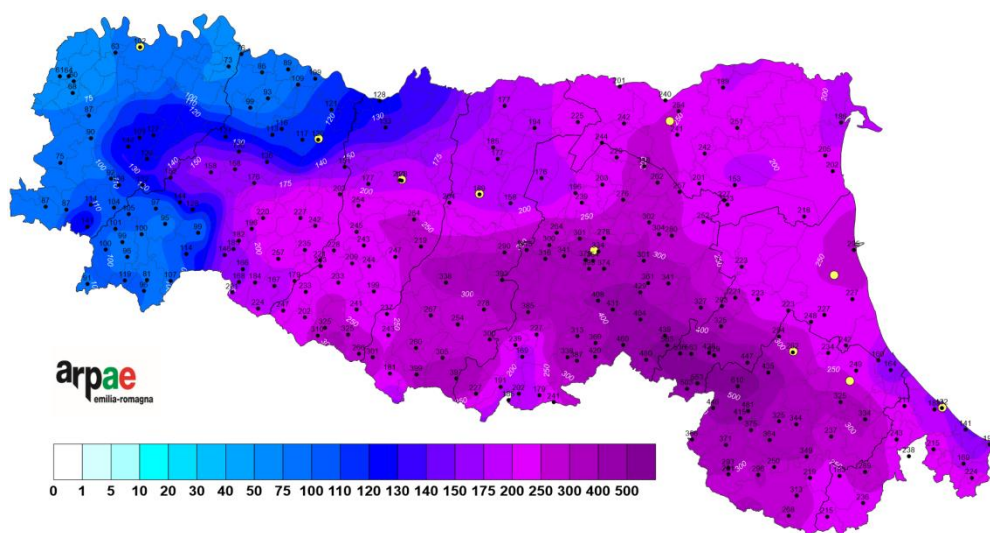
Il 1° maggio, in seguito alla discesa di una saccatura di origine polare sul Mediterraneo centrale, un minimo di pressione isolato nei bassi strati, bloccato dalla presenza di un promontorio anticiclonico sull'Europa orientale, è rimasto quasi stazionario sull'Italia centrale fino alla giornata del 3 maggio, causando precipitazioni diffuse sul settore collinare centro-orientale dell'Emilia-Romagna. Nonostante le intensità orarie siano sempre risultate modeste, la persistenza e l'estensione dei fenomeni hanno portato a cumulate prossime ai 200 mm/48 ore su ampie aree della regione, con massimi di cumulata su 3 giorni pari a 274.4 mm a Le Taverne, sui rilievi bolognesi, e di 254.4 mm a Trebbio, sui rilievi forlivesi. In molti pluviometri sono stati superati i massimi storici di precipitazione cumulata su 48 ore. Nei giorni successivi, tra il 9 e il 10 e tra il 12 e il 14 maggio, ulteriori precipitazioni di intensità e entità totale moderate hanno interessato il territorio regionale, gravando sulle stesse aree già colpite nei giorni precedenti.

Infine, a partire dal 16 maggio un minimo di bassa pressione, più profondo di quello di inizio mese, in risalita meridiana dal canale di Sicilia, ha raggiunto l'Italia centrale, dove è rimasto stazionario per quasi due giorni. Piogge di intensità moderata, a tratti anche forte, hanno raggiunto cumulate in 48 ore superiori ai massimi storici registrati a inizio maggio, con massimi di 260.8 mm a Monte Albano (Casola Valsenio, bacino del Senio), 254.8 mm a Trebbio (Modigliana, bacino del Lamone), 254.6 a San Cassiano (Brisighella, bacino del Lamone) e 211.8 mm a Monte Grosso (Rocca San Casciano, bacino del Montone).

I totali di precipitazioni cumulate sui primi 17 giorni del mese hanno raggiunto valori fino a 609.8 mm a Trebbio (Modigliana, bacino del Lamone) e 563.4 mm a Le Taverne (Fontanelice, bacino del Santerno), come si può osservare nella Figura 1, che presenta la precipitazione cumulata totale ottenuta a partire dall'analisi osservativa oraria ERG5 di ARPAE Emilia-Romagna (isoaree), insieme ai valori puntuali

rilevati presso le stazioni della rete di monitoraggio regionale (valori numerici in corrispondenza di ciascuna stazione di monitoraggio).

Figura 1: Precipitazioni cumulate dal 1° al 17 maggio 2023 in Emilia-Romagna. Fonte: dataset ERG5 e stazioni di monitoraggio ARPAE Emilia-Romagna.



Dal punto di vista dell'indice di precipitazioni medie regionali, il valore della precipitazione cumulata sui due giorni dell'evento, 16-17 maggio, è risultato del tutto equivalente a quello dell'1-2 maggio, con 73.2 mm complessivi dell'ultimo evento contro i 73.8 mm dell'evento di inizio mese. I due episodi, considerati singolarmente, si attestano come i due eventi primaverili più intensi dal 1961 e i più intensi in assoluto dal 1° gennaio 1997. La cumulata dell'indice regionale sui primi 17 giorni di maggio 2023 è di 221.40 mm e corrisponde al massimo mai registrato dal 1961.

La commissione incaricata dalla Regione Emilia-Romagna per valutare l'eccezionalità di quanto avvenuto ha stimato tempi di ritorno per i singoli eventi tra 100 e 500 anni, a seconda della località considerata, e superiori a 1000 anni per due eventi così ravvicinati.

La gestione dell'emergenza

Tutti gli eventi sopra descritti sono stati preceduti da allerte meteorologiche di massimo livello, che hanno attivato il sistema di protezione civile nel suo complesso, sotto il coordinamento del Centro Operativo Regionale e dei Prefetti.

In questo contesto si collocano le attività del Centro Funzionale di ARPAE Emilia-Romagna, che ha prodotto previsioni aggiornate e documenti di monitoraggio ogni sei ore nel corso dei periodi di massima allerta. Le previsioni meteo-idrologiche, pur indicando di volta in volta l'arrivo di quantitativi di precipitazioni lievemente inferiori rispetto all'osservato, sono state sempre tali da permettere una stima adeguata della pericolosità degli eventi in arrivo. Nel corso del mese, attraverso il portale AllertameteoER (<https://allertameteo.regione.emiliaromagna.it>), strumento ufficiale per la comunicazione delle allerte di Protezione Civile, gestito da ARPAE-SIMC in collaborazione con l'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile, è stato diffuso quanto segue: 31 allerte, 33 documenti di monitoraggio e 390 notifiche di superamento delle soglie pluviometriche e idrometriche di pericolosità, inviate in tempo reale a tutti gli enti e strutture di protezione civile, al fine di contrastare tempestivamente gli eventi in corso.

I cantieri, immediatamente attivati già dopo il primo intenso impulso, non hanno potuto evitare che i danni sul territorio si acuissero e si estendessero nel corso del secondo evento. Nonostante la complessità della situazione, il coordinamento e la prontezza di intervento di tutte le parti coinvolte nel sistema di Protezione Civile ai suoi vari livelli hanno permesso di mantenere un impegno costante sul territorio colpito. La collaborazione si è estesa non solo a tutte le strutture tecniche e operative e alle amministrazioni locali, parte del sistema di Protezione Civile a vari livelli, ma anche alle strutture attive localmente nella gestione del territorio, come i Consorzi di Bonifica, alle quali si sono aggiunte le colonne mobili regionali e nazionali arrivate in supporto nel corso del mese.

Gli impatti

Nonostante le energie profuse nella gestione dell'emergenza, l'eccezionale intensità degli eventi e la loro estensione territoriale ha provocato 17 decessi e devastanti impatti sul territorio, soprattutto nelle aree della Romagna: allagamenti su più di 540 km², per quantitativi stimati di acqua in eccesso pari a 350 milioni di m³, 65.598 frane, 78.5% delle quali nuove, per un'estensione totale di territorio di 72 km², con danni, talvolta devastanti, a 1.950 strade, senza contare i danni alle case, alle attività produttive e alle infrastrutture.

La mappa in Figura 2 mostra le principali criticità idrauliche censite dall'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile, e le aree allagate nei territori di pianura e di fondovalle tra Bologna e Rimini al 28 maggio.

L'alluvione ha inoltre causato ingenti danni ai sistemi fognari e di scolo, ostruiti da fango e detriti; la qualità delle acque, stagnanti per giorni, è progressivamente peggiorata risultando in alcuni canali di un colore rosso anomalo, tipico del proliferare di batteri della famiglia delle *Chromatiaceae*, e in un'elevata moria di pesci, dovuta ad anossia delle acque.

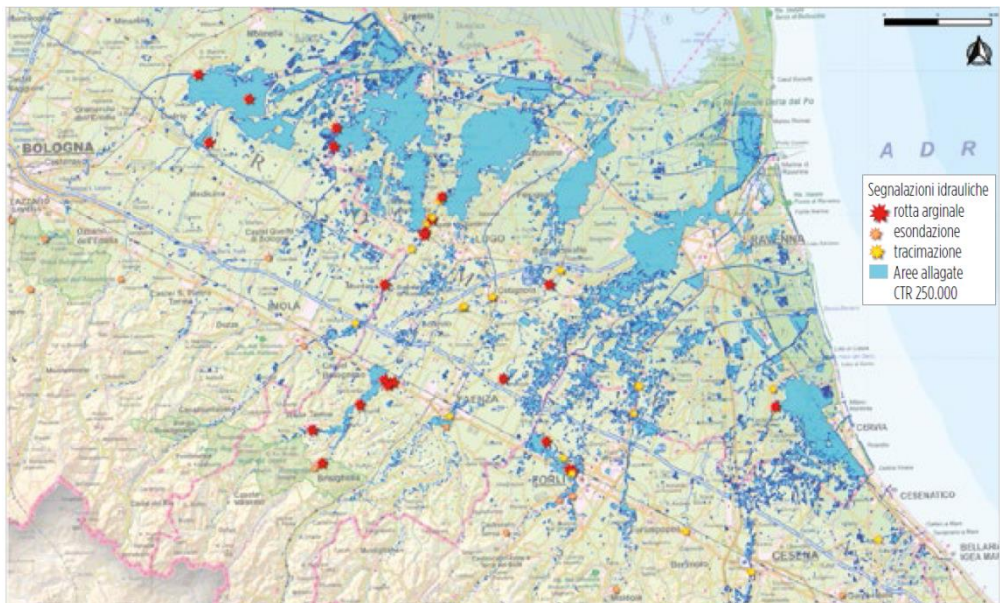
L'ingente quantitativo di acqua dolce carica di sedimenti riversato in mare ha ridotto significativamente la salinità degli strati superficiali e costieri e ha portato la frazione di biomassa presente nelle acque a valori pari a 2-3 volte il limite eutrofico.

In un contesto di danni estesi al territorio e alle proprietà private, le attività di prevenzione e sostegno sanitario e il sostegno sociosanitario e socioassistenziale hanno permesso di contenere il numero di persone in necessità di un intervento sanitario: al termine dei due eventi si contavano 193 assistiti nelle strutture sanitarie e 306 in quelle sociosanitarie e socioassistenziali nel territorio di Ravenna, il più colpito.

Infine, nell'area colpita dall'evento sono state raccolte 10000 tonnellate di rifiuti, pari ai quantitativi normalmente raccolti in 10 mesi.

Nel complesso i danni economici sono stati stimati dall'amministrazione regionale in 8 miliardi e 600 milioni di euro. Le attività di ripristino del territorio, iniziate già in corso di evento, e portate avanti con tutti i mezzi disponibili, pubblici e privati, sono ancora in pieno svolgimento.

Figura 2: Sintesi delle principali criticità idrauliche censite sui corsi d'acqua e immagine satellitare dei territori allagati al 28 maggio 2023. Fonte: Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione Civile su dati del CEMS-Copernicus Emergency Management Service.



3.2 Evento alluvionale in Toscana del 2 novembre 2023

L'evento

Analisi sinottica

Nella mattinata del 2 novembre una vasta saccatura ed un fronte freddo collegati ad un profondo minimo di pressione (953 hPa) centrato sul canale della Manica si approssima al Mediterraneo centrale dalla Francia e dalla Spagna. La pressione sul livello del mare subisce una rapida diminuzione tra il Golfo del Leone ed il Mar Ligure e si attiva un intenso flusso di correnti meridionali sul Mediterraneo centrale che trasporta aria più calda e molto più umida rispetto alla preesistente negli strati medio-bassi dell'atmosfera su Mar Ligure ed il Tirreno settentrionale.

Evoluzione meteorologica

Nel pomeriggio, il lento transito dal mar Ligure e sull'alta Toscana di una linea di instabilità piuttosto stazionaria davanti al fronte freddo favorisce su queste zone la genesi di più temporali prefrontali, che, complice un ambiente energetico e molto umido nei bassi strati, determinano intense precipitazioni localmente a carattere di nubifragio. In particolare, da metà pomeriggio (intorno alle 16:30 ora locale), la convergenza tra i forti venti da sud che soffiano sulle zone meridionali della regione ed il lento ingresso dei venti da sud - sudovest e da sud-ovest che invece iniziano a soffiare sulle zone settentrionali del Mar Ligure, insieme all'ingresso di aria moderatamente più fresca in quota, nonché a condizioni favorevoli all'innescio di temporali nei bassi strati, porta alla formazione di una linea temporalesca sull'alta Toscana che diventa quasi stazionaria fino alle ore 21:30 ora locale, e che si protende dalle zone settentrionali delle province di Livorno e Pisa fino al Mugello, passando dal Valdarno Inferiore, le zone meridionali della provincia di Pistoia, il Montalbano e la provincia di Prato (Figura 1).

La fase risolutiva del peggioramento e per il temporale stazionario arriva dopo le 21:30 ora locale, quando transita il fronte freddo, cessano le convergenze al suolo e l'asse delle maggiori precipitazioni si sposta quindi velocemente verso sud-est.

Veramente eccezionali sono stati i quantitativi di pioggia registrati, con valori cumulati massimi puntuali fino 180-200 mm in 3 ore sulle zone settentrionali delle province di Pisa e Livorno e fino a 130-170 mm in 5-6 ore sulle zone meridionali della provincia di Pistoia, sul Montalbano e sulla provincia di Prato. Alla fine della giornata si raggiungono 150-200 mm sulle zone più colpite dal temporale stazionario (Figura 2) con oltre 30 pluviometri che hanno registrato i massimi storici per almeno una delle durate temporali (1, 3, 6, 12 o 24 ore; Figura 3).

Effetti al suolo

Tutte le aree maggiormente interessate dal nubifragio hanno fatto registrare importanti e repentini innalzamenti dei livelli idrometrici, con volumi in transito elevatissimi in particolare nei bacini del Bisenzio e dell'Ombrone Pistoiese, dove numerosi idrometri, sia sull'asta principale che sugli affluenti, hanno fatto registrare valori eccezionali e ben superiori ai massimi valori storici dall'inizio delle registrazioni (alcune delle quali risalgono al 1959). La situazione più critica si è verificata su parte dei

settori collinari e soprattutto sulle zone pianeggianti della provincia di Prato, ove si sono verificati numerosi superamenti e rotture di argini con conseguente esondazione del fiume Bisenzio e di alcuni corsi del reticolo secondario (i torrenti Bagnolo, Bardena e Furba); la conseguente alluvione ha avuto conseguenze drammatiche avendo interessato importanti aree commerciali e molte zone residenziali delle province di Firenze, Prato e Pistoia. In provincia di Prato ricordiamo le frazioni di Santa Lucia, Figline di Prato, Seano, Carmignano e Montemurlo; a Firenze Campi Bisenzio; a Pistoia Quarrata. Anche le zone collinari non sono state risparmiate: l'ondata di piena del Bisenzio e dei suoi affluenti ha causato ingenti danni transitando nei comuni di Cantagallo e Vaiano, mentre numerose frane si sono verificate, nel comune di Vernio, tra San Quirico e Sasseta e sul Montalbano. Il giorno successivo il bilancio risulta: migliaia di case e l'ospedale Santo Stefano di Prato allagati, numerose strade chiuse (tra cui il tratto Firenze Ovest - Pistoia dell'autostrada A11), diversi i comuni senza corrente elettrica e soprattutto 8 vittime.

Figura 1: Satellite (infrarosso) e fulminazioni alle 17, 18:30, 19:30, 21 ora locale del 02/11/2023.

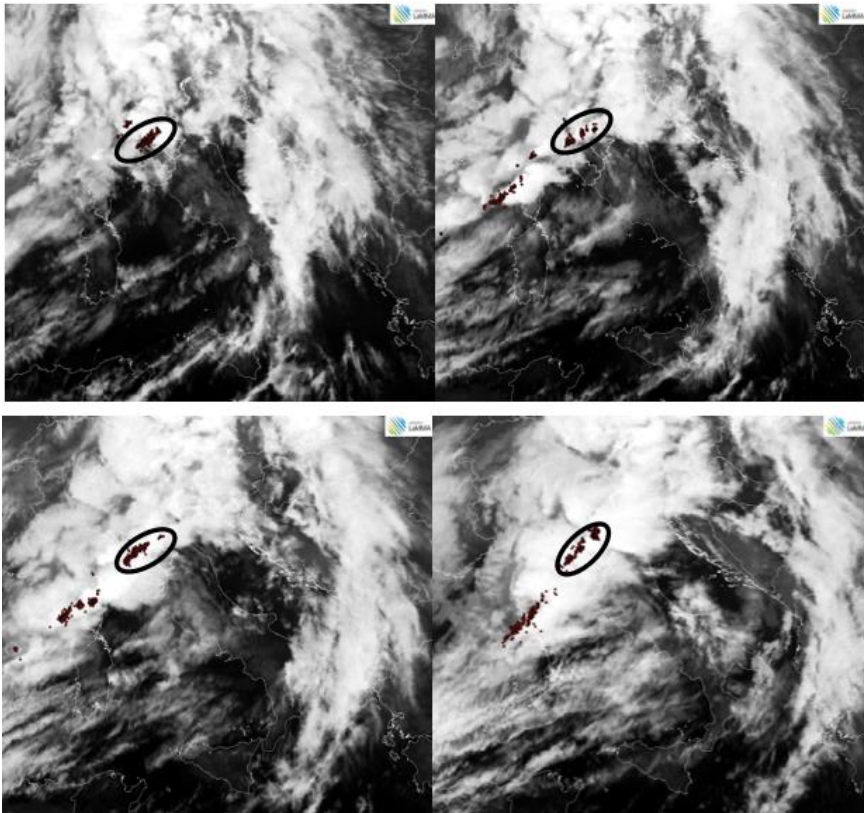


Figura 2: Precipitazioni cumulate del 2/11/2023.

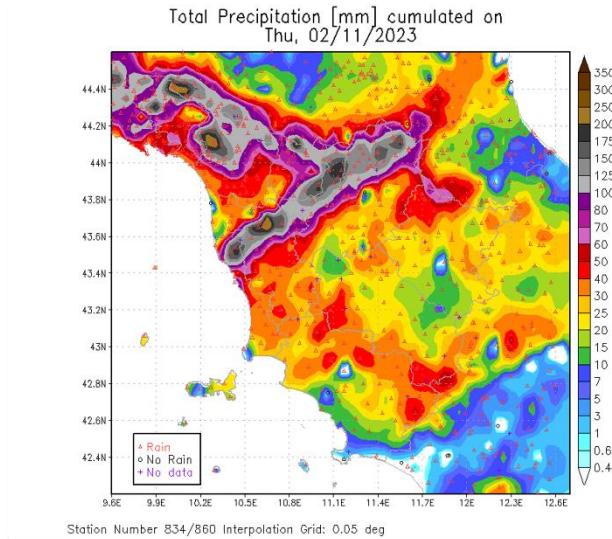


Figura 3: Stazioni pluviometriche con superamento dei cumulati massimi storici per almeno una delle durate temporali (1, 3, 6, 12, 24 ore).

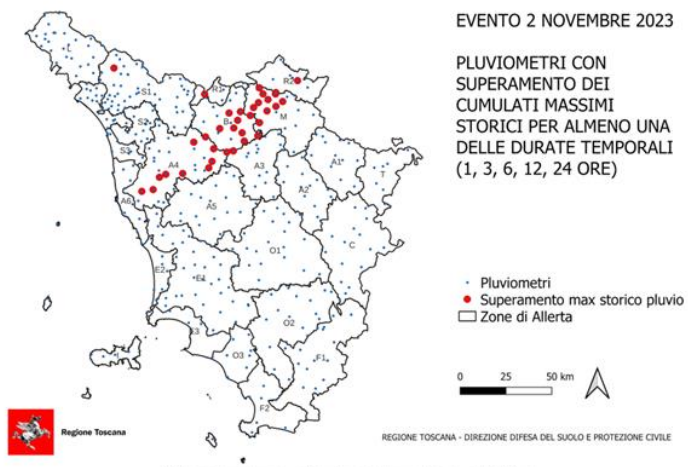


Fig. 11: Stazioni pluviometriche con superamento dei cumulati massimi storici per una o più durate temporali (1, 3, 6, 12, 24 ore).
REGIONE TOSCANA - DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE
Settore Idrologico e Geologico Regionale - Settore Protezione Civile - CENTRO FUNZIONALE DELLA REGIONE TOSCANA

La gestione dell'emergenza

Gli eventi alluvionali appena descritti hanno determinato una situazione di grave crisi che ha colpito in primis i cittadini, ma anche molte aziende, che hanno visto i propri locali lavorativi completamente devastati, determinando, peraltro, una serie di effetti diretti ed indiretti sulle matrici ambientali. La situazione è stata gestita, fin dal primo momento, in raccordo con la Protezione civile nazionale, dalla Regione Toscana, il cui Presidente è Stato nominato dal Governo Commissario all'emergenza. I "tavoli" regionali e prefettizi si sono trovati a gestire, fra le altre, una serie di problematiche ambientali, adottando soluzioni emergenziali che di seguito vengono brevemente descritte.

La gestione delle acque e dei fanghi.

La prima problematica di rilievo ha riguardato la gestione delle acque e dei fanghi pompabili, presenti sia all'interno di aree civili, sia in aree industriali. Solo in parte, le acque che hanno invaso abitazioni e strade sono rifluite naturalmente nell'alveo di provenienza, mentre per le restanti è stato necessario procedere al loro emungimento e scarico diretto nei corsi d'acqua, tramite idrovore. Rispetto alle aree urbane, maggiori preoccupazioni hanno riguardato le acque provenienti dalle aree produttive, dato il rischio di contaminazione da agenti chimici o da serbatoi interrati, in considerazione del fatto che Prato, in particolare, è il maggiore polo tessile presente in Italia. Le aziende che potevano realmente determinare un forte inquinamento erano tuttavia numericamente limitate e, appena possibile, sono state oggetto di verifiche in campo. Tali attività hanno permesso di appurare che, grazie alla conformazione del terreno ed alla resistenza delle strutture, non si erano verificati sversamenti di prodotti chimici da serbatoi e depositi e le acque pompate da queste attività potevano essere indirizzate verso i corsi d'acqua, previo accertamento dell'assenza di contaminazioni visibili (chiazze di idrocarburi, coloranti tessili, elementi solidi in galleggiamento, etc.). Le idrovore necessarie sono state numerose e l'attività è stata possibile grazie all'intervento della Protezione Civile di molte altre regioni. Da un punto di vista ambientale questa attività non ha determinato ulteriori impatti sui corsi d'acqua, già fortemente alterati dalla fase alluvionale.

Una volta venuta meno la possibilità di utilizzare le idrovore per il versamento diretto nei corsi d'acqua, è stato previsto l'utilizzo di autopurghi per il recupero dalle acque all'interno delle abitazioni civili, locali interrati, cantine, garage, ecc. Questa attività ha richiesto la definizione delle modalità di scarico di tali acque, attraverso una Ordinanza Commissariale¹, che ha previsto per le acque prelevate con autopurgo presso le abitazioni civili, l'immissione diretta nei corsi d'acqua in specifici punti. È stato previsto, allo scopo, un programma settimanale di prelievo presso le diverse abitazioni che avevano fatto richiesta e la sua trasmissione ad ARPA Toscana al fine di assistere alle operazioni di recupero e scarico nei punti individuati. Per facilitare le operazioni di controllo sono state disciplinate le modalità di riconoscimento degli autopurghi autorizzati a procedere con tale attività. Anche in questo caso, nonostante le attività di cui sopra siano iniziate dopo circa 10 giorni dall'evento, i corsi d'acqua non hanno mostrato ulteriori specifici impatti.

La gestione delle attività appena descritte ha dato luogo ad una fase di riflessione all'interno di ARPA Toscana al fine di proporre ulteriori migliorie alle attività svolte e potenzialmente inseribili in un disciplinare condiviso.

A titolo di esempio si propone quanto segue:

- la fase di aspirazione delle acque con idrovore ed autospurgo sarebbe consigliato potesse avvenire in simultanea o in maniera strettamente consequenziale per evitare gli effetti della prolungata esposizione all'acqua di materiali che possono rilasciare inquinanti. Sarebbe altresì auspicabile la predisposizione di punti di scarico con grigliatura al fine di ridurre la potenziale dispersione nei corsi d'acqua di materiale antropico aspirato;
- sarebbe opportuno, in termini di prevenzione, che in fase di progettazione/autorizzazione di aziende ubicate in aree a rischio idrogeologico (potenziale o conclamato), si prevedessero misure progettuali utili alla gestione e conservazione in sicurezza dei prodotti, che siano materia prima o rifiuto. Tale necessità dovrebbe essere estesa a tutte le attività insistenti nelle aree di cui sopra.

La gestione dei rifiuti da abitazione civile

Nella immediatezza dell'evento i Comuni si sono dovuti organizzare per individuare aree di ammassamento ("raduno") dei materiali alluvionati prelevati dalle abitazioni civili. Il gestore del servizio di raccolta rifiuti si è prontamente attivato individuando aree impermeabili, dotate di sistemi di raccolta delle acque meteoriche e quindi anche delle acque di dilavamento dei materiali e, per quanto possibile, ha effettuato un sistema di differenziazione dei rifiuti, in particolare di eventuali prodotti classificabili pericolosi, dei RAEE, ecc.

I tempi per la raccolta sono stati relativamente lunghi in quanto il numero di mezzi disponibili era insufficiente a fare fronte al quantitativo eccezionale di rifiuti prodotti. È stato comunque possibile verificare nei luoghi di raduno che la suddivisione dei materiali pericolosi dai non pericolosi, veniva tendenzialmente effettuata correttamente; tuttavia, la necessità di ripristinare in maniera celere le aree alluvionate e liberare anche le aree di deposito rifiuti per accogliere altro materiale, ha fatto sì che potessero crearsi le condizioni di avvio in discarica di parte del materiale potenzialmente recuperabile. Presso le aree di raccolta dei rifiuti è stato effettuato un controllo costante da parte del gestore sui carichi in arrivo per evitare materiali non coerenti con le abitazioni civili; nelle ore notturne, nelle quali i depositi non erano presidiati dal gestore, il controllo è avvenuto attraverso le forze dell'ordine.

L'esperienza maturata relativamente a queste problematiche mette in evidenza come sarebbe importante che le aree di ammassamento dei rifiuti fossero già individuate nei Piani di protezione civile. Queste aree, prontamente utilizzabili, dovrebbero avere adeguate caratteristiche di impermeabilità e possibilità di contenimento delle acque dilavanti e di imbibizione. Nei piani dovrebbe, inoltre, essere individuato il soggetto che detiene l'elenco delle aree di raccolta rendendolo disponibile agli Enti.

La gestione dei materiali terrosi

Anche per questo tipologia di materiali si è assistito ad una rapida raccolta, oltre che dei materiali terrosi in senso stretto, anche dei fanghi palabili derivanti dalle raccolte stradali, da smottamenti, ecc. Le attività hanno messo in evidenza che i materiali raccolti potevano classificarsi secondo le due seguenti categorie: materiale terroso e fango frammisto a rifiuti.

Il primo materiale, depositato in prossimità dei corsi d'acqua, è stato immediatamente riutilizzato per la ricostituzione degli argini, in quanto idoneo per caratteristiche geotecniche e privo di materiali estranei.

Il secondo materiale ha invece richiesto una gestione più complessa dal punto di vista di selezione dei materiali e di accertamenti analitici. In questo senso sono intervenute diverse Ordinanze Commissariali² che nel tempo hanno previsto indicazioni sempre più puntuali sulle modalità di campionamento e riutilizzo, in parte anche in deroga alle normative.

Anche per questi materiali è stato necessario individuare punti di concentrazione per i rifiuti di origine terrigena presso i quali eventualmente effettuare attività di gestione, al fine di un loro recupero.

L'esperienza maturata in questo senso dovrebbe condurre ad una proceduralizzazione predefinita, anche tramite protocolli e schemi di provvedimenti ordinativi, da utilizzare immediatamente in eventi simili, fatti salvi i necessari accorgimenti e aggiustamenti da introdurre in base allo specifico contesto.

La gestione dei danneggiamenti del sistema fognario

L'evento alluvionale ha portato anche al danneggiamento di alcune sezioni fognarie su cui scaricavano direttamente le aziende, oltre agli scarichi civili, oppure alla messa fuori uso di alcuni depuratori.

Per quanto riguarda le attività compiute in caso di danneggiamento della fognatura, occorre evidenziare che nel pratese e nelle aree limitrofe del pistoiese, le aziende scaricano in fognatura con limiti in deroga, non avendo impianti di trattamento a piè di fabbrica, ma essendo collegate a depuratori industriali centralizzati. Se per gli scarichi civili non è stato possibile effettuare interventi puntuali (considerata anche la numerosità degli stessi), per gli scarichi industriali è stato proposto da ARPA Toscana che in una delle Ordinanze Commissariali fosse consentito il trasporto, tramite autospurgo, dei reflui (che in condizioni ordinarie sarebbero stati avviati attraverso la fognatura) agli stessi depuratori di riferimento, o in alternativa verso altri depuratori che comunque garantissero disponibilità idraulica e capacità tecnica di trattamento. In questo modo è stato possibile evitare che gli scarichi industriali finissero direttamente nei corsi d'acqua.

Nel caso di malfunzionamento dell'impianto di depurazione di riferimento, le acque civili hanno continuato ad essere inviate al depuratore stesso dove in parte venivano by-passate; per le acque industriali si è optato per la medesima soluzione del caso precedente, cioè mediante conferimento con autospurgo ad altro depuratore di caratteristiche idrauliche e tecniche adeguate.

Così facendo si è potuta tenere sotto controllo l'evoluzione delle riparazioni sulle fognature e la valutazione in progress della performance dei depuratori.

Gli scenari sopra descritti e le relative modalità di gestione potrebbero, a nostro avviso, essere inseriti nella manualistica della fase emergenziale di cui sopra.

La gestione dei rifiuti industriali

Molto complessa è risultata la gestione dei rifiuti industriali. Per questa tipologia di materiali sono stati verificati e segnalati alcuni tentativi di ricondurre a materiali "alluvionati" inutilizzabili, rifiuti già presenti nelle aziende e che, come tali, non correlabili al fenomeno alluvionale, avrebbero richiesto lo smaltimento da parte di queste ultime, mentre sono state talvolta oggetto di abbandono in maniera indistinta a bordo strada.

Stante la situazione descritta, e pur considerato che una parte del materiale era già stato asportato senza alcuna distinzione nei giorni successivi all'evento, con l'obiettivo di liberare celermente le strade, il gestore della raccolta è quindi intervenuto puntualmente sui singoli depositi, anche con l'aiuto di

ARPA Toscana, al fine di distinguere il materiale alluvionato, come identificato, ai sensi della Ordinanza Commissariale³, da quello riconducibile con certezza a rifiuto smaltito abusivamente.

Si ritiene che questa problematica potrebbe ripresentarsi indipendentemente dalla presenza di indicazioni gestionali, che comunque dovrebbero essere tempestivamente diffuse.

Complessivamente riteniamo che l'esperienza maturata, a valle di quella della Regione Emilia-Romagna, dalla quale anche la Toscana ha potuto prendere utili spunti, possa permettere di definire gli interventi e le modalità da attuarsi in eventi simili nelle immediate ore successive ad eventi alluvionali come quello qui descritto.

Sostanzialmente, è auspicabile venga fatto tesoro di quanto sperimentato in occasione dell'alluvione del novembre 2023 in Toscana, sia in sede di pianificazione predisponendo o perfezionando procedure emergenziali utili ad indirizzare gli interventi e le attività di ripristino nell'immediatezza dell'evento, sia, d'altro canto, prevedendo un'informazione mirata, attraverso la diffusione di materiali o kit informativi, da distribuire ai cittadini e soprattutto alle aziende, con specifiche indicazioni sui comportamenti da tenere, anche per limitare al minimo i danni all'ambiente.

Sitografia

https://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5394140&nomeFile=Ordinanza_commissariale_n.87_del_06-11-2023.

https://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5397334&nomeFile=Ordinanza_commissariale_n.106_del_29-11-2023.

https://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5408271&nomeFile=Ordinanza_commissariale_n.19_del_23-02-2024.

https://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5408271&nomeFile=Ordinanza_commissariale_n.19_del_23-02-2024.

4 EVENTI IDRO-METEO-CLIMATICI E METEO-MARINI SIGNIFICATIVI

4.1 I violenti eventi temporaleschi di luglio 2023 in Lombardia

L'intero mese di luglio in Lombardia si è contraddistinto per tre intense e prolungate fasi temporalesche, in grado di impattare il territorio con grandine di diametro fino a 10-12 cm, raffiche di vento oltre i 100 km/h e più di 150 mila fulmini. Ingenti i danni, stimati in circa 1.7 miliardi di euro su oltre 500 comuni interessati.

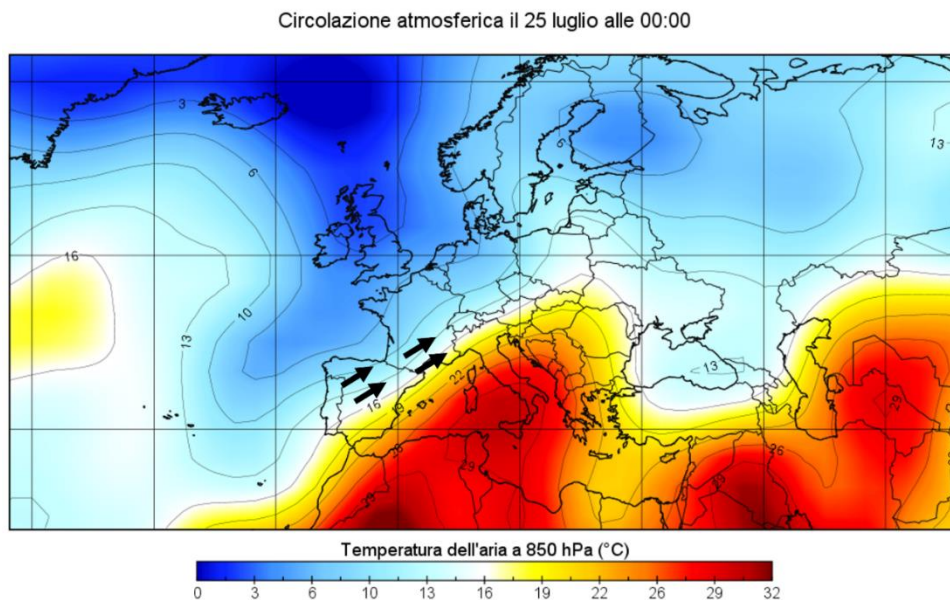
Queste fasi possono essere riassunte nei seguenti periodi: **dal 3 al 6 luglio**, **dal 12 al 15 luglio** e **dal 19 al 25 luglio**. Il presente report si occuperà soprattutto di descrivere gli eventi **dal 19 al 25 luglio**, che per intensità ed estensione sono risultati i più dannosi per gran parte della regione.

Circolazione atmosferica tipica per eventi temporaleschi sul Nord Italia

La formazione di temporali estesi e violenti sul Nord Italia è sempre successiva all'accumulo di enormi quantità di energia, immagazzinata in Pianura Padana sotto forma di calore e umidità.

Come si è reso possibile l'accumulo di così tanta energia e per un periodo così lungo? Le cause sono da attribuire al costante afflusso di aria molto calda e umida dal Mediterraneo, che per l'intero mese è stato interessato a più riprese dall'espansione di un campo di alta pressione dal Nord Africa (Figura 1). Affinché questa energia venga liberata è però necessario il contrasto e il contestuale sollevamento dell'aria calda e umida da parte di una massa d'aria con temperatura più fresca, che in estate è spesso rappresentata da venti provenienti dall'Oceano Atlantico; più il contrasto è acceso e prolungato, più i temporali risultano estesi e intensi. A conti fatti, ragionando per analogie, la Pianura Padana si è ritrovata come un serbatoio continuamente rabboccato da nuovo carburante, puntualmente convertito in energia temporalesca dalla spinta di venti nord-occidentali in discesa dall'oceano in direzione delle Alpi.

Figura 1: Circolazione atmosferica alle 00:00 UTC del 25 luglio 2023 sull'Europa. Le frecce nere indicano il flusso dei venti che delimitano le due masse d'aria a contrasto sul Nord Italia. Dati di Reanalisi NOAA, grafica Panoply.



Cronaca degli eventi dal 19 al 25 luglio

Per comodità si sceglie di dividere questo periodo in ulteriori due fasi distinte, la prima dal giorno 19 al giorno 21, la seconda nei giorni 24 e 25 luglio (Figura 2).

I primi temporali hanno colpito i settori alpini e prealpini a partire dalla serata di mercoledì 19, risultando da moderati a forti su Alpi Orobiche, Prealpi Bresciane e vicini settori di pianura; già in questa fase vengono riportate grandinate con diametro di oltre 5 cm e forti raffiche di vento. Nelle ore successive il sistema temporalesco ha raggiunto il mantovano, dove sono pervenute segnalazioni di chicchi di grandine fino a 10 cm tra Mantova, e Curtatone (MN). Dalla serata di giovedì 20 e per l'intera giornata di venerdì 21 gran parte della Lombardia è stata investita da numerosi sistemi temporaleschi in veloce transito da ovest verso est (Figura 3), responsabili di nuove grandinate sulle province di Monza e Brianza, Brescia e ancora Mantova; le raffiche di vento hanno raggiunto velocità prossime ai 100 km/h tra le province di Bergamo e Brescia. Nell'arco dei tre giorni le cumulate di pioggia più importanti si sono registrate nel bresciano, con valori diffusamente tra 80-120 mm.

Con le medesime caratteristiche una nuova e intensa fase temporalesca ha interessato la regione tra lunedì 24 e martedì 25. Numerosi ammassi temporaleschi hanno interessato tutta la regione, in questo

caso anche con cumulate di pioggia abbondanti sui settori alpini e prealpini e punte fino a 100 mm in Valcamonica. Ma sono state soprattutto le grandinate e le raffiche di vento ad apportare i danni maggiori: chicchi con diametro prossimo ai 10 cm hanno colpito la Brianza nella serata di lunedì, poche ore dopo lo stesso temporale ha interessato rapidamente le province di Bergamo e Brescia con chicchi di diametro simile o in qualche caso superiore, fino a 12 cm, come riportato lungo le coste del Lago di Garda. Nella notte di martedì 25 un nuovo sistema temporalesco ha investito la Brianza e il milanese con raffiche prossime ai 100 km/h in pieno centro cittadino, lo stesso temporale che procedendo verso est ha interessato l'alta provincia di Cremona, le province di Bergamo, Brescia e l'alto mantovano con grandine ancora di grosse dimensioni, oltre i 10 cm di diametro.

Figura 2: Precipitazioni cumulate e massime raffiche di vento nelle due fasi temporalesche del 19-20-21 e del 24-25 luglio. Fonte dati ARPA Lombardia, elaborazioni ARPA Lombardia e ArCIS (precipitazioni). I report sulle dimensioni della grandine sono a cura dell'ESWD-European Severe Weather Database.

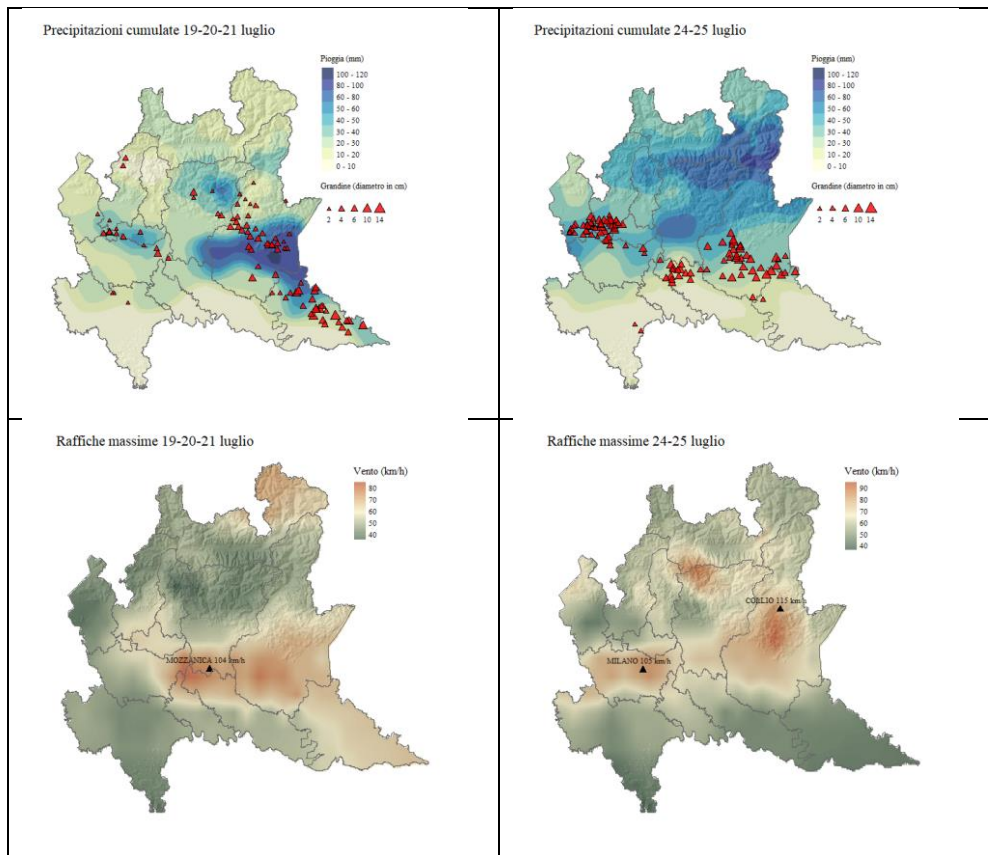


Figura 3: Il fronte temporalesco del 21 luglio 2023 in avanzamento tra le province di Cremona e Bergamo. Foto ARPA Lombardia.



Impatti sul territorio

L'intensità degli eventi temporaleschi ha messo in grossa difficoltà gran parte del territorio lombardo, che si è trovato a fronteggiare situazioni di somma emergenza, sia in ambito pubblico che in quello privato. Sono stati riscontrati danni importanti a edifici con rottura di tetti e lucernari, sollevamento e foratura dei manti di copertura, otturazione di canali e pluviali con infiltrazioni d'acqua all'interno dei fabbricati, rottura di pannelli fotovoltaici posti in copertura, danneggiamento di cappotti, intonaci e finiture di facciate (Figura 4).

Figura 4: Ingenti danni alle coperture di edifici pubblici e privati in comune di Misinto. Fonte Regione Lombardia.



La stima complessiva dei danni per gli eventi temporaleschi di luglio ammonta a oltre 1,7 miliardi di euro, di cui circa 300 milioni di euro per il comparto pubblico e 1,4 miliardi di euro per il comparto privato (abitazioni e attività economiche e produttive); riguardo il settore privato, è di oltre 830 milioni di euro il danno alle abitazioni private, di oltre 590 milioni di euro quello per le varie attività economiche e produttive, di cui 153 milioni di euro solo nel settore agricolo. A seguito di questi eventi con Deliberazione del Consiglio dei Ministri del 28 agosto 2023 è stato dichiarato lo stato d'emergenza.

Il territorio colpito comprende tutte le province lombarde ad eccezione della provincia di Pavia. Particolarmente colpite le province di Brescia, Como, Cremona, Mantova, Milano, Monza e Brianza e Varese; nel complesso sono oltre 500 i comuni che hanno segnalato danni (Figura 5).

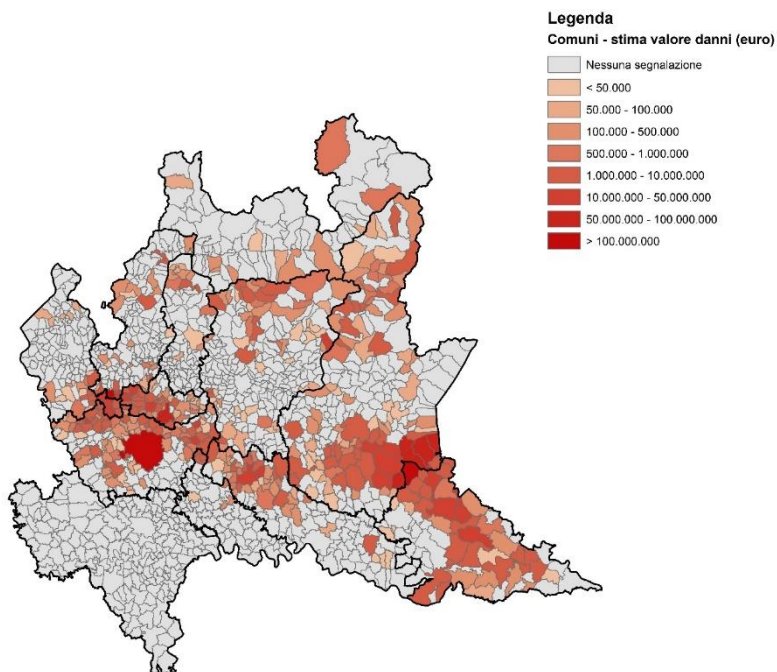
Importanti gli impatti al servizio di fornitura di energia elettrica: E-distribuzione ha segnalato circa 6 milioni di euro di danni alla rete di media e bassa tensione, comprensivi del ripristino del servizio e della riparazione definitiva.

Oltre 600 persone (di cui 369 turisti) sono state evacuate e ospitate in alloggi messi a disposizione dai comuni territorialmente competenti.

Cambiamenti climatici alla base dei temporali violenti?

Recenti studi compiuti dallo **European Severe Storm Laboratory** (Battaglioli et al., 2023) hanno dimostrato una correlazione tra il cambiamento climatico in atto (in termini di aumento delle temperature) e l'intensità degli eventi temporaleschi. Attraverso strumenti di rianalisi si nota una **frequenza triplicata degli eventi di grandine di grosse dimensioni (> 5 cm) rispetto agli anni '50**, confermando come il Nord Italia possa essere considerato un "hotspot" per questa tipologia di fenomeni. Con riferimento agli scenari modellistici più aggiornati, sul lungo termine (2071-2100) è lecito attendersi non solo un ulteriore aumento della frequenza di grandinate tra il 40 e l'80%, ma anche un aumento degli episodi di vento (raffiche da temporali) e di pioggia intensi.

Figura 5: Mappa dei comuni che hanno segnalato danni, con indicazione degli importi complessivi dei danni. Fonte Regione Lombardia.



Bibliografia

Battaglioli F., et al., 2023: Modeled Multidecadal Trends of Lightning and (Very) Large Hail in Europe and North America (1950–2021).

Sitografia:

ArCIS-Archivio Climatologico per l'Italia Centro Settentrionale: <https://www.arcis.it/>.

ESWD-European Severe Weather Database: <https://eswd.eu/>.

Regione Lombardia: <https://www.regione.lombardia.it/>.

4.2 24-25 luglio 2023: una grandinata da record in Friuli Venezia Giulia – analisi dell'evento e alcuni effetti nel settore agricolo

Premessa

Quello che resterà nella cronaca meteorologica di luglio 2023 in Friuli Venezia Giulia sono le grandinate del 24 e 25: in rapida successione 3 intensi sistemi temporaleschi hanno portato sulla regione grandine di eccezionali dimensioni, da primato europeo.

Le grandinate hanno interessato particolarmente le zone della media pianura. Il primo temporale è quello che ha causato la maggior parte dei danni da grandine tra Mortegliano e Palmanova; il secondo ha generato un chicco record osservato a Tiezzo di Azzano Decimo (PN) la sera del 24. Meno intense le grandinate della mattina del 25.

Tra gli importanti danni si annoverano tetti frantumati, cappotti delle case trivellati, veicoli distrutti, persone ferite ed evacuate dalle proprie abitazioni, ingenti danni alle colture e alberi abbattuti.

Secondo le stime trasmesse dalla Regione Friuli Venezia Giulia al Dipartimento di Protezione Civile i danni dovuti al maltempo registrati tra 13 luglio e il 25 agosto ammontano a 940 milioni di euro (Il Friuli 2023) pari al 2.4% del PIL Regionale (De Martin et al., 2024). Buona parte di questi danni sono dovuti proprio all'evento qui descritto.

Dall'avvio dell'attività della rete rilevazione grandine operante in Friuli Venezia Giulia dal 1988 (Manzato, 2020) l'episodio può essere sicuramente annoverato come il più esteso e intenso.

La descrizione dell'evento

Nella settimana precedente il 24 luglio la situazione sinottica a larga scala ha visto il predominio dell'anticiclone nordafricano sull'Italia sebbene interrotto, a tratti, dal temporaneo afflusso di correnti più fresche in quota. La persistenza anticiclonica ha quindi portato sulla regione aria calda in quota combinata con afflusso di notevole umidità nei bassi strati, in particolare nel pomeriggio del 24 luglio. Dalla sera del 24 l'afflusso in quota di correnti umide e più fresche da sud-ovest ha determinato un forte contrasto favorendo instabilità diffusa sul Nord Italia.

Tra le ore 20:30 e le 21:30 circa una supercella ha attraversato la regione da ovest ad est, entrando dalla pianura pordenonese fino a raggiungere Palmanova dove si è divisa in due celle: una ha seguito una direzione verso nord-est (left-mover) fino alle Valli del Natisone, la seconda (right-mover) ha proseguito verso l'Isontino. Questo primo passaggio ha determinato piogge intense ma di breve durata vista la velocità di spostamento della cella; il massimo in pianura è stato di 32 mm in un'ora. Si sono registrate forti raffiche di vento da ovest-nordovest dovute ai downdraft (venti in caduta dal temporale) della supercella fino a 133 km/h sulle Prealpi Carniche e oltre 100 km/h in pianura. La supercella, in particolare, ha determinato intense grandinate producendo, tra la pianura udinese e quella isontina, chicchi di diametro ben superiore ai 5 cm.

Tra le ore 22:30 e le 24:00 del 24 luglio un'altra supercella ha interessato la pianura friulana muovendosi da ovest ad est, percorrendo quasi la medesima traiettoria della precedente. Anche in questo caso sono state misurate raffiche di vento forte intorno ai 100 km/h su buona parte della pianura regionale. Questa seconda supercella ha determinato anch'essa grandine con chicchi di diametro diffusamente superiore ai 5 cm e localmente anche superiore ai 10 cm. In particolare, alle 23 ad Azzano

Decimo (PN) è stato raccolto e misurato un chicco di grandine oblato con asse maggiore di ben 19 cm, che risulta essere il chicco più grande mai registrato in Europa secondo l'*European Severe Weather Database* (Eisenbach, 2023).

L'episodio si è concluso alle 6:30 del 25 con una linea temporalesca che ha interessato tutta la regione dalle Valli del Natisone fino alla costa. Il sistema si è mosso da sud-ovest a nord-est fino a uscire dalla regione alle ore 9 circa. Questo passaggio temporalesco ha portato anch'esso raffiche di vento forte con massimi di 132 km/h sulle Prealpi Giulie e superiori a 100 km/h sulla pianura orientale. La grandine in questo caso ha interessato principalmente la Pianura pordenonese mentre sull'Udinese e sull'Isontino è risultata assente o di dimensioni molto piccole.

Effetti sul sistema agricolo

L'analisi dei danni osservati nel settore agricolo consente di dare una rappresentazione a livello territoriale dell'ampiezza dell'evento.

Sulla base delle segnalazioni relative ai danni presentate dalle aziende al Servizio ispettorato regionale dell'agricoltura della Direzione centrale risorse agroalimentari, forestali e ittiche della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia e incrociando i dati delle superfici dichiarate a fini della PAC, è stato possibile tracciare un quadro di massima.

Relativamente alle colture esaminate in Tabella 1, in regione sono stati registrati danni in 116 comuni su un totale di 191 comuni.

Per ogni coltura colpita è stata denunciata, oltre alla superficie, anche l'entità stimata del danno espressa in termini percentuali sulla produzione. Su tali dati sono state effettuate varie elaborazioni.

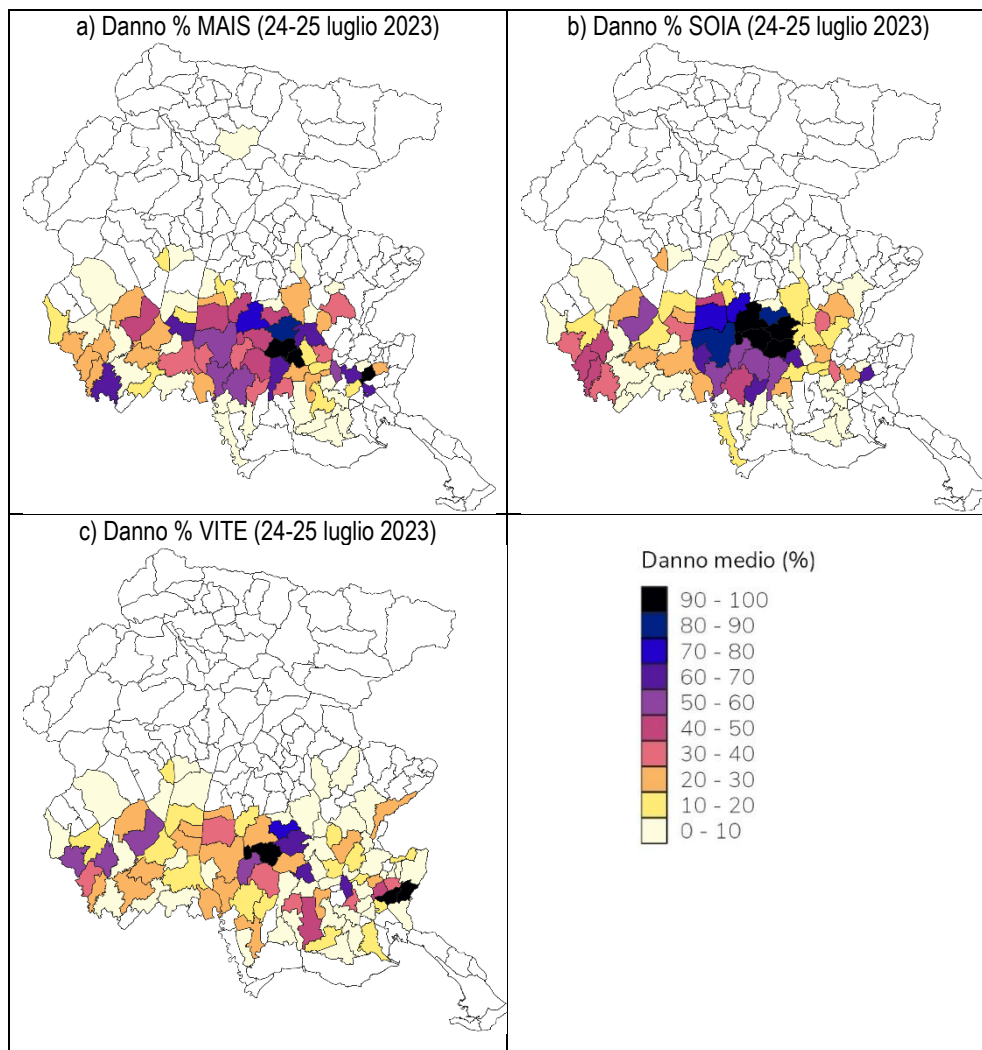
L'analisi complessiva eseguita su oltre 129.000 ettari mostra come il 19% delle superfici regionali dedicate alle colture indagate sia stato colpito da un danno complessivamente stimabile intorno al 12.2% della produzione.

Per meglio comprendere l'estensione e la violenza dell'evento risulta utile la visualizzazione in mappa della percentuale media di danno per tre colture molto diffuse e importanti per la regione: mais, soia e vite, rappresentate in Figura 1.

Tabella 1: danni alle colture denunciati in relazione all'evento del 24-25 luglio 2023, espressi in ettari (ha) e in percentuale del danno (%); si evidenziano a livello regionale le superfici totali dedicate alla coltura, la percentuale di ettari colpiti e il danno percentuale per coltura.

| Coltura | Superfici danneggiate (ha) | Percentuale media di danno nelle superfici danneggiate (%) | Superfici regionali (ha) | Percentuale superficie regionale colpita (%) | Percentuale danno medio regionale (%) |
|--------------------|----------------------------|--|--------------------------|--|---------------------------------------|
| ACTINIDIA | 170 | 78 | 496 | 34 | 26.9 |
| ERBA MEDICA | 413 | 59 | 9'799 | 4 | 2.5 |
| GIRASOLE | 808 | 59 | 4'229 | 19 | 11.3 |
| GRANTURCO | 10'368 | 68 | 42'295 | 25 | 16.6 |
| MELO | 206 | 64 | 1'222 | 17 | 10.8 |
| PIOPPO | 760 | 25 | 2'644 | 29 | 7.2 |
| SOIA | 6'835 | 65 | 33'631 | 20 | 13.2 |
| SORGO | 366 | 56 | 2'897 | 13 | 7.1 |
| VITE | 4'789 | 62 | 32'046 | 15 | 9.2 |
| Totale complessivo | 24'716 | 64 | 129'260 | 19 | 12.2 |

Figura 1: percentuale media di danno denunciata per le colture di mais, soia e vite in relazione all'evento del 24-25 luglio 2023.



Conclusioni

L'incrocio dei dati meteorologici relativi agli eventi del 24 e 25 luglio scorso con informazioni di carattere tecnico-amministrativo, quali le stime sui danni rilevati dagli uffici della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia e l'uso del suolo descritto con la PAC, ha permesso di valutare l'impatto di tali eventi estremi sulla produttività del sistema agricolo regionale, rivelando così l'utilità della metodologia proposta. Tale procedura potrebbe essere estesa a ulteriori basi di dati e a rilevazioni di carattere territoriale focalizzate su aspetti non solo quantitativi ma anche qualitativi.

Nel breve e medio periodo l'analisi dei dati rilevati potrà avere delle utili implicazioni rispetto a misure di pianificazione con risvolti sulle possibili azioni di adattamento ai cambiamenti climatici in atto.

A proposito di cambiamenti climatici, è importante menzionare un recente lavoro (Manzato et al., 2023) dove è stato rilevato come in Friuli Venezia Giulia la dimensione dei chicchi di grandine sembri aumentare. In questo senso è da notare che il livello dei danni registrato nelle grandinate di luglio 2023, non solo nel settore agricolo, è probabilmente dovuto proprio alla dimensione molto grande dei chicchi.

Bibliografia

- De Martin F., Carlon N., Pavan F., Manzato A., Carpentari S., Cioni G., and Miglietta M.M., 2024: Environment and forecasting of the severe storms outbreaks in July 2023 in northern Italy. *Atmospheric Research* (under review).
- Manzato A., Fasano G., Cicogna A., Sioni F., and Pucillo, A., 2023: Are the relationships between environmental parameters and storm observations climate-change invariant? *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (under review)

Sitografia

- Eisenbach S., 2023: Hail record broken again – 19 cm hailstone confirmed in Italy - <https://www.essl.org/cms/hail-record-broken-again-19cm-hailstone-confirmed-in-italy/>.
- Il Friuli, 2023: Danni del maltempo, in FVG sono già 11mila le domande di ristoro presentate: <https://www.friulioggi.it/friuli-venezia-giulia/danni-grandine-friuli-11-mila-domande-ristoro-12-ottobre-2023/>.
- Manzato A., 2020: Cenni sulla climatologia della grandine nella pianura del Friuli Venezia Giulia derivata dalla rete di pannelli: <https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/pubblicazioni/cenni-sulla-climatologia-della-grandine-nella-pianura-del-fvg-derivata-dalla-rete-di-pannelli/>.

4.3 Ciarán: un autunno tempestoso con mareggiate storiche in riviera

Il transito della tempesta Ciarán sul continente europeo nei primi giorni di novembre 2023 si colloca in un periodo fortemente perturbato, caratterizzato dal susseguirsi di una serie di intense perturbazioni atlantiche associate a flussi umidi meridionali molto intensi sia in quota sia al suolo.

Scendendo nel dettaglio ligure, forte maltempo è stato osservato dal 23 ottobre fino al 6 novembre con cinque distinte fasi perturbate legate all'ingresso, nel Mediterraneo occidentale, di estesi sistemi frontali convoglianti sul Mar Ligure notevoli quantitativi di umidità, per l'instaurarsi di flussi umidi meridionali a tutte le quote.

In tale finestra temporale, oltre a precipitazioni con cumulate anche molto elevate e a locale carattere di rovescio o temporale, sono stati osservati venti meridionali diffusi di burrasca forte con raffiche di tempesta – ben superiori ai 100 km/h e localmente superiori ai 200 km/h – che hanno portato a una successione di mareggiate intense, tra le quali spicca un evento classificabile come *storico* legato alla tempesta Ciarán, che ha interessato la Liguria nelle giornate del 2-3 novembre 2023.

Tale intenso ciclone è stato caratterizzato da un minimo particolarmente profondo (954-955 hPa) in movimento verso Est lungo il canale della Manica fra Gran Bretagna e Francia e da venti molto intensi che hanno causato ingenti danni e perdita di vite umane nei paesi interessati, dalla Spagna ai Paesi Bassi.

Il transito di Ciarán sull'Europa centro-settentrionale ha portato alla formazione di un minimo secondario sull'alto Tirreno con un deciso e brusco calo barico pari a 22 hPa in 24 ore fra il 2 e il 3 novembre e un valore minimo di pressione pari a 982 hPa, registrato dalla stazione di Genova – Centro Funzionale, appartenente alla rete Omirl (Osservatorio Meteo Idrologico della Regione Liguria). L'ingresso della saccatura nel Mediterraneo e il forte gradiente barico associato hanno fatto osservare venti diffusi di burrasca forte provenienti da sud-ovest e raffiche di tempesta su tutta la Liguria. Maggiore intensità e persistenza è stata osservata sul Centro-Levante dove raffiche superiori ai 100 km/h sono state registrate anche da stazioni costiere, quali La Spezia e Portovenere – Comune (Omirl). Il 2 novembre, a circa 1000 metri di altitudine, la stazione di Casoni di Suvero (Omirl) ha registrato un vento medio da sud-ovest che ha toccato 150 km/h con raffiche fino a 196 km/h. Questi valori sono stati superati il 5 novembre nell'evento legato alla tempesta Domingos quando, sempre a Casoni di Suvero, i venti da Libeccio hanno raggiunto raffiche fino a 212 km/h, attuale record ligure dall'installazione della rete Omirl nel 2003 (si tenga conto, tuttavia, che il limite strumentale degli anemometri Omirl nel 2018 era fissato a 180 km/h ed è stato sbloccato dopo la tempesta Vaia).

Gli effetti del transito di Ciarán sui venti al suolo e sul moto ondoso sono paragonabili proprio con la tempesta Vaia (29-30 ottobre 2018) che ha portato sulle coste liguri la precedente mareggiata storica. Confrontando i due eventi e le diverse configurazioni sinottiche (Figura 1), si osserva come le principali differenze degli effetti al suolo risiedano nella direzione e intensità dei venti e nella durata delle mareggiate: nel 2018 si è assistito a un regime prevalente di Scirocco con intensità medie e di raffica fino a tempesta registrate anche da numerose stazioni costiere (vento medio 85-95 km/h e raffiche fino a 180 km/h sulle coste del Centro-Levante), mentre nel 2023 le mareggiate si inseriscono in un contesto diffuso di intenso Libeccio con raffiche che sulla costa si sono “fermate” a circa 115 km/h. Inoltre, la mareggiata storica legata a Ciarán alza onde significative superiori ai 5 metri per circa 12 ore

e si colloca in un periodo piuttosto lungo e continuo di mareggiate intense. Entrambe le tempeste hanno fatto registrare dalle boe disponibili altezze d'onda significative che hanno toccato i 6.5 metri (mare grosso) con un periodo di picco di circa 10-12 secondi, pur differenziandosi come direzione del moto ondoso dominante che durante la tempesta Vaia era tra Sud, Sud-Est, rispetto al sud-ovest dalla Ciarán.

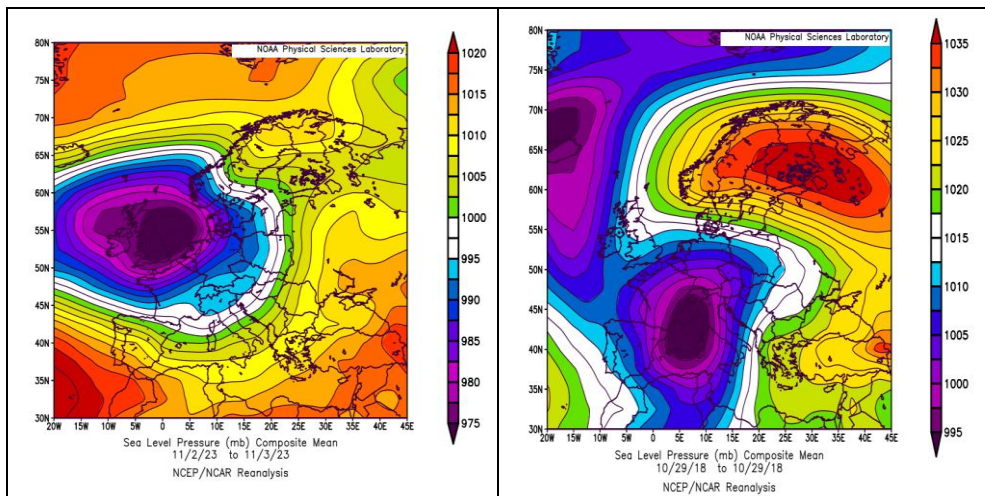


Figura 1: Rianalisi NOAA della pressione al livello del mare dal 2 al 3 novembre 2023 (a - tempesta Ciarán) e del 29 ottobre 2018 (b - tempesta Vaia); si evidenziano due configurazioni sinottiche differenti associate a gradienti che nel primo caso sono associati a correnti di Libeccio (sud-occidentali) e nel secondo a correnti di scirocco (sud-orientali).

Una mareggiata storica 6 anni dopo la tempesta Vaia

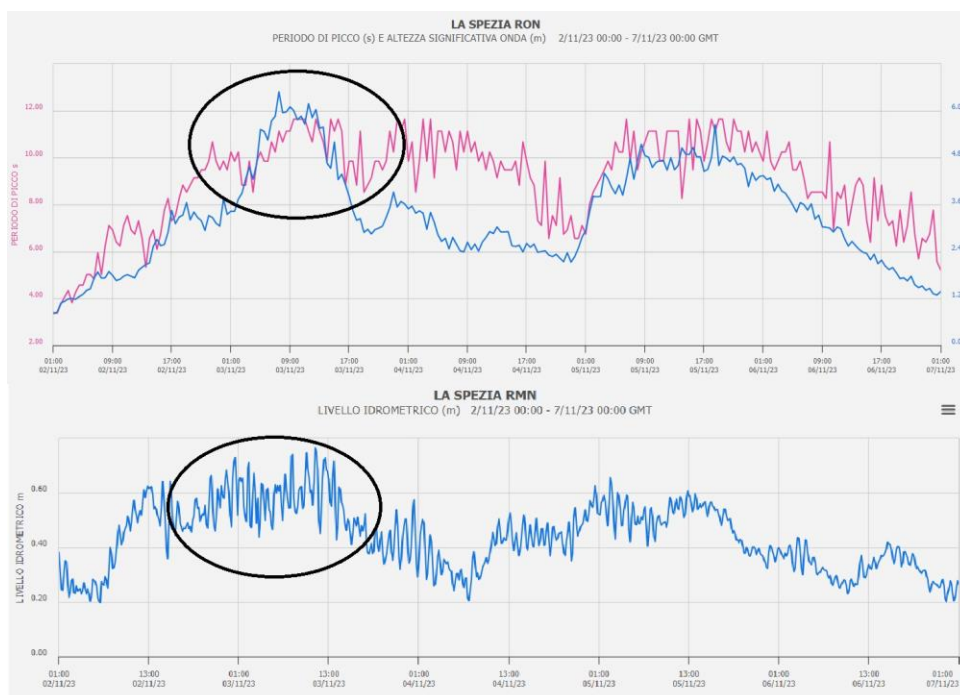
La configurazione barica che ha caratterizzato la tempesta Ciarán il 2-3 novembre ha visto una sovrapposizione del Libeccio “lungo” con *fetch* esteso a tutto il Mediterraneo occidentale nella prima fase (2 novembre) e Libeccio “corto” legato all’ingresso di Mistral sul Golfo del Leone in successiva rotazione a Libeccio sul Ligure per la formazione di una ciclogenese secondaria sul golfo ligure (3 novembre). Ciò ha determinato uno stato di mare fino a “molto agitato”, “localmente grosso”, “caratterizzato da moto ondoso penetrante in costa”, poiché decisamente potente e con onde lunghe per molte ore.

Per completezza, dato il verificarsi a stretto giro di una successiva mareggiata intensa sulle coste liguri legata al passaggio della tempesta Domingos, in Figura 2 sono riportati i grafici relativi a quanto registrato dalla boa di La Spezia (Rete Ondametrica Nazionale) dal 2 al 6 novembre.

Si osserva come, dal pomeriggio del 2 novembre alla mattina del 6 novembre, l’altezza d’onda significativa (linea azzurra) si sia mantenuta superiore a 3 metri e il periodo di picco (linea rosa) si sia

mantenuto in prevalenza su valori tra 10-12 secondi (periodo medio superiore a 8 secondi). Il 3 novembre l'altezza d'onda significativa ha raggiunto 6.5 metri con mare fino a "grosso sotto costa" e si è mantenuta superiore ai 5 metri per circa 12 ore con un periodo in rapido allungamento già dalla sera del 2 novembre.

Figura 2: Grafico superiore: andamento del periodo di picco (linea rosa) e dell'altezza d'onda significativa (linea azzurra) dal 2 al 6 novembre – Boa di La Spezia, Rete Ondametrica Nazionale. Grafico inferiore: andamento del livello idrometrico (linea blu).



Per la potenza della tempesta Ciarán, l'intensità dei venti associati e il verificarsi del fenomeno dello *storm surge* (sollevamento anomalo del livello del mare dovuto all'abbassamento della pressione, quantificabile in circa 60-70 cm come mostrato dal livello idrometrico riportato nel grafico inferiore della Figura 2) che ha contribuito ad amplificarne gli effetti, la mareggiata verificatasi sulle coste liguri tra il 2 e il 3 novembre può essere classificata come *storica*. L'innalzamento del livello idrometrico registrato dalla rete RON è confrontabile con l'evento di mareggiata prodotta dalla Tempesta Vaia del 2018 (+0.80 m).

Danni della perturbazione Ciarán sulla costa ligure

Ingenti sono stati i danni provocati sulle coste liguri: numerosi centri abitati costieri e le loro passeggiate a mare sono stati invasi dall'acqua marina (fra questi Celle Ligure, Varazze, Arenzano, Zoagli), la viabilità costiera ha subito interruzioni e chiusure per danni al manto stradale e allagamenti (via Aurelia a Cogoleto e ad Arenzano e, spostandosi a Levante, tra Santa Margherita e Rapallo). Anche nel territorio comunale di Genova, da ponente a levante, il mare ha localmente invaso la viabilità travolgendo persone e motoveicoli, con pericolo per la pubblica incolumità. Sono stati registrati danni a infrastrutture ricettive nella zona del promontorio di Portofino e il mare ha allagato la pittoresca Piazzetta. Numerosi danni a spiagge e infrastrutture anche alle Cinque Terre e nelle zone limitrofe (Figure 3 e 4).

Figura 3: Effetti della mareggiata storica legata alla tempesta Ciarán sul litorale delle Cinque Terre nel porticciolo di Manarola (SP) – Foto Eva Zattera.



Figura 4: Effetti della mareggiata storica nel 'mare piccolo' a Sestri Levante (GE). Foto Eva Zattera.



4.4 Gli eventi meteo-marini tra ottobre e novembre 2023 lungo la costa del Veneto e del Friuli Venezia Giulia

Nel periodo compreso tra il 24 ottobre e il 6 novembre 2023 nell'Alto Adriatico si è verificata una serie eccezionale di livelli massimi di marea, sia in termini di durata complessiva dell'evento, sia per la particolare configurazione meteorologica che li ha generati. Il livello di marea ha superato i 110 cm sullo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS) complessivamente per oltre 30 ore in tutte le stazioni ubicate in mare, durata superata una sola volta nell'ultimo secolo in corrispondenza dell'evento estremo che ha colpito l'Adriatico settentrionale nel novembre 2019. L'evento in oggetto, occorso tra la fine di ottobre e l'inizio di novembre 2023, è stato inoltre caratterizzato dalla prevalenza di intensi venti provenienti dai settori meridionale e/o sud-occidentale spiranti lungo tutto il bacino Adriatico, che hanno portato a un inusuale gradiente est-ovest dei livelli massimi di marea raggiunti, con valori significativamente superiori nelle stazioni poste lungo il litorale orientale del Golfo di Venezia, come Grado e Trieste, rispetto alla costa veneta.

Inquadramento meteorologico

A partire dall'ultima settimana di ottobre 2023, un vasto e profondo ciclone si è sviluppato e soffermato in forma semi-stazionaria a ovest dell'Irlanda, in corrispondenza a una anomala persistenza, sul Mediterraneo Orientale, delle condizioni anticicloniche tipiche della stagione estiva (anticiclone Africano), con conseguente blocco euro-atlantico in combinazione con l'anticiclone delle Azzorre. Nell'arco di due settimane da tale sistema depressionario principale, si sono generati, a ridosso dell'arco alpino, numerosi minimi barici secondari che hanno investito la pianura padana, transitando da ovest verso est. Nonostante un *pattern* di circolazione di questo tipo sia comune sull'area mediterranea, il periodo in analisi si è distinto per la sua particolare durata (circa un mese), per l'intensità dei venti sia in quota che al suolo, nonché per la profondità dei minimi depressionari. A causa delle menzionate condizioni di blocco, infatti, i minimi secondari, ben due volte inferiori a 985 hPa, caratterizzati da una lenta evoluzione verso est, hanno ripetutamente innescato, lungo il Canale d'Otranto e il Mar Adriatico, venti persistenti provenienti inizialmente da sud o sud-est (Scirocco), che poi ruotavano in concomitanza col passaggio del fronte, direzionandosi da sud-ovest (Libeccio).

I campi barici e di vento previsti dai modelli ad area limitata BOLAM e MOLOCH del Sistema Idro-Meteo-Mare (SIMM), operativo presso l'ISPRA, evidenziano l'occorrenza ripetuta di una particolare configurazione meteorologica (Figura 1). Tale configurazione è caratterizzata dalla presenza di un ciclone primario tra le isole Britanniche e il Mare del Nord e dal transito di un minimo secondario sul Nord Italia, con conseguente forte gradiente barico lungo il Mar Adriatico e presenza sul medio-alto Adriatico di intensi venti con provenienza sud-occidentale, persistenti per parecchie ore. La Figura 1 mostra il momento del passaggio del fronte sul Triveneto nei giorni 27 ottobre e 5 novembre; situazioni simili si sono verificate anche il 20, 24, 31 ottobre e il 3 e 10 novembre.

Figura 1: Pressione atmosferica al suolo prevista dal modello BOLAM (SIMM-Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare dell'ISPRA) il 27/10/2023 00UTC e 5/11/2023 03UTC (in alto). Intensità e direzione del vento previsti dal modello MOLOCH (SIMM dell'ISPRA) nei medesimi istanti. Ritaglio del dominio MOLOCH sul Mare Adriatico (in basso).

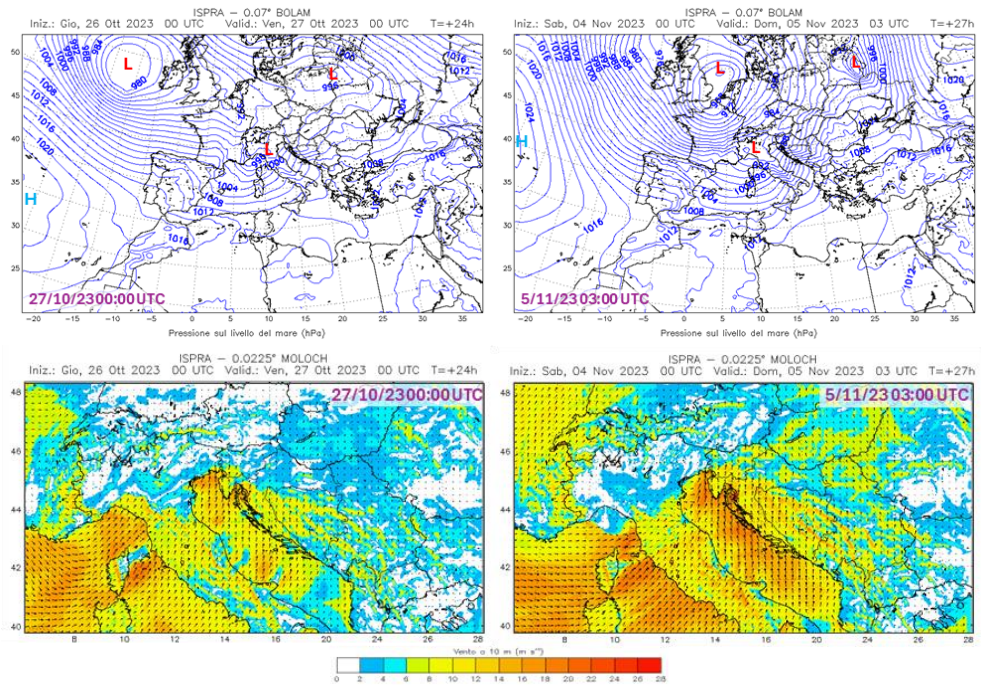
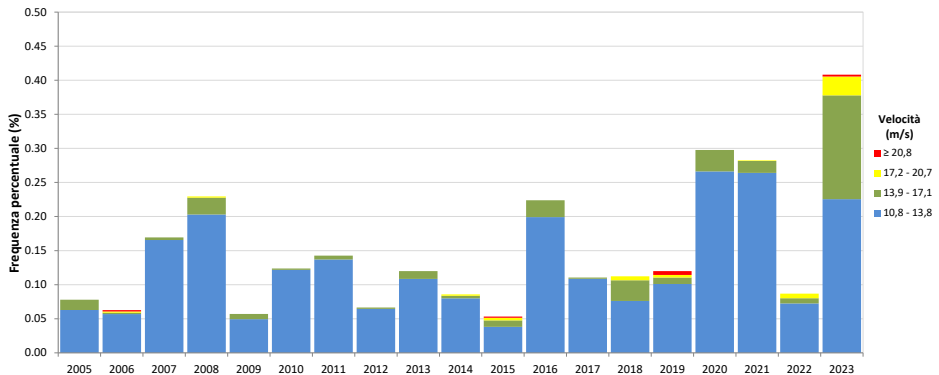


Figura 2: Frequenza dei venti di intensità dal VI grado Bft ($\geq 10.8 \text{ m s}^{-1}$) provenienti dal terzo quadrante (Mezzogiorno-Libeccio-Ponente) registrati in Piattaforma CNR dal 2005 al 2023. I dati del 2017-2018 sono relativi alla stazione di Lido Diga Sud, a causa dei lavori di manutenzione eseguiti in Piattaforma CNR.



L'anomalia della presenza di intensi venti da sud-ovest nel periodo in oggetto è confermata dall'analisi della serie temporale dei dati registrati in Piattaforma CNR dal 2005, che evidenzia per il 2023 un aumento significativo di frequenza e intensità dei venti provenienti dal terzo quadrante, con intensità uguale o superiore al VI grado della Scala Beaufort ($\geq 10.8 \text{ m s}^{-1}$, Figura 2), imputabile alla configurazione meteorologica che si è instaurata tra ottobre e novembre.

Livelli del mare in Alto Adriatico

La configurazione meteorologica sopra descritta ha determinato un elevato livello del mare nell'Adriatico settentrionale per tutto il periodo in esame e favorito una lunga successione di picchi di marea molto sostenuta nel Golfo di Venezia, che hanno comportato l'azionamento del sistema Mo.S.E., a protezione della Città di Venezia e degli altri centri abitati lagunari, per 11 volte in 14 giorni. L'innescò, a più riprese, di venti molto intensi sull'Alto Adriatico, con direzione variabile da sud – sud-ovest, ha inoltre determinato, alla “piccola scala” ($\leq 100 \text{ km}$), un ulteriore accumulo d'acqua sulla costa friulana centro-orientale, dove sono stati registrati valori significativamente superiori rispetto a quelli osservati lungo la costa veneta, con gradiente di livello, tra le coste occidentali e orientali del Golfo di Venezia, inverso rispetto alle caratteristiche condizioni di Bora. Nel periodo analizzato, presso la stazione di Grado, si sono verificati ben 12 superamenti, con un totale di quasi 50 ore sopra la quota di 120 cm (ZMPS), valore che rappresenta una soglia di attenzione per i centri abitati della Laguna di Grado e Marano. La serie di picchi di marea ha assunto connotati di eccezionalità proprio durante il transito della sequenza dei sistemi depressionari associati a episodi di vento intenso con provenienza principalmente da sud o sud-ovest, con livelli totali che hanno superato più volte i 140 cm (ZMPS) e contributi meteorologici (*surge*) di oltre 100 cm (Figura 3). In particolare, sono facilmente distinguibili le 5 perturbazioni che hanno interessato l'Italia nelle giornate del 24, 27 e 31 ottobre, e quelle ancora più intense del 3 e 5 novembre, con venti particolarmente forti, per la direzione sud-ovest, nel nord Adriatico il 31 ottobre (19 m s^{-1}) e il 3 novembre (oltre 21 m s^{-1}). In corrispondenza dei momenti di vento più intenso dai settori sud e sud-ovest, il *surge* misurato a Grado rispetto a quello in Piattaforma CNR ha registrato differenze dell'ordine di 30 cm il 27 e il 31 ottobre, di 40 cm il 3 novembre, e ha raggiunto quasi 50 cm durante l'evento del 5 novembre. Tali differenze di livello hanno determinato l'innescò di una sessa trasversale all'Adriatico con periodo di circa 11 ore, periodo caratteristico della sessa innescata più comunemente dal vento di Bora (con provenienza da nord-est), che presenta analoga direzione ma verso opposto. Oltre ai pattern spaziali dei livelli del mare osservati alla scala del Golfo di Venezia, rappresentati dalla differenza di valori misurati in Piattaforma CNR (ubicata circa 15 km al largo del litorale veneziano) e nella stazione di Grado, i forti venti con provenienza sud-occidentale hanno determinato significativi sovralti differenziali anche alla scala locale, all'interno della Laguna di Grado e Marano, dove la stazione di Marano lagunare, posta in prossimità del contermine lagunare ha registrato livelli superiori a 180 cm (ZMPS).

Considerando l'area del Nord Adriatico, i dati meteo-marini provenienti dalle stazioni dell'ISPRa, afferenti alla Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'Alto Adriatico (RMLV) e alla Rete Mareografica Nazionale (RMN), integrati con i dati delle stazioni gestite dalla Regione Friuli Venezia Giulia, dall'ARPA Friuli Venezia Giulia e dal Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia (CPSM), confermano il quadro dei gradienti di livelli di marea sopra descritti (Figura 4).

Durante l'evento del 5 novembre 2023, presso la stazione di Piattaforma CNR, è stato raggiunto un livello massimo di 138 cm (ZMPS) alle ore 3:50 locali. Valori analoghi di livello sono stati misurati nelle lagune del Delta del Po (Porto Caleri con 133 cm e Sacca del Canarin con 138 cm). Le stazioni ubicate lungo la costa nord-orientale esposte al Libeccio hanno, invece, registrato livelli massimi di marea più elevati: 177 cm a Grado; 183 cm a Monfalcone e 165 cm a Trieste, tra le 5:00 e le 5:30 locali; 186 cm alla stazione di Marano Lagunare. Per quanto riguarda la Laguna di Venezia, il livello si è attestato su valori nettamente inferiori per l'entrata in funzione del sistema Mo.S.E. Si riportano, per completezza, i massimi di marea raggiunti presso due stazioni situate lungo la costa croata, Rovigno e Fiume, che evidenziano il gradiente di livello tra la costa occidentale (italiana) e quella orientale (istriana) del bacino.

Fig. 3: Livelli di marea misurati e *surge* calcolati a Piattaforma CNR e a Grado (pannello superiore). Pressione atmosferica e velocità e direzione del vento misurati in Piattaforma CNR (pannello inferiore). Periodo: 23 ottobre–6 novembre 2023.

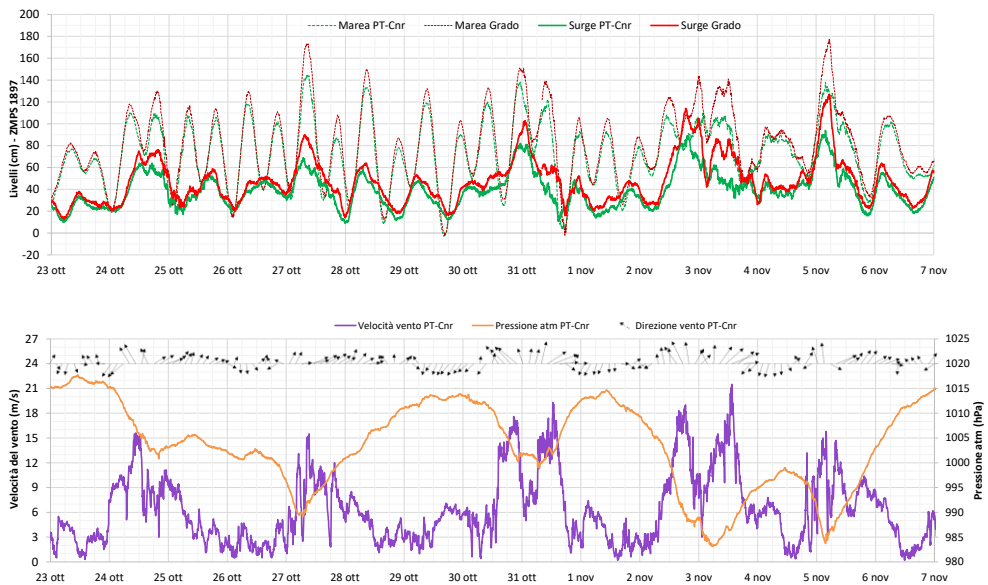
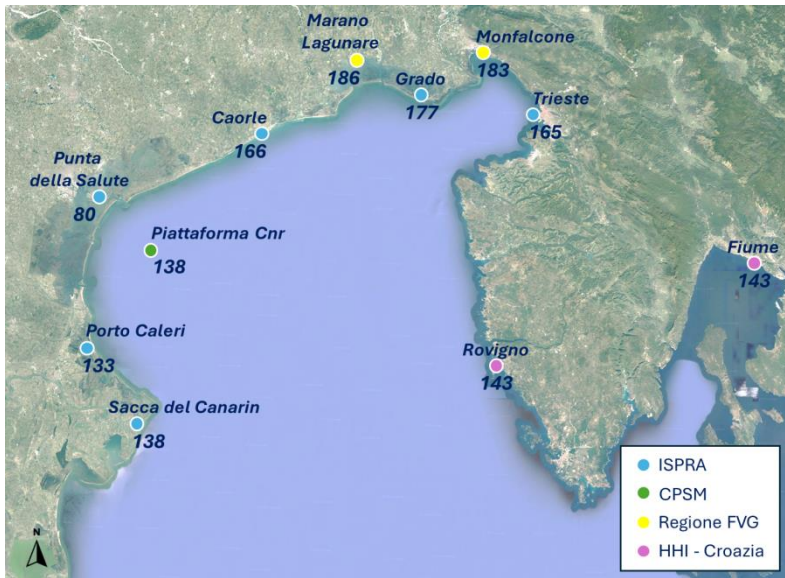


Fig. 4: Livelli massimi raggiunti il 5 novembre 2023 presso le stazioni delle reti mareografiche dell'ISPRA (RMLV, RMN), della Regione Friuli Venezia Giulia, CPSM e HHI croato. I valori sono stati riportati sul piano di riferimento ZMPS.



Onde e mareggiate lungo il litorale friulano

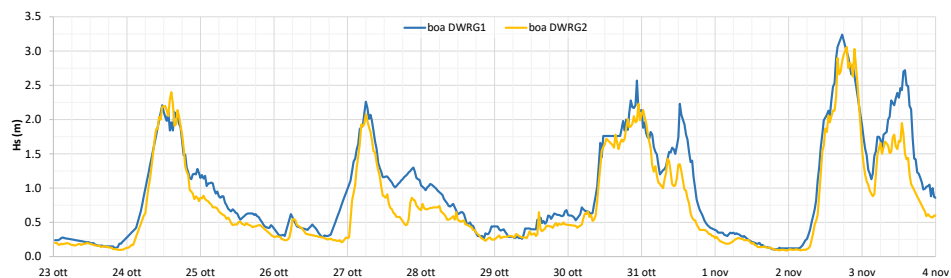
La porzione nord-orientale del bacino Adriatico è stata interessata da eventi intensi di moto ondoso nel periodo dal 23 ottobre al 3 novembre 2023, come evidenziano i dati registrati dalle boe della rete ondometrica della Protezione civile del Friuli Venezia Giulia, gestita dall'OGS-Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste. Il grafico in Figura 5 mostra i dati di altezza significativa dell'onda (Hs) registrati dalle due boe ondometriche DWRG1 e DWRG2, poste rispettivamente al largo e sotto costa tra Lignano e Grado.

Nel periodo considerato si sono verificati 4 eventi di moto ondoso significativo e precisamente nei seguenti intervalli: Evento 1 dal 24 ottobre, ore 04:00, al 25 ottobre, ore 10:00; Evento 2 dal 26 ottobre, ore 23:00, al 28 ottobre, ore 15:00; Evento 3 dal 29 ottobre, ore 15:00, al 31 ottobre, ore 20:00; Evento 4 dal 02 novembre, ore 09:00, al 04 novembre, ore 00:00. Per tutto il periodo considerato la direzione del moto ondoso si è mantenuta praticamente costante con una direzione di provenienza sud – sud-ovest.

L'energia totale delle mareggiate, identificata attraverso l'integrazione di Hs per la durata degli eventi, ha evidenziato il raggiungimento del valore di Classe 2 – moderata (58.4–127.9 m²h) – per i primi tre eventi, mentre durante l'ultimo evento (2–3 novembre) ha raggiunto la Classe 3 – significativa (127.9–389.7 m²h).

La persistenza delle mareggiate sempre nella stessa direzione (tra 160° e 200° N) e con energie crescenti è stata la causa degli ingenti danni provocati in particolare lungo la costiera di Trieste e Muggia, dove già i primi eventi hanno danneggiato le difese e i successivi hanno ulteriormente aggravato i dissesti.

Fig. 5: Altezza significativa d'onda (Hs) registrata dalle due boe ondamiche DWRG1 e DWRG2 poste rispettivamente al largo e sotto costa tra Lignano e Grado.





RA
42 2024

