Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

IL CLIMA IN ITALIA NEL 2024

Delibera del Consiglio SNPA n. 287/25 del 2.07.2025

REPORT AMBIENTALI
SNPA | 44 2025

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

IL CLIMA IN ITALIA NEL 2024

Delibera del Consiglio SNPA n. 287/25 del 2.07.2025

REPORT AMBIENTALI SNPA | **44** 2025

ISBN 978-88-448-1265-2 | Roma, Luglio 2025

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 2024, Report ambientali SNPA, n. 44/2025

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 978-88-448-1265-2
© Report ambientali SNPA, 44/2025

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Coordinamento della pubblicazione online:
Alessia Marinelli

Copertina: Alessia Marinelli

Foto di copertina: Cortesia Provincia Autonoma di Trento

Luglio 2025

Riassunto
Il Rapporto SNPA "Il clima in Italia nel 2024" illustra i principali elementi che hanno caratterizzato il clima nel corso del 2024 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 2024.
Parole chiave: indicatori climatici, variazioni climatiche, estremi climatici, eventi estremi.

Abstract
The SNPA Report "The climate in Italy in 2024" outlines the main features of climate during 2024 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 2024.
Keywords: climate indicators, climate variations, climate extremes, extreme events.

Autori

Parte I – Gli indicatori del clima in Italia

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

Parte II – Focus

Siccità e severità idrica

Siccità e severità idrica a scala nazionale e focus sui territori del Sud Italia e delle Isole maggiori
Giovanni Braca, Stefano Mariani, Barbara Lastoria, Robertino Tropeano, Marco Casaioli, Martina Bussettini – ISPRA

Anomalie di temperatura e onde di calore

Anomalie termiche nel corso del 2024 in Piemonte
Barbara Cagnazzi, Agnese Maria Colizzi, Chiara De Luigi – ARPA PIEMONTE

Anomalie termiche nel corso del 2024 in Veneto
Fabio Zecchini, Adriano Barbi, Francesco Rech, Giovanni Massaro – ARPA VENETO

Evoluzione del Fire Weather Index sull'Italia durante l'estate 2024
Nazario Tartaglione, Alessandro Mercatini, Emiliano Agrillo, Alice Pezzarossa – ISPRA

Eventi idro-meteo-climatici e meteo-marini significativi

Est milanese sott'acqua. Analisi dell'alluvione del 15 maggio in Lombardia
Matteo Zanetti, Paola Parravicini – ARPA LOMBARDIA

L'evento alluvionale del 29-30 giugno 2024 in Valle d'Aosta
Igor Torlai, Jussara Zanoli, Gianluca Negra, Michel Ponziani, Denise Ponziani, Andrea Giorgi, Sara Ratto – Centro Funzionale di Protezione Civile, REGIONE VALLE D'AOSTA
Roberto Cremonini – ARPA PIEMONTE

Rapporto degli eventi meteo-idrogeologici occorsi il giorno 27 agosto 2024 nei comuni di Arienzo, Baiano, Mugnano del Cardinale e San Felice a Cancello
Mauro Biafore, Matteo Gentilella – Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile, REGIONE CAMPANIA

Gli eventi alluvionali 2024 in Emilia-Romagna in un contesto di anomalie climatiche estreme
Valentina Pavan, Gabriele Antolini, Federico Grazzini, Alice Vecchi – *ARPAE EMILIA-ROMAGNA*

Evento alluvionale nella piana di Santa Eufemia del 19-22 ottobre 2024
Eugenio Filice, Sara Bloise, Loredana Marsico, Roberta Rotundo, Sabrina Veltri – ARPA CALABRIA

Evento alluvionale nel Sud Sardegna del 26-27 ottobre 2024
Pier Luigi Trudu, Lorenzo Smorlesi, Alessandro Delitala, Michele Fiori – ARPA SARDEGNA

2024 a Venezia: anomalie stagionali e record del livello medio del mare
Andrea Bonometto, Devis Canesso, Elisa Coraci, Michele Cornello, Franco Crosato, Paolo Gyssels, Riccardo Alvise Mel, Sara Morucci – ISPRA
Alvise Papa – Centro previsioni e segnalazioni maree, COMUNE DI VENEZIA

Percorso istruttorio
Documento elaborato nell'ambito dell'articolazione istruttoria 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. 287/25 del 2/07/2025.

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 2024, 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, 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 2024 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
GUIDA ALLA LETTURA....13
PARTE I: GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA....14
1. INTRODUZIONE....15
2. IL CLIMA NEL 2024....17
2.1 IL CLIMA NEL 2024 A LARGA SCALA....17
2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia....30
2.2.1 Inverno....30
2.2.2 Primavera....32
2.2.3 Estate....35
2.2.4 Autunno e dicembre....39
3. TEMPERATURA....50
3.1 Analisi annuale....50
3.2 Variazioni e tendenze....59
3.3 Frequenza, intensità, estremi....66
4. TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE....72
5. PRECIPITAZIONE....80
5.1 Analisi annuale....80
5.2 Variazioni e tendenze....88
5.3 Frequenza, intensità, estremi....93
6. UMIDITÀ RELATIVA....100
BIBLIOGRAFIA....104
PARTE 2: FOCUS....106
1 SICCITÀ E SEVERITÀ IDRICA....107
1.1 Siccità e severità idrica a scala nazionale e focus sui territori del Sud Italia e delle Isole maggiori....107
2 ANOMALIE DI TEMPERATURA E ONDE DI CALORE....115

2.1 Anomalie delle temperature minime e disagio notturno nell'estate 2024 in Piemonte.....115
2.2 Anomalie termiche nel corso del 2024 in Veneto.....118
2.3 Evoluzione del *Fire Weather Index* sull'Italia durante l'estate 2024 125
3 EVENTI IDRO-METEO-CLIMATICI E METEO-MARINI SIGNIFICATIVI 132
3.1 Est milanese sott'acqua. Analisi dell'alluvione del 15 maggio in Lombardia.....132
3.2 L'evento alluvionale del 29-30 giugno 2024 in Valle d'Aosta e Piemonte.....137
3.3 Evento idrometeorologico occorso il 27 agosto 2024 nei comuni di Arienzo, Baiano, Capua, Mugnano del Cardinale e San Felice a Cancello 144
3.4 Gli eventi alluvionali del 2024 in Emilia-Romagna in un contesto di anomalie climatiche estreme.....148
3.5 Evento alluvionale nella piana di Santa Eufemia del 19-22 ottobre 2024.....154
3.6 Evento alluvionale nel Sud Sardegna del 26-27 ottobre 2024.....161
3.7 2024 a Venezia: anomalie stagionali e record del livello medio del mare.....167

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 2024 è stato l'anno più caldo della serie dal 1961, con una marcata anomalia positiva di temperatura media di +1.33 °C rispetto al valore climatologico 1991-2020 e ha fatto registrare il nuovo record della media annuale delle temperature minime giornaliere (+1.40 °C), superando di 0.2 °C il valore del 2023. Le anomalie positive più marcate sono state registrate a febbraio, con oltre 3 °C sopra la media (+3.15 °C), che ha segnato il valore più alto della propria serie mensile, seguito da agosto (+2.54 °C) e luglio (+2.15 °C).
Dal punto di vista pluviometrico, il 2024 è stato caratterizzato da una forte disomogeneità, con precipitazioni abbondanti al Nord e scarse su ampie aree del Centro e al Sud e Isole, che hanno determinato nel corso dell'anno un peggioramento progressivo dello stato di severità idrica nelle regioni centro-meridionali e nelle Isole maggiori. La Sicilia, che a inizio gennaio presentava condizioni di severità idrica media, è passata, già a metà febbraio, a condizioni di severità idrica alta, rimaste invariate per tutto l'anno.
Fra gli eventi idro-meteo-climatici estremi più rilevanti è da menzionare l'evento alluvionale del 29-30 giugno che ha interessato la Valle d'Aosta e il Piemonte settentrionale, causato da precipitazioni che localmente hanno raggiunto valori molto alti, con tempi di ritorno eccezionali stimati nella valle di Cogne: picchi di precipitazione con tempi di ritorno di 500 e 1000 anni per la durata di 3 ore e di 300 anni per la durata di 6 ore. Molteplici sono stati gli effetti al suolo: fenomeni di esondazione, colate detritiche, erosioni dei torrenti e alluvioni. Nel corso dei primi mesi dell'autunno, l'Emilia-Romagna è stata colpita da importanti fenomeni alluvionali a seguito del passaggio di diversi sistemi depressionari, alcuni dei quali hanno riversato localmente quantitativi di precipitazioni eccezionali, che in un contesto di suoli generalmente già saturi, hanno causato ingenti danni al territorio.

Temperatura
Il 2024 è stato l'anno più caldo della serie sia a scala globale, con un'anomalia di temperatura sulla terraferma di +1.03 °C rispetto alla media 1991-2020, **che in Italia, con un'anomalia media di +1.33 °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 2024 è stato l'undicesimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.
Il 2024 si colloca al **primo posto fra i più caldi della serie anche per l'anomalia della temperatura minima (+1.40 °C)** mentre si colloca al secondo posto della serie per l'anomalia della temperatura massima (+1.26 °C).
Temperature medie superiori ai valori normali 1991-2020 hanno interessato tutti i mesi dell'anno. **Le anomalie più marcate si sono registrate a febbraio (+3.15 °C),** che si colloca **al primo posto della propria serie mensile, ad agosto (+2.54 °C) e a luglio (+2.15 °C).** L'anomalia più bassa si è avuta a maggio (+0.36 °C).
La temperatura media annuale è stata superiore al valore climatologico 1991-2020 in tutte e tre le macroaree italiane: al Nord (+1.21 °C), al Centro (+1.45 °C) e al Sud e Isole (+1.39 °C).

Su base stagionale **l'anomalia positiva più elevata è stata registrata in inverno, che,** con il valore di +2.18 °C sopra la media 1991-2020, **si colloca al primo posto fra i più caldi della serie dal 1961,** seguito dall'estate (+1.84 °C) e dalla primavera (+0.97 °C), entrambe al terzo posto delle rispettive serie dal 1961, e dall'autunno (+0.84). **La stima del tasso di variazione della temperatura media dal 1981 al 2024 è di (+0.42 ± 0.04) °C / 10 anni**, della temperatura massima di (+0.44 ± 0.05) °C / 10 anni e della temperatura minima di (+0.40 ± 0.04) °C / 10 anni.
Gli indici rappresentativi degli estremi della temperatura minima si collocano quasi tutti al primo posto fra i più alti (per gli estremi di caldo) o fra i più bassi (per gli estremi di freddo) delle rispettive serie dal 1961, coerentemente con il valore record registrato per la media annuale delle temperature minime giornaliere.
Il 2024 si colloca al primo posto fra i più alti della serie per il numero di notti tropicali (+25.2 giorni) **e per il numero di giorni torridi** (+7.3 giorni) e al secondo posto fra i valori più bassi per il numero di giorni con gelo (+13.7 giorni), mentre per l'indice WSDI-*Warm Spell Duration Index* (+29.3 giorni), rappresentativo dei "periodi di caldo prolungato e intenso nel corso dell'anno" si colloca al quarto posto fra i più caldi.
Le notti calde hanno fatto registrare il valore più alto e i giorni caldi il secondo valore più alto, mentre **le notti fredde hanno fatto registrare il valore più basso** 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 2024 si colloca al primo posto della serie dal 1982, con un'anomalia di +1.24 °C** rispetto alla media climatologica 1991-2020, quasi 0.3 °C superiore al precedente record del 2022. A partire dal 2007 le anomalie sono state sempre positive, con l'eccezione del 2010. Escludendo il 2003, gli ultimi quattordici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie. Le anomalie medie sono state positive in tutti i mesi dell'anno, con gli scostamenti positivi dai valori normali massimi agosto (+2.16°C), seguito da luglio (+1.74 °C).

Precipitazione
Le precipitazioni cumulate annuali in Italia nel 2024 sono state complessivamente superiori alla media climatologica di circa l'8%. Le aree settentrionali e centro-settentrionali sono state caratterizzate da **anomalie positive, mentre la restante parte del territorio nazionale ha fatto registrare diffuse anomalie negative.**
I mesi relativamente più secchi sono stati novembre (-71%), normalmente tra i mesi più piovosi, e luglio (-35%), mentre i mesi relativamente più piovosi sono stati febbraio, con un'anomalia di +85%, e marzo (+72%).
L'analisi per macroaree geografiche indica che **l'anomalia di precipitazione è stata negativa al Sud e Isole (-18%), positiva al Nord (+38%),** dove il 2024 ha rappresentato il secondo anno più piovoso dal 1961, e prossima alla media al Centro.
Le anomalie più marcate si sono avute tutte al Nord: quelle positive a febbraio (+190%) e a marzo (+172%), quella negativa a novembre (-88%). Al Centro si sono registrate anomalie comprese tra -70% (novembre) e +60% (settembre), mentre al Sud e Isole si sono registrate anomalie comprese tra -73 % (giugno) e +57% (agosto), con una prevalenza di anomalie negative.

L'analisi su base stagionale indica che l'estate è stata meno piovosa della norma (-12%), collocandosi al ventiquattresimo posto della serie fra le meno piovose, mentre le altre stagioni sono state più piovose della media. La stagione relativamente più piovosa è stata la primavera (+24%), che si colloca all'ottavo posto tra le più piovose, seguita dall'inverno e dall'autunno, che hanno fatto registrare precipitazioni poco sopra la norma.
Dall'analisi statistica dei trend della precipitazione cumulata annuale e stagionale nel periodo 1961-2024 non emergono tendenze statisticamente significative.
Riguardo agli indici climatici rappresentativi delle condizioni di siccità**, il 2024 ha fatto registrare i valori più alti di giorni asciutti su Puglia, su gran parte delle aree costiere, e sulle Isole,** dove si registrano localmente i valori più elevati, con picchi oltre i 320 giorni asciutti. I valori più bassi (fino a circa 220 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi e sulla dorsale appenninica settentrionale.
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 su gran parte della Sicilia e della Sardegna** (fino a 146 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 101 in Sardegna), seguita dalla costa centro-settentrionale del Lazio (fino a 100 giorni), dalla costa ionica (fino a 88 giorni), e dalla Puglia meridionale. La durata minima registrata dei periodi di siccità in termini dell'indice CDD è di 15-17 giorni e si riscontra in Valle d'Aosta e Piemonte orientale.
Considerando, invece, lo SPI-*Standardized Precipitation Index* e lo SPEI-*Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index* su una scala temporale breve a 3 mesi, appare evidente, specie con lo SPEI, la **distinzione tra il Sud Italia e le Isole Maggiori afflitte da siccità e un Nord Italia interessato da un surplus di precipitazione**, con alcune eccezioni come nel caso di agosto. Tale distinzione appare ancora più evidente alla scala di aggregazione temporale a 12 mesi, con una maggiore percentuale di aree affette da siccità estrema attraverso la valutazione realizzata con l'indice SPEI, rispetto a quella effettuata con lo SPI. Su scala annuale, i mesi di giugno, luglio e agosto sono quelli in cui si è osservato, in termini di SPEI, una estensione maggiore, dell'ordine del 32-33%, delle aree in siccità estrema. Negli stessi mesi, sempre basandosi sull'indice SPEI, la percentuale di territorio nazionale colpito da siccità da severa a moderata ($-2 < SPEI \leq -1$) è stato dell'ordine del 22-24%. Mediamente, quasi il 50% dell'Italia (prevalentemente Sud Italia e Isole Maggiori) è stato colpito da siccità, da estrema a moderata, su scala annuale per effetto combinato della riduzione di precipitazione e dell'aumento della quota di evapotraspirazione.

GUIDA ALLA LETTURA

Il rapporto è strutturato in due parti: la Parte I – "Gli indicatori del clima in Italia", dedicata all'analisi del clima a scala nazionale, anche nel contesto climatico globale ed europeo, e la Parte II – "Focus", che fornisce approfondimenti a scala nazionale, regionale e locale.
La Parte I è articolata in 6 capitoli. Dopo l'introduzione riportata nel capitolo 1, il capitolo 2 descrive gli aspetti salienti del clima nel 2024, 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; 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 meteo-climatica (temperatura dell'aria, temperatura del mare, precipitazione e umidità). La prima parte di ogni capitolo illustra sinteticamente gli indicatori relativi all'anno 2024, 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 2024, gli indicatori attraverso i quali è possibile stimare la variabilità e le tendenze del clima nel lungo periodo.
La Parte II 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 più critici che hanno caratterizzato il 2024.
Per questa edizione del Rapporto sono stati individuati i seguenti focus:
1) Siccità e severità idrica;
2) Anomalie di temperatura e onde di calore;
3) 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 Provincie Autonome. Mediante l'elaborazione delle serie temporali di dati misurati da diverse reti di osservazione, il sistema SCIA rende disponibili i valori giornalieri, decadali, mensili e annuali nonché i valori climatologici normali di diverse variabili meteoclimatiche.
Indici e indicatori climatici sono calcolati, aggiornati annualmente e sottoposti a controlli di validità con metodologie omogenee e condivise con gli organismi titolari dei dati. Le informazioni prodotte da SCIA sono accessibili attraverso un sito web dedicato (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).
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, mediante il metodo di interpolazione *Natural Neighbor*, dal modello BIGBANG-Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare, sviluppato dall'ISPRA (Braca et al., 2024, 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 2024 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.
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 2024

2.1 Il clima nel 2024 a larga scala

Il clima a livello globale

A livello globale, il 2024 è stato l'anno più caldo della serie, sia considerando le sole temperature medie della superficie degli oceani sia quelle globali (oceani e terre emerse). In particolare, la stima ottenuta dal *fifth generation ECMWF reanalysis dataset* (ERA5) disponibile nel *Copernicus Climate Change Service* (C3S)[1] indica che **la temperatura media globale ha superato di 0.12 °C il precedente record del 2023 e ha segnato un'anomalia di +1.60 °C rispetto alla media del periodo pre-industriale 1850-1900**. Il WMO indica per tale anomalia un valore consolidato di +1.55 ± 0.13 °C ottenuto a partire dai 6 dataset globali più accreditati, con differenze fra le anomalie dovute principalmente alle diverse stime del valore climatico pre-industriale.

Per i primi sei mesi dell'anno e ad agosto, l'indice di temperatura globale ha segnato nuovi record massimi e nei rimanenti mesi ha sempre assunto il secondo valore più alto della serie, dopo il 2023; in 11 mesi e nel 75% dei giorni dell'anno, l'indice termico globale ha superato il corrispondente valore climatico del periodo preindustriale di più di 1.5 °C, soglia indicata dall'Accordo di Parigi come primo limite da non superare al fine di contenere gli impatti dei cambiamenti climatici. Sebbene per confermare il superamento della soglia di +1.5°C sia necessario valutare la temperatura media globale di alcune decine di anni, quanto avvenuto rappresenta un precedente significativo e permette di verificare gli impatti del superamento di questa soglia per un consistente numero di mesi consecutivi.

Rispetto al clima più recente, 1991-2020, le anomalie termiche mensili globali si sono mantenute tutto l''anno tra +0.65 e +0.81 °C. Il 22 luglio è stato raggiunto un nuovo record di temperatura media globale giornaliera, pari a 17.16 °C. La serie delle anomalie della temperatura media globale sulla terraferma, rispetto al periodo 1991-2020, è mostrata nella Figura 2.1, secondo le stime fornite dalla NOAA-*National Oceanic and Atmospheric Administration* (USA), consistenti con quelle degli altri dataset globali[2].

Le stime ERA5 indicano inoltre che, nel corso della prima metà dell'anno, **le anomalie di temperatura superficiale dei mari** al di fuori delle aree polari **sono risultate quasi ovunque positive e molto intense**. Il grafico in Figura 2.2, pubblicato nell'*European State of the Climate* (ESOTC) 2024 del C3S[3], presenta i valori medi delle temperature superficiali dei mari tra 60°S e 60°N per l'anno 2024 a confronto con i valori degli anni dal 1979 al 2023: il grafico mette in evidenza come nella prima metà dell''anno questo indice abbia assunto valori estremamente elevati che, mese dopo mese, sono risultati sempre nettamente superiori a qualsiasi altro valore stimato per questo indice dal 1979. Nella seconda

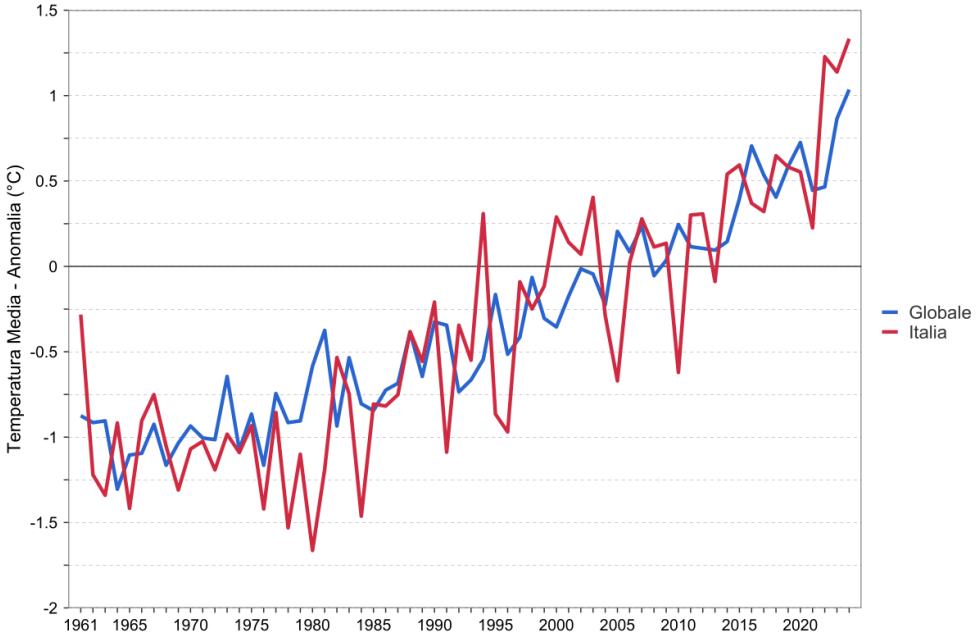
[1] Il C3S-*Copernicus Climate Change Service* è uno dei 6 servizi tematici operativi del *Copernicus Earth Observation Programme* dell'Unione Europea: https://www.copernicus.eu/.

[2] *C3S Global Climate Highlights 2024:* https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024.

[3] ESOTC 2024: https://climate.copernicus.eu/esotc/2024.

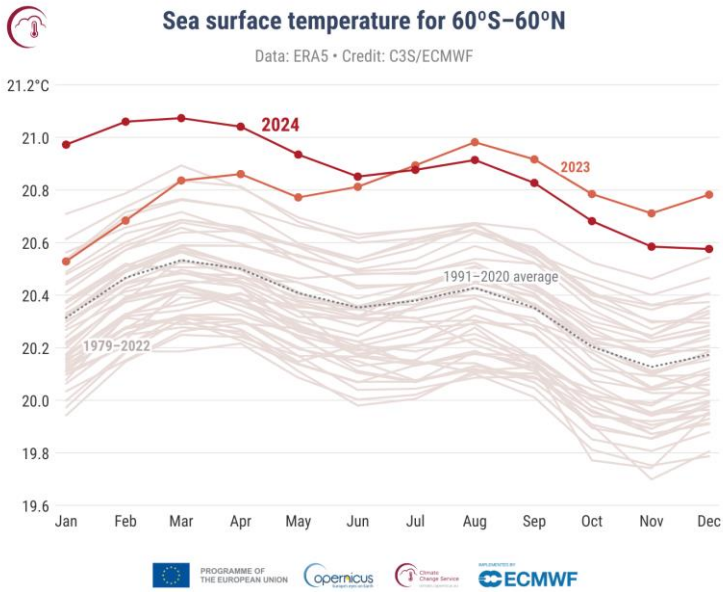
metà dell'anno, invece, l'indice ha assunto valori lievemente più bassi, comunque i secondi più alti dopo quelli del 2023.
Va infine ricordato che, nel corso dell'anno, sono stati osservati valori record massimi di temperatura superficiale nell'Oceano Atlantico settentrionale, nel Pacifico occidentale e nell'Oceano Indiano.
Queste osservazioni indicano che negli ultimi due anni si è verificato un brusco incremento delle temperature globali verso valori significativamente più alti di quelli precedentemente osservati; questa impennata, iniziata nei mesi centrali del 2023, ha raggiunto l'apice nei primi mesi del 2024 per poi progressivamente rientrare lievemente nel corso dell'anno.
Sono in corso vari studi per individuare le cause che hanno determinato questo andamento termico globale. Il passaggio dell'ENSO-*El Niño-Southern Oscillation* dalla fase positiva, presente nella seconda metà del 2023 e nei primi mesi del 2024, a una fase neutra o negativa nella seconda parte del 2024 potrebbe spiegare in parte sia l'aumento termico iniziato nella seconda metà del 2023 (avvio della fase positiva) sia il lieve calo a partire dalla seconda metà del 2024 (fase negativa); il contributo dell'ENSO non è però sufficiente a giustificare l'ampiezza delle anomalie osservate. Altre possibili concause potrebbero essere: il contributo delle oscillazioni multi-decennali dell'Oceano Atlantico e Pacifico, entrambe in una fase associata ad anomalie positive, il verificarsi di un massimo nel ciclo di attività solare e l'eruzione vulcanica esplosiva dell'Hunga Tonga–Hunga Ha'apai (Jenkins et al., 2023), che dal 2022 ha temporaneamente contribuito ad aumentare le concentrazioni di vapor d'acqua presenti nella bassa stratosfera tropicale, causando un momentaneo ma intenso aumento dell'effetto serra. Infine, un altro possibile effetto a catena riguarda l'aumento delle temperature superficiali del mare che favorisce la cessione di calore verso l'atmosfera attraverso un maggiore rilascio di vapore acqueo. Se a questo si somma l'aumentata capacità dell'aria di sostenere vapore acqueo soprattutto nella sua parte più bassa a seguito dell'innalzamento della temperatura, è possibile che si inneschi un processo, per altro osservato nel 2024, che conduce a un aumento nella quantità totale di vapor acqueo contenuta nell'atmosfera; il vapor acqueo è un potente gas serra, per cui questa situazione può aver momentaneamente amplificato il riscaldamento dell'atmosfera. A queste cause legate alla variabilità naturale o a feedback positivi della variabilità osservata, si aggiunge un progressivo calo delle polveri atmosferiche nelle aree tropicali oceaniche, collegato a una generale diminuzione dell'inquinamento dovuto al traffico navale, grazie all'entrata in vigore di una nuova normativa internazionale in merito. Il calo degli aerosol atmosferici potrebbe aver aumentato l'irraggiamento diretto della superficie degli oceani, contribuendo all'aumento delle temperature superficiali.

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 mensili globali del mare, mediate tra 60 °S e 60 °N. Sono evidenziati il valore del 2024 e del 2023 con linee spesse colorate e riportati i valori degli altri anni dal 1979 al 2022 con linee sottili.



Fonte: C3S ESOTC 2024, 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 2024.

Per quanto riguarda le **temperature superficiali dei mari, il 2024 è iniziato in presenza di una intensa anomalia positiva delle temperature del Pacifico tropicale** di tipo **El Niño**, già presente nel 2023 con apice a dicembre, quando il valore dell'indice di Nino 3.4 è stato pari a 2.0 °C, che si è poi ridotta lentamente per lasciare spazio nell'estate a una fase neutra, diventata lievemente negativa negli ultimi mesi del 2024. Negli ultimi anni si è osservato un alternarsi ravvicinato di fasi opposte di questo indice, che normalmente ha periodi di alternanza di alcuni anni. Diversi studi di letteratura suggeriscono che l'aumentata frequenza nell'alternanza delle due opposte fasi sia favorita dall'interazione fra i diversi bacini oceanici e in particolare che l'interazione fra l'Atlantico e il Pacifico sia amplificata da temperature particolarmente alte nell'Atlantico tropicale, come osservato, appunto, nel periodo da giugno 2023 a fine 2024 (Cai et al., 2019).

La presenza di un'anomalia termica positiva superficiale delle aree marine tropicali riduce inoltre 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 associati ad anomalie termiche globali più intense rispetto agli altri anni. Questo può sicuramente aver contribuito a rendere le anomalie di temperatura superficiale del mare osservate nei primi mesi del 2024 superiori a quelle corrispondenti del 2023, quando ENSO era in fase negativa o neutra.

Queste elevate anomalie termiche della superficie del mare sono state spesso associate a intense ondate di calore del mare e, nelle aree tropicali, hanno causato in aprile 2024 un diffuso fenomeno di sbiancamento dei coralli ("*coral bleaching*") come documentato dalla NOAA[4].

Analoghe anomalie sono state osservate anche nel Mar Mediterraneo, nel Mar Nero e nel Mar di Norvegia, dove le temperature superficiali hanno raggiunto nuovi record massimi e hanno causato ondate di calore marine almeno di categoria II ("forte")[5] Questi eventi hanno sempre 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 entrambi i mari polari. In connessione a queste anomalie sono stati osservati valori particolarmente bassi di estensione delle calotte polari, che hanno raggiunto in alcuni mesi valori record minimi. In particolare, l'estensione minima della calotta polare artica, raggiunta a settembre, è stata la settima più bassa dal 1980, anno di inizio del monitoraggio satellitare, mentre l'estensione minima della calotta antartica, raggiunta a febbraio, è stata la seconda più bassa insieme a quella del 2022.

Guardando invece alle **terre emerse**, **il 2024 è stato l'anno più caldo in Europa, Africa, Nord America, Sud America** (a pari merito con il 2023) **e in Oceania, mentre è stato il secondo più caldo in Asia e in Australia**. Le anomalie hanno superato in ampie aree il valore di 2.0 °C e nelle aree

[4] https://www.noaa.gov/news-release/noaa-confirms-4th-global-coral-bleaching-event.

[5] https://coralreefwatch.noaa.gov/product/marine_heatwave/.

orientali del Canada sono state superiori a 3.0 °C.
In **Europa, la temperatura media del 2024** è stata pari a 10.69 °C, **di +1.47 °C oltre la media 1991-2020** e di 0.28 °C superiore al secondo valore più alto, registrato nel 2020. La primavera e l'estate sono state le più calde mai osservate, mentre l'inverno (dicembre 2023-febbraio 2024) è stato il secondo più caldo dopo quello del 2019-2020 e l'autunno il terzo più caldo. Le aree più calde sono state quelle orientali, mentre in Islanda sono state osservate temperature inferiori ai valori climatici 1991-2020, così come in tutta l'area del nord Atlantico settentrionale, dove nella seconda metà dell'anno sono state osservate persistenti anomalie termiche superficiali negative.
Le alte temperature hanno accelerato la **fusione dei ghiacciai**: i ghiacciai della **Scandinavia** e delle **Svalbard** hanno perso la più alta quantità di ghiaccio mai osservata in quest'area, corrispondente anche alla perdita di volume più grande a livello globale per il 2024.
La combinazione della fusione dei ghiacci continentali e delle anomalie termiche positive nei mari ha fatto sì che nel 2024 sia stato osservato un **aumento del livello del mare medio globale** pari a circa +0.59 cm in un anno, **maggiore rispetto al dato medio sugli ultimi anni** di 0.43 cm/anno, come osservato dalla Nasa[6]. Normalmente, l'aumento del livello del mare è dovuto per circa un terzo all'espansione termica legata all'aumento della temperatura del mare e per due terzi alla fusione dei ghiacci continentali. Nel 2024, invece, il rapporto tra i due contributi si è invertito.
Per quanto riguarda le **precipitazioni**, le anomalie a livello globale sono stimate da NOAA a partire dal dataset GPCP [7]. Le **anomalie pluviometriche negative più estese** sono state osservate in **America del Sud**, in particolare in Brasile, Bolivia e Perù, dove sono stati osservati i valori record minimi di precipitazione annua dal 1979, anno di inizio del dataset. Anomalie pluviometriche nettamente negative sono state osservate anche nell'**Africa meridionale e sud-occidentale**, con valori prossimi ai record minimi in Zimbabwe, Zambia, Camerun, Repubblica del Congo e Gabon. In **Europa**, **precipitazioni significativamente inferiori alle attese sono state rilevate nell'Ucraina orientale e nella vicina Russia**.
Le condizioni di stress idrico, in combinazione con le elevate temperature, hanno creato condizioni molto favorevoli alla diffusione degli **incendi boschivi**, che nel corso dell'anno hanno colpito con insistenza il territorio americano; le aree più colpite sono state il **Canada**, soprattutto nei mesi di luglio e agosto, un'area che già nel 2023 aveva visto incendi persistenti di eccezionali dimensioni, e il **Brasile meridionale**, la **Bolivia**, nei mesi da agosto a ottobre, ma anche il **Venezuela** che, insieme a Canada e Bolivia, ha registrato il secondo valore più alto di emissioni legate agli incendi, dopo il 2023.
In contrapposizione, condizioni di **estrema abbondanza di precipitazione** sono state osservate in Africa, nel **Sahel**, e in Asia in **Kazakistan**, nella **Russia centrale**, in **Mongolia** e nella **Cina sud-orientale**. Spesso le precipitazioni sono state associate al verificarsi di eventi meteorologici estremi che hanno causato alluvioni, con vittime e gravi danni al territorio.
Inondazioni improvvise hanno colpito a gennaio la **California**, ad aprile il **Golfo Persico** e a ottobre

[6] https://www.nasa.gov/missions/jason-cs-sentinel-6/sentinel-6-michael-freilich/nasa-analysis-shows-unexpected-amount-of-sea-level-rise-in-2024/.
[7] https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-gpcp-monthly.

la **Penisola iberica**. Il passaggio di "fiumi atmosferici" di larga scala ha causato **precipitazioni eccezionali e persistenti** a febbraio in **California**. Anche i **monsoni** in **Australia** e **Asia meridionale** hanno assunto particolare intensità, probabilmente anche a causa delle elevate temperature del mare. Se a livello globale il numero di **cicloni tropicali** è stato leggermente inferiore alla norma, l'intensità delle anomalie di temperatura superficiale dell'Oceano Atlantico tropicale ha favorito in questa regione lo sviluppo di un numero totale di cicloni tropicali superiore alla norma, tra cui 11 uragani. Alcuni cicloni hanno raggiunto intensità eccezionali e causato ingenti danni nelle aree continentali colpite. Tra questi, l'**uragano Helene** ha causato 219 decessi, il maggior numero sia per l'area atlantica sia per gli Stati Uniti; l'**uragano Beryl** è stato il primo uragano di categoria 4 a svilupparsi sull'Atlantico nel mese di giugno per poi evolvere in categoria 5 (normalmente questi uragani si sviluppano più tardi nella stagione); infine il **tifone Yagi**, uno dei più intensi a colpire la costa vietnamita settentrionale e quella cinese meridionale, a inizio settembre ha causato estesi danni e centinaia di vittime.
L'Europa è stata colpita da **numerosissimi eventi meteorologici avversi**, tra cui tempeste convettive e tempeste extra-tropicali. In particolare, il 2024 è stato l'anno con numero maggiore di tempeste dal 2015, circa 50 (considerando quelle che hanno i venti sostenuti maggiori di una certa soglia e a cui viene assegnato un nome). Tra queste, **Boris**, a settembre, ha portato eccezionali precipitazioni e gravi inondazioni in Europa centrale; il **sistema convettivo autorigenerante** a ottobre ha colpito **Valencia** con intensità massime di pioggia di 185 millimetri caduti in una sola ora e 617 mm in 5 ore, causando danni ingenti al territorio e circa 200 decessi.
Nella Penisola scandinava la compresenza di anomalie termiche negative e precipitazioni superiori alla norma ha portato all'aumento del 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, che in alcuni casi è stato così esiguo da corrispondere a condizioni di assenza del manto nevoso per buona parte dell'inverno.
Per quanto riguarda gli **incendi boschivi**, la regione Euro-Mediterranea ha fatto registrare un anno nella media; unica eccezione sono stati gli estesi incendi che a settembre hanno interessato il Portogallo settentrionale, causando diverse vittime e un picco di emissione di carbonio di intensità record in questo stato per il mese di settembre, dall'inizio della serie (2003).
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 la mappa dell'anomalia media annuale di altezza di geopotenziale a 500 hPa (Z500, Figura 2.4) per l'area Euro-Atlantica. A livello mensile, questa grandezza è strettamente legata, da un lato alle anomalie di circolazione generale, dal momento che i flussi medi mensili atmosferici all'interno della troposfera sono generalmente orientati in direzione tangente alle isolinee del geopotenziale, e dall'altro 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 in questo indice sono possibili in presenza di anomalie di circolazione di larga scala particolarmente persistenti, strettamente connesse 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 2024, rispetto al

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 in gran parte dell'area Euro-Mediterranea. I valori nella mappa sono infatti positivi in tutta la fascia dell'Europa centro-meridionale e sul Mediterraneo, con un'anomalia positiva particolarmente intensa nell'Europa centro-orientale. Anomalie prossime allo zero o negative sono state invece registrate nell'Atlantico settentrionale, in particolare sulle Isole britanniche e sull'Islanda.

Il clima in Italia

In Italia, **il 2024** è risultato **l'anno più caldo dall'inizio delle osservazioni** (Figura 2.1), raggiungendo un'anomalia media rispetto al trentennio 1991-2020 di +1.33 °C, un decimo di grado in più rispetto al 2022, il precedente anno più caldo. L'anno è risultato nettamente il più caldo dal 1961 per le temperature minime, con un'anomalia di +1.40 °C rispetto al clima e un valore di 0.20 °C superiore al 2023, 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 positive di geopotenziale a 500 hPa su gran parte del Mediterraneo e dell'Europa centro-orientale, che hanno favorito l'avvezione di masse d'aria particolarmente calda e umida provenienti dall'Atlantico. Inoltre, la presenza di valori di umidità più alti del solito, favoriti dalle anomalie termiche dei mari Mediterraneo e Atlantico, può aver contribuito ad aumentare temporaneamente l'effetto serra, rinforzando le anomalie termiche notturne.

L'anomalia annuale è legata al persistere di anomalie termiche positive e intense per tutto l'anno, al record termico osservato per la stagione invernale, quando le temperature medie nazionali hanno superato di 2.20 °C i valori climatici, e ai valori termici particolarmente alti dei mesi di luglio e agosto. Le forti anomalie dei primi sei mesi dell'anno sono anche legate ai valori record delle temperature dei mari tra 60°S e 60°N e della temperatura media globale.

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 spaziale: **le piogge si sono concentrate prevalentemente al Nord,** dove hanno raggiunto il secondo valore annuo più alto dopo il 2014, superando del 38% i valori climatici 1991-2020, **ma sono risultate particolarmente scarse al centro e a sud**, con deficit tra il 15 e il 20% delle attese.

Queste anomalie pluviometriche hanno portato durante l'anno **un peggioramento progressivo nello stato di severità idrica nelle regioni centro-meridionali e nelle isole maggiori**. In particolare, l'Appennino centrale e meridionale sono passati da uno stato di severità idrica bassa nella prima metà dell'anno a una severità idrica media. La Sicilia, che a inizio gennaio presentava condizioni di severità idrica media, è passata, già a metà febbraio, a condizioni di severità idrica alta, rimaste invariate per tutto l'anno (vedi focus).

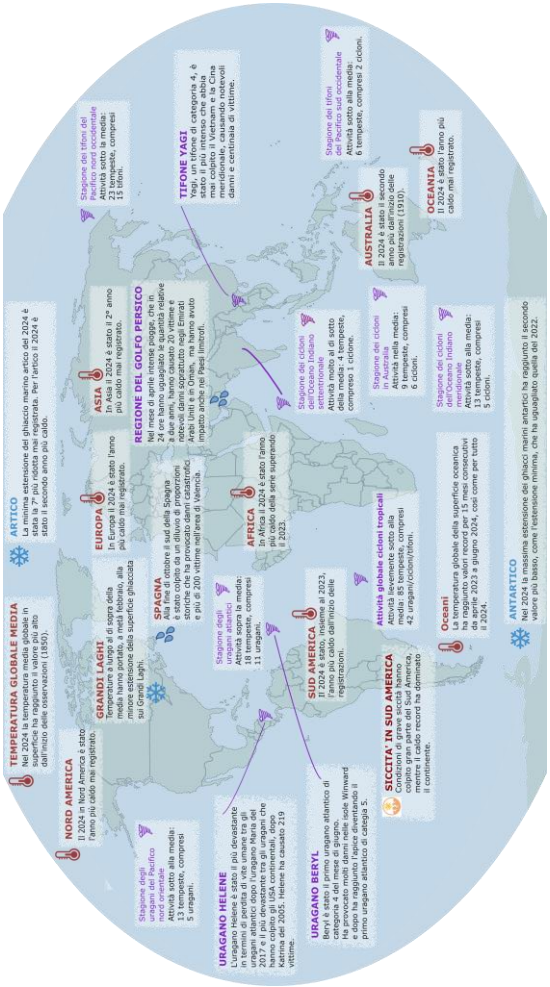
Al Nord invece, nonostante a inizio anno nella parte orientale fossero presenti condizioni lievemente meno piovose della norma, nel corso dell'anno le condizioni delle risorse si sono normalizzate, raggiungendo negli ultimi mesi valori localmente anche di grande abbondanza di risorse.

Nonostante le alte temperature, nel 2024 il numero degli incendi boschivi in Italia è stato inferiore di circa il 30% rispetto al 2023 (383 incendi) ma superiore alla media annua del periodo 2006-2023; la

superficie bruciata (40122 ettari), corrisponde a circa la metà di quella del 2023 ed è in linea con la media 2006-2023, come riportato dall'EFFIS-*European Forest Fire Information System* [8] del *Copernicus Emergency Management Service* (CEMS)[9]. Condizioni particolarmente sfavorevoli sono state però osservate nelle regioni dell'Italia meridionale e nelle isole maggiori (vedi focus).
Infine, 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 +1.24 °C, **la più alta dal 1982** e quasi 0.3 °C superiore al precedente record del 2022. Queste condizioni hanno sicuramente favorito il record massimo di livello del mare medio osservato nell'Alto Adriatico (vedi focus).

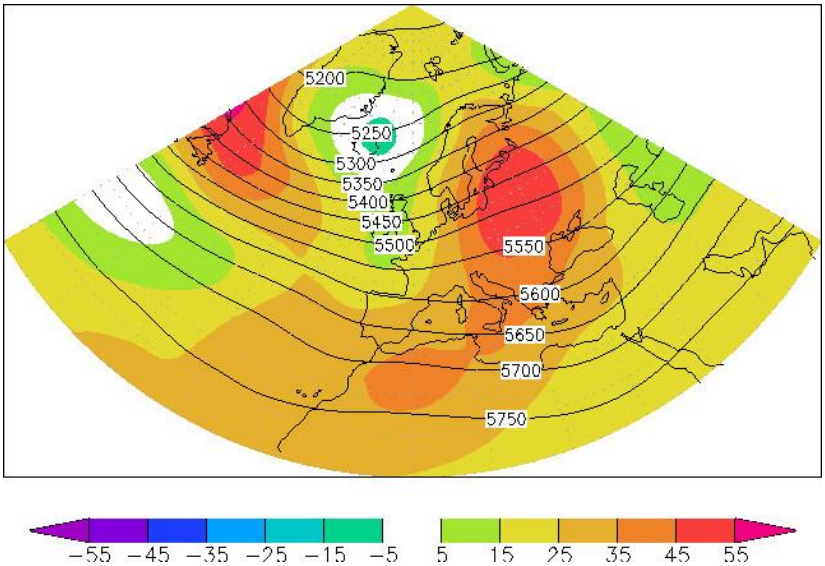
[8] https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/effis.statistics/seasonaltrend
[9] Il CEMS-*Copernicus Emergency Management Service* è uno dei 6 servizi tematici operativi del Copernicus Earth Observation Programme dell'Unione Europea: https://emergency.copernicus.eu.

Figura 2.3: Sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2024.



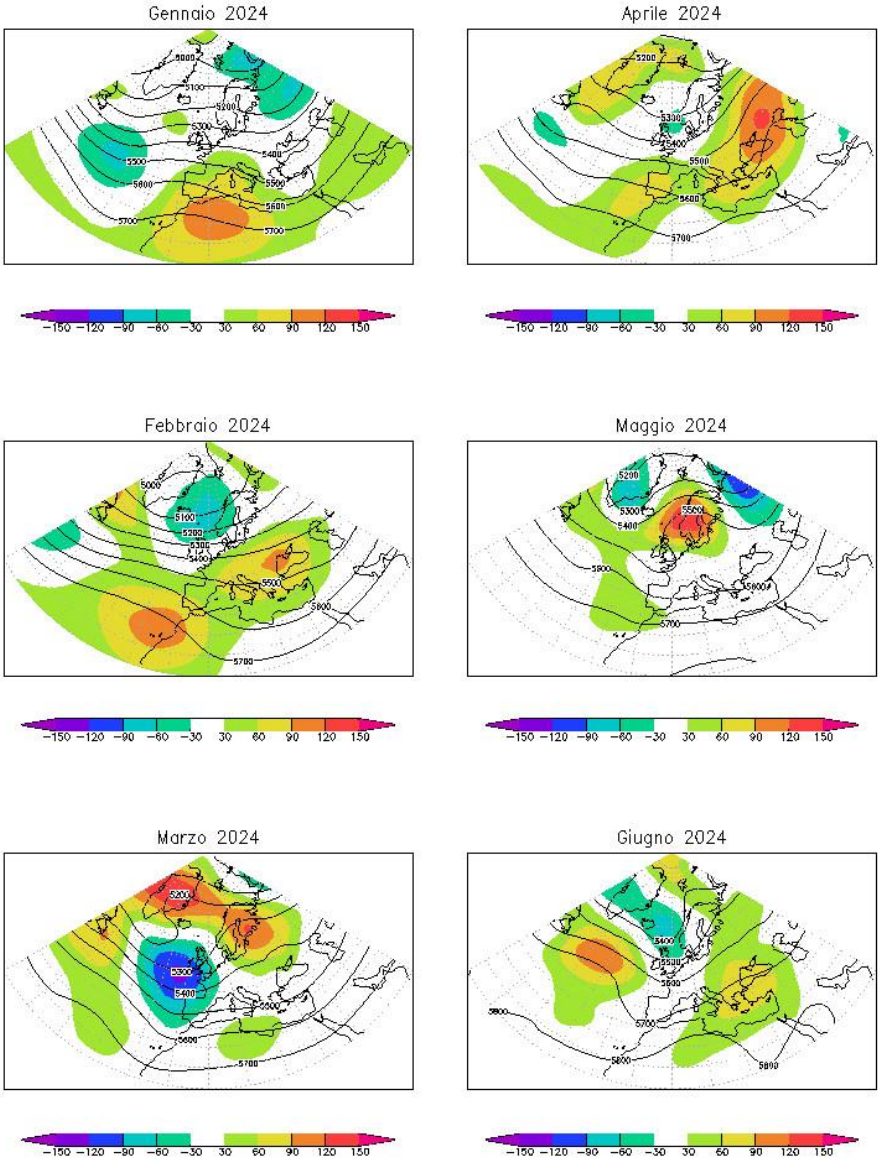
Fonte: NOAA. Elaborazione: ISPRA.

Figura 2.4: Mappa del geopotenziale medio annuale 2024 a 500 hPa, in mgp. L'intervallo tra le isolinee è 50 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2024 rispetto al valore normale 1991-2020.



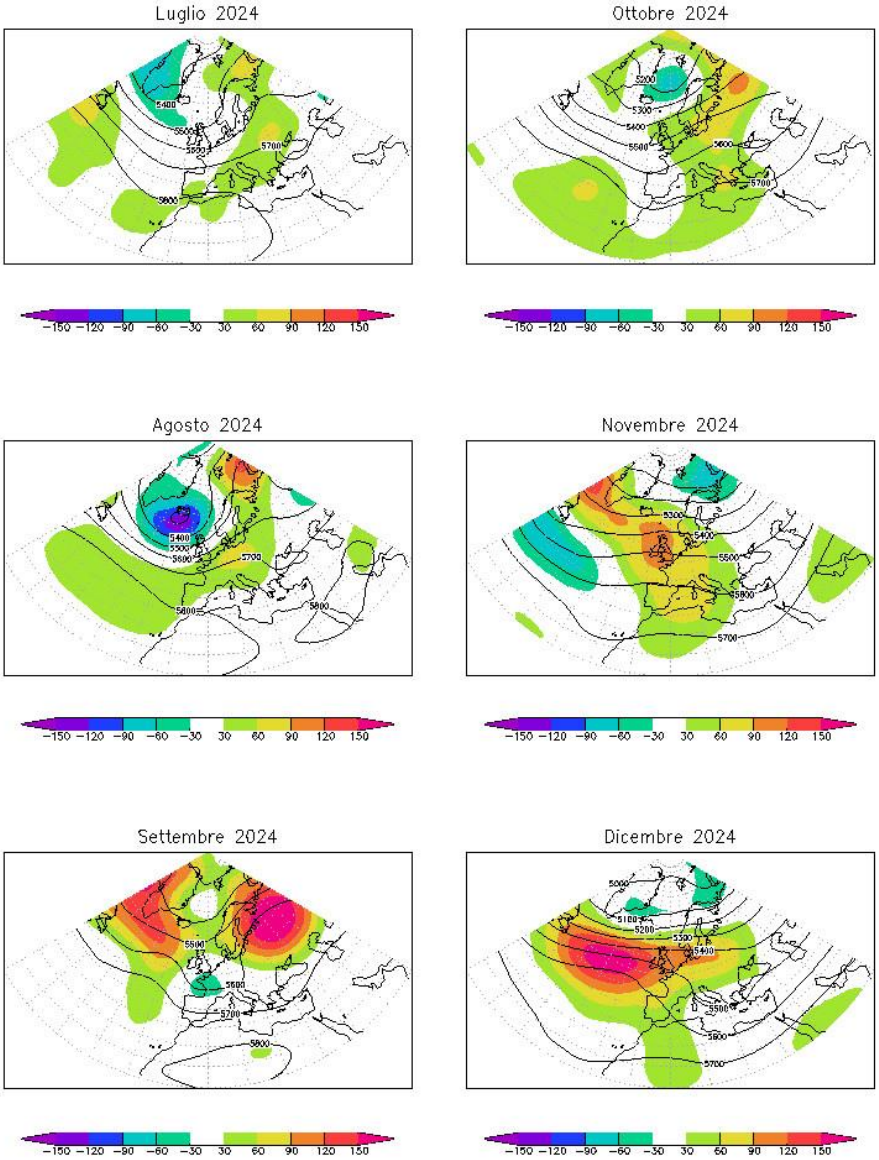
Fonte: C3S, dataset ERA5.

Figura 2.5a: Mappe del geopotenziale medio mensile (da gennaio a giugno 2024) a 500 hPa, in mgp. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2024 rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: C3S, dataset ERA5.

Figura 2.5b: Mappe del geopotenziale medio mensile (da luglio a dicembre 2024) a 500 hPa, in mgp. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2024 rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: C3S, dataset ERA5.

2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia

2.2.1 Inverno

La Figura 2.5 presenta le anomalie mensili di geopotenziale a 500 hPa (Z500) rispetto al trentennio 1991-2020, ottenute a partire dal dataset di rianalisi ERA5 (C3S). Come visto precedentemente, questo parametro, nella troposfera extra-tropicale, può essere considerato un buon indicatore delle anomalie di flusso atmosferico di larga scala e delle anomalie di temperatura media.

Come si può notare dalla Figura 2.5a, a **gennaio** il flusso medio mensile nell'area Euro-Mediterranea è stato caratterizzato da un promontorio di Z500 centrato sull'Africa nord-occidentale esteso al Mediterraneo, all'Europa occidentale e alle regioni italiane. Queste condizioni hanno favorito in tutte le regioni italiane intense anomalie positive di temperatura superficiale e anomalie di precipitazione confrontabili con i valori climatici del mese, leggermente superiori nelle regioni settentrionali rispetto alle altre regioni, favorite dal passaggio di alcuni sistemi depressionari, soprattutto nella prima parte del mese.

Il 10 gennaio, il versante orientale dell'Etna, in Sicilia, è stato investito da abbondanti precipitazioni che, amplificate da effetti orografici, hanno raggiunto accumuli totale di 232.6 mm in 24 ore presso la stazione di Giarre (ME, 95 m s.l.m.), causando allagamenti e l'evacuazione di diverse famiglie.

La neve, già presente nell'area alpina sulle cime e in alta quota con uno spessore nella norma, grazie alle nevicate degli ultimi mesi del 2023, è caduta ancora nelle prime settimane di gennaio imbiancando soprattutto i rilievi alpini. I minimi termici stagionali sono stati raggiunti in corrispondenza di flussi nord-orientali tra il 19 e il 21 gennaio, quando la neve ha imbiancato anche le colline a sud di Bologna e l'Appennino marchigiano.

L'ultima decade di gennaio è stata caratterizzata da una progressiva rimonta di alta pressione che, a partire dal 24, si è intensificata, portando sulle regioni italiane venti caldi e umidi da sud, che hanno favorito l'innalzamento delle temperature in quota e nei versanti tirrenici, e il ristagno di aria fredda nelle valli, che ha causato la formazione di inversioni termiche e nebbia in Pianura Padana. Tra il 24 e il 27 gennaio, in corrispondenza di vari intensi eventi di föhn alpino, sono stati segnati nuovi record locali di temperatura massima invernale; in alta quota, sull'arco alpino e appenninico, si sono verificate fusioni estese e croste da rigelo, che hanno destabilizzato i versanti causando fenomeni valanghivi (Figura 2.6).

Queste condizioni si sono protratte per la maggior parte del mese di **febbraio**, durante il quale le regioni italiane si sono trovate in corrispondenza di un estesa area di anomalia positiva di geopotenziale, con massimi sull'Atlantico a est delle coste occidentali dell'Africa e nell'area del Mar Nero. Il mese è stato caratterizzato da intense anomalie termiche positive, con un valore medio oltre i 3 °C al centro-nord e intorno a 2.5 °C al sud, nonché diffusi record termici mensili in molte regioni; le altezze dello zero termico misurate dai radiosondaggi nelle regioni settentrionali sono state superiori ai 3000 m di quota. In diverse aree dell'Italia il mese di febbraio 2024 è stato il più caldo dall'inizio delle rispettive misurazioni. In Piemonte è stato il più caldo dal 1958, soprattutto a causa delle alte temperature minime. In Veneto, è stato il più caldo dal 1992, anno di inizio funzionamento della rete automatica; nel corso del mese sono stati segnati numerosi record termici. Tra il 10 e l'11, moltissime stazioni hanno

registrato nuovi record di temperatura minima; tra il 18 e il 19, sono stati rilevati record massimi di temperatura media in 33 stazioni; tra il 29 del mese e l'1 marzo sono stati segnati nuovi record di temperatura minima in ben 71 stazioni di pianura e collina. Anche a Trento, presso la stazione di Trento Laste, dove le temperature minime si sono mantenute costantemente sopra quelle attese, febbraio 2024 è stato il più caldo dal 1921 e in provincia di Bolzano è risultato il più caldo dall'inizio delle misurazioni in molte stazioni di monitoraggio. In Friuli Venezia Giulia, è stato il più caldo nelle aree di pianura. In Emilia-Romagna nonostante le frequenti inversioni termiche, il mese è risultato il più caldo dal 1961 e nel corso della prima decade per vari giorni l'indice termico regionale ha segnato nuovi record massimi. Febbraio è stato il più caldo dal 1961 anche nelle Marche; anomalie termiche particolarmente intense sono state registrate anche in Calabria, dove l'indice regionale ha superato di 2.48 °C i valori climatici 1991-2020, e in Sardegna, dove sono state osservate anomalie termiche ovunque superiori a 2.5 °C.

Le precipitazioni di febbraio sono state abbondanti nelle regioni settentrionali, e nella media nelle regioni centro-meridionali e sulle isole maggiori.

Nelle regioni settentrionali i fenomeni di precipitazione sono stati concentrati in due periodi. Tra il 9 e il 10 febbraio, sono state osservate precipitazioni abbondanti e neve in alta quota principalmente nelle aree nord-occidentali. In questi giorni in Piemonte le intensità di precipitazione hanno raggiunto valori localmente eccezionali e sono stati registrati nuovi record locali per la stagione invernale per le cumulate sulle 24 ore, con valore massimo a Fraconalto (AL, 725 m s.l.m.) pari a 139.3 mm. Anche in Liguria sono state osservate precipitazioni diffuse e rovesci per lo più moderati ma persistenti a ridosso dei rilievi di Centro-Ponente; le precipitazioni sono state amplificate sia per l'effetto di sbarramento orografico, sia per una convergenza nei bassi livelli con un debole flusso settentrionale, una configurazione più tipicamente autunnale che invernale.

Negli stessi giorni, si sono abbattuti sulla Sicilia venti di burrasca, con la città di Palermo tra i centri abitati più colpiti; nel corso dell'evento sono stati osservati venti con velocità massima di raffica di 168 km/h sul Monte D'Indisi in Comune di Prizzi (PA, 1124 m s.l.m.).

Nell'ultima decade del mese, un secondo impulso ha portato precipitazioni su gran parte del Centro-nord Italia e neve su tutti i rilievi, abbondante su quelli alpini. In questa occasione, il 23 febbraio, in Piemonte, è stato registrato il record di intensità di precipitazione cumulata su 1 ora e 3 ore.

Tra il 26 e il 28 febbraio un nuovo impulso atlantico instabile si è diretto verso l'Italia. Si è sviluppato un minimo sul Mar di Sardegna che ha richiamato aria umida in convergenza su Liguria e Toscana. In occasione di questo evento, in Veneto si sono verificate precipitazioni molto abbondanti sulle Prealpi, in particolare su quelle centro-occidentali e tra pedemontana vicentina e Colli Euganei/Colli Berici e sono stati registrati accumuli significativi di neve fresca sopra i 1400 m sulle Prealpi vicentine. I massimi di precipitazioni giornaliere sono stati raggiunti il giorno 27, con cumulate pari a 169.8 mm a Valpore (Seren del Grappa, BL, 1271 m s.l.m.) e 148.6 mm a Turcati (Recoaro Terme, VI, 714 m s.l.m.). I totali su 48 ore hanno raggiunto i valori record di 155 mm a Vicenza Sant'Agostino (VI, 29 m s.l.m.) e di 168 mm a Brendola (VI, 84 m s.l.m.) con tempi di ritorno rispettivamente di 50 e 30 anni. In diverse province le precipitazioni hanno causato allagamenti e frane, con interruzione della viabilità, della rete ferroviaria e isolamento di nuclei abitati.

In questi giorni, anche in Emilia-Romagna le precipitazioni cumulate su 48 ore hanno superato i 120 mm in ampie aree sui rilievi appenninici, con massimi di 182.2 mm a Monteacuto delle Alpi (BO, 900 m s.l.m.) e sono state accompagnate da raffiche di vento con valori fino a 32 m/s (115 km/h).
L'inverno (dicembre 2023-gennaio 2024) in Emilia-Romagna è stato il più caldo dal 1961, in Veneto è stato il secondo più caldo dal 1992, con un record minimo di giorni di gelo in montagna, e con un numero particolarmente alto di episodi di venti forti sia in termini di valori medi sia di raffiche.

2.2.2 Primavera

A **marzo** si è assistito all'alternarsi di flussi decisamente temperati di origine tropicale e flussi più instabili, in prevalenza dai quadranti meridionali. La mappa di anomalia mensile di Z500, in Figura 2.4a, mostra il segnale della saccatura a ovest delle coste europee, che ha favorito l'ingresso di onde depressionarie nell'area mediterranea. Le anomalie termiche sono risultate positive con un valore abbastanza uniforme in tutte le regioni, di poco inferiore a 1.5 °C; le precipitazioni sono state abbondanti sull'arco alpino e nelle regioni settentrionali (+ 172 % rispetto al clima di riferimento), poco superiori alla norma al centro e poco inferiori alla norma al sud.
In Veneto, le temperature minime mensili sono state le più alte dal 1992.
In Lombardia, in molte stazioni le precipitazioni complessive di febbraio e marzo sono state le più alte per questo bimestre, in particolare a Milano Brera (MI, 122 m s.l.m.), dove è stata osservata una cumulata di 420 mm, la più alta dal 1764.
Anche in Liguria, le precipitazioni tra il 9 febbraio e il 31 marzo hanno raggiunto cumulate eccezionali; in ampie aree sono state registrate precipitazioni totali superiori a 600 mm e valori locali fino a 864.4 mm a Urbe e 803.6 mm a Mele (GE, 270 m s.l.m.), pari a circa il doppio dei valori climatici. Gli eventi sono stati spesso accompagnati da venti intensi di Ostro/Scirocco che hanno causato locali mareggiate, con massima altezza d'onda spesso superiore a 4 m e picchi fino a 5.6 m il 23 febbraio e a seguire 5.2 m il 3 marzo presso la boa di Capo Mele.
Tra marzo e aprile la neve è tornata a imbiancare ripetutamente i rilievi alpini oltre i 1000 m di quota, anche in modo consistente (Figura 2.7), mentre gli apporti sui rilievi appenninici sono stati decisamente più contenuti.
Sulle Alpi, l'alternarsi di abbondanti nevicate associate a venti di forte intensità e periodi di caldo anomalo, durante i quali lo zero termico si è alzato anche sopra i 4000 m di quota, ha favorito la formazione di croste da fusione e rigelo e consistenti accumuli nevosi dovuti al vento, con conseguenti fenomeni valanghivi che, in alcuni casi, hanno raggiunto anche i fondivalle con gli accumuli più grandi mai osservati (Figura 2.8)
Aprile è stato caratterizzato da intensa variabilità su scala sinottica. La mappa di anomalia media mensile di Z500 mostra una lieve saccatura sulla Penisola italiana, che divide due aree caratterizzate da anomalie positive di cui una molto intensa, centrata a nord tra Mar Nero e Mar Caspio. In questo contesto, nella prima metà del mese si sono verificate vere e proprie ondate di calore, mentre nell'ultima decade le temperature si sono portate nettamente al di sotto della normale variabilità termica. Le anomalie mensili medie di temperatura sono risultate comunque positive, poco superiori ai valori climatici a nord, più intense e superiori a 1 °C al centro-sud, mentre le precipitazioni sono risultate

ovunque scarse, con anomalie negative più pronunciate e in media pari a -52% a sud e nelle isole maggiori.
L'intensa variabilità tra fine marzo e inizio aprile è stata associata ai forti venti da sud-ovest che hanno saltuariamente favorito un abbondante trasporto di sabbia del Sahara (Figura 2.9), che ha dato alla neve un caratteristico colore rosato, mantenuto fino alla fusione completa.
Le temperature del mare al largo di Trieste, in Friuli Venezia Giulia, hanno toccato il valore più alto per il mese di aprile dal 1934 e tra l'1 febbraio e il 10 aprile è stata osservata una lunga ondata di calore marina associata a valori record massimi delle temperature della superficie del mare.
Tra il 5 e il 9 aprile nelle regioni settentrionali si è verificata la prima ondata di calore dell'anno, durante la quale molte stazioni di monitoraggio in Veneto hanno segnato nuovi record massimi di temperatura. In questi giorni e poi nuovamente intorno a metà mese, in Sardegna, quasi 20 stazioni hanno misurato temperature superiori a 30 °C, con massimi locali sia a Nord che a Sud dell'isola, ad esempio 32.9 °C a Perfugas RF (SS, 116 m s.l.m.) e 31.0 °C a Carbonia C.ra Flumentepido (SU, 74 m s.l.m.).
Tra il 12 e 16 del mese, in varie regioni sono stati superati i massimi valori termici osservati fino a quel momento: in Emilia-Romagna la temperatura media regionale ha superato di alcuni gradi i valori massimi storici, e in Veneto sono stati superati i record termici mensili raggiunti la settimana precedente.
Le precoci ondate di calore hanno anticipato di alcune settimane la stagione vegetativa di molte colture, in particolare di frutteti e vigneti, in diverse aree del Veneto. Queste colture si sono trovate successivamente esposte alle gelate tardive, che hanno messo a rischio i fiori e i frutticini. Nella seconda parte del mese le temperature sono infatti calate rapidamente, raggiungendo tra il 21 e il 25 aprile, in Veneto ed Emilia-Romagna, valori confrontabili o addirittura inferiori ai minimi storici. Gli eventi sono stati accompagnati in Veneto da episodi di intensa instabilità, temporali e graupel con accumuli in pianura anche di qualche centimetro. I danni sono stati particolarmente gravi per alberi da frutto come meli, peri, ciliegi e albicocchi. In Emilia-Romagna le basse temperature hanno portato accumuli di neve fino a quote collinari, un evento piuttosto raro per questo periodo dell'anno.
Maggio è stato caratterizzato da frequenti condizioni instabili, causate da una configurazione che ha visto un'ampia alta pressione interessare il Nord Europa. La mappa di anomalia di Z500 evidenzia anche la presenza di un lieve promontorio atlantico a ovest delle coste europee, tra Nord Africa e Mediterraneo centro-orientale. Il flusso da nord-ovest associato a questa configurazione ha favorito la persistenza di un canale depressionario che ha interessato a più riprese il Nord Italia. Queste condizioni hanno portato i valori termici medi nazionali vicini alla norma di lungo periodo. Le precipitazioni totali sono state abbondanti, anche superiori al doppio delle attese, al nord, mentre sono state nella norma al centro, al sud e sulle isole maggiori.
In Veneto maggio 2024 è stato il più piovoso dal 1950, con gran parte delle precipitazioni concentrate nella seconda metà del mese, quando la regione è stata colpita da eventi di grande intensità pluviometrica con altissima frequenza.
A partire dal giorno 14, venti caldi e umidi sono stati richiamati nei bassi strati da una depressione di origine atlantica, mentre l'aria più fredda e secca portata sulle regioni settentrionali da nord-est nei giorni precedenti è stata spostata verso strati più alti. Questa configurazione molto instabile è rimasta

stazionaria per più giorni favorendo lo sviluppo di diversi eventi convettivi. Tra questi, il 15 maggio in Lombardia si sono verificati forti e persistenti rovesci, che hanno fatto registrare cumulate di grande intensità su vari intervalli temporali. La massima cumulata su 24 ore è stata rilevata presso la stazione di Lodi (LO, 61 m s.l.m.), pari a 176 mm in 24 ore, mentre nell'area di Milano sono state osservate cumulate mediamente tra 60 e 95 mm in 24 ore: 96 mm a Milano Lambrate (MI , 120 m s.l.m.) e 97 mm a Milano Brera (MI, 122 m s.l.m.); sulla fascia prealpina, in particolare sulla fascia centro-occidentale, sono stati rilevati valori tra 120 e 140 mm in 24 ore: 143.8 mm a Lesmo Peregallo (MB, 180 m s.l.m.), 143 mm a Osnago (LC, 234 m s.l.m.), 128 mm a Casatenovo (LC, 360 m s.l.m.). Per le cumulate osservate su intervalli superiori a 15 ore sono stati stimati tempi di ritorno superiori a 200 anni (vedi focus). Gli eventi hanno causato diffusi allagamenti.
Tra il 15 e il 18 maggio, forti temporali hanno colpito anche il Veneto, dove le precipitazioni diffuse, a carattere di rovesci e temporali, hanno presentato accumuli maggiori sulle Prealpi vicentine, con massimi totali di 232 mm a Monte Summano (VI, 597 m s.l.m.) e 259 mm a Brustolè (VI, 331 m s.l.m.). Per valori locali di precipitazione cumulata su 3, 6, 12 e 24 ore sono stati stimati tempi di ritorno di oltre 100 anni nelle stazioni di Asolo (101 mm in 3 ore, TV, 94 m s.l.m.), Colognola ai Colli (110 mm in 6 ore, VR, 34 m s.l.m.), Masi (141 mm in 12 ore, PD, 9 m s.l.m.), Montagnana (158 mm in 12 ore, PD, 12 m s.l.m.) e Monte Summano (208 mm in 24 ore, VI, 597 m s.l.m.). Le forti piogge hanno causato gravi disagi, con allagamenti diffusi, e criticità idrogeologica. Molti raccolti sono stati compromessi, diverse scuole sono state chiuse, su alcune linee ferroviarie è stata sospesa la circolazione e numerose aziende hanno subito danni significativi.
Negli stessi giorni, piogge e temporali hanno colpito anche il Friuli Venezia Giulia, dove il giorno 16 maggio sono caduti in media oltre 100 mm di pioggia su tutta la fascia occidentale della regione, con allagamenti importanti in pianura.
Tra il 14 e il 16 maggio i temporali hanno colpito anche l'Emilia-Romagna; le intensità orarie delle precipitazioni hanno superato spesso la soglia dei 30 mm/h e raggiunto il valore massimo di 41.8 mm/h presso la stazione di Verghereto (FC, 805 m s.l.m.). Le precipitazioni hanno causato allagamenti con conseguenti interruzioni del traffico locale e nel corso dell'evento sono state accompagnate da grandine e venti forti, con conseguenti danni alle colture e agli edifici, e da un tornado, che ha danneggiato il cimitero di Gualtieri.
Nelle giornate dal 19 al 21 una depressione atlantica si è strutturata con due minimi in fase sul settore continentale centro-occidentale d'Europa. L'Italia è stata nuovamente interessata da intense correnti umide da sud-ovest, con contributo anche sub-tropicale, che hanno portato diffusa instabilità. Ai fenomeni si è sommato il transito di un minimo al suolo che si è spostato dalla Sardegna all'alto Tirreno e Mar Ligure, fino al Nord-Est d'Italia. In questa occasione, il Veneto è stato colpito da precipitazioni anche a carattere di forte rovescio, più consistenti sulle aree centro-occidentali prealpine, pedemontane e di alta pianura nonché su parte del Bellunese occidentale, con quantitativi molto elevati soprattutto sul Vicentino e nella zona del Monte Grappa. Le precipitazioni hanno causato allagamenti diffusi in molte province, a seguito di tracimazioni e rotte arginali, nonché numerose frane.
Il 25 maggio la pianura del Veneto è stata nuovamente colpita da temporali associati a grandinate particolarmente intense, con chicchi di dimensioni variabili fino a 5 cm, che hanno causato accumuli

significativi al suolo. Ad Agugliaro (VI), per esempio, la grandine ha imbiancato le strade, portando danni alle coltivazioni locali.
Tra il 30 e 31 maggio nuovi intensi temporali hanno colpito il Friuli Venezia Giulia. Le cumulate su 3 ore hanno raggiunto valori di 86 mm presso la stazione costiera di Lignano (UD, 0 m s.l.m.), dove le cumulate giornaliere sono state pari a 107 mm, ma hanno raggiunto valori superiori a 90 mm su ampie aree.
In Veneto in primavera è stato raggiunto il valore più alto di temperatura minima media stagionale dal 1992 e la stagione è stata caratterizzata da ventosità persistente in termini sia di venti medi sia di raffiche, sia in montagna, sia in pianura.

2.2.3 Estate

La mappa di anomalia di Z500 di **giugno** (Figura 2.5a) presenta una saccatura con asse che si estende tra le Isole britanniche e le coste atlantiche della Penisola iberica. In questa mappa, le anomalie denotano un'intensificazione e spostamento a nord del flusso atlantico e intense anomalie termiche sul Mediterraneo centro-orientale, incluse le regioni italiane centro-meridionali. I flussi da nord-ovest nelle regioni settentrionali hanno favorito lo sviluppo di frequenti episodi temporaleschi, l'ingresso di aria più fredda in gran parte delle regioni e un alternarsi di fasi con valori termici in lento ma progressivo aumento durante tutto il mese. Le regioni centro-meridionali in generale sono state invece caratterizzate dalla persistenza di condizioni di alta pressione, con intense anomalie termiche e deficit pluviometrici.
Le anomalie termiche mensili, sempre positive, sono state molto lievi al nord, di poco inferiori a 1 °C al centro e superiori a 1.5 °C a sud rispetto al periodo 1991-2020. Le anomalie di precipitazione sono state positive al nord, ma nettamente negative al centro-sud, raggiungendo nell'area più meridionale deficit medi areali pari a -73% dei valori attesi. In Calabria le precipitazioni medie regionali in questo mese hanno raggiunto solo il 14% dei valori climatici 1991-2020.
In Veneto, a livello medio regionale, tra il 15 maggio e il 12 giugno sono caduti in totale 280 mm di pioggia, il valore più alto per questo stesso periodo dal 1950.
Il 23 giugno, un minimo depressionario sul Golfo Ligure ha innescato una forte instabilità sul Centro-nord Italia, che è rimasta pressoché stazionaria fino al 26 giugno. In questo contesto, il 24 giugno, la parte alta del Mugello, in Toscana, è stata colpita da precipitazioni temporalesche per 18 ore consecutive, con cumulate superiori a 150 mm su ampie aree. Nei giorni successivi, fino al 27 giugno, bande di precipitazioni a carattere temporalesco hanno interessato l'Emilia-Romagna a partire dai quadranti orientali, con intensità e cumulate elevate sul settore centro-occidentale della regione. Le precipitazioni totali sull'evento hanno superato i 150 mm in ampie aree dell'Appennino emiliano e raggiunto un valore massimo di 247.8 mm presso la stazione di Neviano Arduini (PR, 513 m s.l.m.). In molte stazioni sono state misurate intensità di precipitazioni superiori alla soglia di 30 mm/h; sono stati stimati tempi di ritorno superiori a 100 anni per le intensità di precipitazione su 6 ore in due stazioni e per quelle su 12 e 24 ore in 18 stazioni. Le precipitazioni hanno causato estesi allagamenti, erosioni spondali, trasporto solido, frane e colate detritiche, con conseguenti disagi alla circolazione.
Tra il 29 e il 30 giugno, l'avanzamento verso est di una saccatura atlantica che ha attraversato la

Penisola Iberica raggiungendo poi le regioni italiane ha portato a un marcato aumento dell'instabilità sulle regioni settentrionali causando intense precipitazioni a carattere convettivo in Valle d'Aosta e Piemonte (vedi focus). Passaggi successivi di intense bande di precipitazione nella zona di Cogne, nella parte sud-occidentale della Valle d'Aosta, hanno provocato cumulate giornaliere massime di 133 mm a Lillaz (AO, 1613 m s.l.m.). I tempi di ritorno stimati per l'evento sono superiori a 500 anni per le precipitazioni cumulate su 3 ore nei pluviometri Gran Crot e Lillaz e oltre 1000 anni per quello della Valnontey, nella parte alta della valle di Cogne. L'evento ha provocato l'attivazione di numerosi fenomeni di dissesto, colate detritiche, erosioni spondali ed esondazioni dei torrenti, interrompendo la viabilità di accesso alla valle, rimasta poi isolata per settimane, danneggiando i campeggi presenti e allagando diverse abitazioni. Numerosi danni sono stati anche rilevati nel comune di Valtournenche, dove una colata detritica ha causato danni a un'area di 5-6 ettari nell'abitato di Breuil Cervinia.
In Piemonte, negli stessi giorni, si sono verificate precipitazioni abbondanti sulla fascia alpina, soprattutto tra Alpi Graie e Lepontine, con valori di pioggia cumulata anche superiori a 150 mm nelle valli di Lanzo, in valle Orco e in valle Anzasca. Nella stazione di Noasca (TO) per i valori massimi cumulati sulle 1, 3 e 6 ore sono stati stimati tempi di ritorno di oltre 200 anni. Le precipitazioni sono state accompagnate anche da estese grandinate con chicchi di grandi dimensioni: rilievi fotografici mostrano chicchi fino a 12 cm e con un peso di 180 g (vedi focus). Le precipitazioni hanno causato la riattivazione di frane e colate detritiche che hanno interrotto la viabilità e causato danni stimati per più di 17 milioni di euro e l'evacuazione di 150 persone.
Il mese di **luglio** è stato caratterizzato da una generale rimonta anticiclonica. La mappa media mensile di Z500 denuncia uno spostamento a nord delle correnti medie atlantiche anche nel settore europeo, e l'Italia, insieme al Mediterraneo occidentale e ai Balcani, risulta inclusa in una fascia di anomalie positive a sud dell'asse delle correnti principali; questa posizione ha favorito un innalzamento delle temperature e condizioni di generale stabilità, inframmezzate da pochi intensi eventi di instabilità. In tutto il territorio nazionale le temperature medie mensili hanno superato nettamente i valori climatici di circa 2 °C, anche per il succedersi di frequenti ondate di calore in tutte le regioni italiane.
In Veneto, luglio 2024 è risultato il terzo più caldo (temperature medie) e il secondo per le temperature minime. In Emilia-Romagna le temperature medie e le massime sono state le terze più elevate dal 1961, mentre le minime sono state le seconde più calde dopo il 2015. In Sardegna, grazie all'avvezione di masse d'aria calda e secca di matrice nord-africana, si sono osservate temperature sia massime che minime molto alte, con valori massimi verso fine mese, quando le minime hanno raggiunto 26.5 °C a Castiadas Minni Minni (SU, 724 m s.l.m.) e Capoterra Poggio dei Pini (CA, 165 m s.l.m.) e le massime 42.8 °C a Ozieri (SS, 203 m s.l.m.).
Le precipitazioni sono state ovunque inferiori alla norma, con scarti del 51% al centro e del 41% al sud e nelle isole maggiori. In Sicilia, il persistere, per 12 mesi, di scarse precipitazioni, ha portato nel 70% del territorio a condizioni di siccità severa o estrema, con accumuli di precipitazioni su 12 mesi a fine luglio localmente inferiori a 200 mm, come presso la stazione SIAS Paternò Poggio Rosso (CT, 100 m s.l.m.).
Il 12 luglio in Veneto nuovi temporali, accompagnati da locali nubifragi, hanno riattivato 3 colate detritiche a Fadalto (Vittorio Veneto, TV), un evento tra i più importanti di questo tipo mai rilevati in

zona. Le colate hanno causato interruzioni alla viabilità e al traffico ferroviario.
Tra il 10 e il 16 luglio, in Friuli Venezia Giulia è stata osservata un'ondata di calore marina associata a temperature della superficie del mare record per il periodo.
Il 24 luglio un intenso temporale ha scaricato sulla pianura veneta chicchi di grandine di 7 centimetri di diametro, causando danni significativi alle coltivazioni agricole e alle infrastrutture.
Ad **agosto** si è assistito a una intensificazione delle anomalie di circolazione di larga scala, con la fascia di anomalie positive rinforzate ed estese a gran parte dell'Europa continentale. Solo l'Europa settentrionale è interessata da intensi venti da ovest legati a forte gradiente termico e un intenso polo di anomalia negativa è localizzato sull'Islanda. Nel nord e nel centro Italia le anomalie termiche mensili hanno sfiorato i +3 °C, mantenendosi intorno ai +2 °C al sud. Le precipitazioni sono state prossime alle attese se non lievemente inferiori al centro-nord, mentre sono state lievemente superiori ai valori climatici al sud.
In Lombardia, a Milano, agosto è stato il secondo più caldo dal 1763, dopo il 2003: all'Osservatorio Meteorologico di Milano Brera (MI, 122 m s.l.m.) è stata registrata una temperatura media mensile di 28.5 °C, contro i 28.8 °C del 2003. In Veneto è stato il secondo più caldo (temperature medie), anche a causa di temperature minime record. A Trento, nella stazione di Laste, nella città di Bolzano, in Piemonte e in Emilia-Romagna è stato il secondo più caldo. In Friuli Venezia Giulia diverse stazioni hanno rilevato nuovi record termici per il mese. In Sardegna, le temperature sono rimaste per gran parte del mese su valori molto elevati, con anomalie medie mensili di 1.9 °C e valori massimi fino a 43.7 °C, misurati presso la stazione di Villa Verde RF (OR, 249 m s.l.m.). In Sicilia, ad agosto, in oltre il 50% delle stazioni, è stato segnato un nuovo record massimo per la temperatura minima media mensile, che ha raggiunto a Palermo il valore di 24.3 °C.
In Sardegna il mese è stato molto piovoso, e le precipitazioni totali sono state stimate circa 4 volte i valori climatici attesi nel mese.
In quota, le elevate temperature hanno causato la fusione dei ghiacciai (Figura 2.10).
Il 2 agosto il transito in quota di aria più fredda ha determinato un marcato aumento dell'instabilità atmosferica che, insieme alle elevate temperature superficiali dei giorni precedenti, ha favorito lo sviluppo di intensi temporali di tipo supercella. Le precipitazioni più intense si sono registrate a Venaria Reale (TO, 258 m s.l.m.), dove sono caduti 85.5 mm di pioggia in un'ora e 93.5 mm in tre ore: valori di precipitazione molto elevati, corrispondenti a tempi di ritorno superiore ai 200 anni per l'intervallo orario e compreso tra 100 e 200 anni per quello tri-orario. Le precipitazioni sono state accompagnate da grandine con chicchi di diametro pari a 4-7 cm.
Il 14 agosto, sempre in Piemonte, si sono sviluppati intensi temporali; le precipitazioni più intense hanno colpito Pinerolo e Fenestrelle, dove le stazioni di Talucco (TO, 776 m s.l.m.) e Prà Catinat (TO, 1670 m s.l.m.) hanno registrato rispettivamente 117.9 mm e 96.1 mm in 3 ore: si tratta di un valore tri-orario di precipitazione molto elevato, corrispondente a un tempo di ritorno superiore ai 200 anni. Nello stesso giorno, intensi temporali hanno colpito anche la pianura veneta, dove in alcune zone hanno avuto carattere di nubifragio e sono state accompagnate da grandinate significative, con danni a coltivazioni e veicoli.
Tra il 18 e il 19 agosto, sistemi temporaleschi molto estesi hanno interessato il settore tirrenico della

Sicilia e in particolare la provincia di Messina, dove intensi nubifragi hanno colpito la fascia tra Capo D'Orlando e Gioiosa Marea, con allagamenti e fenomeni di dissesto. Durante l'evento, presso la stazione DRPC Piraino (ME, 403 m s.l.m.), è stata rilevata una intensità massima di precipitazione in 3 ore pari a 110.9 mm e a causa del violento downburst associato ad un sistema temporalesco attivo sul mare, nella rada di Porticello (PA) è affondato il veliero Bayesian, causando 7 vittime.
Tra il 7 e il 19 agosto, in Friuli Venezia Giulia è stata osservata un'intensa ondata di calore marina con elevate temperature della superficie del mare prossimi ai record massimi per il periodo. In particolare, il 14 agosto è stato registrato nel Golfo di Trieste il secondo più alto valore di temperatura della superficie del mare dal 1933, anno di inizio della serie osservativa.
Nell'ultima decade del mese la Sardegna è stata colpita da diversi intensi temporali, durante i quali una quarantina di stazioni hanno misurato intensità di precipitazioni superiori a 2 mm al minuto e il 28 del mese le precipitazioni hanno raggiunto massimi totali giornalieri di 86.6 mm presso la stazione di Lula RF (NU, 611 m s.l.m.).
Il 26 agosto, un forte temporale ha colpito per circa due ore l'area del Lago di Barcis a 458 m s.l.m. nelle Dolomiti Friulane, scaricando 138 mm in sessanta minuti presso la stazione di Barcis (PN, 458 m s.l.m.), valore per cui è stato stimato un tempo di ritorno ben superiore ai 100 anni e che rappresenta il massimo valore osservato a livello regionale di precipitazione oraria.
Il 27 agosto, un intenso temporale della durata di circa 3 ore ha colpito gravemente un'area posta tra le provincie di Avellino e Caserta, causando ingenti danni (vedi focus). Le precipitazioni massime rilevate in corso di evento dalla stazione di Capua (CE, 24 m s.l.m.) pari a 17 mm (10 minuti), 32.2 mm (20 minuti), 45 mm (30 minuti), 63.2 mm (1 ora) e 63.8 mm (3 ore) rappresentano i valori massimi rilevati da inizio misurazioni (2008). L'evento ha causato due decessi, i notevoli dissesti nel territorio del comune di San Felice a Cancello (CE, 89 m s.l.m.) sono stati probabilmente amplificati dalle condizioni locali di esposizione e vulnerabilità, come nel caso della precedente alluvione di Sarno e Quindici del 1998. I danni socio-economici dell'evento sono stati quantificati in circa 700.000 euro.
In Piemonte l'estate è risultata la terza più calda, la prima se si considerano le sole temperature minime, con un elevato numero di notti e giorni tropicali (vedi focus).
Anche nella città di Bolzano è stato rilevato un nuovo record nel numero di notti tropicali (33 notti).
In Emilia-Romagna, l'estate nel suo complesso è risultata la quarta più calda dal 1961, con il secondo valore più alto della serie dell'indice regionale di notti tropicali e il più alto numero di giorni di disagio bioclimatico (con indice di Thom maggiore o uguale a 25) con un valore medio nelle aree di pianura di 19 giorni e valori nei singoli capoluoghi tra 28 e 54 giorni. In Friuli Venezia Giulia, il periodo dall'1 luglio al 31 agosto 2024 rappresenta per le aree di pianura il bimestre più caldo dall'inizio delle misurazioni, con una temperatura media mensile che ha superato per la prima volta il valore di 25 °C per due mesi consecutivi; a Udine (UD, 91 m s.l.m.), inoltre, il numero di giorni di disagio bioclimatico è stato pari a 40, condizioni simili si sono verificate solo nell'estate del 2003. In Calabria, nei mesi estivi sono state rilevate temperature particolarmente alte, con anomalie mensili rispetto al clima 1991-2020 ampiamente superiori a 2 °C a giugno e luglio e solo di poco inferiori a 2 °C ad agosto, che hanno aumentato il disagio associato alle temperature estreme. Anche in Sicilia, le temperature minime estive sono state particolarmente elevate e il numero di notti tropicali ha raggiunto il valore massimo della

serie. Qui a fine agosto si sono conclusi 12 mesi consecutivi di anomalie medie mensili costantemente positive, con un valore medio intorno a 1.5 °C sopra alla media 2003-2022.
In Veneto, l'estate 2024 è stata la più calda, con un numero record di giorni di ondata di calore, pari a 42, di notti tropicali in pianura, pari a 49, e di giorni con disagio bioclimatico in pianura, pari a 24 (vedi focus). Nel corso delle settimane più calde, l'Azienda ospedaliera ULSS3 Serenissima di Venezia ha segnalato che si sono presentati al pronto soccorso in media 25 pazienti al giorno per colpi di calore e 66 per incidenti o patologie dovute al caldo. Le temperature particolarmente elevate hanno richiesto un elevato fabbisogno energetico (il più alto mai registrato) per il raffrescamento degli edifici, misurato attraverso i gradi giorno di raffrescamento secondo la definizione del JRC-*Joint Research Centre*.
Le elevate temperature hanno danneggiato l'agricoltura veneta, a causa dello stress idrico e termico subito dalle colture riducendo la resa e la qualità dei prodotti agricoli.
Infine, le elevate temperature e la prolungata presenza di mucillagine nei mesi di luglio, agosto e settembre hanno causato eccezionali fenomeni di moria di molluschi bivalvi, come vongole e mitili, sia in mare sia nelle lagune venete. In alcune aree, le perdite hanno superato il 60% del prodotto, con ripercussioni anche nei mesi successivi, mettendo in crisi l'intero settore della pesca dei molluschi bivalvi nella regione.

2.2.4 Autunno e dicembre

A **settembre** il flusso di larga scala è cambiato completamente e il mese è stato caratterizzato dalla presenza di un'anomalia negativa nel campo di Z500, centrata sulla Francia, e due eccezionali ampie aree di anomalie positive sulla vicina Russia e sul Nord Atlantico e la Groenlandia (Figura 2.5b). Questa configurazione di larga scala ha favorito il verificarsi di condizioni particolarmente instabili in Europa e sul Mediterraneo con precipitazioni frequenti e diffuse e temperature prossime alla norma climatica.
In tutte le regioni le anomalie termiche sono state positive ma di lieve entità, e le precipitazioni sono state particolarmente copiose al nord e al centro, dove mediamente hanno superato rispettivamente le attese dell'83% e del 60%, mentre al sud sono risultate simili ai valori climatici.
Le anomalie termiche estive si sono protratte ai primi giorni del mese e tra il 25 agosto; il 3 settembre in Friuli Venezia Giulia sono state rilevate delle onde di calore con temperature eccezionali per la stagione e l'1 settembre, sull'area di pianura, è stato raggiunto un nuovo valore record di temperatura media per il mese. Sempre tra il 30 agosto e il 12 settembre, nel Golfo di Trieste è stata osservata un'ondata di calore marina, associata a valori record massimi per il periodo delle temperature della superficie del mare.
L'8 settembre in Sicilia, sono state registrate temperature vicine alle massime assolute mensili, con 39.6 °C registrati dalla stazione SIAS Partinico (PA, 118 m s.l.m.).
In Veneto, settembre è stato il secondo più piovoso dal 1955, dopo il 1965 con numerosi eventi di precipitazione intensa.
Il 4 settembre una circolazione depressionaria ha fatto il suo ingresso sul Mediterraneo. Nella notte tra il 4 e il 5 settembre, sul territorio del Piemonte e della Liguria. Le correnti atmosferiche, di scirocco in quota e da est-sud-est negli strati medio-bassi, hanno subito un deciso rinforzo e, interagendo con l'orografia, hanno causato tempo diffusamente perturbato, con precipitazioni molto abbondanti su aree

abbastanza vaste e rovesci temporaleschi localmente molto forti. In Piemonte, i fenomeni più intensi si sono osservati nel Torinese, con valori cumulati localmente superiori a 200 mm nelle vallate occidentali, fino a un massimo di 245 mm nella stazione di Balme (TO, 1410 m s.l.m.), dove sono stati anche registrati più di 150 mm in 6 ore. In queste aree, alcune stazioni pluviometriche hanno registrato, per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore, valori massimi con tempi di ritorno superiori a 200 anni. Le precipitazioni hanno causato smottamenti, colate detritiche e disagi alle vie di comunicazione per interruzione di strade e ponti. In Liguria, le precipitazioni sono risultate di grandissima intensità, con valori che hanno raggiunto massimi di 15.8 mm in 5 minuti, 26.6 mm in 10 minuti e 35 mm in 15 minuti a Ranzo (IM, 343 m s.l.m.) e di 57.4 mm in 30 minuti e 79.2 mm in 1 ora ad Albenga - Isolabella (SV, 36 m s.l.m.), con totali di evento pari a 177.2 mm ad Albenga - Isolabella; i fenomeni sono stati accompagnati da venti di burrasca e raffiche di burrasca forte. Le precipitazioni hanno causato l'esondazione di rii, allagamenti, smottamenti e frane, con temporanee interruzioni del traffico stradale e ferroviario.
Il 5 settembre in Veneto le precipitazioni hanno raggiunto massimi nel Veronese a Marano di Valpolicella (93 mm in 6 ore e 188 mm in 96 ore, VR, 284 m s.l.m.) e a San Pietro in Cariano (219 mm in 96 ore, VR, 127 m s.l.m.), con tempi di ritorno stimati superiori a 100 anni.
L'8 settembre i temporali, parzialmente organizzati su una linea stazionaria, hanno colpito la Toscana. Le precipitazioni totali hanno superato in varie aree i 100-159 mm e le intensità orarie in varie stazioni hanno superato i 60-80 mm/h.
A partire dall'11 settembre una depressione sul golfo di Genova denominata Boris, dopo aver causato alluvioni devastanti nel Centro-est Europa, 24 morti e gravi danni in Repubblica Ceca, Polonia, Austria e Slovacchia, si è posizionata, con un successivo movimento retrogrado, a ovest della Corsica, attivando intensi flussi di Scirocco nei bassi strati lungo l'Adriatico, convergenti sulla Romagna con flussi di Bora alla superficie. Tra il 12 e il 15 settembre, in Veneto si sono rilevati continuativamente venti tra moderati e forti, sia in quota sia nel fondovalle, una condizione particolarmente insolita per questo mese. Tra il 18 e il 19 settembre, la persistenza di una linea di temporali molto intensi dal mare al largo di Rimini fino ai rilievi romagnoli ha determinato precipitazioni cumulate eccezionali in Romagna, associate a intensità orarie particolarmente alte, a causa del carattere convettivo dei fenomeni. La mappa in Figura 2.11 riporta le precipitazioni cumulate totali per l'evento. Le province più colpite sono state Bologna, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini, con picchi di 360.0 mm registrati a S. Cassiano sul Lamone (RA, 226 m s.l.m.), 334.8 mm a Modigliana Arpa (FC, 556 m s.l.m.), 326.8 mm a Casola Valsenio (RA, 154 m s.l.m.) e 323.8 mm a Brisighella (RA, 185 m s.l.m.). Le precipitazioni, con distribuzione spaziale simile e totali superiori ai singoli eventi di maggio 2023, hanno causato allagamenti e danni al territorio per un totale stimato di 20 milioni di euro, nonché l'evacuazione di 2500 persone.
Negli stessi giorni, le precipitazioni sono state molto intense anche sulle Marche, dove hanno causato l'esondazione di corsi d'acqua, allagamenti, danneggiamenti alle infrastrutture viarie, a edifici pubblici e privati e alla rete dei servizi essenziali.
Nel mese di **ottobre**, si è osservata una generale intensificazione delle correnti occidentali sul Nord Europa grazie a un ritorno dell'anomalia di Z500 sull'Islanda e al permanere delle anomalie positive sul Nord Africa e Mediterraneo orientale, ma, come a settembre, la mappa mostra anche la presenza

di una saccatura lungo le coste europee occidentali, che ha favorito lo sviluppo di sistemi depressionari sul Mediterraneo occidentale e centrale.
Queste condizioni hanno favorito anomalie termiche positive, che in tutte le regioni hanno superato i 1.5 °C. Le precipitazioni sono risultate molto abbondanti a nord, dove i valori medi hanno superato il doppio delle attese, abbondanti nelle regioni centrali, con anomalie dell'ordine del 50% in più delle attese, ma scarse a sud con scarti negativi intorno al 19% rispetto ai valori climatici.
In Veneto ottobre è stato il più caldo dal 1992, superando il precedente record del 2023. Inoltre, il periodo dal 5 settembre al 23 ottobre, con precipitazioni medie regionali cumulate di circa 440 mm, è stato il più piovoso dal 1950.
In Emilia-Romagna il mese di ottobre è stato il quarto più caldo dal 1961 e il terzo più piovoso.
Il 3 ottobre, lungo le coste del Veneto, una mareggiata associata a venti con raffiche di 70-100 km/h, ha causato un evento di acqua alta, con gravi danni alle spiagge sabbiose di Jesolo e conseguente necessità di realizzare un'opera di ripascimento, per un costo stimato di 200.000 euro.
Tra il 7 e l'8 ottobre, una struttura temporalesca organizzata e semi-stazionaria di tipo prefrontale ha interessato la Liguria; le forti precipitazioni, hanno raggiunto massime intensità fino a 97 mm/h e 200 mm in 3 ore a Campo Ligure (GE, 338 m s.l.m.). Le precipitazioni sono state accompagnate da venti meridionali di intensità tra burrasca e burrasca forte su rilievi e crinali più esposti, con raffiche mediamente fino a 70-90 km/h sulla costa e oltre 100 km/h sui rilievi. Le precipitazioni hanno causato estesi allagamenti con interruzioni del traffico e danni a edifici, mentre il vento ha causato mareggiate, danni a edifici e la caduta di alberi.
L'8 ottobre in Veneto sono caduti 174 mm in 3 ore misurati presso la stazione di Valpore (Seren del Grappa, BL, 1271 m s.l.m.), un evento per cui è stato stimato un tempo di ritorno di oltre 100 anni.
Il 19 ottobre un minimo depressionario isolato associato ad intensi flussi di scirocco ha determinato in Emilia-Romagna (vedi focus) forti temporali sulla costa romagnola, e conseguenti allagamenti nella zona di Cesenatico. Nella sera dello stesso giorno, i fenomeni si sono spostati nell'entroterra fino alla zona collinare centrale e le precipitazioni hanno raggiunto un massimo nell'area del Comune di Bologna e sui bacini di Samoggia e Idice, dove sono caduti, in 6 ore, circa due terzi della precipitazione mensile attesa in ottobre (valore climatico 1991-2020). I totali di evento hanno raggiunto valore massimo di 180.8 mm a Pianoro (BO, 174 m s.l.m.) dove è stata osservata anche la massima intensità oraria sull'evento, pari a 35.2 mm/h; il valore di precipitazione su 24 ore osservato presso la stazione di Bologna San Luca (BO, 286 m s.l.m.), pari a 148.4 mm, risulta il più alto dal 1920, anno di inizio osservazioni. Il carattere convettivo degli eventi ha amplificato le intensità orarie, che hanno superato in vari casi i 30 mm/h. Le precipitazioni, cadute su suoli saturi e sull'esaurimento delle piene dei giorni precedenti, hanno generato rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici sui piccoli rii e torrenti collinari, con diffusi fenomeni di erosione, trasporto solido, sedimentazione ed esondazioni improvvise, provocando una vittima, e impattando sulla viabilità e sui centri abitati, in particolare Bologna, dove si sono verificati estesi allagamenti (Figura 2.12).
Tra il 17 e il 20 ottobre, precipitazioni intense e persistenti hanno colpito anche il Veneto con massimi su 48 ore di 182.8 mm a Valpore (Seren del Grappa, BL, 1271 m s.l.m.) e 164 mm a Recoaro Mille (Recoaro Terme, VI, 1073 m s.l.m.), causando innalzamenti idrometrici con tempi di ritorno dell'ordine

di 30 anni, locali allagamenti, che si sono prolungati anche nei giorni successivi, frane e smottamenti, con conseguenti interruzioni del traffico locale e ferroviario.
Tra il 19 e il 22 ottobre un sistema frontale, legato a una profonda saccatura che dal Nord Atlantico si è estesa fino al Mediterraneo, ha determinato sulla Calabria precipitazioni intense e fenomeni temporaleschi (vedi focus). I totali di evento hanno superato i 200 mm su ampie aree della regione e raggiunto presso la stazione di Maida - Licciardi (CZ, 39 m s.l.m.) il valore massimo di 410.8 mm e le massime intensità orarie di 87.6 mm/h. In corrispondenza di varie stazioni le precipitazioni totali registrate vanno dal 26 al 40% del quantitativo normalmente atteso in un anno; le massime intensità di precipitazioni registrate su vari intervalli corrispondono al massimo valore da inizio osservazioni, con tempi di ritorno stimati superiori a 100 anni. Le precipitazioni hanno causato estesi allagamenti nella Piana di Lamezia e il crollo per sifonamento della Strada Statale dei due Mari.
Tra il 18 e il 19, anche in Sicilia, il lento avanzamento di una linea di convergenza ha prodotto sulla fascia centro-meridionale fenomeni molto intensi, provocando esondazioni sul tratto a valle del fiume Imera Meridionale, con decine di ettari alluvionati e allagamenti anche in parte del centro abitato di Licata. In questa occasione, la stazione SIAS di Riesi (CL, 339 m s.l.m.) ha misurato 150 mm in 48 ore, di cui 97 mm caduti in sole 3 ore. Successivamente tra il 21 e il 22, piogge estreme associate a una depressione in quota hanno interessato il versante ionico, con accumuli superiori a 200 mm in una vasta area e un massimo di 408.4 mm in 36 ore presso la stazione DRPC di Casa degli Alpini in comune di Fiumedinisi (ME, 855 m s.l.m.), con impatti significativi sui torrenti costieri.
Tra la tarda serata del 26 e la mattina del 27 ottobre, la Sardegna è stata interessata da temporali di tipo V-Shape, evolutisi lungo una linea di convergenza dal Canale di Sardegna verso la terraferma in direzione nord. Le precipitazioni sono state estremamente intense, con massimi misurati presso la stazione di Vallermosa RF (SU, 81 m s.l.m.) pari a 292 mm in 6 ore, che corrispondono al 50% del valore climatico della precipitazione annua e a 5 volte il valore atteso per il mese di ottobre, mentre le stime radar hanno raggiunto valori pari a 400 mm in 6 ore (Figura 2.13). Le precipitazioni hanno interessato un'area di circa 100 km^2, causando un decesso e numerose criticità sul territorio, quali allagamenti di centri abitati, frane ed esondazioni di piccoli corsi d'acqua (vedi focus).
Tra il 26 e il 27 ottobre la discesa di un minimo depressionario dall'Atlantico settentrionale verso il Mediterraneo ha portato intense precipitazioni in Liguria e Piemonte. Le precipitazioni sono state particolarmente intense e localizzate, anche a causa della formazione di temporali di tipo V-shape che hanno prodotto quantitativi pluviometrici locali oltre i 200 mm in Liguria e ampie aree con precipitazioni superiori a 100 mm nel bacino piemontese del Toce, con valori massimi puntuali di 210.1 mm a Candoglia Toce (VB, 201 m s.l.m.). In Liguria per la stazione di Mallare (SV, 453 m s.l.m.) i massimi su 1, 3, 6 e 12 ore sono stati pari o superiori a un tempo di ritorno di 50 anni, in particolare il massimo sulle 6 ore, pari a 187.4 mm, ha un tempo di ritorno di 200 anni. La stazione di Rossiglione (GE, 296 m s.l.m.), per le durate da 1 a 6 ore, ha registrato precipitazioni con tempi di ritorno superiori ai 20 anni, mentre la stazione di Cairo Montenotte (SV, 388 m s.l.m.), per le durate da 1 a 12 ore, ha registrato valori con tempi di ritorno compresi tra 10 e 100 anni.
Fra il 31 ottobre e il 5 novembre, in Veneto, la temperatura ai 3250 m di quota sulla Marmolada ha raggiunto un picco di 8.7 °C ed è rimasta sopra lo zero per 138 ore consecutive, evento mai verificatosi

in novembre almeno negli ultimi 30 anni, da quando si misurano i dati con le stazioni automatiche. Tra il 31 ottobre e l'1 novembre in Veneto sono stati registrati alcuni record di temperatura massima, tra cui 15.8°C al passo Falzarego (BL, 2090 m s.l.m.) e temperature oltre 26 °C a Villorba (TV 41 m s.l.m.), Fossalta di Portogruaro (VE, 3 m s.l.m.), Maser (TV, 100 m s.l.m.), Lugugnana di Portogruaro (VE, 0 m s.l.m.), Mira (VE, 3 m s.l.m.) e Zero Branco (TV, 12 m s.l.m.) in pianura.
Nel corso del mese di **novembre** il flusso di larga scala nell'area Euro-atlantica è stato dominato a più riprese dall'instaurarsi di condizioni di alta pressione, che hanno portato al prevalere di un promontorio di Z500 sull'Europa centrale, con massimo di anomalia sulle Isole britanniche.
Le anomalie termiche, ovunque positive, sono state comunque mitigate da alcuni episodi di discesa di aria fredda, favoriti dal vasto centro di alta pressione atlantica. Le precipitazioni di novembre sono state particolarmente scarse ovunque, con anomalie crescenti da sud a nord, tra -51 e -88% delle attese. Queste condizioni sono state particolarmente gravi nelle regioni meridionali, che già avevano accumulato gravi deficit pluviometrici nei mesi precedenti.
Anche in Sardegna le precipitazioni in questo mese sono state generalmente scarse, con ampie aree che hanno ricevuto meno del 25% delle attese e solo localmente, nel settore settentrionale del Golfo di Orosei, le precipitazioni sono state confrontabili o poco superiori ai valori climatici.
In Calabria le precipitazioni medie regionali di novembre hanno raggiunto solo il 50% delle attese, con valori particolarmente bassi, inferiori al 40% sul versante ionico, aggravando le condizioni di siccità già presenti a settembre e non attenuate dalle brevi, ma eccezionali precipitazioni della seconda decade di ottobre. In questa regione, il lungo periodo di siccità, iniziato nell'autunno 2023 e continuato con poche interruzioni fino all'autunno 2024, è stato aggravato dalle elevate temperature superficiali, specialmente estive. Tali condizioni hanno portato a una rilevante riduzione dei flussi idrici superficiali, nonché alla mancata ricarica delle falde e, conseguentemente, ad un'esigua disponibilità di risorsa idrica negli invasi e nelle falde stesse. Condizioni simili sono state riscontrate anche in Basilicata e in Puglia e, se possibile ancora più amplificate, in Sicilia (vedi focus).
Va segnalato che il 13 novembre, in Sicilia, le precipitazioni, amplificate dall'orografia, hanno colpito la fascia costiera a Est dell'Etna, e presso la stazione di Giarre (CT, 95 m s.l.m.) sono stati misurati 421 mm in 6 ore, uno degli accumuli tra i più elevati mai registrati in Italia, con una cumulata nelle 24 ore pari a 518 mm. In questa stazione, l'intensità oraria durante l'evento ha raggiunto 113.8 mm/h e il totale mensile è risultato di 1067 mm.
In Veneto, l'autunno è risultato il secondo più caldo per le temperature minime e il più caldo in montagna dove è stata stimata un'anomalia di 3.3 °C.
Nel mese di **dicembre**, il flusso di larga scala è stato dominato da un intenso promontorio di Z500 al centro del Nord Atlantico che ha portato a una locale intensificazione del jet Atlantico e a un flusso divergente in corrispondenza dell'Europa orientale e della Penisola balcanica. Nel corso del mese questa configurazione ha favorito il passaggio di flussi nord-occidentali che hanno attraversato il Centro Europa e l'Italia con innesco di ciclogenesi in area mediterranea.
Le temperature hanno assunto anomalie positive più intense a nord e più lievi al centro-sud, e le precipitazioni mensili sono risultate scarse a nord, con scarti del 35%, leggermente inferiori alle attese al centro (-5%) e abbondanti a sud (+37 %).

L'8 dicembre l'innesco di una ciclogenesi particolarmente intensa ha portato venti di bora rinforzata, combinati con flussi molto umidi dall'Adriatico con direzione est-sud-est. In Veneto sono stati osservati venti intensi con massimi di 119 km/h sul Monte Cesen (TV, 1552 m s.l.m.), nello stesso giorno in Friuli Venezia Giulia sono stati osservati venti intensi da Nord-est: a Trieste si sono misurati 117 km/h, e in quota sul Monte S. Simeone 113 km/h (UD, 1504 m s.l.m.); mentre dalla sera del 7 fino al 10 dicembre, l'Emilia-Romagna è stata colpita da precipitazioni intense, in particolare sulle pianure centro-orientali e relativa fascia collinare, con neve anche abbondante a bassa quota (Figura 2.14) e forti rovesci soprattutto lungo la costa romagnola. L'anno si è concluso con alcuni giorni particolarmente caldi per la stagione, durante i quali in alcune stazioni del Veneto sono stati registrati nuovi record di temperatura minima e massima.

In Veneto il 2024 è stato l'anno più caldo dal 1955, soprattutto a causa delle temperature minime, mentre le massime sono risultate le seconde più alte dopo quelle del 2022, e nelle aree di montagna il numero di giornate di gelo è stato il secondo più basso. Nella città di Bolzano, (BZ, 254 m s.l.m.), il 2024 si colloca come terzo anno più caldo dal 1850, mentre a Dobbiaco è stato il più caldo dall'inizio delle misurazioni. Anche in Friuli Venezia Giulia il 2024 è stato l'anno più caldo dal 1960, con un'anomalia media regionale di 1.6 °C rispetto al clima 1991-2020, con il dato di temperatura annua di Udine per il 2024 che rappresenta il valore massimo della serie osservativa dal 1900. In Emilia-Romagna, il 2024 è stato il più caldo, soprattutto a causa delle temperature minime, e il valore medio annuale della quota dello zero termico, presso la stazione di San Pietro in Capofiume, è stato più alto dal 1991; il 2024 è stato anche l'anno più piovoso, con un valore medio regionale di precipitazione cumulata annua di poco superiore al precedente record del 2014, e l'anno con più piogge intense giornaliere, definite come giorni con valore medio di precipitazioni giornaliera su macroarea climatica superiore al 95° percentile del periodo 1961-1990.
Nel 2024 a Venezia ci sono stati 219 episodi di acqua alta (in cui il livello del mare ha superato gli 80 cm) il più alto da inizio 1900, di cui circa 15 con livello del mare superiore a 110 cm; durante l'anno il MOSE è stato attivato 26 volte, con un costo stimato per ciascuna attivazione pari a 200.000 euro (vedi focus).
Il 2024, in Italia, è stato un anno caratterizzato da molti eventi meteo-climatici eccezionali o estremi in un contesto climatico globale fortemente anomalo. La presenza di anomalie termiche alla superficie molto elevate, con ampiezze particolarmente intense nell'area Euro-atlantica, ha favorito il superamento di record termici locali su tutta la Penisola italiana. Le alte temperature dell'aria e del mare hanno anche favorito una momentanea accelerazione del ciclo dell'acqua, e un'intensificazione degli eventi meteorologici locali, che hanno causato molteplici e ingenti conseguenze sulla popolazione, sul territorio e sulle attività produttive.

Una mappa interattiva che riporta gli eventi descritti in questo capitolo è disponibile al link:
mappaestremi.isprambiente.it

Figura 2.6: Fosso Casale (Montegallo) il 31 gennaio 2024 a seguito di una valanga di neve umida (Cortesia del Centro Funzionale Multirischi della Regione Marche).

Figura 2.7: Panorama innevato il 4 aprile 2024 in alta Valdisotto, SO (Cortesia dell'ARPA Lombardia).

Figura 2.8: Una valanga di grandi dimensioni scende fino a fondovalle in Val di Rhemes, AO, il 5 marzo 2024 (Cortesia del Centro Funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta).

Figura 2.9: Trasporto di Sabbia del Sahara vista dal satellite NOAA-20 VIIRS l'1 aprile 2024 (Cortesia del NOAA).

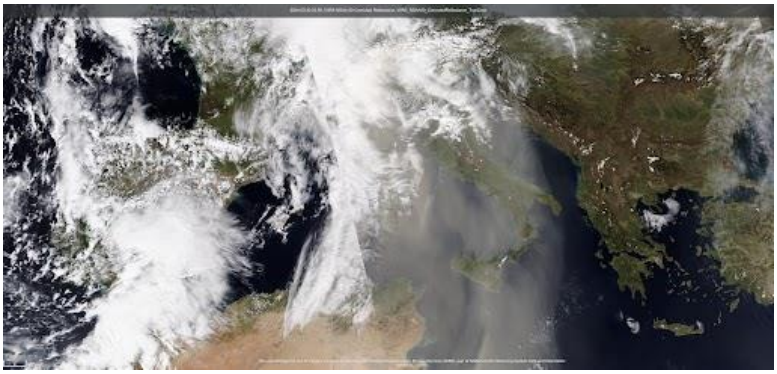


Figura 2.10: Il Ghiacciaio del Mondrone, TN, il 10 agosto 2024 (Cortesia della Provincia Autonoma di Trento).

Figura 2.11: Mappa delle precipitazioni totali in Emilia-Romagna per l'evento del 17-19 settembre 2024, ottenuta con il dataset ERG5 (Cortesia dell'ARPAE Emilia-Romagna).

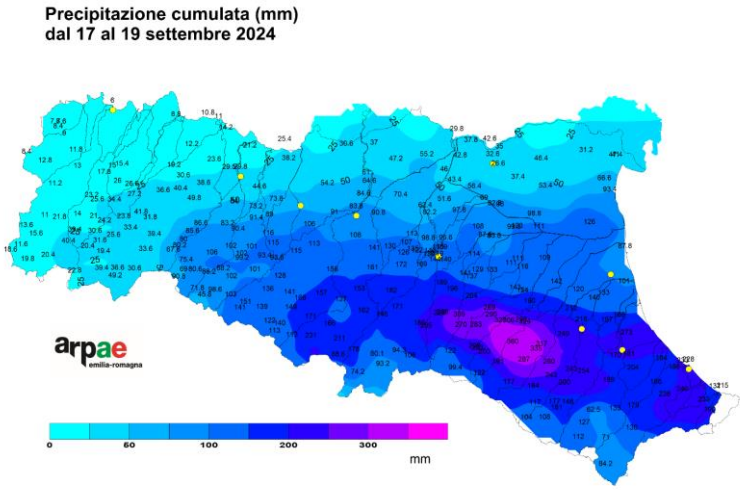


Figura 2.12: Tunnel Sabena allagato a seguito dell'alluvione il 20 ottobre 2024 a Bologna (Cortesia dell'ARPAE Emilia-Romagna).

Figura 2.13: Mappa delle fulminazioni dalle 16:00 UTC del 26/10/2024 alle 09:00 UTC del 27/10/2024 (Cortesia dell'ARPA Sardegna).

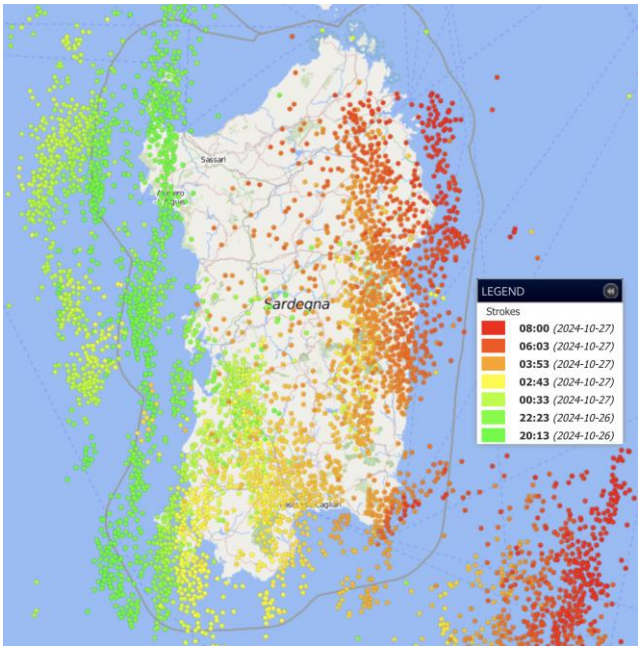


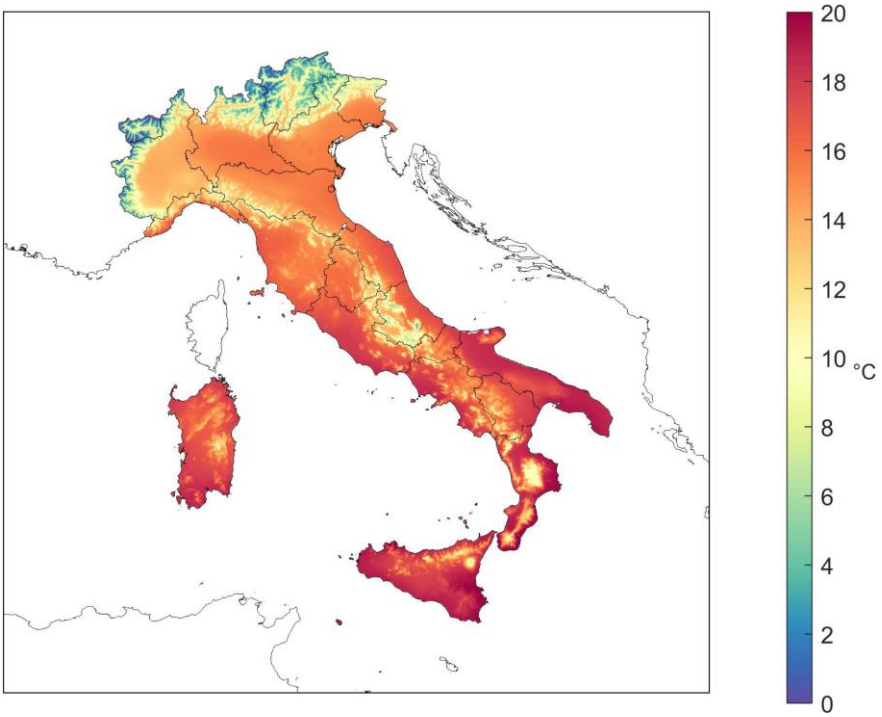
Figura 2.14: Nevicata a Loiano, BO, 714 m slm (Cortesia di Arianna Ermilli, Osservatrice Volontaria dell'ARPAE Emilia-Romagna).

3. TEMPERATURA

3.1 Analisi annuale

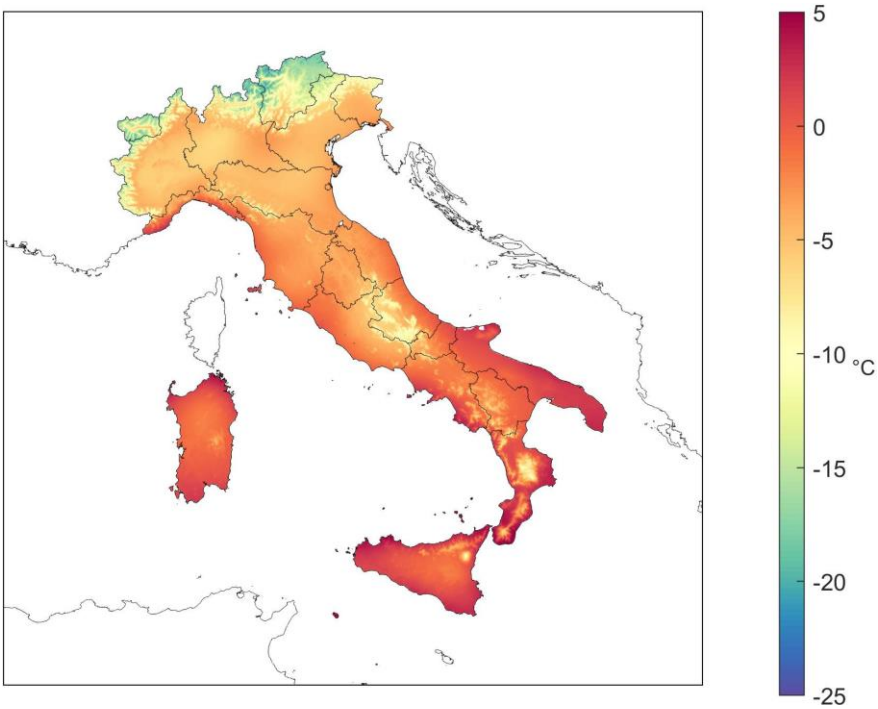
Nelle Figure 3.1-3.3 sono rappresentate le mappe dei valori annuali di temperatura media, minima assoluta e massima assoluta.
I valori di temperatura media registrati in Italia nel 2024 sono compresi tra i -1.8 °C della stazione di Valtournenche - Cime Bianche (AO, 3018 m s.l.m.) e i 21.0 °C delle stazioni di Lampedusa (AG), Ginostra (ME), Botricello (CZ, 32 m s.l.m.) e Soverato Marina (CZ, 13 m s.l.m.).
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 -21.0 °C è stato rilevato dalla stazione di Dobbiaco (BZ, 1226 m s.l.m.).
La temperatura massima assoluta più elevata, pari a 45.5 °C, è stata rilevata il 29 luglio nella stazione di Baccano (Roma, 291 m s.l.m.); valori elevati di temperatura massima, superiori a 40 °C, sono stati rilevati nello stesso giorno anche in altre località sempre del Lazio, e in due stazioni dell'Umbria.
L'andamento della temperatura media in Italia nel corso del 2024, 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. Le anomalie più marcate si sono registrate a febbraio (+3.15 °C), ad agosto (+2.54 °C) e a luglio (+2.15 °C). L'anomalia più bassa si è avuta a maggio (+0.36 °C).
Con riferimento alle rispettive serie mensili dal 1961, il mese di febbraio si colloca al primo posto, il mese di agosto al secondo posto e il mese di luglio al terzo posto fra i più caldi della serie.
La temperatura media annuale (Figura 3.5) **è stata superiore al valore climatologico 1991-2020 in tutte e tre le macroaree italiane: al Nord (+1.21 °C), al Centro (+1.45 °C) e al Sud e Isole (+1.39 °C).**
Le anomalie sono state positive ovunque e in tutti i mesi del 2024, ad eccezione di maggio al Nord, dove si è registrata l'anomalia di -0.31 °C.
Il mese di febbraio ha fatto registrare il record di anomalia in tutte e tre le macroaree geografiche: +3.75 °C al Nord, +3.27 °C al Centro, +2.44 °C al Sud e Isole. A seguire, i mesi di luglio e agosto hanno fatto registrare gli altri valori più elevati di anomalia ovunque.
Le anomalie spazializzate della temperatura media per il 2024 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.

Figura 3.1: Temperatura media 2024.



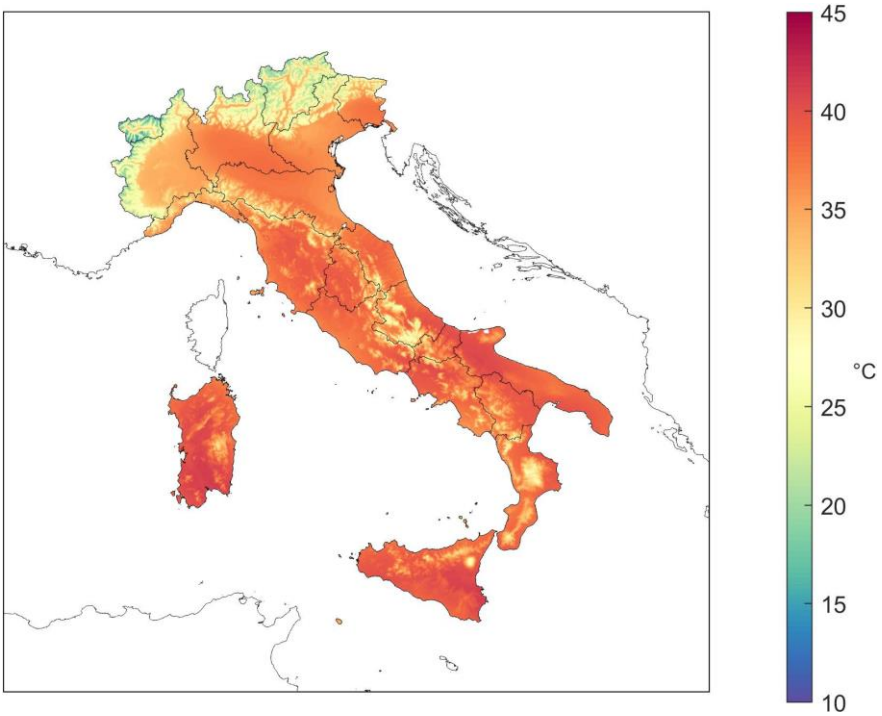
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.2: Temperatura minima assoluta 2024.



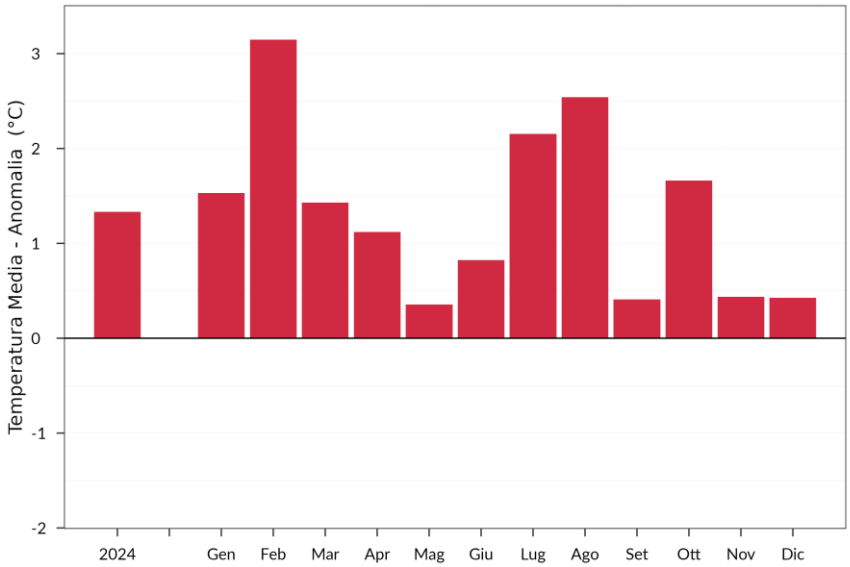
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.3: Temperatura massima assoluta 2024.



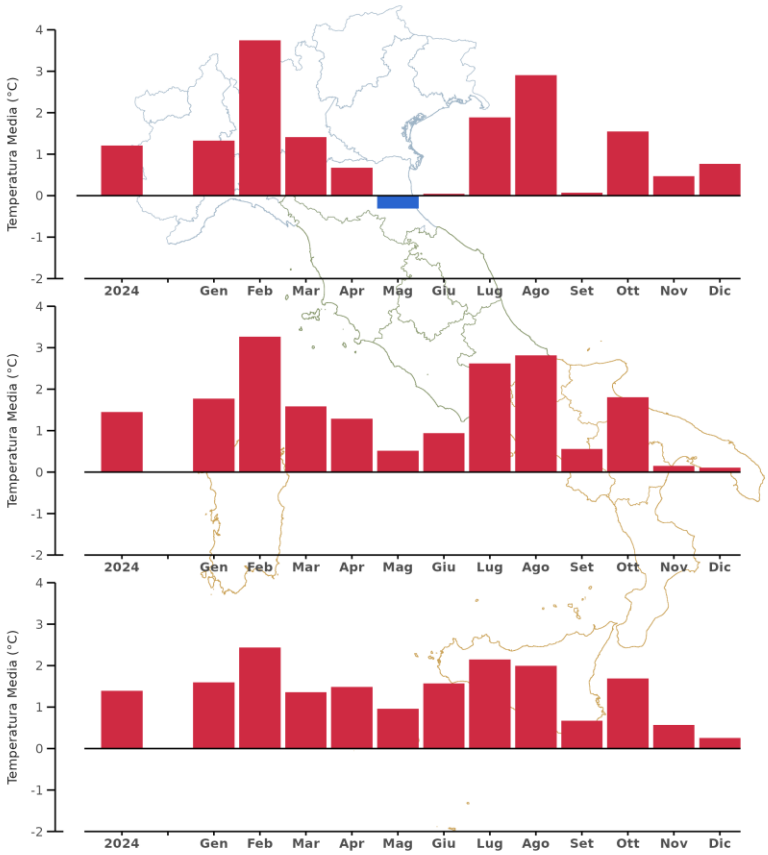
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 3.4: Anomalia media 2024 in Italia (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020.



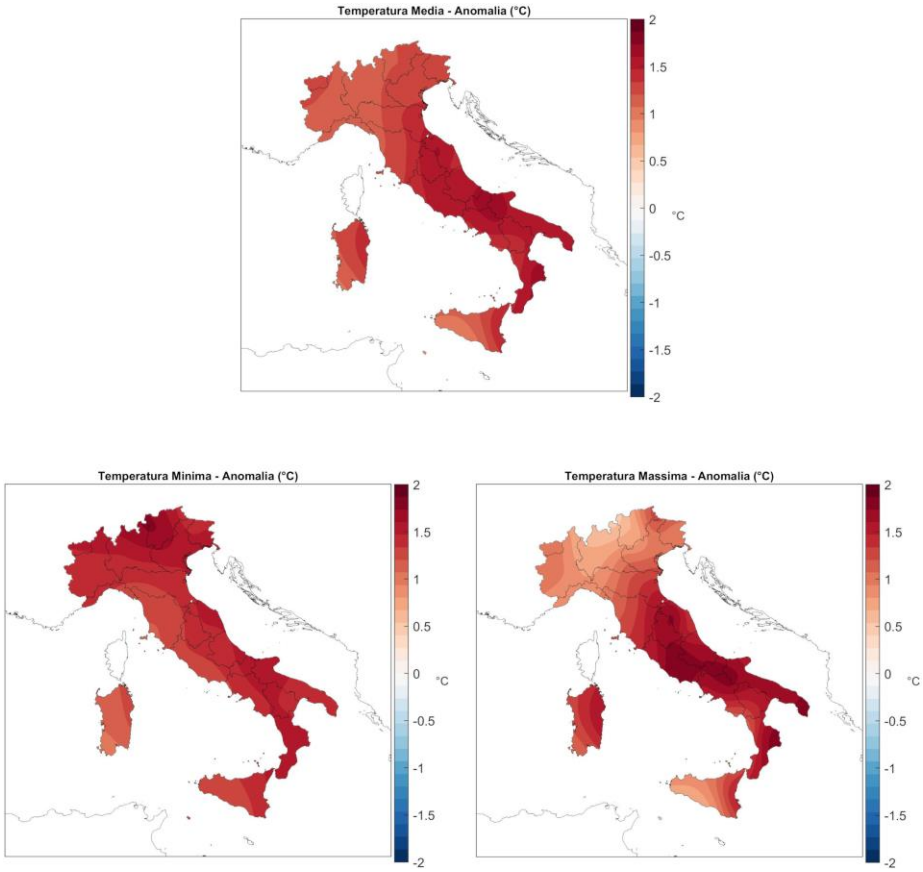
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.5: Anomalia media 2024 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020 – Nord, Centro, Sud e Isole.



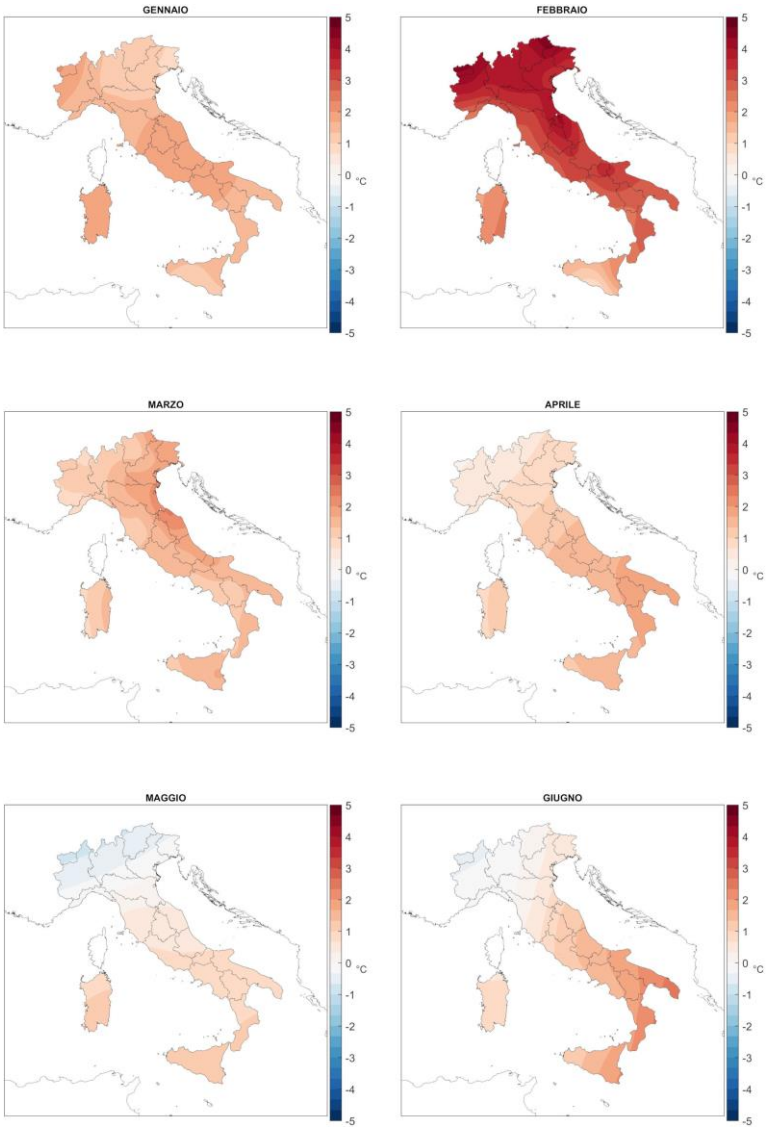
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.6: Anomalia della temperatura media, minima e massima annuale 2024 rispetto al valore normale 1991-2020.



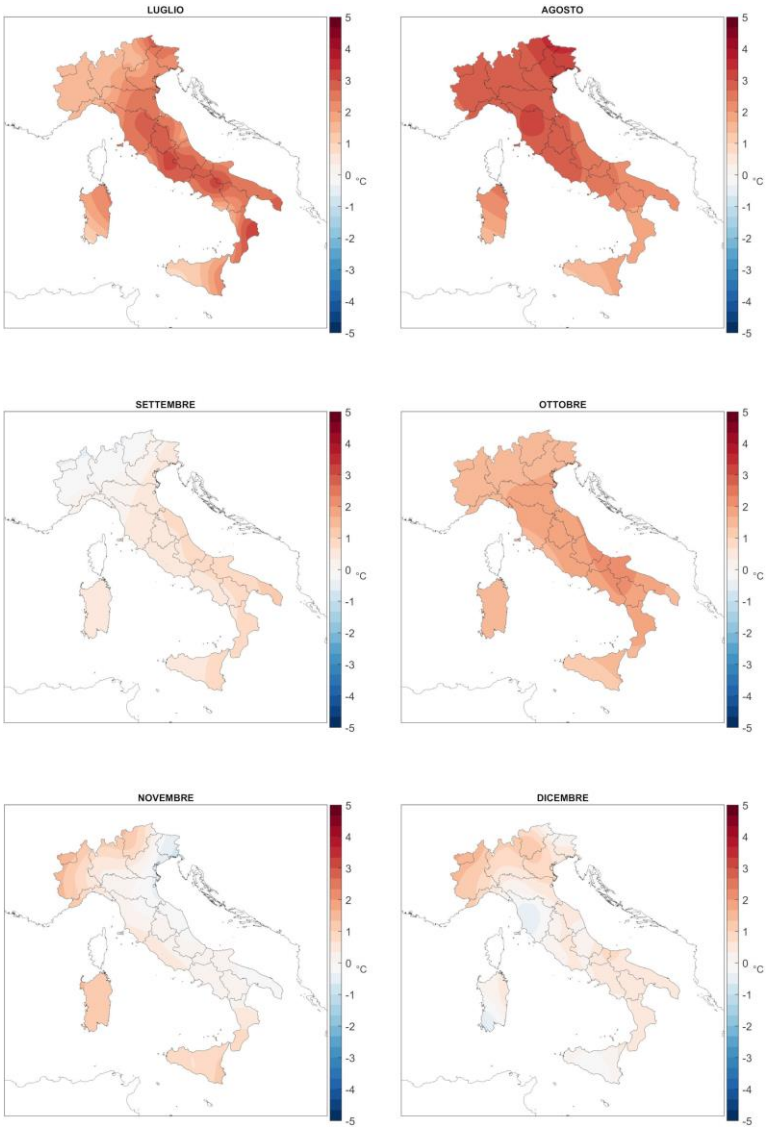
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 3.7a: Anomalie della temperatura media mensile 2024 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 2024 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

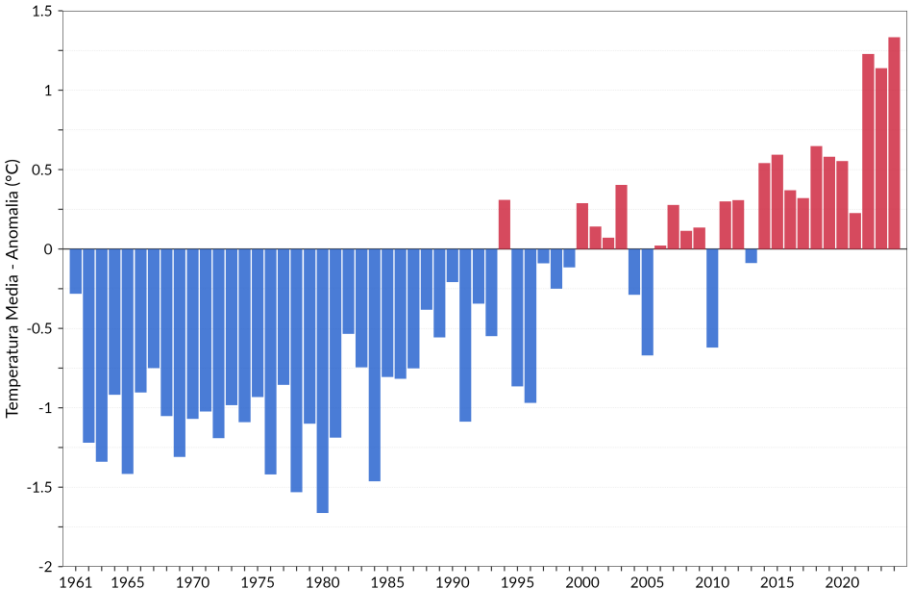
La variabilità interannuale della temperatura in Italia è illustrata dalle serie delle anomalie annuali di temperatura media, minima e massima, rispetto alla media climatologica 1991-2020 (Figure 3.8 e 3.9). **Il 2024 è risultato l'anno più caldo della serie dal 1961, con una marcata anomalia positiva di temperatura media di +1.33 °C rispetto al valore climatologico 1991-2020.**
A partire dal 2000, le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state quasi sempre positive, ad eccezione di quattro anni: 2004, 2005, 2010 e 2013; il 2024 è stato, inoltre, l'undicesimo anno consecutivo con un'anomalia positiva rispetto alla norma.
Il 2024 si colloca al secondo posto della serie per l'anomalia della temperatura massima (+1.26 °C), dopo il record del 2022, **e al primo posto per l'anomalia di temperatura minima (+1.40 °C)**, superando il record precedente dell'anno 2023.
L'analisi per macroaree geografiche mostra che per la temperatura media il 2024 è stato l'anno più caldo al Centro e al Sud e Isole, mentre al Nord si colloca al terzo posto fra i più caldi 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. **Tutte le stagioni sono state più calde della media 1991-2020.** All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2024 ha contribuito in maniera più marcata **l'inverno**, che, **con il valore di +2.18 °C sopra la media 1991-2020, si colloca al primo posto fra i più caldi della serie dal 1961**, seguito dall'estate (+1.84 °C) e dalla primavera (+0.97 °C), entrambe al terzo posto delle rispettive serie dal 1961, e dall'autunno (+0.84). 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 1981-2024. 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 (+0.42 ± 0.04) °C / 10 anni, della temperatura massima di (+0.44 ± 0.05) °C / 10 anni e della temperatura minima di (+0.40 ± 0.04) °C / 10 anni.**
Anche su base stagionale, tutti i trend della temperatura media sono positivi. **Il trend più marcato si registra in estate (+0.60 ± 0.08) °C / 10 anni**; con riferimento alle altre stagioni, in autunno il trend stimato è di (+0.37 ± 0.08) °C / 10 anni, in inverno (0.36 ± 0.10) °C / 10 anni e in primavera (+0.35 ± 0.08) °C / 10 anni. L'analisi per macroaree geografiche indica un tasso di variazione della temperatura media di (+0.46±0.05) °C / 10 anni al Nord, (+0.43±0.05) °C / 10 anni al Centro e (+0.38±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 2024, 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	+0.42±0.04
Temperatura minima Italia	+0.40±0.04
Temperatura massima Italia	+0.44±0.05
Temperatura media Nord	+0.46±0.05
Temperatura media Centro	+0.43±0.05
Temperatura media Sud e Isole	+0.38±0.04
STAGIONALE (Italia)	
Temperatura media inverno	+0.36±0.10
Temperatura media primavera	+0.35±0.08
Temperatura media estate	+0.60±0.08
Temperatura media autunno	+0.37±0.07

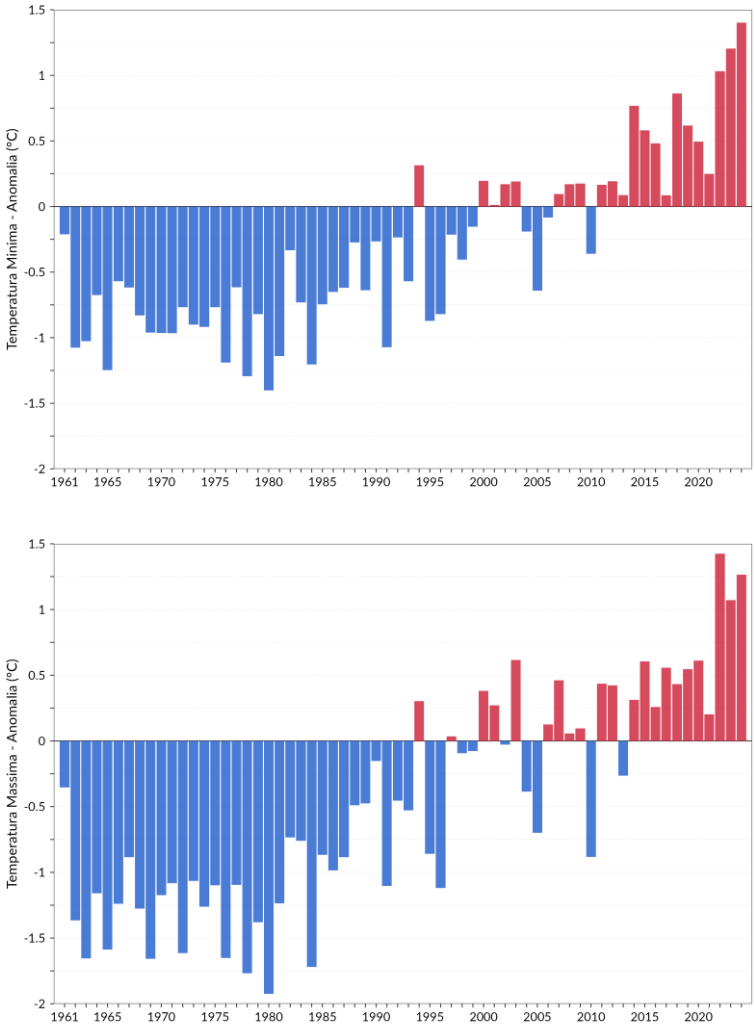
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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



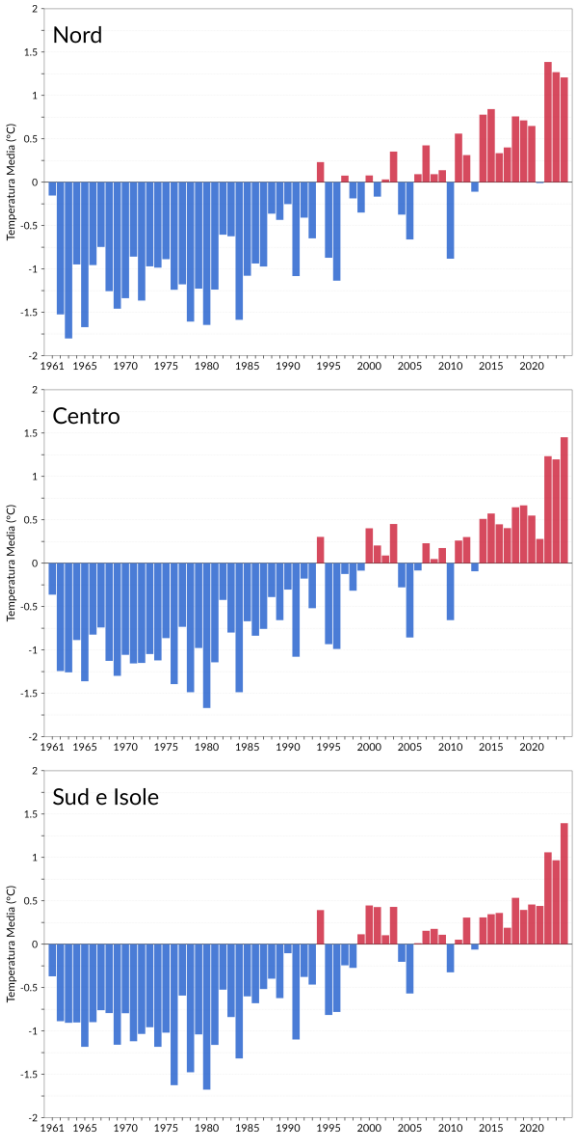
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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



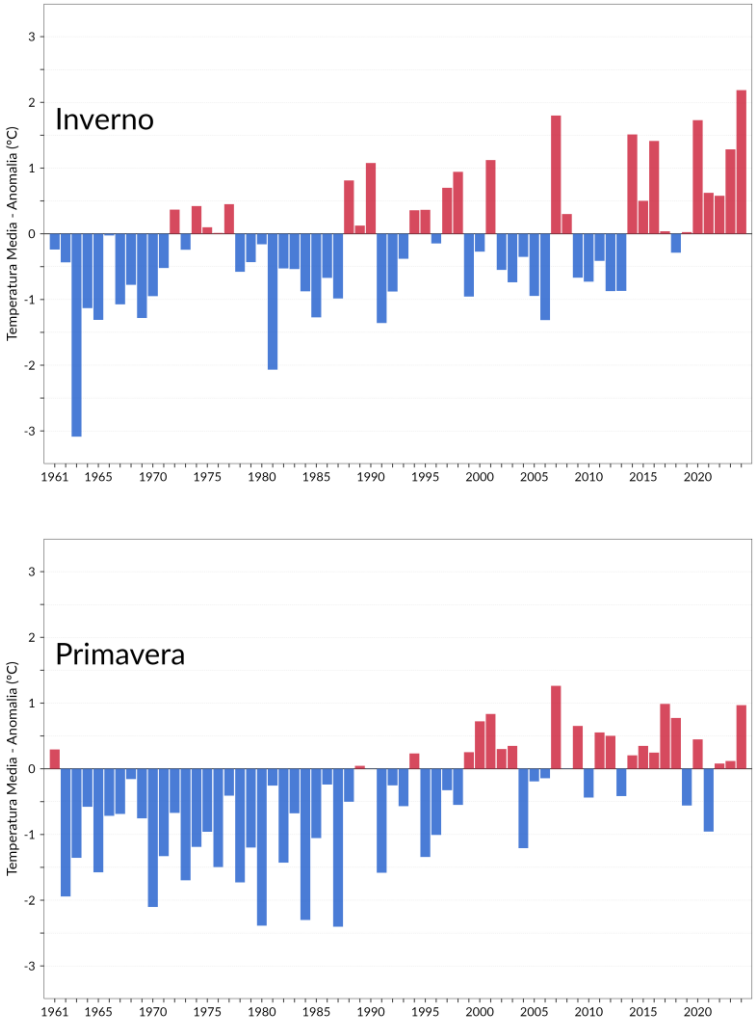
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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.



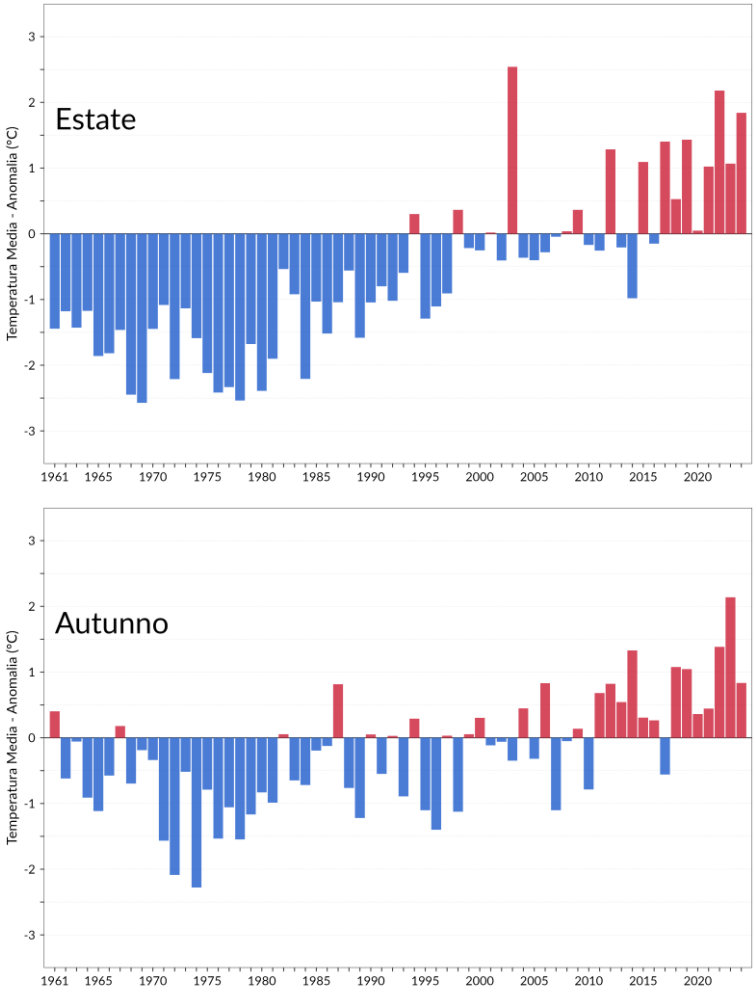
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

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 2024 il numero medio di **giorni con gelo**, ossia con temperatura minima minore o uguale a 0 °C, ha fatto registrare un'anomalia di -13.7 giorni rispetto alla media 1991-2020 e si colloca **al secondo posto fra i più bassi della serie** dal 1961 (Figura 3.12).

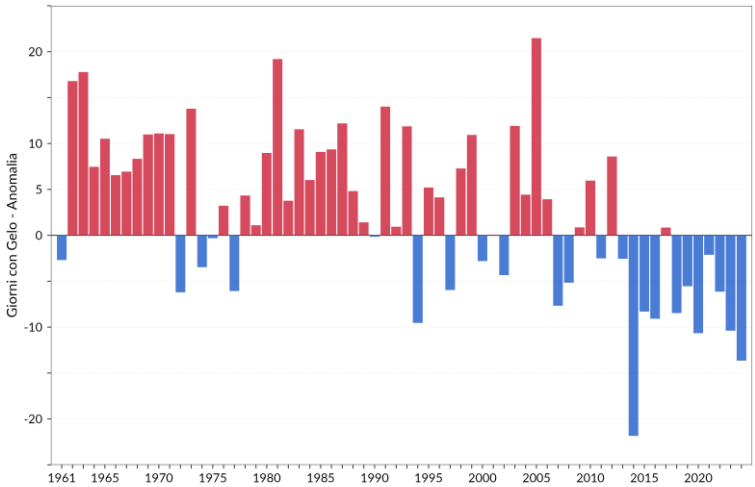
Per il numero medio di **notti tropicali**, ossia con temperatura minima maggiore di 20 °C, il 2024 si colloca, con +25.2 giorni rispetto alla norma, al **primo posto tra i più alti della serie** dal 1961 (Figura 3.13), battendo il record del 2022. Per il numero medio di **giorni estivi**, ossia con temperatura massima superiore a 25 °C, il 2024, con +6.9 giorni rispetto norma, si colloca all'undicesimo **posto tra i più alti della serie** dal 1961 (Figura 3.14). Il numero medio di **giorni torridi**, ossia con temperatura massima superiore a 35 °C, ha fatto registrare il **valore più alto della serie (+11.4 giorni)**, battendo il record del 2003 (Figura 3.15), caratterizzato dall'estate più calda di sempre.

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 a 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 2024 un'anomalia media nazionale pari a +29.3 giorni rispetto alla media climatologica 1991-2020 (Figura 3.16). **Per l'indice WSDI il 2024 si colloca al quarto posto tra i più alti della serie dal 1961**, dopo il record del 2022, seguito dal 2003 e infine dal precedente 2023.

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 state sempre superiori alla media e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.
In particolare, riguardo alle rispettive serie dal 1961, nel 2024 **le notti calde hanno fatto registrare il valore più alto e i giorni caldi il secondo valore più alto**, mentre **le notti fredde hanno fatto registrare il valore più basso e i giorni freddi hanno fatto registrare il secondo valore più basso**. Complessivamente, si osserva che gli indici rappresentativi degli estremi della temperatura minima si collocano quasi tutti ai primi posti fra i più alti (per gli estremi di caldo) o fra i più bassi (per gli estremi di freddo) delle rispettive serie dal 1961.

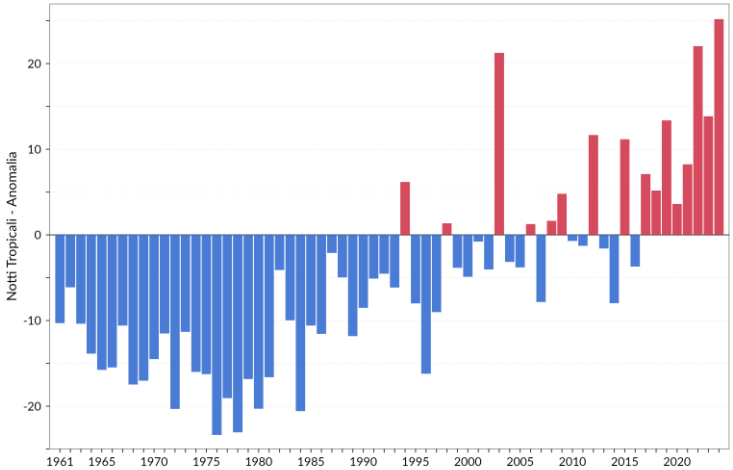
Figura 3.12: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con gelo[10] in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

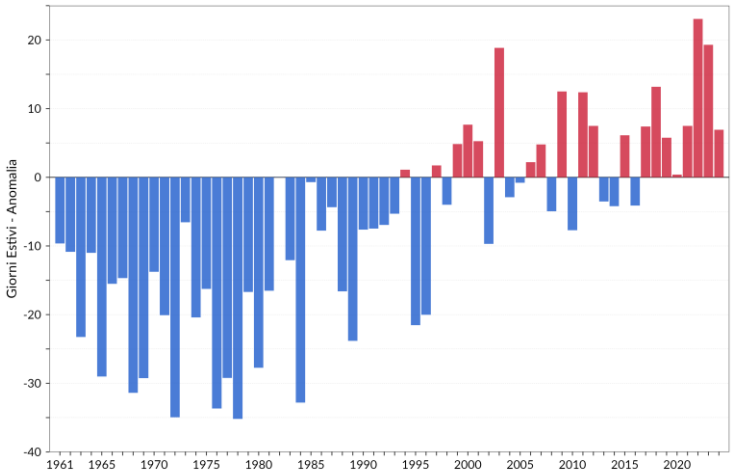
[10] Numero di giorni nell'anno con temperatura minima giornaliera < 0 °C.

Figura 3.13: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali[11] in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

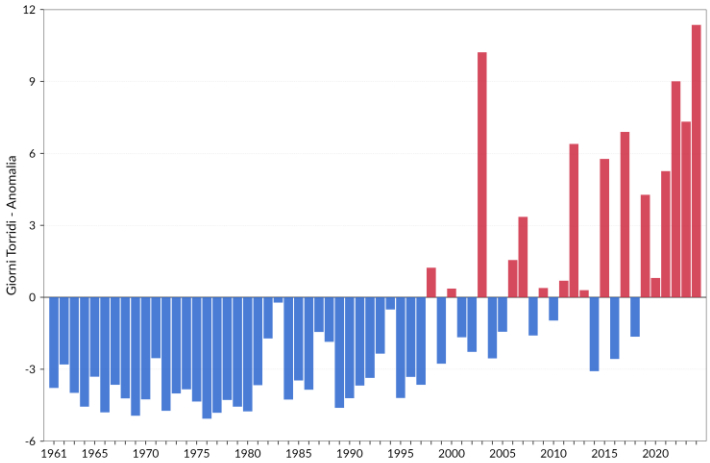
Figura 3.14: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi[12] in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

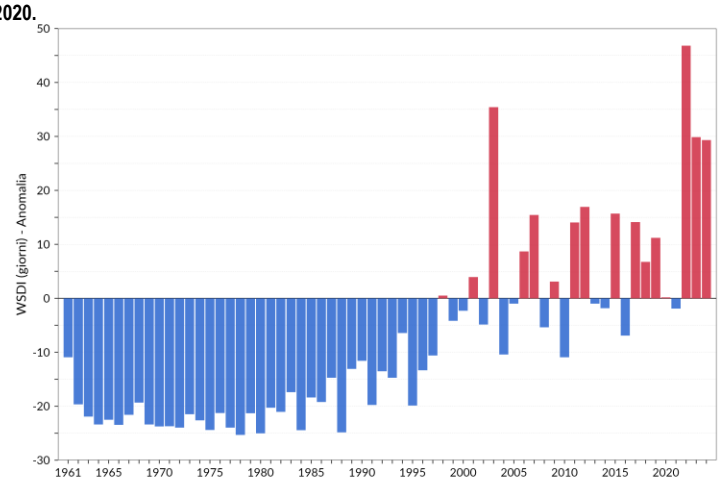
[11] Numero di giorni nell'anno con temperatura minima giornaliera > 20 °C.
[12] Numero di giorni nell'anno con temperatura massima giornaliera > 25 °C.

Figura 3.15: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni torridi[13] 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 Index*[14] in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

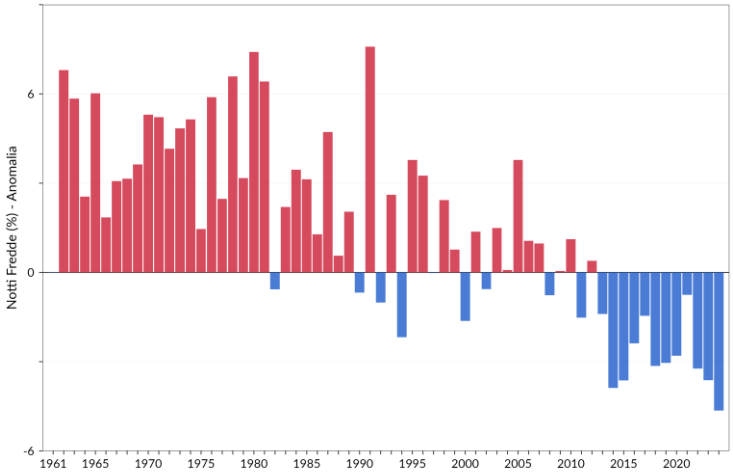


Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

[13] Numero di giorni nell'anno con temperatura massima giornaliera > 35 °C.

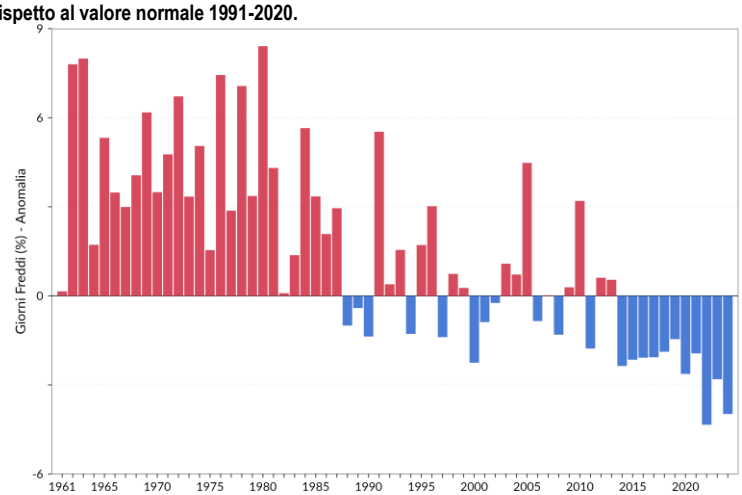
[14] Numero di giorni nell'anno con temperatura massima giornaliera > 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico 1991-1990, per almeno sei giorni consecutivi.

Figura 3.17: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti fredde in Italia (TN10p)[15], espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

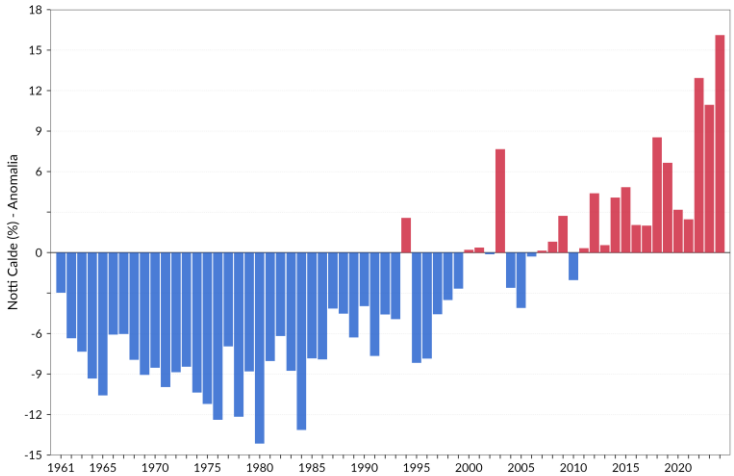
Figura 3.18: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni freddi in Italia (TX10p)[16], espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

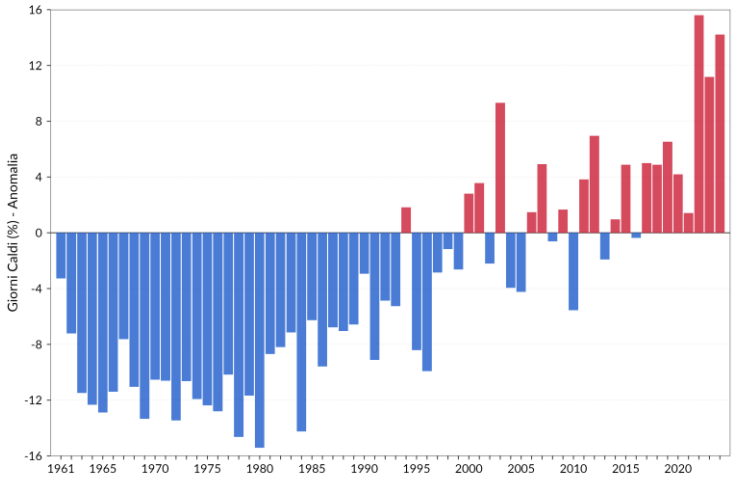
[15] Percentuale di giorni nell'anno con temperatura minima < 10° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.
[16] Percentuale di giorni nell'anno con temperatura massima < 10° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.

Figura 3.19: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti calde in Italia (TN90p)[17], 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)[18], espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

[17] Percentuale di giorni nell'anno con temperatura minima > 90° percentile della distribuzione del trentennio 1961-1990.
[18] Percentuale di giorni nell'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 2024 sono stati elaborati a partire dai dati forniti dalla piattaforma del *Copernicus Marine Service* (CMS)[19]. Il prodotto utilizzato consiste nella stima della SST su un grigliato regolare con passo orizzontale di 0.05°, ottenuta dall'interpolazione di dati satellitari[20]. Il periodo coperto dal prodotto va dal 1982 al 2024 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 2024, così ottenuti, sono compresi tra 19.0 °C del Mar Ligure e 21.6 °C del Mar Ionio (Figura 4.2). Nel 2023 la media annuale più alta era stata registrata per il Canale di Sicilia (21.0 °C), mentre il Mar Ionio aveva registrato un valore di 20.9 °C.
Per tutti i mari, nel 2024 i valori mensili più bassi si registrano a febbraio, mentre quelli più alti ad agosto. Il valore medio mensile minimo è stato registrato nel Mar Adriatico (13.7 °C), quello massimo nel Mar Ionio (29.1 °C, oltre 1.5 °C in più rispetto al 2023).
I valori della temperatura media per il 2024 sono inoltre riportati nella Figura 4.3. Oltre al normale gradiente di temperatura lungo l'asse nord-sud, è ben visibile un'area più calda localizzata nello Ionio e nel Canale di Sicilia, attorno alle coste maltesi. L'Adriatico settentrionale ed il Mar Ligure risultano invece le zone più fredde tra i mari italiani.
Considerata nel suo insieme, la **temperatura superficiale dei mari italiani nel 2024** (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 ad agosto (+2.16 °C), la cui forte anomalia positiva lo rende il mese con i valori medi più alti del 2024, e luglio (+1.74 °C). Con un'anomalia media di **+1.24 °C rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1991-2020**, il 2024 si conferma come **il valore più alto dell'intera serie dal 1982**, quasi 0.3 °C superiore al precedente record del 2022 (Figura 4.5). A partire dal 2007 tutte le anomalie annuali sono state positive, con l'eccezione del 2010. I valori più alti della serie sono tutti concentrati negli ultimi quattordici anni, 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 record registrati nel 2024. Tuttavia, importanti differenze sono presenti nella distribuzione spaziale di tali valori (Figura 4.6). Si notano infatti anomalie molto pronunciate, oltre +1.5 °C, su tutto l'Adriatico e nel Golfo di Taranto. Marcate anomalie positive, seppure di minore entità, si osservano sul Tirreno e sul 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, mostra una tendenza al riscaldamento molto marcata nelle

[19] Il CMS-*Copernicus Marine Service* è uno dei 6 servizi tematici operativi del *Copernicus Earth Observation Programme* dell'Unione Europea: https://marine.copernicus.eu.
[20] *Mediterranean Sea - High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed dataset*. https://doi.org/10.48670/moi-00173.

aree del **Mar Ligure**, del **Mar Adriatico** e del **Golfo di Taranto**, con valori del **trend prossimi a +0.5 °C / 10 anni**. I valori più bassi, ma comunque positivi, si registrano nel Canale di Sicilia, nel basso Ionio e nel Canale di Sardegna.

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.

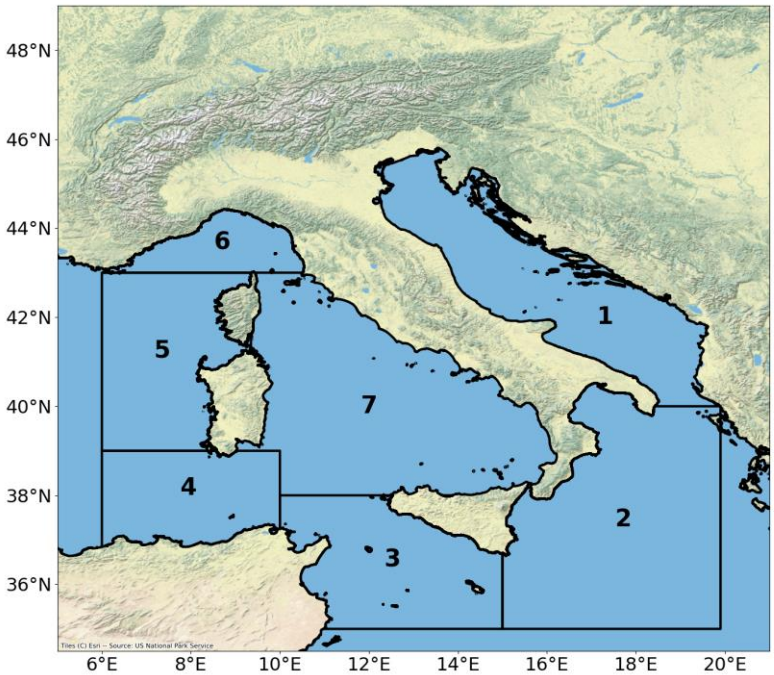
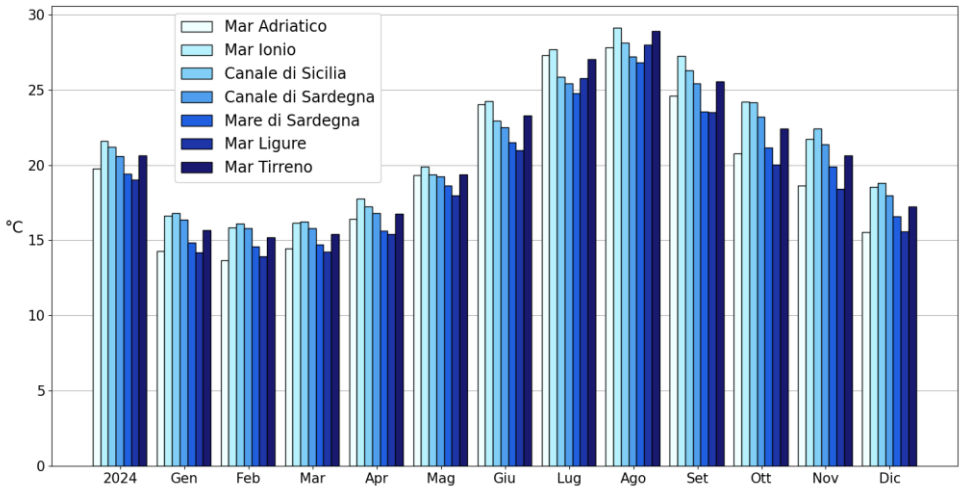
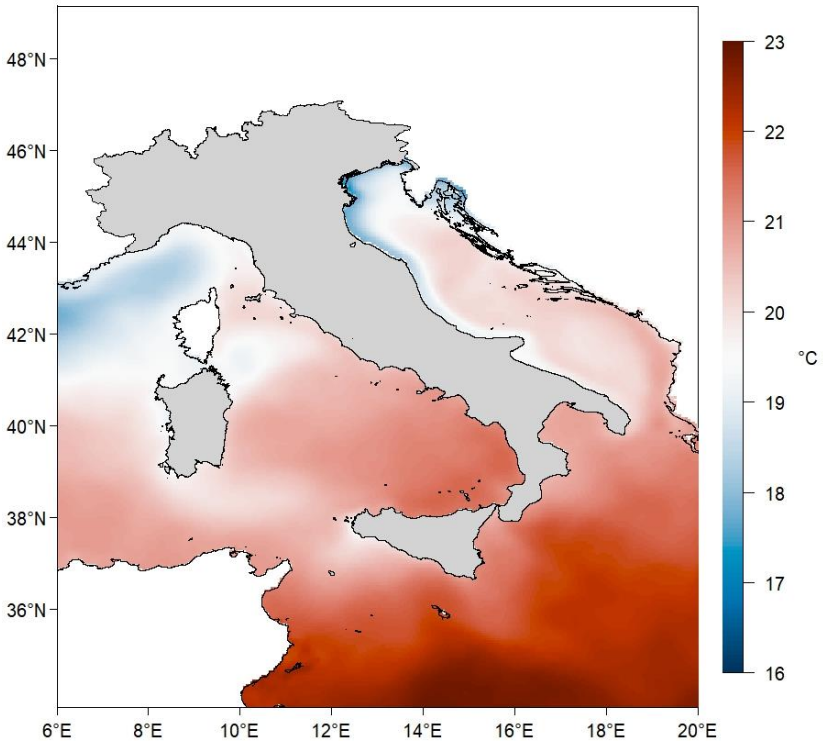


Figura 4.2: Temperatura media superficiale del mare nel 2024 in Italia (annuale e mensile).



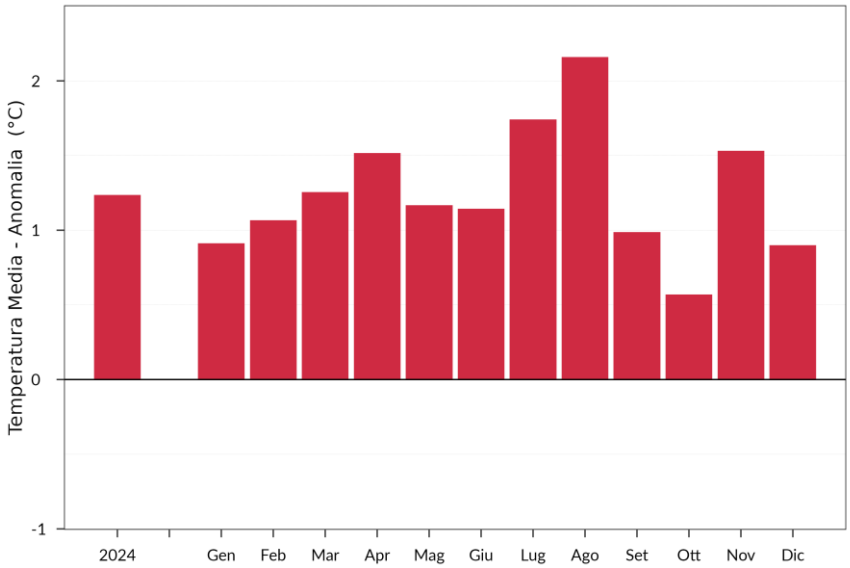
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-*Sea Surface Temperature* dal portale CMS.

Figura 4.3: Temperatura media superficiale del mare nel 2024 in Italia.



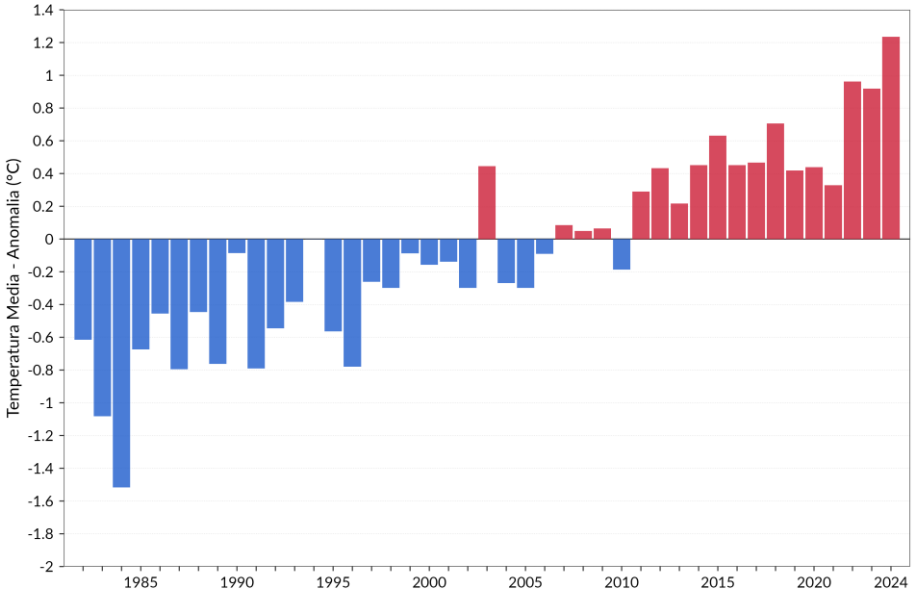
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-*Sea Surface Temperature* dal portale CMS.

Figura 4.4: Anomalia media 2024 (annuale e mensile) della temperatura media superficiale dei mari italiani rispetto al valore normale 1991-2020.



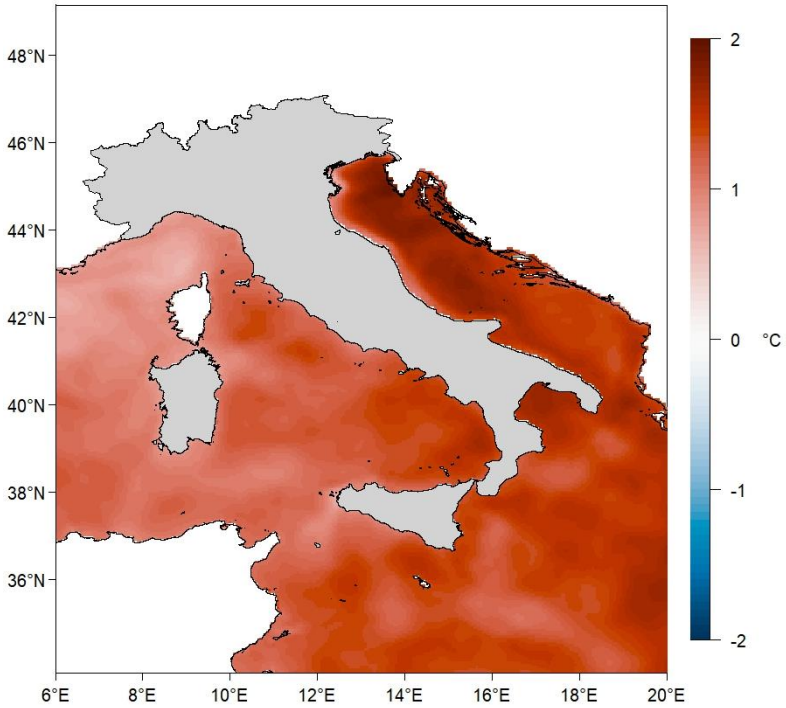
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-*Sea Surface Temperature* dal portale CMS.

Figura 4.5: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media superficiale dei mari italiani, nell'intervallo 1982-2024, rispetto al valore normale 1991-2020.



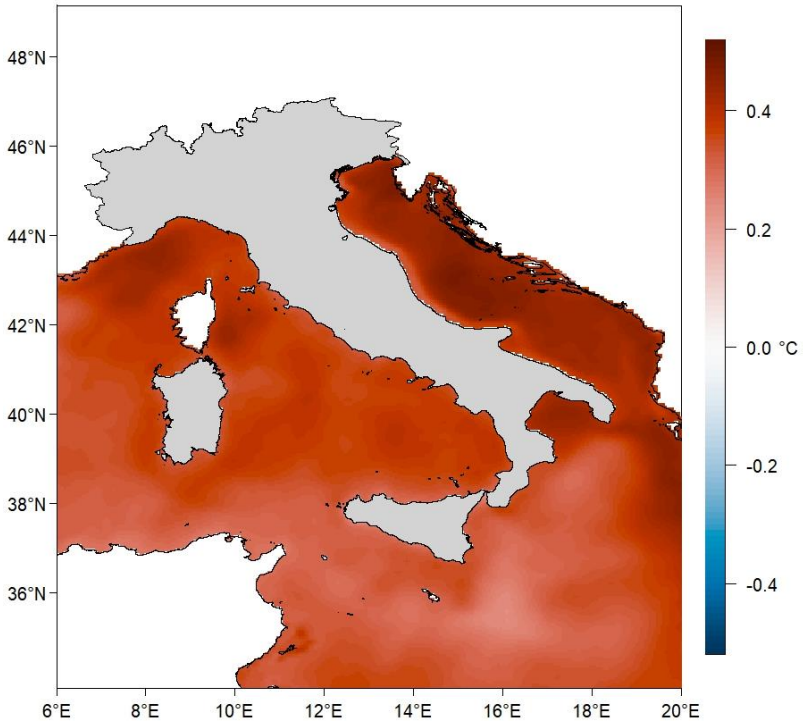
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-*Sea Surface Temperature* dal portale CMS.

Figura 4.6: Anomalia media annuale 2024 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 1982-2024, rappresentato in °C/decennio.



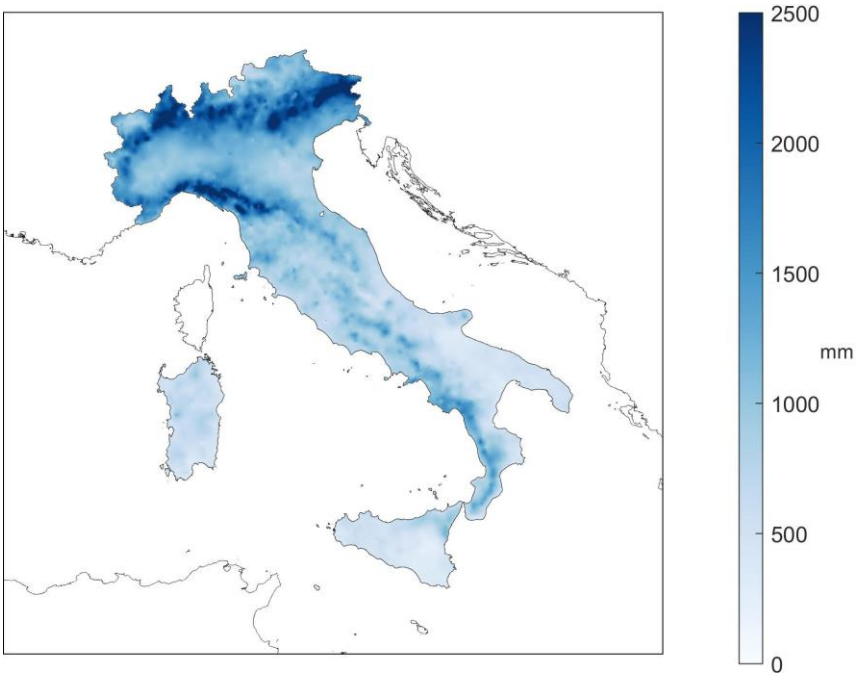
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-*Sea Surface Temperature* dal portale CMS.

5. PRECIPITAZIONE

5.1 Analisi annuale

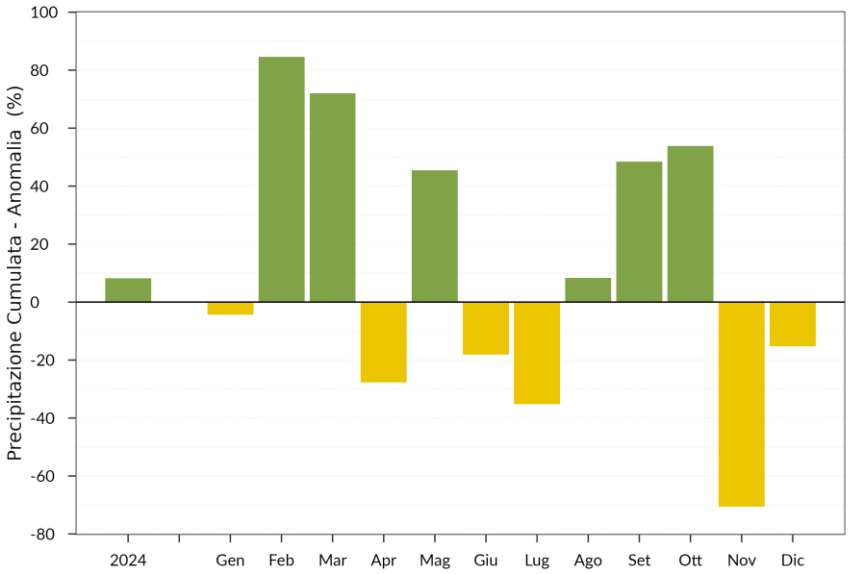
Nella Figura 5.1 è rappresentata la mappa delle precipitazioni cumulate annuali. I valori più elevati sono stati registrati sulle Prealpi e sull'Appennino settentrionale, con valori massimi localmente oltre 3500 mm. I valori più bassi sono stati registrati su ampie aree di Emilia-Romagna e Piemonte, Puglia e Basilicata e Italia insulare: in Sicilia e Sardegna si sono registrati i valori minimi, inferiori a 200 mm.
L'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno è illustrato dai grafici delle Figure 5.2 e 5.3, in cui sono rappresentate le anomalie di precipitazione cumulata rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. **Le precipitazioni cumulate annuali in Italia nel 2024 sono state complessivamente superiori alla media climatologica di circa l'8%.** Il 2024 è stato caratterizzato da un'alternanza di anomalie positive e negative mensili nel corso dell'anno. I **mesi relativamente più secchi** sono stati **novembre (-71%) e luglio (-35%),** mentre **i mesi relativamente più piovosi sono stati febbraio (+85%) e marzo (+72%).**
L'analisi per macroaree geografiche indica che **l'anomalia di precipitazione è stata negativa al Sud e Isole (-18%), positiva al Nord (+38%),** dove il 2024 ha rappresentato il secondo anno più piovoso dal 1961, e prossima alla media al Centro.
Le precipitazioni sono state inferiori alla norma ovunque **ad aprile, luglio e novembre, mentre sono state superiori alla norma ovunque a febbraio, maggio e settembre**. Le anomalie più marcate si sono avute tutte al Nord: quelle positive a febbraio (+190%) e a marzo (+172%), quella negativa a novembre (-88%). Al Centro si sono registrate anomalie comprese tra -70% (novembre) e +60% (settembre), mentre al Sud e Isole si sono registrate anomalie comprese tra -73 % (giugno) e +57% (agosto), con una prevalenza di anomalie negative.
Le Figure 5.4 e 5.5 mostrano la distribuzione spaziale dell'anomalia di precipitazione cumulata annuale del 2024, 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** mette in evidenza una suddivisione tra **la parte settentrionale e centro-settentrionale, con quasi totale presenza di anomalie positive, e la restante parte del territorio nazionale con quasi totale presenza di anomalie negative** o debolmente positive (vedi focus).
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 positive al Nord e al centro-nord a febbraio, marzo, maggio, settembre ed ottobre, e la forte anomalia negativa sulla quasi totalità dell'Italia a novembre e, in misura minore, a luglio;** è anche evidente la prevalenza di **marcate anomalie negative al Sud e sulle Isole in quasi tutti i mesi dell'anno.**

Figura 5.1: Precipitazione cumulata 2024.



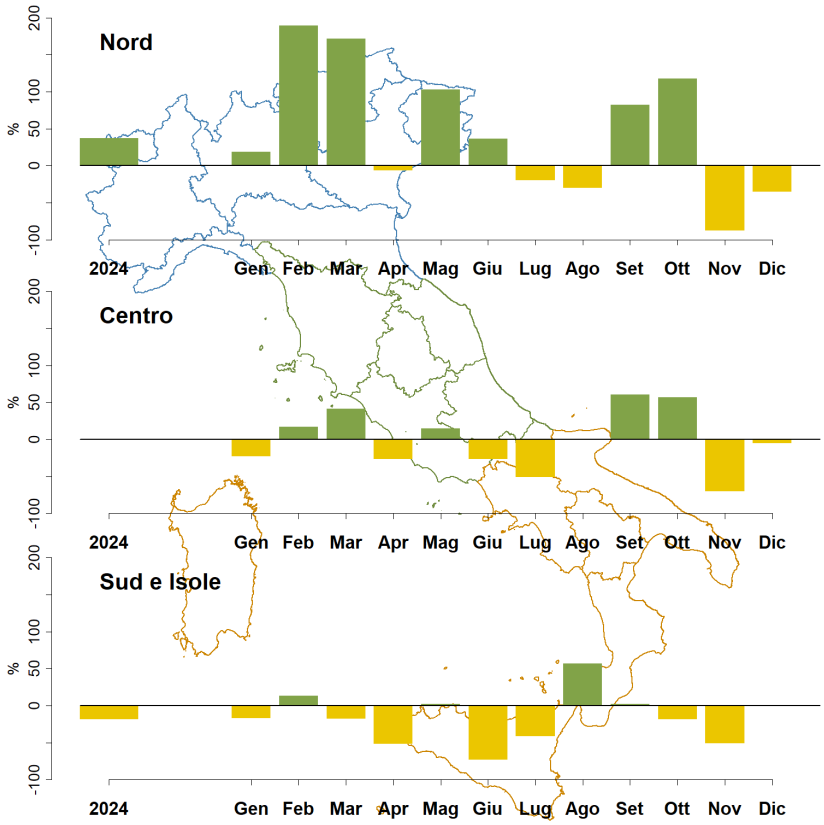
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.2: Anomalia media mensile ed annuale 2024, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata in Italia, rispetto al valore normale 1991-2020.



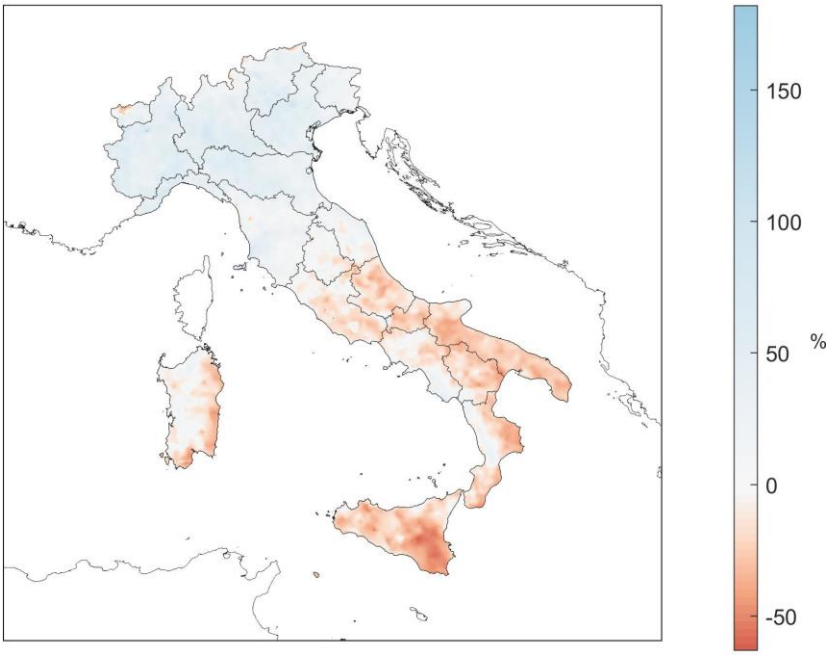
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.3: Anomalia media mensile ed annuale 2024, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1991-2020.



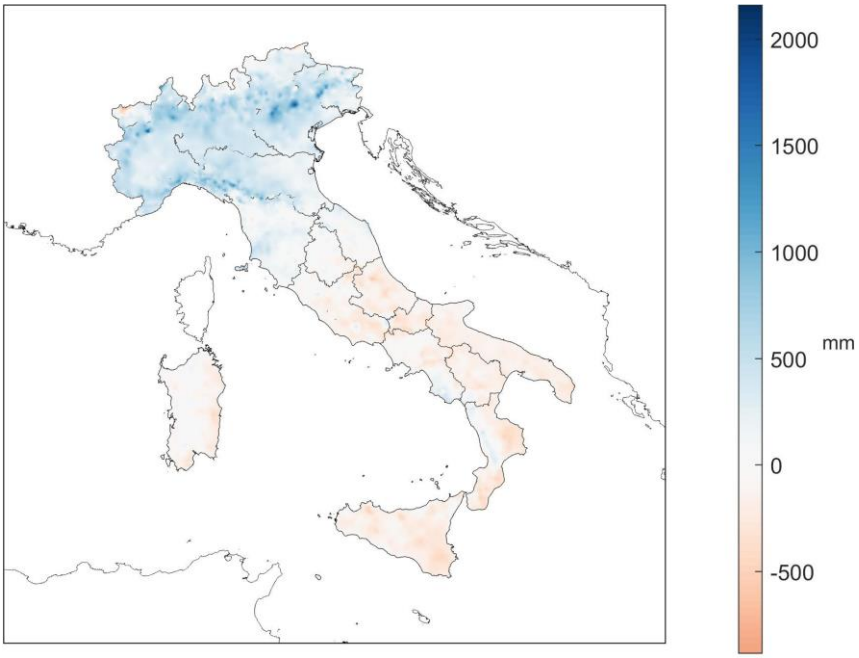
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.4: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2024, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020.



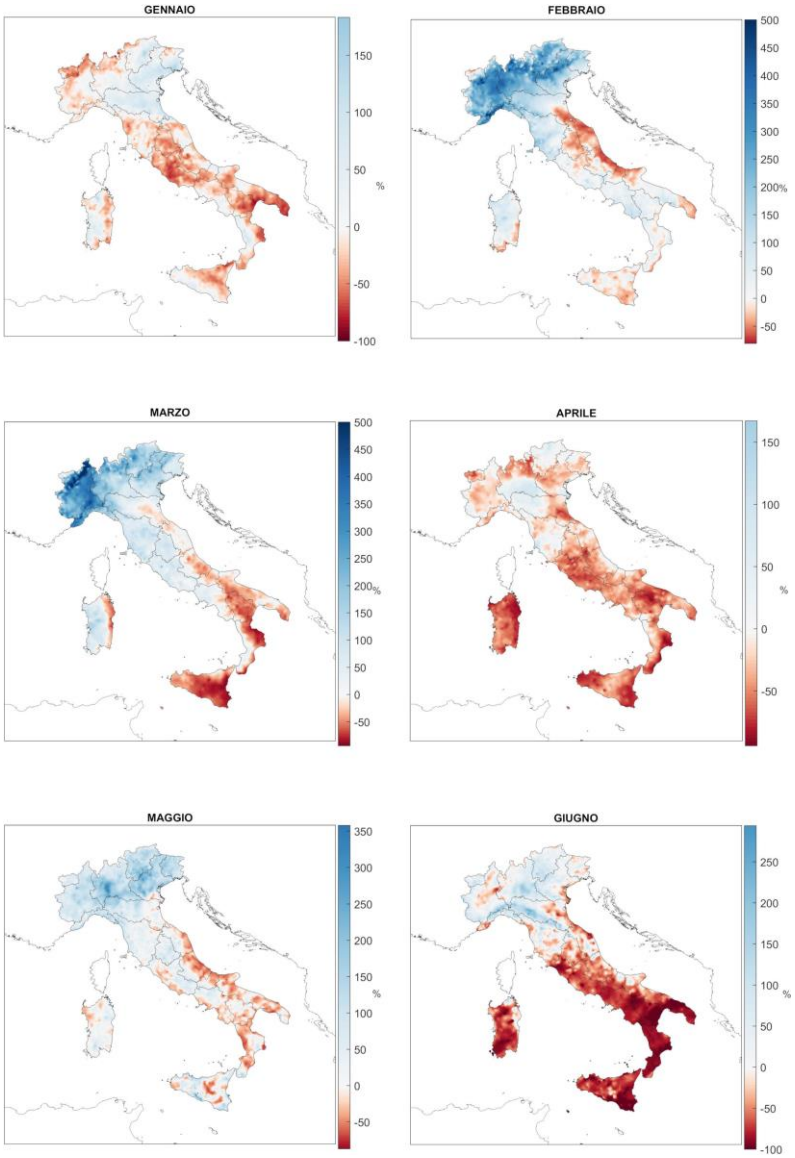
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.5: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2024, espressa in mm, rispetto al valore normale 1991-2020.



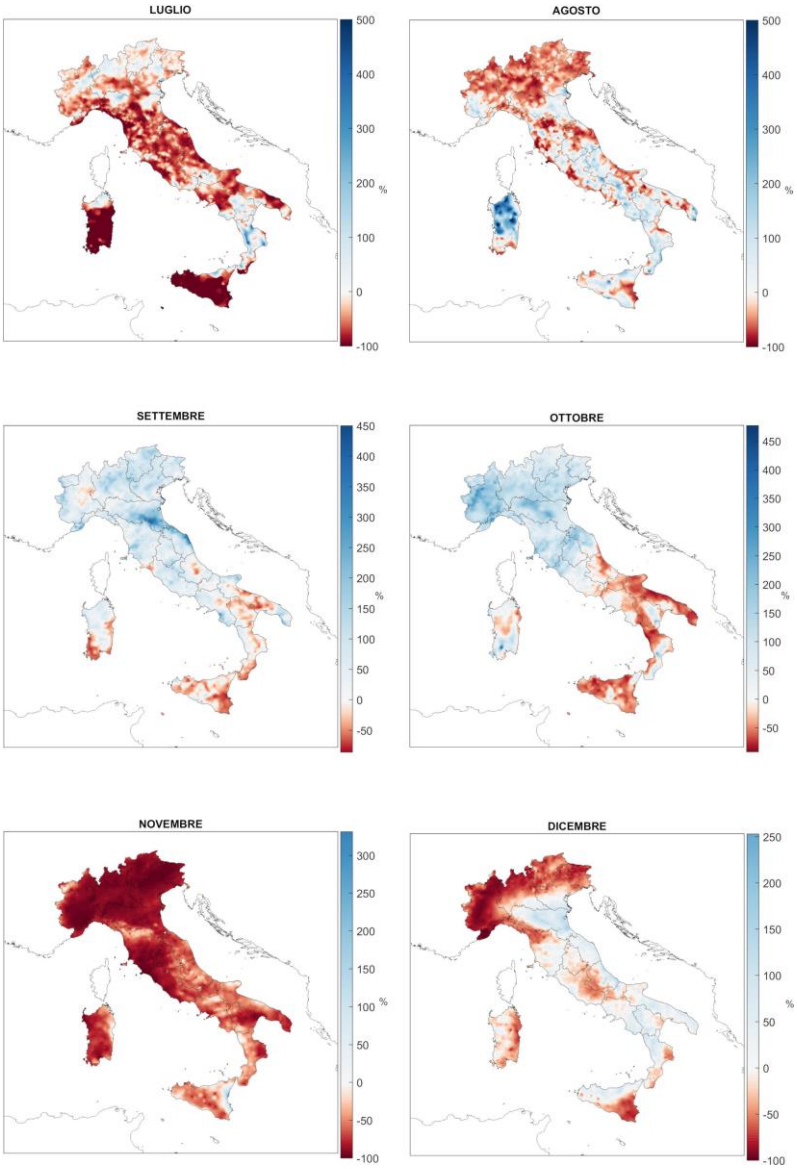
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

Figura 5.6a: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (gennaio-giugno) 2024 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) 2024, 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

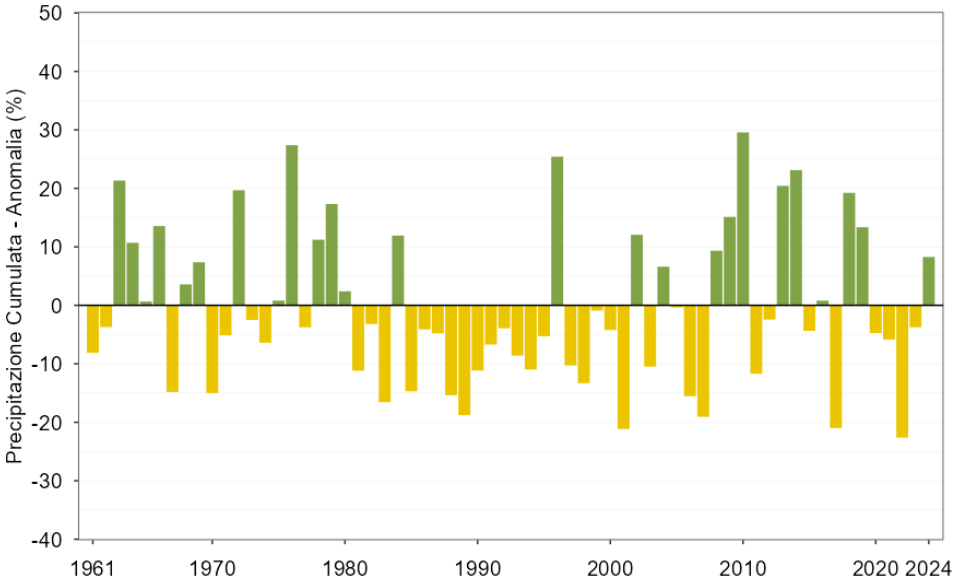
L'andamento delle precipitazioni in Italia negli ultimi decenni è illustrato dalle serie di anomalie di precipitazione cumulata annuale nel periodo 1961-2024, rispetto al valore climatologico 1991-2020 (Figure 5.7 e 5.8).
Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia di +8% circa, il 2024 si colloca al diciottesimo posto tra i più piovosi della serie dal 1961.
Dalle serie di anomalia della precipitazione cumulata stagionale (Figura 5.9) si rileva che l'estate è stata meno piovosa della norma (-12%), collocandosi al ventiquattresimo posto della serie fra le meno piovose, mentre le altre stagioni sono state più piovose della media. La stagione relativamente più piovosa è stata la primavera (+24%), che si colloca all'ottavo posto tra le più piovose, seguita dall'inverno (+5%) e dall'autunno (+3%), che hanno fatto registrare precipitazioni poco sopra la norma. 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 1961-2024, 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. Tutti i trend stimati non sono statisticamente significativi.

Tabella 5.1: Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2024, stimati con il modello di regressione lineare semplice. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi al livello del 5%.

Precipitazione cumulata	trend (%/10 anni)
ANNUALE	
Italia	(-0.3 ± 0.9)
Nord	(+0.5 ± 1.1)
Centro	(-1.3 ± 1.0)
Sud e Isole	(-0.3 ± 1.1)
STAGIONALE (Italia)	
Inverno	(-2.3 ± 2.1)
Primavera	(+0.7 ± 1.4)
Estate	(-1.6 ± 2.1)
Autunno	(+1.2 ± 1.4)

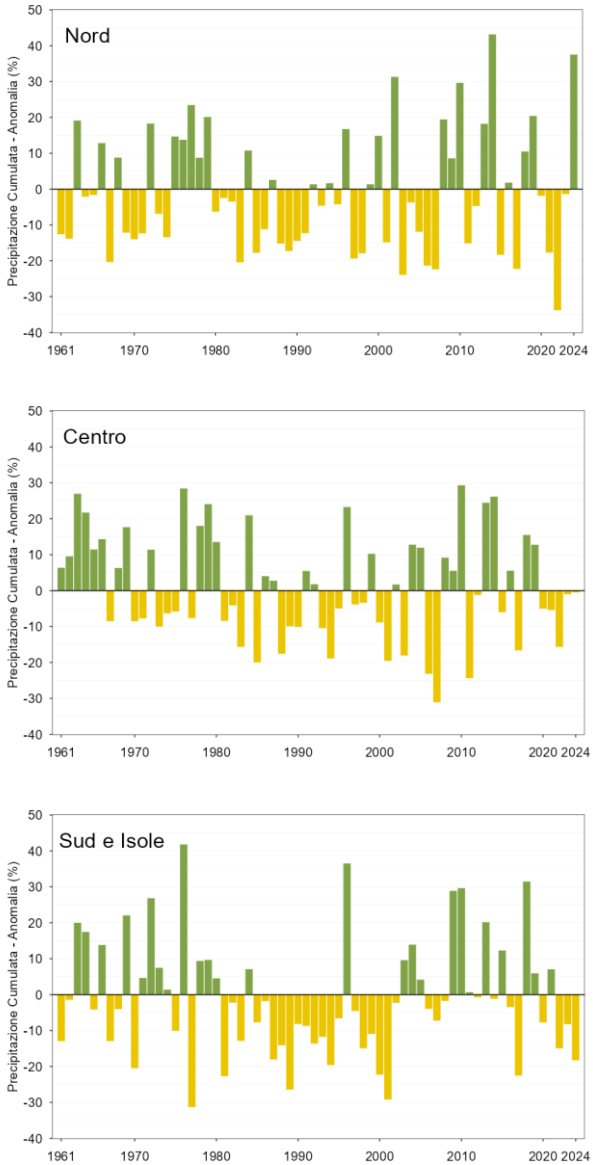
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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



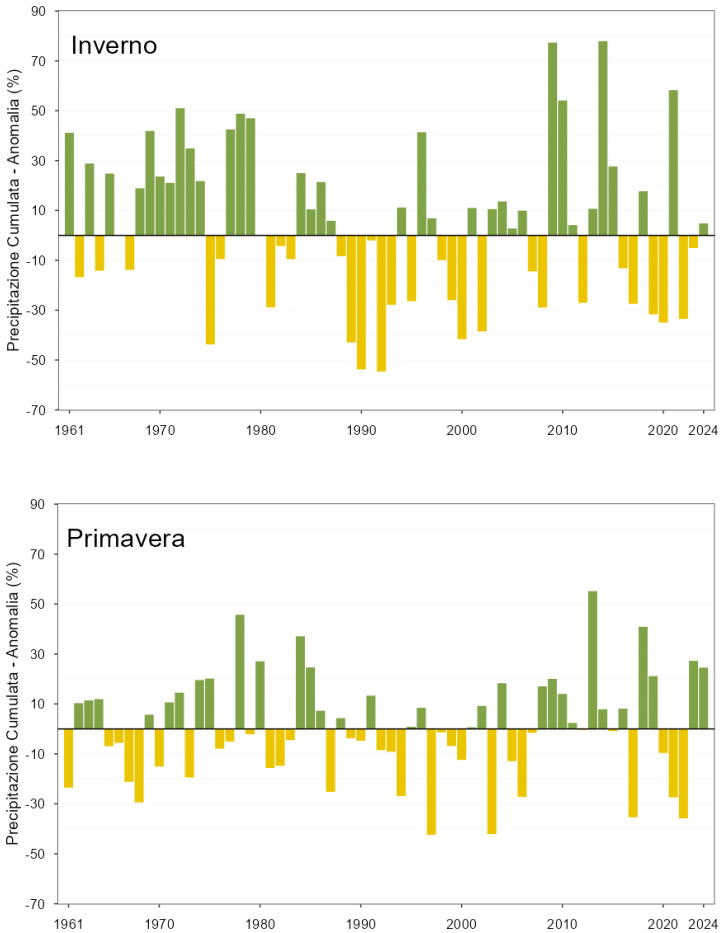
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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.



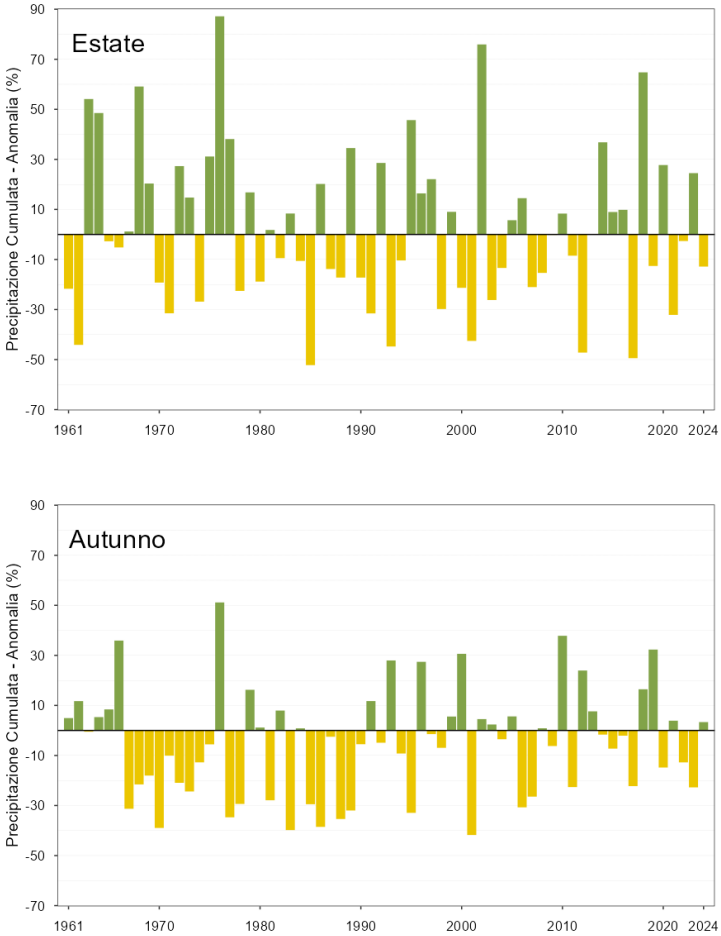
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

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).



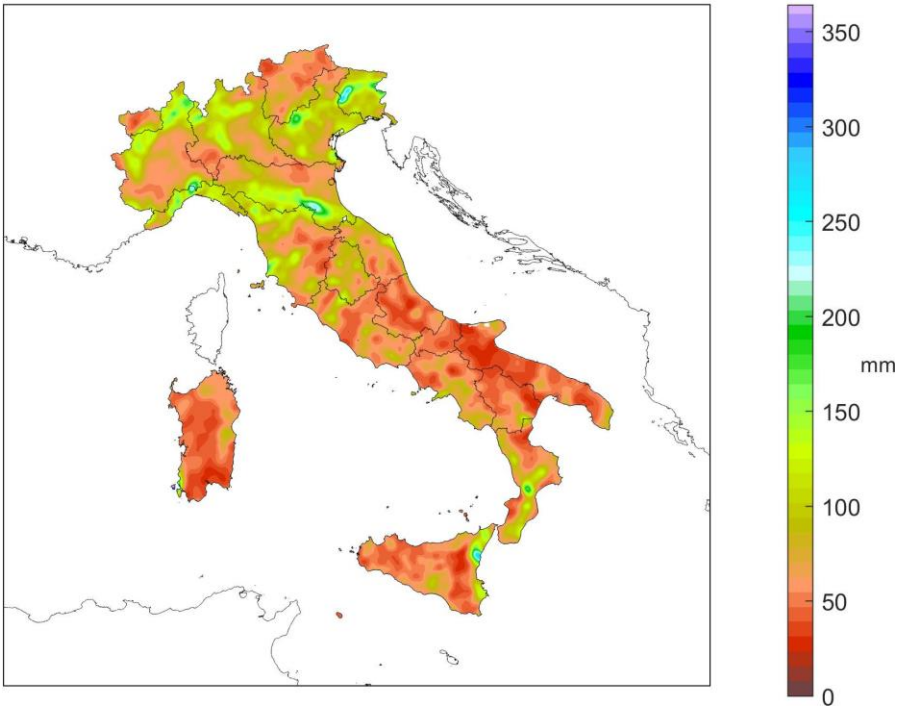
Fonte: Elaborazione ISPRA su valutazioni del BIGBANG.

5.3 Frequenza, intensità, estremi

Nella Figura 5.10 sono rappresentate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2024. 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, per il metodo di interpolazione spaziale utilizzato (GPR-*Gaussian Process Regression*) per i valori massimi giornalieri, i valori sul grigliato regolare sono generalmente inferiori ai massimi registrati dalle singole stazioni.
I valori più elevati di precipitazione giornaliera, oltre 250 mm, sono stati registrati da settembre a dicembre diverse località di Sardegna, Calabria, Sicilia, Emilia-Romagna e Friuli Venezia Giulia.
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 Puglia, su gran parte delle aree costiere, e sulle Isole, dove si registrano localmente i valori più elevati, con picchi oltre i 320 giorni asciutti. I valori più bassi (fino a circa 220 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi e sulla dorsale appenninica settentrionale.
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 invece su gran parte della Sicilia e della Sardegna** (fino a 146 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 101 in Sardegna), seguita dalla costa centro-settentrionale del Lazio (fino a 100 giorni), dalla **costa ionica** (fino a 88 giorni), e dalla Puglia meridionale. La durata minima registrata dei periodi di siccità in termini dell'indice CDD è di 15-17 giorni e si riscontra in Valle d'Aosta e Piemonte orientale.
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-

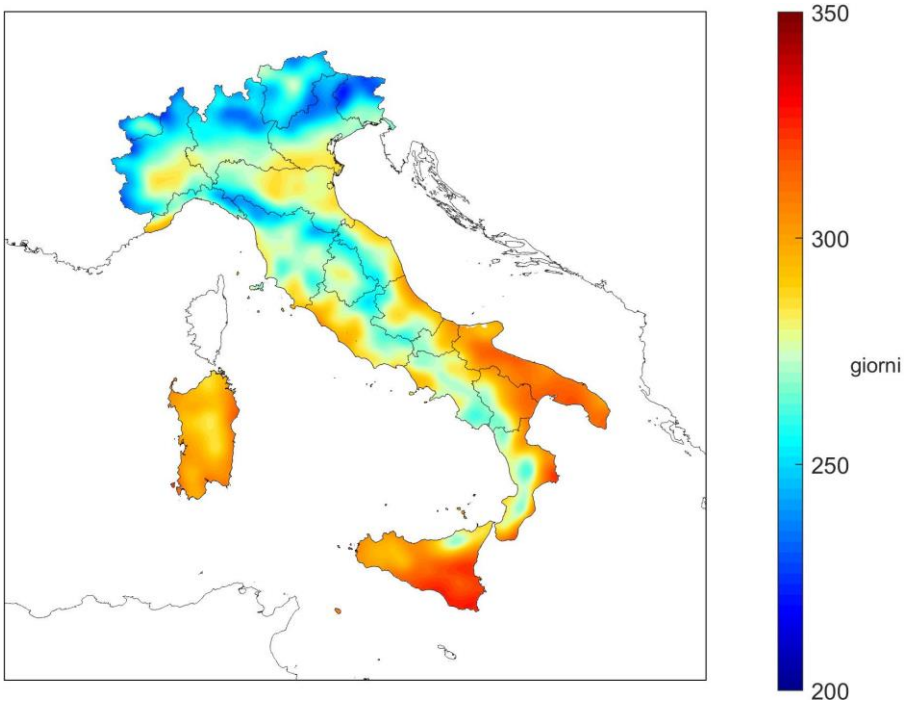
lungo periodo. **Per il 2024** l'analisi presenta un'asimmetria importante tra Nord e Sud Italia, già evidenziata nella Figura 5.4, con **valori di anomalia nettamente superiori alla media per il Nord e sensibilmente sotto media per il Sud, per tutti e tre gli indici;** l'indice R95p, in particolare, ha fatto registrare per il Nord Italia il valore massimo su tutta la serie storica (anomalia +160.5 mm). Anomalie positive, seppur più contenute, sono state registrate per tutti e tre gli indici anche al Centro Italia.

Figura 5.10: Precipitazione massima giornaliera 2024.



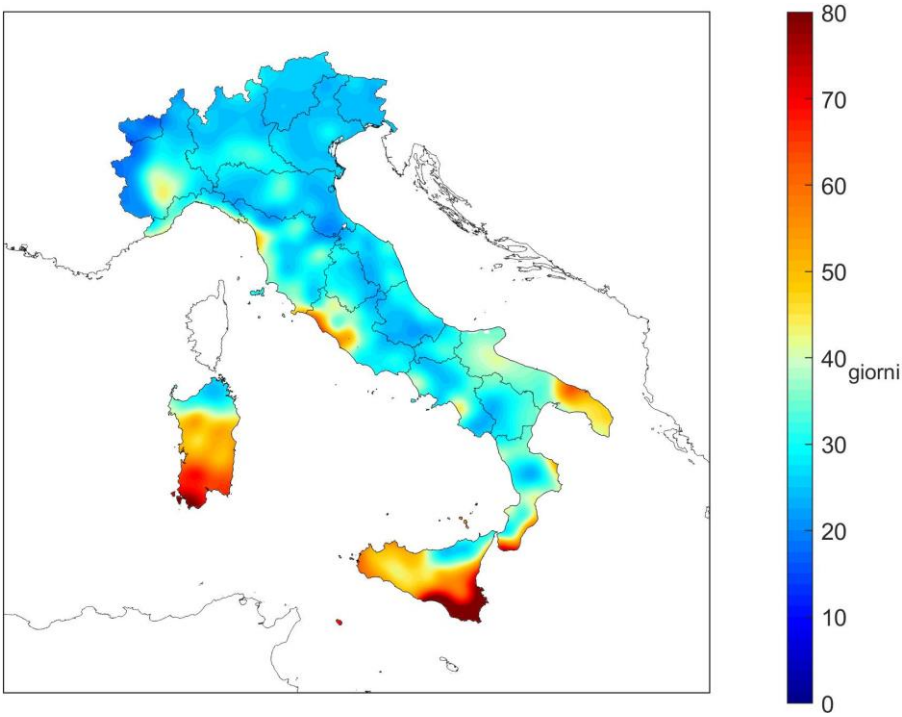
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 5.11: Giorni asciutti nel 2024.



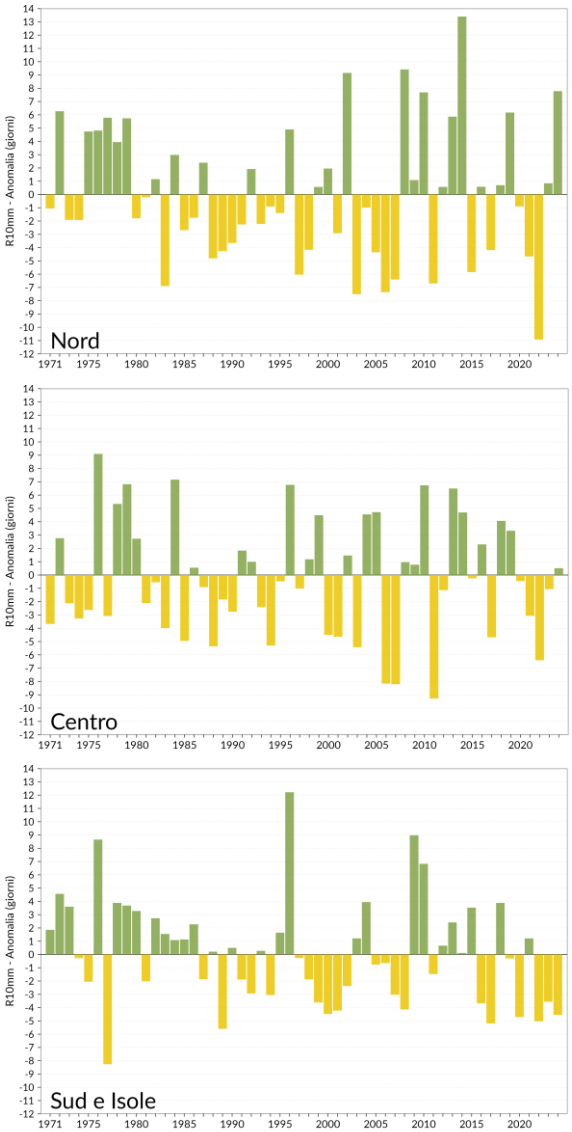
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

Figura 5.12: Indice di siccità CDD-*Consecutive Dry Days* nel 2024.



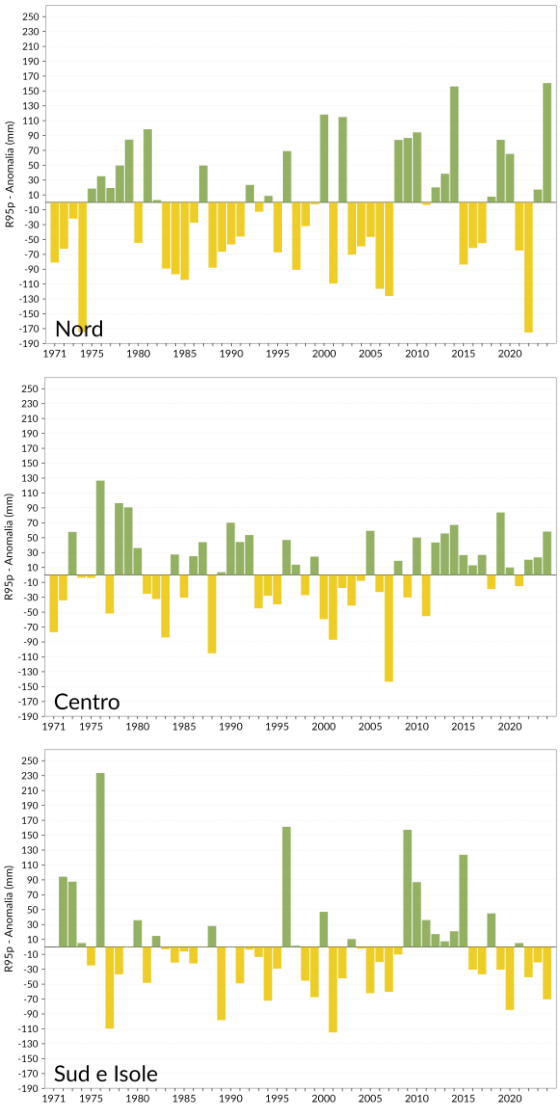
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA e dati della Rete dei Centri Funzionali (DPC).

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.

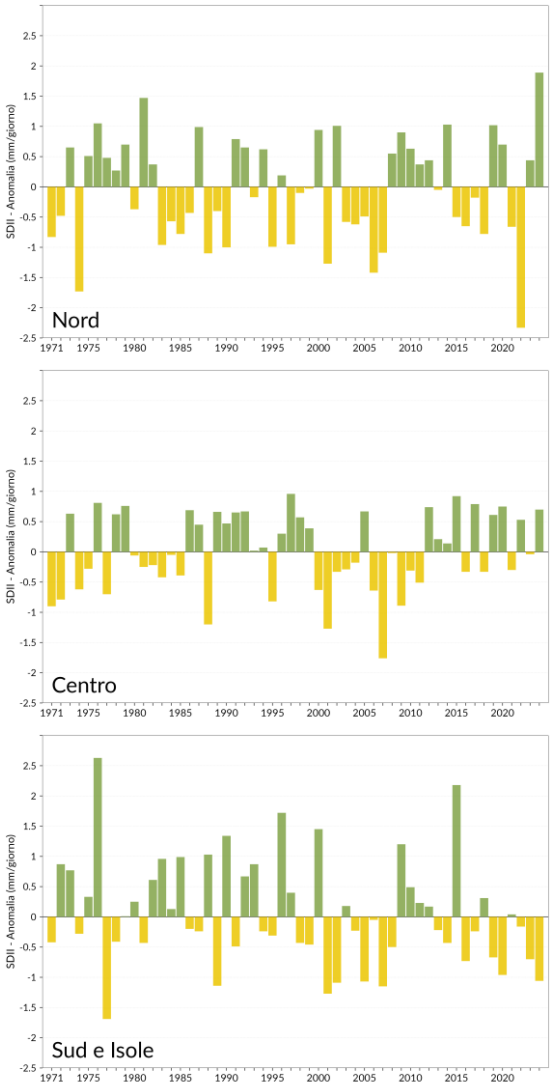
Figura 5.14: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p)[21], rispetto al valore normale 1991-2020.



Fonte: Elaborazione ISPRA.

[21] Somma delle precipitazioni giornaliere > 95° percentile della distribuzione nei giorni piovosi nel periodo climatologico.

Figura 5.15: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, dell'intensità di pioggia giornaliera (SDII)[22], rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.



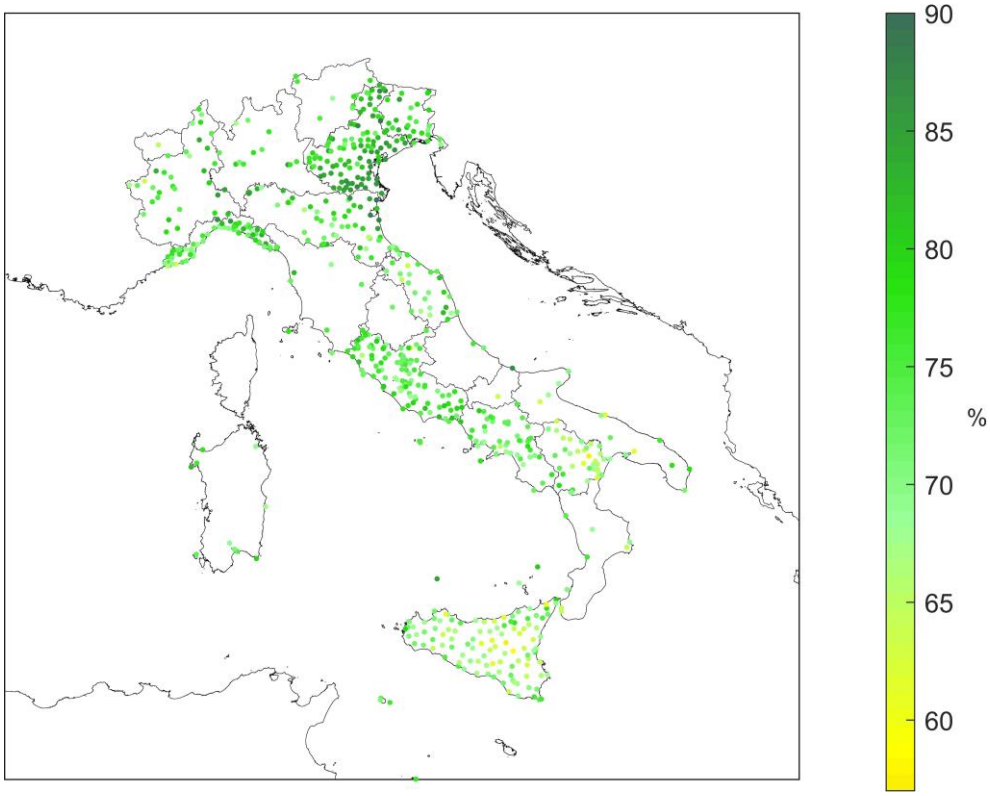
Fonte: Elaborazione ISPRA.

[22] Precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno.

6. UMIDITÀ RELATIVA

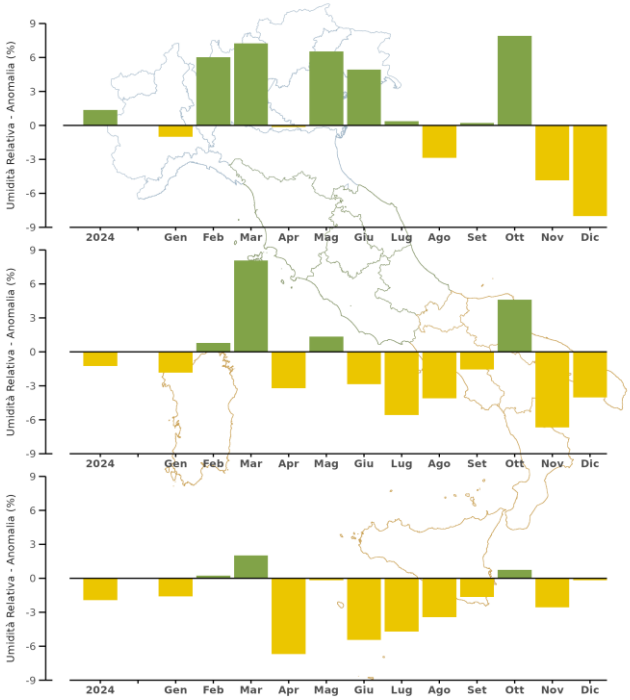
I valori dell'umidità relativa media annuale del 2024 sono compresi tra circa il 57% e il 90% (Figura 6.1). L'umidità relativa annuale è stata ovunque inferiore alla media climatologica 1991-2020, tranne al Nord (Figura 6.2), con il valore di anomalia più basso registrato Sud e Isole (-2.0%), seguito dal Centro (-1.3%); al Nord l'anomalia è stata pari a +1.4%.
L'andamento delle anomalie mensili nel 2024 mostra al Nord una prevalenza di anomalie positive rispetto a quelle negative, mentre al Centro e al Sud e Isole mostra una prevalenza di anomalie negative rispetto a quelle positive. I picchi di anomalia negativa dell'umidità relativa si sono registrati a dicembre al Nord (-8.0%), a novembre al Centro (-6.7%), e ad aprile al Sud e Isole (-6.7%).
I picchi di anomalia positiva dell'umidità relativa si sono registrati a ottobre al Nord (+7.9%), e a marzo al Centro (+8.1%) e al Sud e Isole (+2.0%).
Nella Figura 6.3 viene rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 44 stazioni che soddisfano i requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2024. Il valore medio dell'anomalia di umidità relativa (-1.3%) colloca il 2024 all'undicesimo posto tra gli anni più secchi a partire dal 1961.

Figura 6.1: Umidità relativa media 2024.



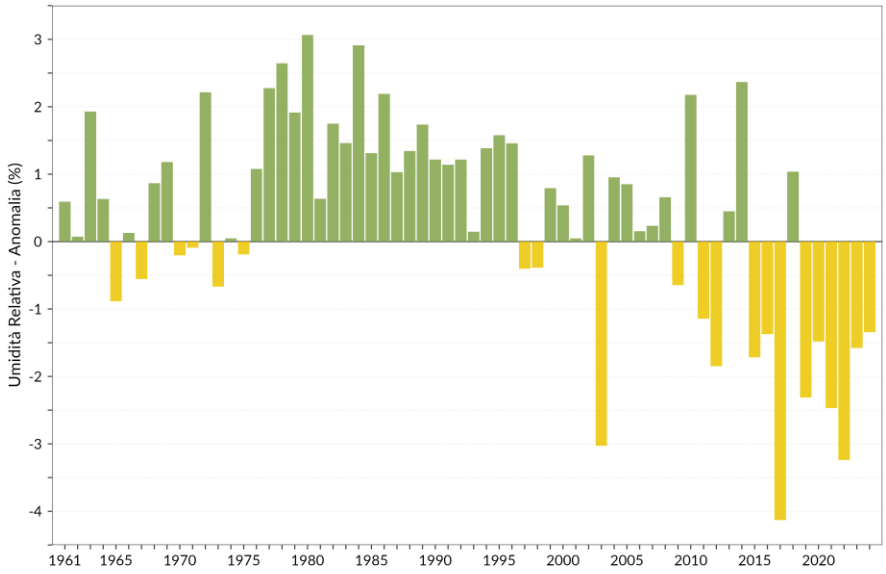
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati SCIA.

Figura 6.2: Anomalia media 2024 (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.l 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., Tropeano R., Casaioli M., Piva F., Marchetti G., e Bussettini 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 Bussettini 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., Bussettini 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., Bussettini 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., Bussettini 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.

Cai W., Wu L., Lengaigne M., Li T., McGregor S., Kug J.-S., Yu J.-Y., Stuecker M.F., Santoso A., Li X., Ham Y.-G., Chikamoto Y., Ng B., McPhaden M.J., Du Y., Dommenget D., Jia F., Kajtar J.B., Keenlyside N., Lin X., Luo J.-J., Martín-Rey M., Ruprich-Robert Y., Wang G., Xie S.-P., Yang Y., Kang S.M., Choi J.-Y., Gan B., Kim G.-Il, Kim C.-E., Kim S., Kim J.-H., and Chang P., 2019. Pantropical climate interactions. Science 363, eaav4236, DOI: 10.1126/science.aav4236.

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., Fraschetti 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., Fraschetti 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., Fraschetti 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., Fraschetti 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.

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.

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.

PARTE 2: FOCUS

1 SICCITÀ E SEVERITÀ IDRICA

1.1 Siccità e severità idrica a scala nazionale e focus sui territori del Sud Italia e delle Isole maggiori

A livello nazionale, il 2024 è risultato un anno piovoso, con un volume totale annuo di precipitazioni stimato in circa 319 miliardi di metri cubi (corrispondenti a 1056 mm), superiore di oltre il 10% alla media annua riferita all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020, stimata in circa 285 miliardi di metri cubi (944.4 mm). In termini di volumi totali, febbraio è stato il mese più piovoso, con un'anomalia positiva di +72% rispetto al valore medio relativo al trentennio 1991-2020; di contro novembre, normalmente tra i mesi più piovosi, ha fatto registrare una forte anomalia negativa di -72% rispetto alla media climatologica.
Questo è quanto emerge dalle ultime stime del BIGBANG[23], attualmente alla versione 9.0, il modello nazionale di bilancio idrologico dell'ISPRA (Braca et al., 2021) che fornisce, a partire dai dati idro-meteorologici, il quadro quantitativo sulla risorsa idrica dal 1951 in poi, inclusi i deficit (siccità), gli eccessi di precipitazione, le disponibilità e i trend[24,25].
A fronte di questo quadro della precipitazione totale (liquida e solida) e delle elevate temperature registrate anche nel corso del 2024 (v. Capitolo 3), la disponibilità complessiva nel nostro Paese di risorsa idrica rinnovabile (*Internal flow*), ovvero quella che naturalmente si produce in un determinato territorio per effetto delle precipitazioni che cadono nello stesso territorio, al netto della perdita per evapotraspirazione, è stimata nell'anno 2024 dal modello di bilancio idrologico BIGBANG in 157.9 miliardi di metri cubi, a fronte di un valore medio annuo di 138.2 miliardi di metri cubi sul lungo periodo 1951-2024 (Figura 1). Tale anomalia positiva rispetto al valore di lungo periodo (+14,3%), così come anche quella rispetto all'ultimo trentennio climatologico (che fa segnare, invece, un +18.3%), è tuttavia da attribuire alle elevate precipitazioni verificatesi al Nord, mentre nei territori del Sud Italia e delle Isole maggiori si è osservata una persistente situazione di siccità.
In effetti, nonostante la suddetta anomalia, analizzando a livello nazionale la disponibilità di risorsa idrica rinnovabile, si continua a osservare, dal 1951 ad oggi, un trend negativo (Figura 2), statisticamente significativo.
Scendendo a livello regionale e distrettuale, la situazione è molto diversificata: il Nord Italia, come detto, è stato interessato da quantitativi di precipitazione superiori alle medie storiche, che in alcuni casi hanno causato eventi alluvionali, come quelli occorsi in Lombardia a maggio (vedi focus), e in Emilia-Romagna a settembre e ottobre (vedi focus); i territori del Sud Italia e delle Isole maggiori hanno, di contro, continuato a subire significativi deficit di precipitazione che hanno prolungato la siccità e i

[23] Stime del BIGBANG 9.0 dell'ISPRA per l'Italia e per diverse aggregazioni spaziali (Regioni, Distretti idrografici, ecc.) per il periodo dal 1951 al 2024: https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_90.
[24] Banca dati degli indicatori ambientali dell'ISPRA per il tema ambientale "*Risorse idriche e Bilancio*" (aggiornamento al 2024): https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/risorse-idriche-e-bilancio.
[25] Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici, indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per il tema "Risorse idriche": https://climadat.isprambiente.it/dati-e-indicatori/indicatori-di-impatto-dei-cambiamenti-climatici/.

relativi problemi di severità idrica già manifestati a fine 2023 (Braca et al., 2024; SNPA, 2024), sebbene in Sardegna il mese di ottobre sia stato caratterizzato da eventi pluviometrici particolarmente intensi (vedi focus).

Il territorio maggiormente colpito dal deficit di precipitazione (-25%) è stato la Sicilia, con poco più di 500 mm registrati nel 2024, corrispondenti a circa 13 miliardi di metri cubi, rispetto a una media annua sul lungo periodo 1951-2024 di circa 665 mm, corrispondenti a 17.2 miliardi di metri cubi. Tale condizione di deficit di precipitazione prolungando la condizione di siccità degli ultimi mesi dell'anno precedente ha ulteriormente esacerbato una situazione già critica. La disponibilità di risorsa idrica per la Sicilia si è attesta nel 2024 a circa 3,3 miliardi di metri cubi, con una riduzione dell'ordine del 49% rispetto alla media annua 1951-2024 che ammonta a 6.5 miliardi di metri cubi. Da febbraio 2024, la Regione Sicilia si trova difatti in severità idrica alta, così come attestato dal proprio Osservatorio distrettuale permanente sugli utilizzi idrici (Figura 3), condizione che permane a tutt'oggi[26], e che ha portato il 6 maggio 2024 alla dichiarazione di stato di emergenza da parte del Consiglio dei Ministri, prorogato di altri 12 mesi il 9 maggio 2025.

Oltre alla già citata delibera per la Regione Sicilia, il 27 settembre 2024 il Consiglio dei Ministri ha deliberato lo stato di emergenza per deficit idrico per diversi territori della Regione Calabria, poi prorogato per ulteriore periodo di 12 mesi con apposita delibera il 21 marzo 2025, mentre il 21 ottobre 2024 il Consiglio dei Ministri ha deliberato lo stato di emergenza in relazione alla situazione di grave deficit idrico che ha colpito i territori della Regione Basilicata serviti dallo schema del Basento-Camastra, stato prorogato di altri 12 mesi con apposita delibera il 28 marzo 2025.

Dalle analisi del bilancio idrologico, infatti, emergono nel corso del 2024 condizioni di siccità per la Puglia con un deficit annuo di precipitazione di -23% rispetto alla media di lungo periodo, per il Molise e la Basilicata con un deficit di -20%, e per l'Abruzzo con un deficit di -18%. In termini di disponibilità di risorsa idrica per queste Regioni sono stati stimati, tramite il modello BIGBANG, i seguenti deficit rispetto alle corrispondenti medie annue di lungo periodo: -63% per il Molise, -57% per la Puglia, -52% per l'Abruzzo e -46% per la Basilicata. A queste Regioni si aggiunge la Sardegna che, malgrado un deficit complessivo di precipitazione di -15% su scala annuale, ha avuto una riduzione di disponibilità della risorsa dell'ordine del -55% rispetto alla media annua 1951-2024.

L'effetto dei deficit di precipitazioni osservati nel Sud Italia, associato alle elevate temperature, ha portato il distretto idrografico dell'Appennino Meridionale a disporre di minor risorsa idrica, con relative problematiche per gli usi sia civili sia agricoli. Per questo distretto, le stime fornite dal BIGBANG mostrano una disponibilità annua nel 2024 di 17.8 miliardi di metri cubi, ridotta del -39% rispetto alla media di lungo periodo (29.3 miliardi di metri cubi) e del -36% rispetto alla media annua calcolata rispetto all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020 (27.7 miliardi di metri cubi). A livello distrettuale, oltre alle già citate riduzioni di risorsa idrica rinnovabile per i distretti idrografici della Sicilia e della Sardegna, si segnala anche una minore disponibilità (-31%) per il distretto idrografico dell'Appennino Centrale.

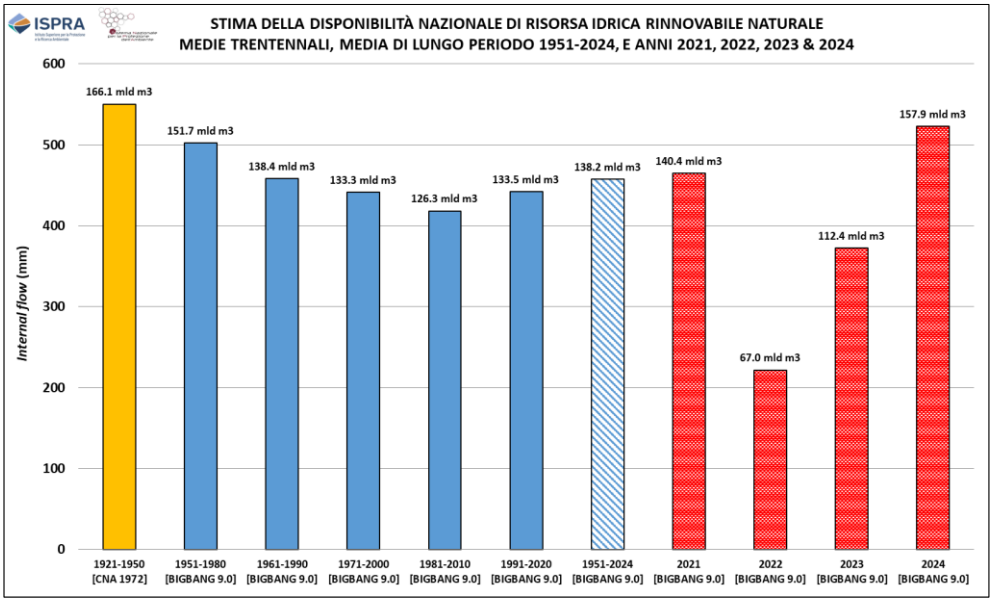
Di contro, Piemonte, Veneto e Liguria sono state le Regioni che nel 2024 hanno visto un surplus annuo di precipitazione superiore al 40%, rispetto alla media di lungo periodo. In termini di disponibilità

[26] Lo stato di severità idrica a scala nazionale, basato sulle risultanze ufficiali degli Osservatori distrettuali permanenti sugli utilizzi idrici: https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html.

naturale di risorsa idrica rinnovabili si è visto un incremento, rispetto alla media annua 1951-2024, del +78% per il Veneto, del +73% per il Piemonte e del +58% per la Liguria. Inoltre, un +76% di disponibilità di risorsa idrica è stato stimato per i territori comprendenti le Province autonome di Trento e Bolzano e un +60% di disponibilità è stato valutato per la Regione Lombardia.
Un incremento di disponibilità idrica è stato, invece, stimato dal BIGBANG per i tre distretti idrografici del Nord Italia. In particolare, rispetto alla media annua di lungo periodo, l'incremento nel distretto idrografico delle Alpi Orientali è stato del +58%, in quello del Fiume Po è stato del +64%, mentre in quello dell'Appennino Settentrionale è stato del +26%.
Una ulteriore analisi è stata condotta per valutare l'intensità e la persistenza dei fenomeni di siccità occorsi nel 2024. Tale valutazione è stata effettuata a diverse scale temporali, da quella breve di 1 mese a quella di 12 mesi, attraverso il calcolo sull'intero territorio nazionale degli indici SPI-*Standardized Precipitation Index*[27] e SPEI-*Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*[28]. Alcune delle mappe mensili di SPI e SPEI sono riportate in Figura 4.
In particolare, alla scala temporale di 1 mese si vede in maniera evidente l'impatto del deficit di precipitazione registrato nel mese di novembre sulla quasi totalità del territorio nazionale. Le aree colpite da siccità severa, ossia con –2.0 < SPI (o SPEI) ≤ -1.5, e da siccità estrema, ossia con SPI (o SPEI) ≤ -2.0, per il mese di novembre sono prevalentemente localizzate sul versante tirrenico centro-settentrionale e sull'Italia nord-orientale (Figura 4a per la mappa di SPI e Figura 4b per la mappa di SPEI). Tuttavia, nel mese di novembre, alla scala temporale di aggregazione di 1 mese, le aree di siccità estrema individuate dallo SPEI sono molto minori e localizzate rispetto a quelle segnalate dallo SPI. Al contrario, accade nei mesi di giugno e agosto e soprattutto nel mese di luglio 2024.
Passando invece alla scala di aggregazione temporale a 3 mesi, inizia ad apparire evidente, specie con lo SPEI, la distinzione tra il Sud Italia e le Isole maggiori afflitte da siccità e un Nord Italia interessato da un surplus di precipitazione, con alcune eccezioni come nel caso di agosto (Figura 4c e 4d, entrambe mappe di SPEI).
Tale distinzione appare ancora più evidente considerando la scala di aggregazione temporale a 12 mesi, alla quale risulta una maggiore percentuale di aree affette da siccità estrema valutata attraverso l'indice SPEI (Figura 4f), rispetto a quella valutata mediante lo SPI (Figura 4e). Su scala annuale, i mesi di giugno, luglio e agosto sono quelli in cui si è osservato, in termini di SPEI, una estensione maggiore, dell'ordine del 32-33%, delle aree in siccità estrema. Negli stessi mesi, sempre basandosi sull'indice SPEI, la percentuale di territorio nazionale colpito da siccità da severa a moderata (-2 < SPEI ≤ -1) è stata dell'ordine del 22-24%. Mediamente, su scala annuale, quasi il 50% dell'Italia (prevalentemente Sud e Isole maggiori) è stato colpito da siccità, da estrema a moderata, per l'effetto combinato della riduzione di precipitazione e dell'aumento della quota di evapotraspirazione.

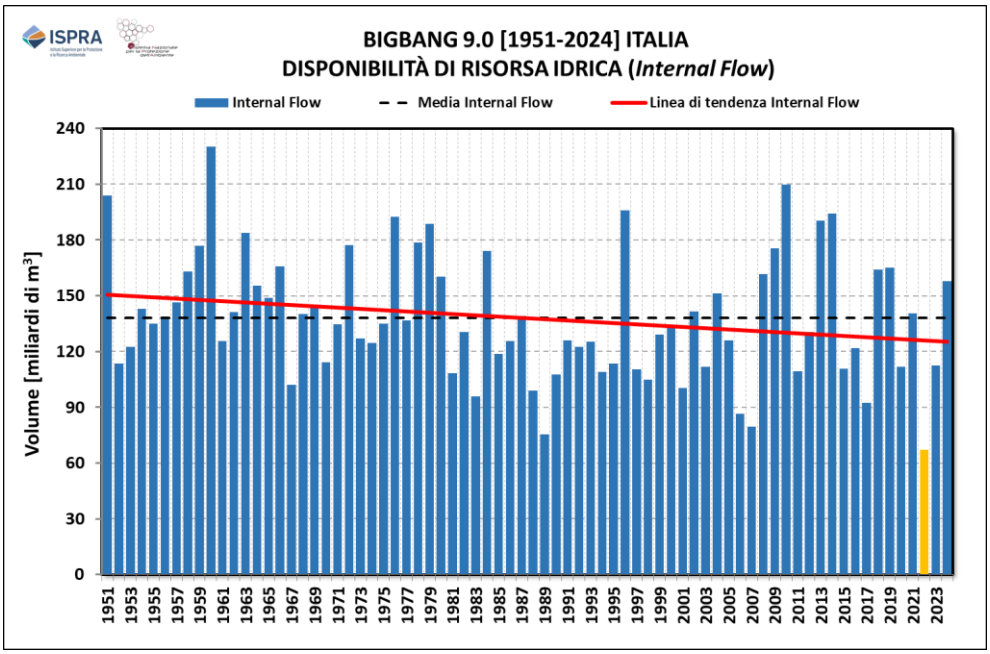
[27] Mappe mensili di SPI sull'Italia per il 2024, alle diverse scale temporali: https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_90/figures/spi.
[28] Mappe mensili di SPEI sull'Italia per il 2024, alle diverse scale temporali: https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_90/figures/spei.

Figura 1: Disponibilità della risorsa idrica rinnovabile (*Internal flow*) a scala nazionale: medie annue trentennali, media annua di lungo periodo e stime per le annualità 2021, 2022, 2023 e 2024.



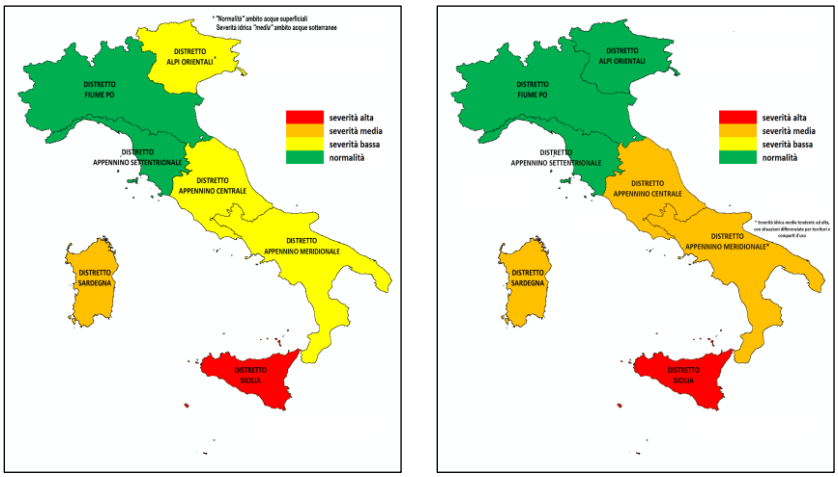
Fonte: Elaborazioni ISPRA riferite al periodo 1951-2024 prodotte con il modello di bilancio idrologico BIGBANG, versione 9.0, sulla base dei dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dei dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, e dato storico 1921-1950 della Prima Conferenza Nazionale delle Acque, pubblicato nel 1972.

Figura 2: Situazione della disponibilità di risorsa idrica (*Internal flow*) a livello nazionale dal 1951 al 2024, con indicazione del minimo storico verificatosi nel 2022 (barra in giallo), 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 9.0, sulla base dei dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dei dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

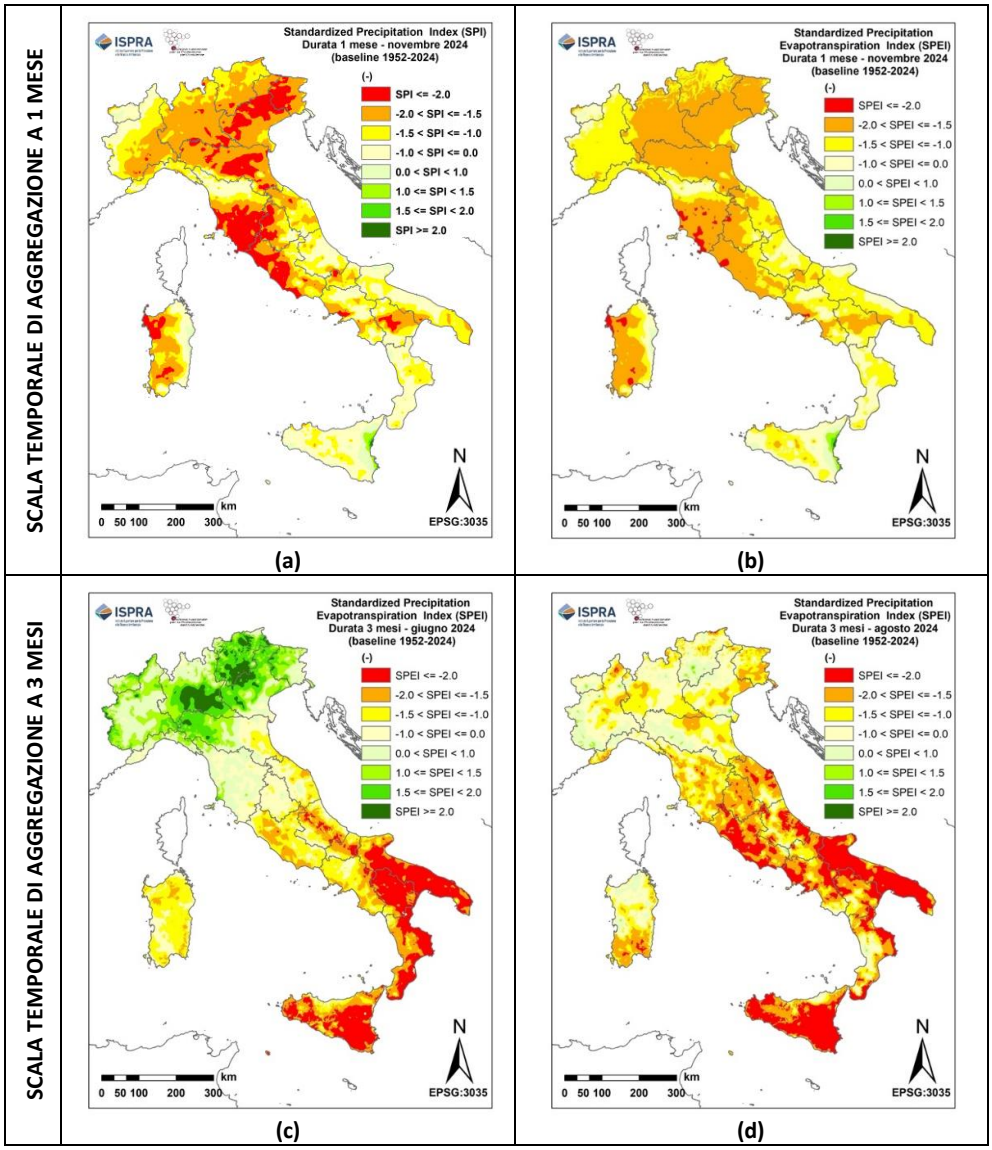
Figura 3: Lo stato di severità idrica a scala nazionale: (a) situazione al 12 febbraio 2024; (b) situazione al 23 dicembre 2024.

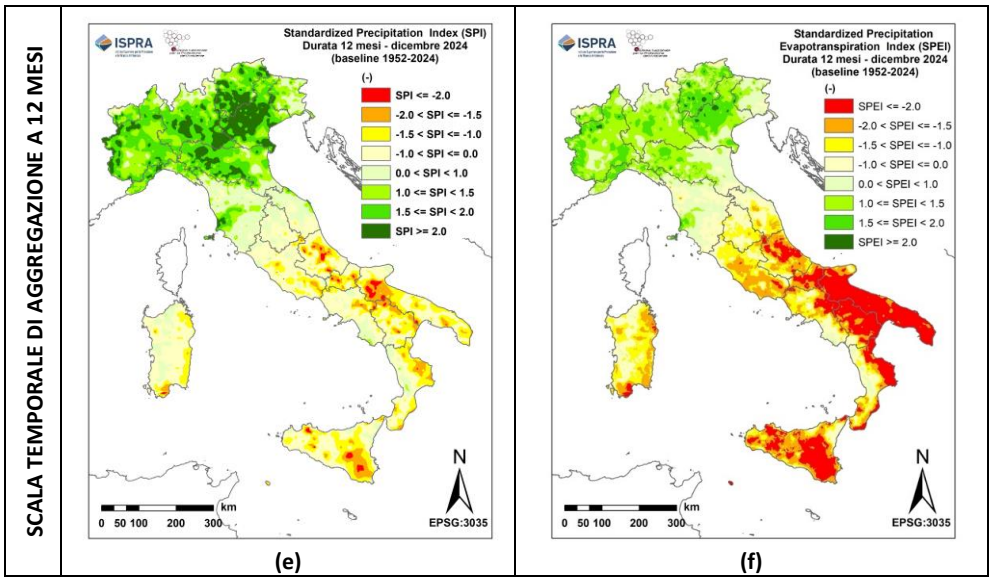


(a) **(b)**

Fonte: Elaborazioni ISPRA sulle risultanze ufficiali e gli aggiornamenti degli stati di severità idrica forniti dagli Osservatori distrettuali permanenti sugli utilizzi idrici.

Figura 4: Mappe mensili di SPI e SPEI a diverse scale temporali di aggregazione per diversi mesi del 2024: (a) SPI a 1 mese a novembre 2024; (b) SPEI a 1 mese a novembre 2024; (c) SPEI a 3 mesi a giugno 2024; (d) SPEI a 3 mesi ad agosto 2024; (e) SPI a 12 mesi a dicembre 2024; (f) SPEI a 12 mesi a dicembre 2024.





Fonte: Elaborazioni ISPRA su dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e dati storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Bibliografia

Braca G., Mariani S., Lastoria B., Tropeano R., Casaioli M., Piva F., Marchetti G., e Bussettini M., 2024: Bilancio idrologico nazionale: stime BIGBANG e indicatori sulla risorsa idrica. Aggiornamento al 2023. Rapporti n. 401/2024, ISPRA, Roma.

Braca G., Bussettini 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.

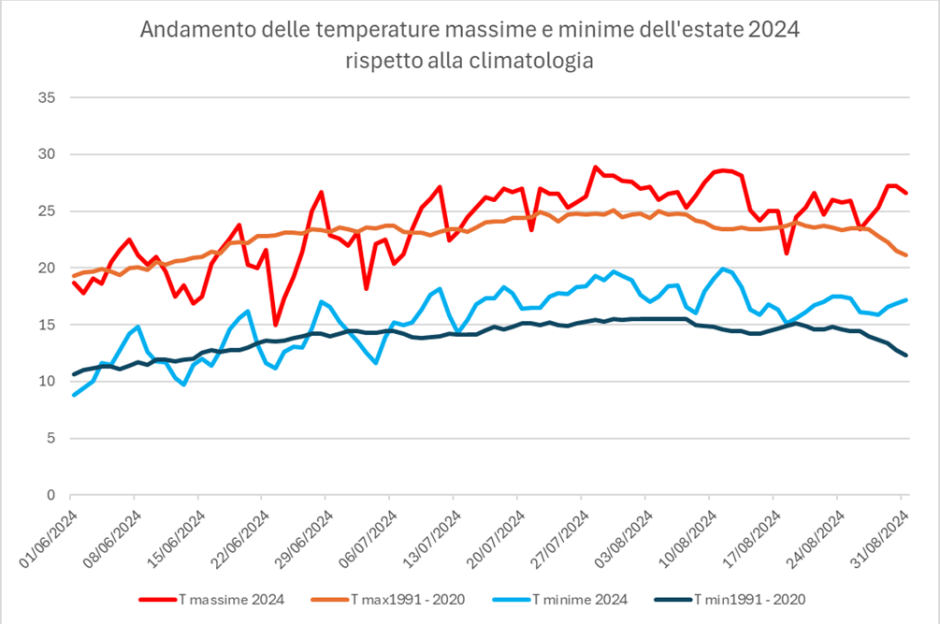
SNPA, 2024: Il clima in Italia nel 2023, Report ambientali SNPA, n. 42/2024.

2 ANOMALIE DI TEMPERATURA E ONDE DI CALORE

2.1 Anomalie delle temperature minime e disagio notturno nell'estate 2024 in Piemonte

L'estate 2024 in Piemonte è iniziata con un mese di giugno con temperature lievemente inferiori alla climatologia e soltanto dalla seconda metà di luglio il consolidamento dell'alta pressione sul Mediterraneo ha portato condizioni più stabili, riportando le temperature ai valori normali della bella stagione per arrivare al picco di agosto, con valori sopra la media ed in particolare con le **temperature minime** dall'inizio della seconda decade di luglio costantemente superiori ai valori medi fino a fine agosto.

Figura 1: Andamento delle temperature massime e minime dell'estate 2024.



La stagione estiva ha avuto una temperatura media di 19.7 °C, con un'anomalia termica positiva di 1.2 °C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è stata la sesta estate più calda nella distribuzione storica degli ultimi 67 anni. É risultata invece **la terza estate** con le **temperature minime** più elevate, preceduta solo da quelle del 2003 e 2022, mentre per le temperature massime si è registrata un'anomalia positiva leggermente più contenuta, di 0.8 °C circa rispetto alla climatologia 1991-2020, classificandosi al decimo posto nella rispettiva distribuzione storica. Non si sono verificati primati di temperatura massima stagionale e non sono stati superati i 40 °C come avvenuto in estati passate e sono stati sostanzialmente assenti anche i record di temperatura minima stagionale.
A luglio le temperature massime si sono posizionate al quattordicesimo posto con un'anomalia pari a +1 °C, mentre le minime al quarto posto con 1.9 °C in più rispetto alla media; ad agosto **le temperature minime si sono posizionate al primo posto** con 2.6°C in più, superando agosto 2003 per soli 0.03 °C e le massime al secondo posto con un'anomalia positiva pari a 2.4 °C.
I giorni tropicali (temperatura massima > 30 °C) sono risultati superiori alla media in tutti i capoluoghi ad eccezione di Asti. Le **notti tropicali (temperature minime sopra 20 °C) sono risultate in tutti i capoluoghi notevolmente al di sopra delle medie**, il numero più alto di notti tropicali è stato 55 a Novara (Tabella 1).

Tabella 1: Numero di giorni tropicali e di notti tropicali registrati nel 2024 e media climatica del periodo 1991-2020.

Capoluogo provincia	Giorni tropicali		Notti tropicali	
	1991-2020	**2024**	**1991-2020**	**2024**
AL	55.8	58	2.9	15
AT	49.6	47	4.3	17
BI	33.2	37	28.4	48
CN	15.7	22	0.9	5
NO	39.7	48	32.5	55
TO	44	51	17.2	35
VB	38.7	46	19.9	49
VC	45.9	56	8.6	29

L'estate del 2024 ha inoltre visto un numero significativo di ondate di calore, intese come almeno tre giorni consecutivi di caldo intenso, in cui la temperatura 'percepita' (temperatura massima apparente) è risultata superiore ad almeno il 75-esimo percentile della distribuzione del periodo 2006-2023, nei capoluoghi piemontesi, variando da 3 ad Asti, Biella e Torino, a 6 ad Alessandria e Vercelli. La durata di queste ondate è stata notevole, con episodi come quello di Vercelli, durato 20 giorni.
Le elevate temperature minime, che in diversi giorni non sono scese al di sotto dei 20 °C in pianura e collina, insieme all'elevata umidità hanno impedito il raffreddamento notturno e causato un elevato disagio alla popolazione e un mancato recupero psicofisico, infatti, le temperature percepite sono state spesso più elevate dei percentili superiori della distribuzione.

Analizzando le temperature minime apparenti, che combinano le temperature all'umidità e alla velocità del vento e rappresentano quindi le temperature percepite, si nota che i valori minimi hanno superato per molti giorni il 90esimo ed anche il 95esimo percentile in tutti capoluoghi (Tabella 2) e hanno raggiunto i valori più elevati della stagione tra il 30 e il 31 luglio.

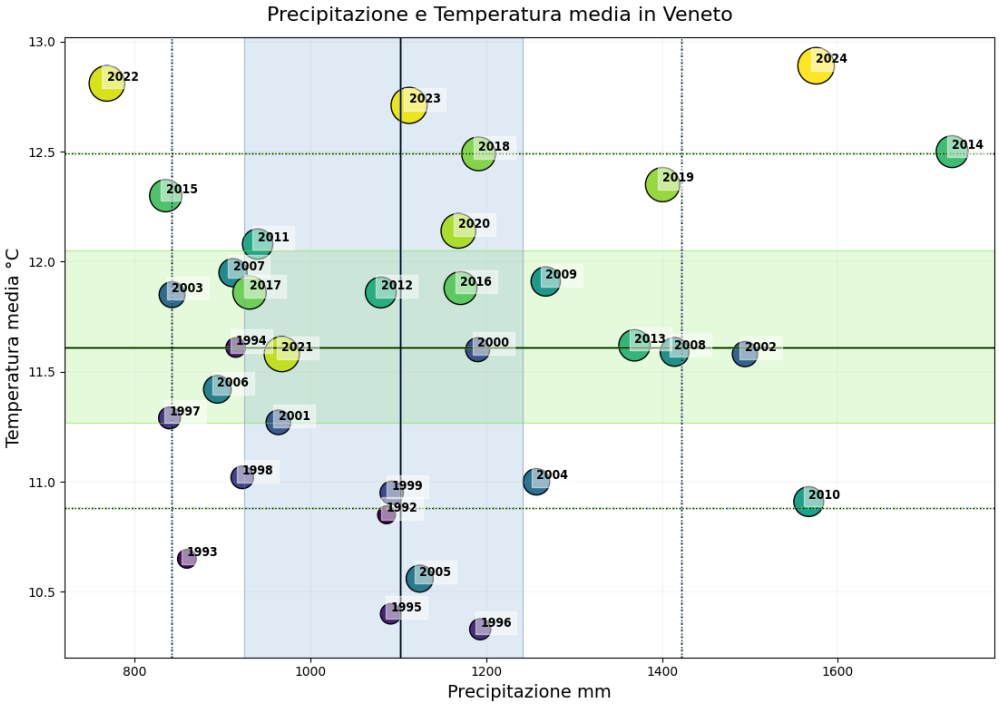
Tabella 2: Numero di giorni con temperatura minima apparente superiore ad almeno il 90-esimo percentile nei capoluoghi di provincia piemontese.

Capoluogo provincia	Numero di giorni con $Tmin_{app}$ > 95° percentile	Numero di giorni con $Tmin_{app}$ > 90° percentile	Massimo delle $Tmin_{app}$	Massimo delle Tmin osservate	Giorno con $Tmin_{app}$ più elevata
AL	14	7	26.1	23.2	31/07/24
AT	16	5	26.1	23.2	31/07/24
BI	5	9	27.3	25	30/07/24
CN	13	7	25.2	22.9	30/07/24
NO	19	15	28.4	25.8	31/07/24
TO	15	11	27.9	24.6	31/07/24
VB	16	9	28.5	25.8	31/07/24
VC	23	7	27.9	24.6	31/07/24

2.2 Anomalie termiche nel corso del 2024 in Veneto

Il 2024 in Veneto è stato l'anno più caldo e il secondo più piovoso dal 1992, a pari merito con il 2010 (Figura 1). È inoltre l'anno con il maggior numero di ondate di calore e con un numero di notti tropicali pari al quadruplo della media[29]. Questo focus sinteticamente descrive alcune variabili ed indicatori legati principalmente alle temperature, analizza le forzanti sinottiche che hanno agito nel 2024 e ipotizza gli andamenti futuri considerando l'indicatore numero di notti tropicali.

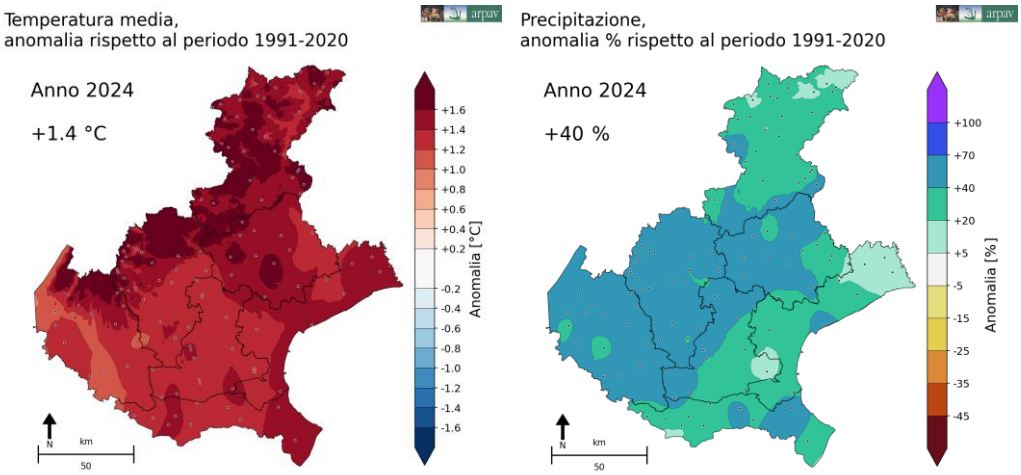
Figura 1: Grafico a dispersione che mette in relazione i valori di temperatura media annua (°C) e di precipitazione annua (mm) del periodo 1992-2024. I valori sono spazializzati sul Veneto utilizzando le osservazioni della rete di stazioni meteorologiche automatiche di ARPA Veneto. Dimensione e colore 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 riferiti alla climatologia degli ultimi 30 anni.



[29] ARPA Veneto (2025). *Report meteoclimatico 2024*. https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/meteo/documenti-meteo/rapporti-annuali/2024_report_meteoclimatico_finale.pdf/.

Nella seguente analisi sono state utilizzate principalmente le osservazioni della rete di stazioni automatiche termo pluviometriche di ARPA Veneto (ARPAV), considerando circa 130 stazioni che dispongono di una serie consistente nel periodo 1992-2024. Le stime dei valori mensili regionalizzati sono state calcolate mediante la spazializzazione dei dati puntuali attraverso l'applicazione del *Universal Kriging*[30], utilizzando come covariabili la quota e la distanza dalla costa.

Figura 2: Carte dell'anomalia in °C della temperatura media annuale del 2024 rispetto alla norma del periodo 1991-2020 sul Veneto (a) e dell'anomalia percentuale della precipitazione cumulata annuale del 2024 rispetto alla norma del periodo 1991-2020 sul Veneto (b).



(a) *(b)*

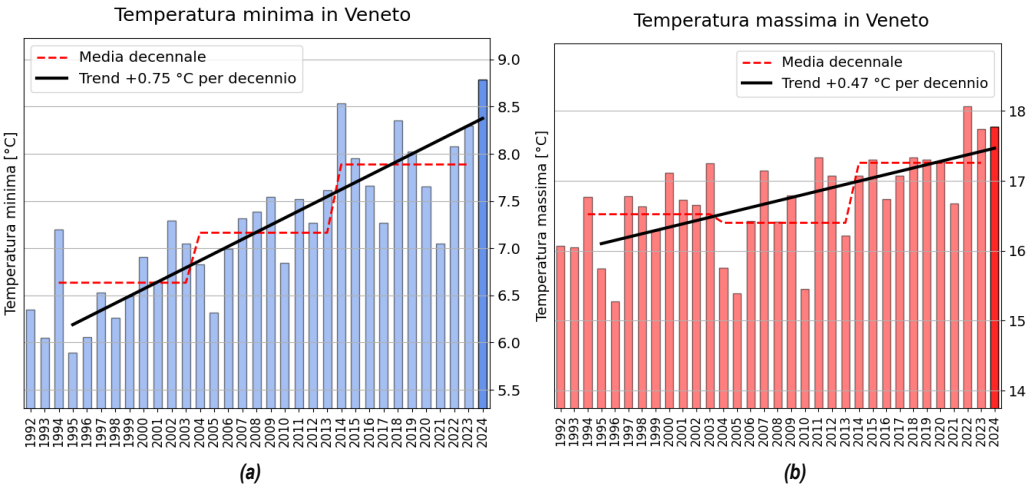
Temperatura e precipitazione

Per quanto riguarda le temperature medie annue il 2024 è l'anno più caldo mai registrato in Veneto almeno dal 1955, considerando l'insieme omogeneizzato delle serie storiche delle stazioni automatiche ARPAV con le stazioni meccaniche dell'ex Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia.
L'anomalia rispetto al periodo 1991-2020 (Figura 2a) è mediamente +1.44 °C, con valori più elevati su Alpi, Prealpi, pianura orientale e costa. Il 2024 supera così il precedente record del 2022. Da notare come gli ultimi tre anni siano i più caldi della serie storica.
Si conferma ed incrementa il trend trentennale di aumento delle temperature medie che da +0.57 °C per decennio, fino al 2023, si porta a +0.65 °C per decennio nel 2024.

[30] Pebesma, E., & Graeler, B. (s.d.). *Funzione krige: Kriging semplice, ordinario e universale per punti o blocchi*. In *gstat: Modellazione geostatistica spaziale e spaziotemporale, previsione e simulazione*. https://r-spatial.github.io/gstat/reference/krige.html

Le precipitazioni cadute complessivamente sul Veneto nel 2024 sono molto superiori alla norma e dal 1955 sono stati registrati apporti superiori solo nel 2014 e simili nel 2010. Il surplus pluviometrico rispetto alla media 1991-2020 è del 40%, più marcato sulla Pianura e Prealpi centro-occidentali (Figura 2b).

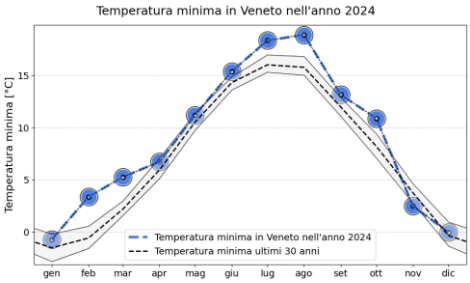
Figura 3: Gli istogrammi rappresentano l'andamento della media annuale delle temperature minime (a) e delle temperature massime (b) in Veneto nel periodo 1992-2024. La spezzata rossa tratteggiata è la media decennale nei periodi 1994-2003, 2004-2013 e 2014 -2023. La retta nera rappresenta il trend lineare dell'ultimo trentennio.



Le temperature minime del 2024 (Figura 3a e 4a) sono le più alte mai registrate almeno dal 1955 e influiscono maggiormente delle massime nel determinare il record per l'anno più caldo.
L'anomalia rispetto al periodo 1991-2020 raggiunge +1.77 °C ed è presente su tutto il Veneto. Il trend trentennale[31] di aumento delle temperature minime è rilevante e statisticamente significativo[32] con +0.75 °C/10 anni.
Pur con un'anomalia inferiore rispetto alle minime, le temperature massime del 2024 (Figura 3b e 4b) si posizionano comunque al secondo posto fra le più calde registrate a partire dal 1992 ed inoltre negli ultimi 3 anni si collocano i più elevati valori della serie. L'anomalia media regionale è di +1.20 °C rispetto al periodo 1991-2020 e presenta valori maggiori sulle aree montuose e sul Veneto orientale.
Il trend di aumento delle temperature massime, valutato negli ultimi trent'anni, è statisticamente significativo ed è +0.47 °C/10 anni.

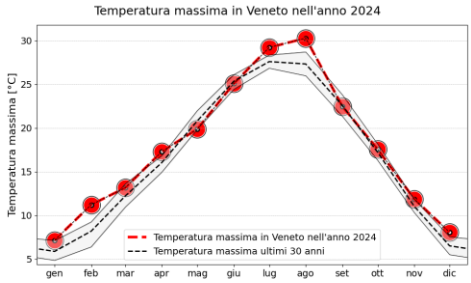
[31] SciPy. (s.d.). *Stima di Theil-Sen per un insieme di punti*. In *SciPy v1.10.1 Reference Guide*. https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.theilslopes.html.
[32] PyMannKendall. (s.d.). *pyMannKendall: Test di tendenza di Mann-Kendall in Python*. https://pypi.org/project/pymannkendall/.

Figura 4: Medie mensili delle temperature minime (a) e delle temperature massime (b) nel corso del 2024. Il confronto con i percentili della climatologia 1991-2020 evidenzia: per la temperatura minima (a) 1 mese sotto al 25° percentile (novembre), nessun mese tra il 25° e il 50° percentile, 4 mesi tra il 50° e il 75° percentile (gennaio, aprile, maggio e dicembre) e 7 mesi oltre il 75° percentile (giugno, settembre, …) di cui ben cinque oltre il 90° percentile (febbraio, marzo, luglio, agosto e ottobre); per la temperatura massima (b) nessun mese sotto al 25° percentile, 2 mesi tra il 25° e il 50° percentile (maggio e giugno), 1 mese al 50° percentile (settembre), 3 mesi tra il 50° e il 75° percentile (marzo, ottobre e novembre) e 6 mesi oltre il 75° percentile (gennaio, aprile, luglio, dicembre, …) di cui 2 oltre il 90° percentile (febbraio e agosto).



	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Mesi	-0.7	3.4	5.3	6.7	11.2	15.4	18.4	18.9	13.2	10.9	2.5	-0.0
Med	-1.5	-0.6	2.2	6.0	10.6	14.3	16.0	15.8	12.0	8.2	3.8	-0.4

(a)



	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Mesi	7.1	11.2	13.2	17.3	19.9	25.1	29.2	30.3	22.5	17.6	11.9	8.0
Med	5.9	8.2	12.2	16.0	20.8	25.4	27.6	27.3	22.6	17.2	11.0	6.5

(b)

Notti tropicali

Si definisce tropicale[33] una notte in cui la temperatura minima non scende al di sotto di 20 °C, soglia che segnala la presenza di condizioni di stress termico presenti anche di notte che non permettono il naturale raffrescamento degli edifici, disturbano il riposo notturno e interferiscono in vario modo con i cicli di animali e vegetali.
Nel 2024 (Figura 5a) in pianura le notti tropicali sono state quasi quattro volte più numerose rispetto alla norma 1991-2020 con ben 49 giorni contro una media di 13 giorni. Tale valore costituisce un massimo assoluto e supera nettamente il precedente record del 2003 di 30 giorni (anche negli anni 2015 e 2019 erano stati osservati valori di poco inferiori al 2003).
Il trend di aumento è statisticamente significativo ed è di +8.1 giorni per decennio.

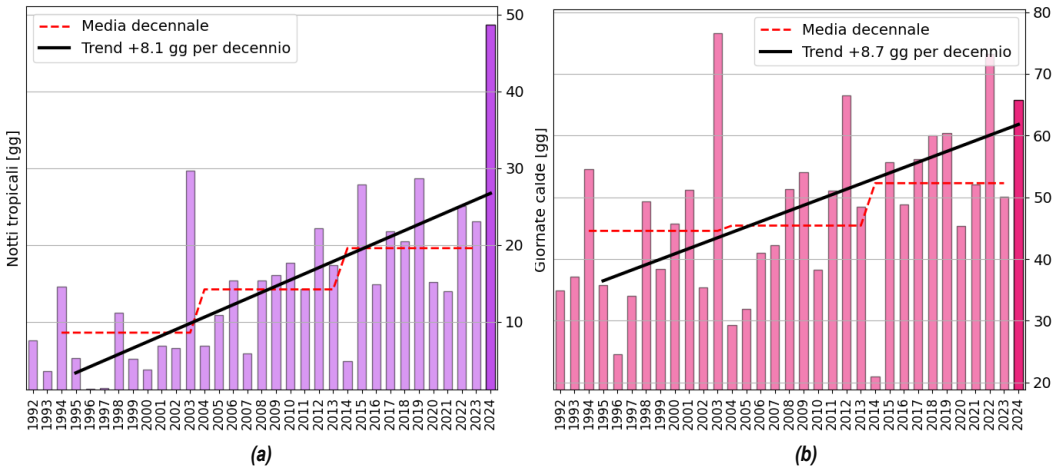
Giornate estive calde

Le giornate estive calde, intese come giornate che registrano una temperatura massima oltre 30 °C, sono state ben 66 sulla pianura veneta, posizionando il 2024 (Figura 5b) al quarto posto della serie storica dal 1992 (si noti che la caldissima estate 2003 rappresenta ancora un massimo assoluto). Mediamente sull'intera pianura l'anomalia è stata di +20 giorni.

[33] ETCCDI-*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*. (s.d.). *Elenco dei 27 indici climatici principali*. https://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml.

Le giornate estive calde sono solitamente più frequenti sulle aree della pianura interna, in particolare nel settore sud-occidentale ma quest'anno le maggiori anomalie rispetto al trentennio 1991-2020 si riscontrano sulla zona costiera e sulla pianura orientale.
È possibile notare un trend di +8.7 giorni per decennio che risulta statisticamente significativo.

Figura 5: Gli istogrammi rappresentano il numero di notti tropicali (a) e il numero di giornate estive calde (b) osservate sulla Pianura veneta nel periodo 1992-2024. Il dato deriva dalla spazializzazione delle osservazioni puntuali effettuate dalle stazioni termometriche operative a quote inferiori a 50 m s.l.m.



Le principali cause: forzanti sinottiche, copertura nuvolosa e umidità

In generale, per quanto riguarda l'andamento annuale delle temperature minime, gli elevati valori registrati sulla regione possono essere riconducibili principalmente a:

- frequenti condizioni di tempo perturbato che hanno portato, oltre alle abbondanti precipitazioni, una maggiore presenza di copertura nuvolosa con conseguenti limitazioni della radiazione diurna (riduzione delle temperature massime) e dell'irraggiamento notturno (aumento delle temperature minime);
- frequenti perturbazioni associate a flussi sciroccali, specie nel semestre freddo, accompagnate da masse d'aria relativamente miti di matrice mediterranea;
- la quasi assenza durante l'inverno di importanti e durature irruzioni fredde di origine polare continentale, associate all'espansione di campi di alta pressione di origine termica provenienti dall'Europa nord-orientale;
- la frequente espansione sul Mediterraneo Occidentale di promontori di alta pressione con masse d'aria di origine sub-tropicale;

- la persistenza anche per gran parte della stagione estiva di tassi di umidità relativamente alti nei bassi strati dell'atmosfera.

Focalizzando in particolare l'attenzione sulla stagione estiva, si può notare come le temperature minime siano rimaste in generale piuttosto elevate per tutto il trimestre, da giugno ad agosto, risultando mediamente le più alte della serie disponibile. Le massime giornaliere invece, pur risultando comunque mediamente tra le più alte della serie, non hanno registrato valori record. Rispetto ad altre estati molto calde come quelle del 2003, 2022, 2019 e 2015, l'estate 2024 si caratterizza infatti per una maggior anomalia a carico dei valori minimi con conseguenti significativi aumenti del numero di notti tropicali e del numero di giornate con forte disagio fisico da caldo-umido.
Le principali ragioni di tale anomalia, in relazione a questo periodo dell'anno, possono ricondursi ad una serie di fattori, quali:

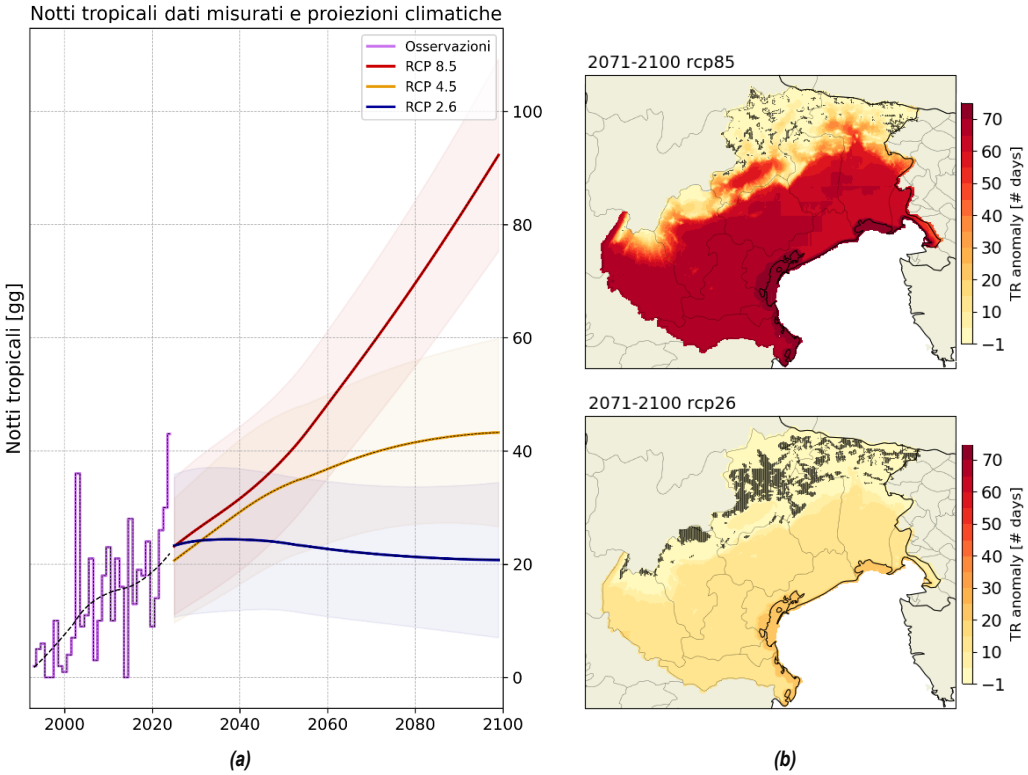
- una piovosità complessiva estiva mediamente intorno alla norma, ma con una prima fase molto piovosa in giugno e ad inizio luglio seguita poi da prevalenti condizioni di deficit pluviometrico sino alla fine di agosto; tale situazione è il risultato di una certa variabilità della dinamica atmosferica manifestatasi soprattutto nella prima parte di stagione e che ha favorito una maggior nuvolosità da un lato ma anche un aumento dell'umidità nei bassi strati;
- frequente presenza di promontori di alta pressione sul Mediterraneo Occidentale con masse d'aria calda di matrice sub-tropicale parzialmente umidificate nei bassi strati dalle acque mediterranee; rispetto ad altre stagioni estive molto calde come quella del 2003 o del 2022, la persistenza di tali promontori nell'estate 2024 è risultata meno significativa in quanto meno estesi verso nord-est e con asse leggermente più inclinato rispetto ai meridiani, favorendo una maggior infiltrazione di correnti zonali umide sulla regione.

Proiezioni

Il grafico in Figura 6a riprende l'indicatore numero di notti tropicali per un punto di misura rappresentativo della pianura veneta interna. Dal 1992 al 2024 l'istogramma riporta l'andamento osservato dalla stazione meteorologica; di seguito, fino al 2100, le curve mostrano gli andamenti dello stesso indicatore per la stessa località, riferiti a tre diversi scenari di emissione di gas climalteranti[34].
La curva rossa traccia l'incremento del numero di notti tropicali con lo scenario RCP8.5 che ipotizza un futuro in cui le emissioni di gas serra continuano seguendo i trend attuali, con nessuna o scarsa mitigazione.

[34] ARPA Veneto. (2025). *Piattaforma Clima Nord-Est*. https://clima.arpa.veneto.it/.

Figura 6: Numero di notti tropicali. Andamento osservato 1992-2024 e proiezioni modellistiche al 2100 riferite a tre scenari emissivi (a) e anomalia rispetto al periodo 1976-2005 del numero di notti tropicali (TR) a fine secolo (b) sulla base di proiezioni modellistiche (media di ensemble di 5 modelli regionali) per gli scenari RCP8.5 (sopra) e RCP 2.6 (sotto).



Lo scenario intermedio RCP4.5, con la curva gialla, rappresenta una stabilizzazione della concentrazione di CO_2 in atmosfera a partire da metà secolo.
La curva blu indica l'andamento delle notti tropicali con lo scenario RCP2.6 che punta a contenere entro 2 °C l'aumento della temperatura media globale, applicando una drastica e immediata mitigazione.
Le mappe in Figura 6b riportano a livello spaziale su Veneto e Friuli Venezia Giulia l'aumento rispetto allo storico del numero di notti tropicali. Sono riferite alla fine del secolo e vengono differenziate per i due scenari RCP8.5 (sopra) e RCP2.6 (sotto). Evidenziano l'aggravarsi della situazione in assenza di un consistente sforzo per la riduzione delle emissioni. Tale effetto è particolarmente marcato sulla costa con +70 giorni rispetto alla norma per lo scenario RCP8.5 contro i +20 giorni dello scenario RCP2.6.

2.3 Evoluzione del *Fire Weather Index* sull'Italia durante l'estate 2024

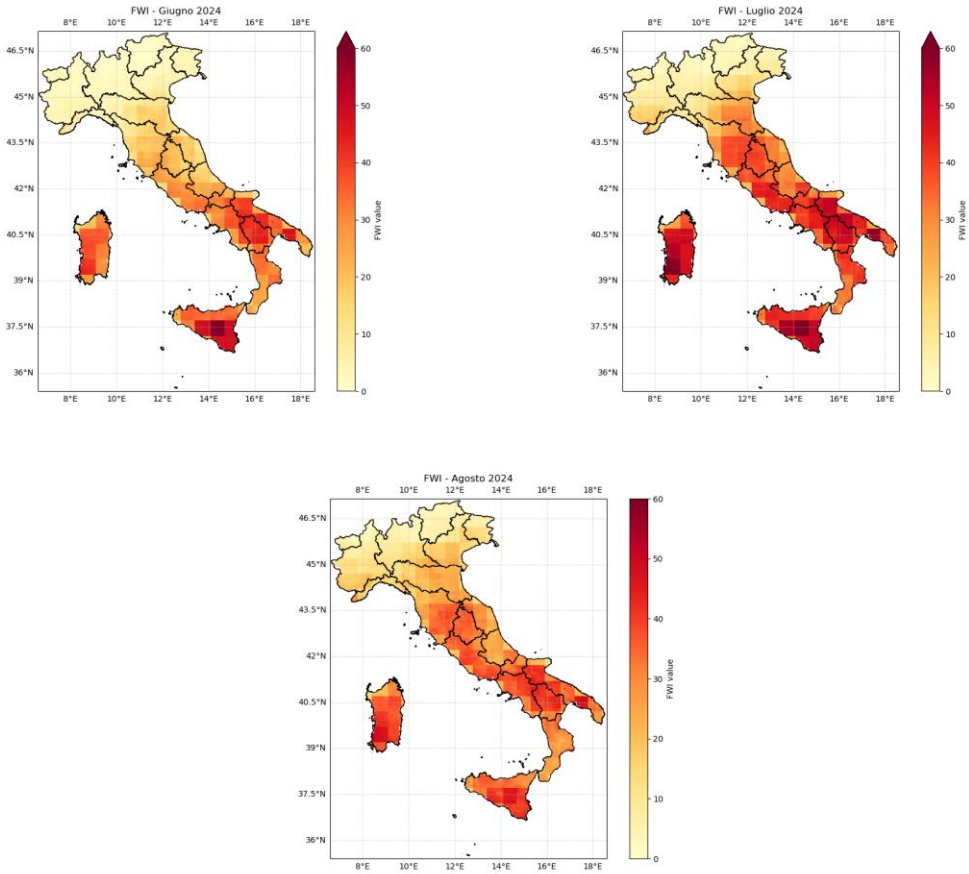
Introduzione

Il ***Fire Weather Index* (FWI)** è un indice che serve *per stimare il pericolo di incendio*, in base a variabili meteorologiche come temperatura, precipitazioni, vento e umidità relativa (Stocks et al., 1989). L'indice è espresso come un numero compreso solitamente tra **0** e **50**: più è alto, maggiore è il rischio di incendio. Generalmente, il rischio è considerato **alto** per valori intorno a **30** e **molto alto** per valori oltre **45**.
Il calcolo del FWI si basa su due componenti principali:
***Initial Spread Index* (ISI):** indica la probabilità che un innesco diventi un incendio e la velocità di propagazione iniziale di quest'ultimo.
***Buildup Index* (BUI):** rappresenta la quantità di combustibile disponibile per l'incendio.
In termini pratici:
Se l'**ISI** è basso, le probabilità di innesco sono ridotte.
Se il **BUI** è basso, anche un incendio attivo avrà un basso potere distruttivo.
Il FWI è stato sviluppato dal *Canadian Forest Service* negli anni '60 e la sua versione attuale risale al 1984. Oggi è ampiamente utilizzato come indicatore per la previsione degli incendi boschivi, in particolare dall'Unione Europea, che lo ha adottato nel 2007 come riferimento per la valutazione del rischio incendi (CEMS, 2019; Vitolo et al., 2020), attualmente viene utilizzato anche in alcune regioni italiane (Cane et al., 2008).

L'indice FWI nell'estate 2024 per le regioni italiane

Di seguito viene analizzato l'andamento mensile del FWI per le 20 regioni italiane e l'evoluzione degli incendi nelle stesse durante il periodo da giugno ad agosto 2024. L'indice FWI usato viene dal *Global Fire WEather Database* (GFWED, https://data.giss.nasa.gov/impacts/gfwed, Field, 2015) ed è calcolato utilizzando i dati di temperatura, umidità relativa, velocità del vento e copertura nuvolosa ricavati dalle rianalisi MERRA2 (GMAO, 2015) e utilizzando la precipitazione stimata dall'algoritmo *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (IMERG) della NASA che combina le informazioni dalla costellazione satellitare GPM per stimare le precipitazioni sulla maggior parte della superficie terrestre (Huffman 2015a, 2015b). IMERG fonde le stime delle precipitazioni raccolte durante il funzionamento del satellite TRMM (in orbita dal 2000 al 2015) con le stime delle precipitazioni recenti raccolte dalla missione GPM (in orbita dal 2014 ad oggi), creando un set di dati sulle precipitazioni continuo che copre oltre due decenni con una risoluzione orizzontale di 0.1°.
La Figura 1 mostra il FWI medio dei mesi di giugno, luglio ed agosto 2024 in Italia. La Tabella 1 ci mostra i valori medi mensili di FWI per i mesi di giugno, luglio e agosto, dove emerge che a **giugno**, **5 regioni** hanno un FWI medio superiore a 30, a **luglio**, il numero sale a **10 region**i, ad **agosto**, si riduce a **8 regioni.** In Tabella 1 vengono riportate anche le superfici bruciate totali suddivise per mese per tutte le regioni Italiane.

Figura 1: FWI per i mesi di giugno (in alto a sinistra), luglio (in alto a destra) e agosto (in basso).



Queste superfici sono ricavate dai dati degli incendi presenti nel *Burnt Areas Database–Italian Terrestrial Ecosystems* (BAD-ITE[35]), un geo-database contenente informazioni spazialmente esplicite, che consente l'analisi quantitativa dell'impatto dei principali incendi (solo una frazione degli incendi è osservata dai satelliti, molti dei quali sono troppo piccoli per essere rilevati o sono mascherati dalle nuvole) nelle dimensioni spaziali e temporali, con un focus specifico sulle aree naturali protette e sugli ecosistemi terrestri nel territorio nazionale italiano. Il BAD-ITE è generato a partire dal database *Burnt*

[35] groupware.sinanet.isprambiente.it/prodotti-operativi-di-sorveglianza-ambientale/library/disturbance-agents.

Areas distribuito dall'*European* Forest Fire Information System (*EFFIS*) del *Copernicus Emergency Management Service* (CEMS) e aggiornato in tempo reale (Camia et al., 2014).

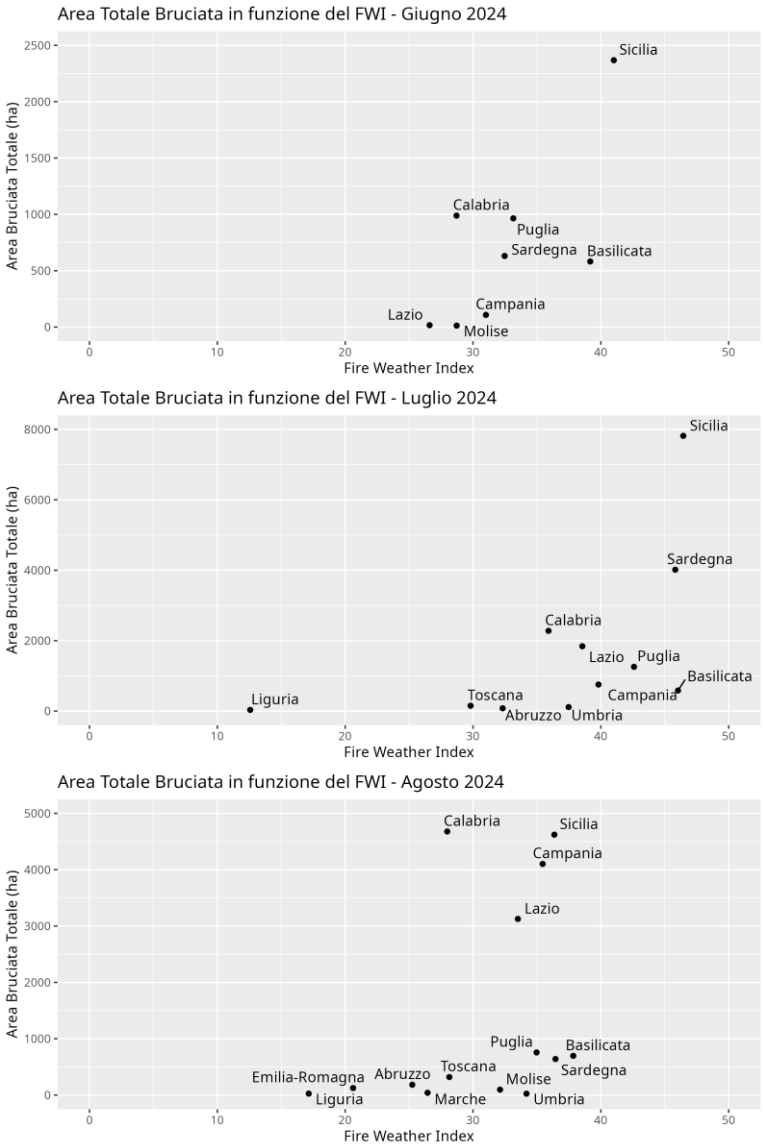
Tabella 1: *Fire Weather Index* (FWI) e Aree percorse da incendio per le 20 regioni italiane nei mesi estivi del 2024. In grassetto, il FWI superiore a 30 che indica un rischio alto.

Regione	*Fire Weather Index*			Area Bruciata Totale		
	Giugno	Luglio	Agosto	Giugno	Luglio	Agosto
Abruzzo	20.4	**32.3**	25.2	0	80	184
Basilicata	**39.2**	**46.0**	**37.8**	582	585	697
Calabria	28.7	**35.9**	28.0	989	2278	4678
Campania	**31.0**	**39.8**	**35.4**	108	754	4102
Emilia-Romagna	10.8	21.6	20.6	0	0	125
Friuli-Venezia Giulia	3.3	5.9	9.7	0	0	1
Lazio	26.6	**38.6**	**33.5**	17	1841	3126
Liguria	5.1	12.6	17.2	0	34	26
Lombardia	2.1	5.8	9.7	0	0	0
Marche	15.6	29.2	26.4	0	0	41
Molise	28.7	**38.0**	**32.1**	13	0	96
Piemonte	2.7	8.5	11.3	0	0	0
Puglia	**33.1**	**42.6**	**35.0**	965	1257	757
Sardegna	**32.5**	**45.8**	**36.5**	631	4014	640
Sicilia	**41.0**	**46.4**	**36.4**	2368	7815	4622
Toscana	16.4	29.8	28.1	0	152	320
Trentino-Alto Adige	1.2	2.6	4.1	0	0	0
Umbria	20.4	**37.5**	**34.2**	0	113	25
Valle d'Aosta	1.8	3.1	4.6	0	0	0
Veneto	4.1	10.9	14.6	0	0	0

Impatto del FWI sugli incendi in Italia

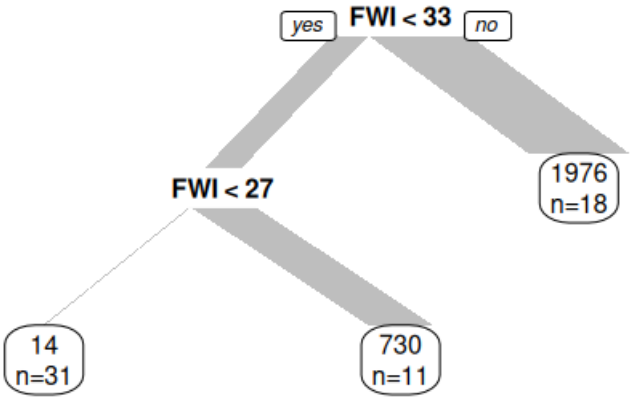
Come detto in precedenza il FWI indica una situazione di rischio di un incendio nelle aree naturali coperte da vegetazione. Il più delle volte l'innesco di un incendio non è dovuto a cause naturali, ma il FWI ci dà un'indicazione sulla probabilità che una volta innescato un incendio questo si propaghi nel territorio.
Per illustrare la relazione tra le aree bruciate dagli incendi e l'indice FWI, la Figura 2 mostra i grafici a dispersione che mettono a confronto il FWI con la superficie totale incendiata nei mesi di giugno, luglio e agosto. Si osserva chiaramente una correlazione tra queste due variabili, anche se un semplice modello di regressione numerica non sarebbe il metodo più adeguato a descrivere questa relazione sia per i bassi coefficienti di determinazione, dovuta all'alta variabilità della superficie incendiata in funzione del FWI, sia perché i modelli lineari, darebbero aree bruciate negative quando il FWI è uguale a zero. Un'alternativa utile potrebbe essere l'uso di un **partizionatore ricorsivo**, uno strumento che permette di esplorare il legame tra due variabili attraverso regole decisionali, facilitando così l'interpretazione dei dati. Per effettuare l'analisi i valori di FWI medio mensile e dell'area bruciata totale suddivisi per regioni (presentati in Tabella 1) sono stati usati nell'algoritmo di classificazione CART-*Classification and regression trees* (vedi *rpart function*, Therneau e Atkinson, 1997), i cui risultati sono mostrati nell'albero decisionale in Figura 3.

Figura 2: Relazione tra *Fire Weather Index* medio regionale e la corrispondente Area Bruciata Totale nella stessa regione.



Nell'albero decisionale i nodi sono rappresentati con i valori di soglia del FWI. Nelle foglie dell'albero di classificazione vi è la superficie bruciata media e il numero di osservazioni che hanno superato o meno la soglia. Lo spessore dei rami è proporzionale alla deviazione standard dei valori della superficie bruciata.

Figura 3: Albero decisionale della relazione tra l'indice FWI e l'area bruciata. Lo spessore dei rami indica la deviazione standard dell'area bruciata. I valori nelle caselle indicano l'area bruciata media, mentre n rappresenta il numero di casi che soddisfano la relazione presente ai nodi.



Possiamo riassumere che se:
FWI > 33: Superficie bruciata media è di **1.976 ha** (18 osservazioni hanno superato questa soglia in almeno un mese).
FWI > 27: Superficie bruciata media è di **730 ha** (11 osservazioni sopra questa soglia).
FWI < 27: Superficie bruciata media è di **14 ha** (31 osservazioni totali).
Il valore **33** è il primo nodo significativo: per FWI superiori a 33, si osserva una superficie media di 1976 ha ed un'ampia variabilità nelle aree percorse dal fuoco, come si vede anche in Figura 2. Ad esempio, nel mese di luglio ci sono molte regioni con un FWI superiore a 33, mentre la Sicilia presenta quasi 8000 ha di superfici percorse da incendio, il Molise non ha aree percorse da incendio in quel mese pur presentando un valore di FWI uguale a 38.
Nell'estate 2024, 5 regioni avevano un FWI superiore a 30 mentre a luglio questo numero è raddoppiato con metà delle regioni italiane aventi un rischio alto o molto alto. In agosto questo numero è calato a 8 regioni, sebbene la Calabria pur mostrando un FWI un po' più basso di 30, rappresenta la regione con la più alta superficie bruciata.

L'analisi conferma che il ***Fire Weather Index*** è un indicatore utile per valutare il rischio di incendi, sebbene le condizioni meteorologiche non siano l'unico fattore determinante. La variabilità osservata nelle superfici bruciate suggerisce che altri elementi, come l'innesco, che di solito non è un fenomeno naturale, gioca un ruolo cruciale nella gestione del rischio. Infatti, il 96% degli incendi boschivi in Europa è di origine antropica (San-Miguel-Ayanz, 2024).

Bibliografia

Camia A., Durrant T., and San-Miguel-Ayanz J., 2014: The European fire database technical specifications and data submission, eur 26546 en. Luxemburg (Luxemburg), Publications Office of the European Union.

Cane D., Ciccarelli N., Gottero F., Francesetti A., Pelfini F., and Pelosini R., 2008: Fire Weather Index application in north-western Italy. Advances in Science and Research, 2(1), 77–80. https://doi.org/10.5194/asr-2-77-2008.

CEMS. Copernicus Emergency Management Service, 2019: Fire danger indices historical data from the Copernicus Emergency Management Service. In: *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Stor*e (CDS). https://doi.org/10.24381/cds.0e89c522.

Field R.D., Spessa A.C., Aziz N.A., Camia A., Cantin A., Carr R., De Groot W.J., Dowdy A.J., Flannigan M.D., Manomaiphiboon K., Pappenberger F., Tanpipat V., and Wang X., 2015: Development of a global fire weather database. Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(6), 1407–1423. https://doi.org/10.5194/nhess-15-1407-2015.

Huffman G.J., Bolvin D.T., Braithwaite D., Hsu K., Joyce R., Kidd C., Nelkin E. J., and Xie P., 2015a: NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Doc., version 4.5, 26 pp. [Available online at http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.5.pdf.]

Huffman G.J., Bolvin D.T., and Nelkin E.J., 2015b: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) technical documentation. NASA Doc., 47 pp. [Available online at http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_doc.pdf.]

Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), 2015: inst3_3d_asm_Cp: MERRA-2 3D IAU State, Meteorology Instantaneous 3-hourly (p-coord, 0.625x0.5L42), version 5.12.4, Greenbelt, MD, USA: Goddard Space Flight Center Distributed Active Archive Center (GSFC DAAC).

San-Miguel-Ayanz J., et al., 2024: Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2023, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/8027062, JRC139704.

Therneau TM. and E.J Atkinson, E.J., 1997: An introduction to recursive partitioning using the rpart routines. Divsion of Biostatistics 61, Mayo Clinic..

Stocks B.J., Lynham T.J., Lawson B.D., Alexander M.E., Van Wagner C.E., McAlpine R.S., and Dubé D. E., 1989: Canadian Forest Fire Danger Rating System: An overview. The Forestry Chronicle, 65(4), 258–265. https://doi.org/10.5558/tfc65258-4.

Vitolo C., Di Giuseppe F., Barnard C. et al., 2020: ERA5-based global meteorological wildfire danger maps. Sci Data 7, 216. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0554-z4.

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

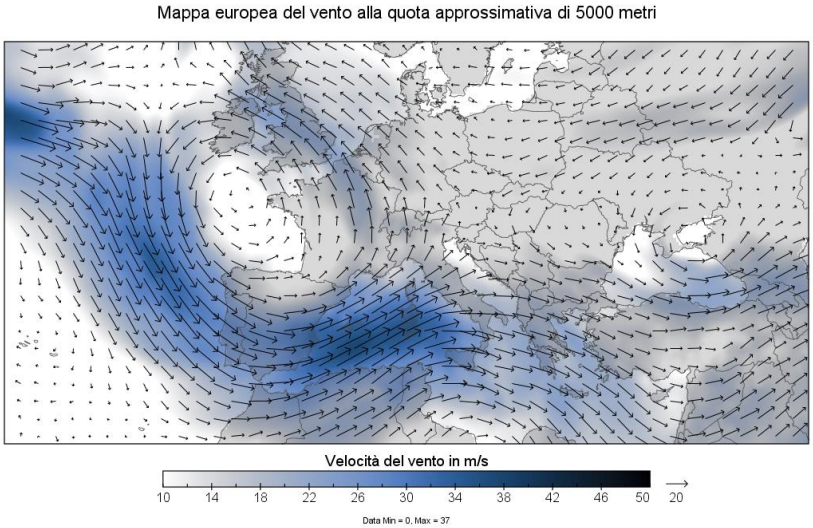
3.1 Est milanese sott'acqua. Analisi dell'alluvione del 15 maggio in Lombardia

Gran parte delle alluvioni hanno in comune due fattori, elevate intensità e persistenza delle piogge. L'evento del 15 maggio in Lombardia ha presentato entrambi questi elementi, esaltandone i caratteri in una ristretta area geografica tra le province di Milano e Lodi, che hanno subito numerosi allagamenti ad opera dell'esondazione dei corsi d'acqua presenti in zona. Nel complesso, dal 13 al 18 maggio, molte località hanno registrato oltre 200 mm di pioggia.

Analisi meteorologica

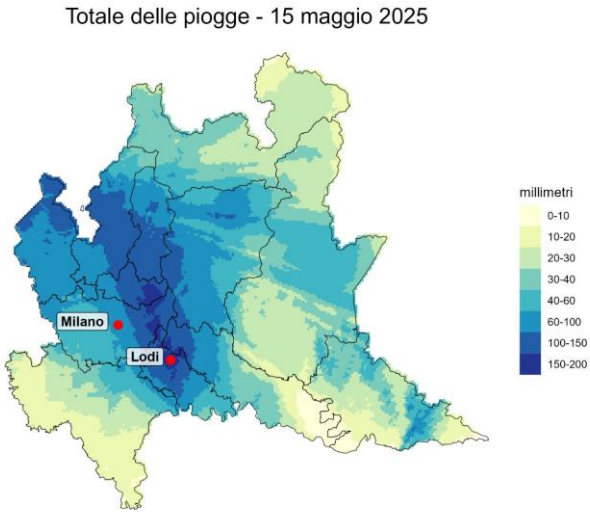
Persistenza. Nella giornata del 15 maggio il Nord Italia è stato investito da intensi venti molto umidi meridionali, richiamati dal rinforzo di un'ampia circolazione di bassa pressione tra le Isole Britanniche e la Francia (Figura 1). La maggior parte delle aree di bassa pressione transitano dall'Atlantico verso il Mediterraneo per poi abbandonarci verso i Balcani, ma in questo caso (e in altri che hanno contraddistinto le alluvioni in Italia) la bassa pressione ha assunto carattere di semi-stazionarietà, permettendo ai venti carichi di umidità di interessare il Nord-Italia per molte ore.
Intensità. Le piogge intense sono spesso associate alla presenza di forti rovesci o temporali, e sono una prerogativa del nostro clima tra i mesi di aprile e ottobre, più spesso tra l'inizio dell'estate e le prime settimane dell'autunno. Per lo sviluppo di questa tipologia di fenomeni è necessario il contrasto tra masse d'aria con temperature diverse; il settore di contrasto è spesso quello che determina le fasi di pioggia più intense.
Il mix è completo. Il 15 maggio una linea di innesco di forti rovesci ha assunto carattere di semi-stazionarietà tra l'est milanese e il lodigiano, apportando precipitazioni intense e persistenti per l'intero arco della giornata.

Figura 1: Configurazione meteorologica del 15 maggio 2024.



Fonte: Elaborazione ARPA Lombardia & Panoply su dati di rianalisi ERA5 (C3S).

Figura 2: Totale delle precipitazioni cadute il 15 maggio 2024 sulla Lombardia.



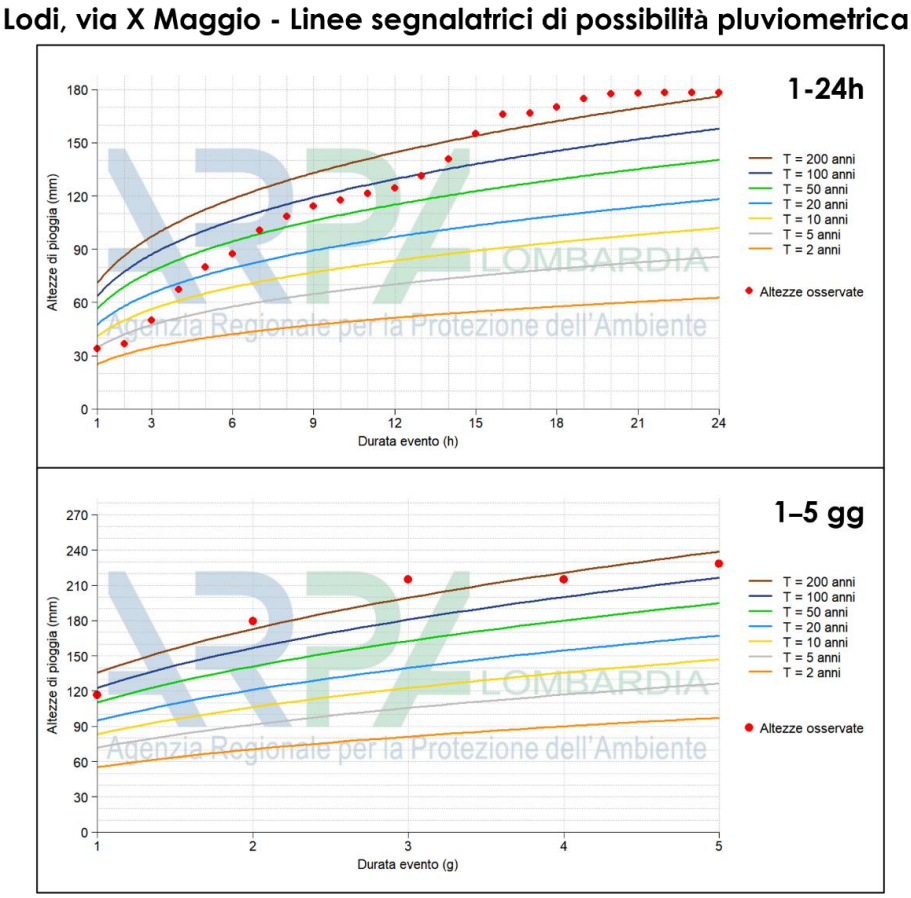
Fonte: Dati ed elaborazione ARPA Lombardia.

Analisi idrologica

Tra il 13 e il 18 maggio 2024, sulla Lombardia, le stazioni di monitoraggio di ARPA Lombardia hanno registrato precipitazioni che hanno diffusamente superato i 200 mm complessivi, concentrate principalmente nella giornata di mercoledì 15 maggio (Figura 2).
Per mettere in evidenza la singolarità dell'evento, è stata eseguita una stima del tempo di ritorno sulle precipitazioni registrate presso la stazione di Lodi, via X Maggio (Figura 3).
Tempi di ritorno. In idrologia, il tempo di ritorno rappresenta il periodo, in anni, in cui mediamente un fenomeno (nella nostra analisi in riferimento alla precipitazione cumulata) viene eguagliato o superato. Questo significa che un tempo di ritorno più lungo è associato a un evento più raro, ma è importante sottolineare che la probabilità di accadimento dell'evento rimane la stessa, indipendentemente dal suo ripetersi in anni recenti. Ad esempio, una precipitazione con tempo di ritorno 10 anni ha il 10% di probabilità di verificarsi in un determinato anno, ma potrebbe verificarsi anche nell'anno successivo o addirittura più volte nell'anno in corso.
La stima del tempo di ritorno delle precipitazioni registrate è stata eseguita utilizzando i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24h e 1-5 giorni pubblicati sul WebGIS di ARPA Lombardia[36].
Per quanto riguarda l'evento del 15 maggio 2024, la stazione pluviometrica di Lodi ha registrato una cumulata di 175 mm tra le ore 23:10 del 2024-05-14 e le ore 18:10 del 2024-05-15, ovvero su una durata di 19 ore. Utilizzando i parametri delle linee segnalatrici 1-24h, si ottiene un tempo di ritorno superiore ai 200 anni non solo per la durata più critica (19 ore), ma per tutte le durate superiori a 15 ore fino alle 24.
Come già detto, l'evento è stato caratterizzato da elevata persistenza: sono stati quindi calcolati anche i tempi di ritorno per le durate 1-5 giorni. Normalmente, quando si parla di precipitazioni intense e di breve durata, i tempi di ritorno più elevati si registrano in corrispondenza di durate limitate: in questo caso, i tempi di ritorno stimati hanno superato i 200 mm anche per durate superiori alle 24 h, in particolare per due e tre giorni. Il tempo di ritorno maggiore è stato stimato per la durata di 3 giorni, essendo stati registrati 215 mm tra il giorno 2024-05-14 e il giorno 2024-05-17.
L'effetto delle precipitazioni è stato significativo sul reticolo idrografico lombardo nelle aree maggiormente interessate: nella giornata del 15 maggio, si è verificato il superamento delle soglie di allertamento in diverse sezioni del bacino del Lambro; nelle sezioni di Seveso a Paderno Dugnano-Palazzolo e Lambro a Lesmo-Peregallo è stata superata anche la soglia di criticità. Si riporta, a titolo di esempio, il livello registrato alla stazione di Lesmo-Peregallo (Figura 4) con un'immagine scattata durante la misura di portata eseguita in corso di evento (portata misurata 103 mc/s a fronte di un livello di 2.38 m).

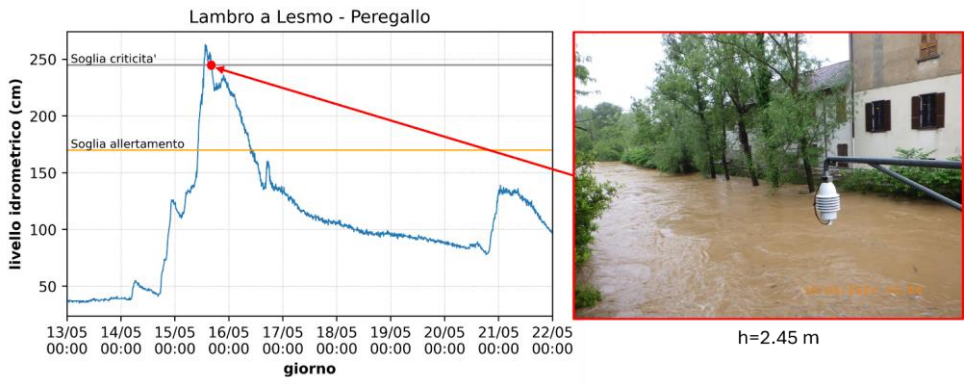
[36] idro.arpalombardia.it/it/map/sidro.

Figura 3: Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica – Lodi via X Maggio.



Fonte: Dati ed elaborazione ARPA Lombardia.

Figura 4: Livello idrometrico del Lambro a Lesmo-Peregallo.



Fonte: dati ARPA Lombardia.

Conclusioni

L'evento del 15 maggio è stato causato da una profonda area di bassa pressione che ha provocato il continuo afflusso di aria umida e instabile verso il Nord Italia, innescando in particolare la persistenza di forti rovesci su un'area relativamente ristretta compresa tra il lodigiano e l'est milanese. Lo stesso si inserisce all'interno di un contesto meteorologico molto instabile che ha contraddistinto tutta la prima parte dell'anno, basti pensare che da gennaio a maggio sono stati registrati a Milano ben 883 mm di pioggia, un dato record per l'intera serie storica che ha inizio nel 1764.
Dal pomeriggio di mercoledì 15 molti comuni della zona sopracitata hanno subito allagamenti diffusi, con particolare riferimento ai comuni di Gessate e Bellinzago Lombardo, entrambi in provincia di Milano, per l'esondazione del Naviglio Martesana e del torrente Trobbia. Esondazioni sono state registrate anche nel capoluogo a causa del fiume Lambro, per il quale si rileva il superamento della soglia di criticità. Dai dati pluviometrici registrati emerge la rarità dell'evento nell'area interessata, in quanto i tempi di ritorno oltre le 15 ore sono superiori a 200 anni.

3.2 L'evento alluvionale del 29-30 giugno 2024 in Valle d'Aosta e Piemonte

Nella giornata di sabato 29 giugno 2024, un fronte freddo è transitato sulla Valle d'Aosta e il Piemonte settentrionale apportando precipitazioni, specie a carattere convettivo, con valori localmente molto forti e a carattere di rovescio temporalesco, favoriti dalla presenza di aria umida e instabile.

Valle d'Aosta

Le precipitazioni

La precipitazione si è concentrata nelle 12 ore tra le 12:00 alle 24:00 circa. Come si vede dalla cumulata giornaliera stimata dal radar di Meteo Svizzera (Figura 1), l'area principalmente interessata è stata quella sud-orientale della Valle d'Aosta, con valori massimi stimati da 120 a 160 mm nelle zone più colpite. Un primo passaggio tra Cogne e Champorcher (h12-13) è stato seguito da uno più intenso in bassa valle tra le 14:00 e le 16:00. Il terzo passaggio più forte, tra le 17:00 e le 20:00, ha riguardato soprattutto la valle di Cogne, con quantitativi massimi stimati di circa 50 mm nel comune di Cogne solo nell'ora tra le 19:00 e le 20:00. Successivamente c'è stato un ultimo passaggio intenso tra Champorcher e la valle del Lys (tra le 20:00 e le 23:00), con grandinate sul fondovalle che hanno generato una sovrastima del dato radar. La rete pluviometrica del Centro Funzionale della Valle d'Aosta ha registrato precipitazioni con distribuzione spaziale simile al radar di Meteo Svizzero. Le cumulate giornaliere massime sono state registrate a Cogne, con 133 mm a Lillaz, 131 mm a Grand-Crot, 119 mm a Valnontey e 100 mm a Gimillan. Nel capoluogo di Verres la cumulata è stata di circa 117 mm. Confrontando le precipitazioni nella diversa durata, secondo la regionalizzazione delle piogge, realizzata da fondazione CIMA per la Regione Valle d'Aosta, sono stati ricavati i range di tempi di ritorno per alcune delle stazioni sopra riportate. Si vede come nella testa della valle di Cogne i tempi di ritorno sono superiori a 500 anni per la durata di 3 h per i pluviometri Gran Crot e Lillaz e addirittura oltre 1000 per quello della Valnontey. Rimangono eccezionali anche le cumulate sulle 6h con tempi di ritorno superiori ai 300 anni. In bassa valle a Verrès l'evento, per le durate di 3 e 6 ore, si colloca nel range tra i 200 e 300 anni mentre a Donnas l'evento con il tempo di ritorno maggiore è quello della durata di 1 h con tempi di ritorno di 30-40 anni.

La saturazione

Durante l'evento la saturazione dei suoli, stimata da modello idrologico, è aumentata repentinamente, fino a raggiungere valori eccezionali su tutta la regione, in seguito alla combinazione di precipitazioni e fusione del manto nevoso. Il valore di saturazione stimato è vicino al 75% ed è il più alto calcolato negli ultimi 12 anni. L'andamento dell'indice SWE (equivalente in acqua della neve) mostra come all'inizio dell'evento circa 700 Mm^3 di acqua erano già passati dallo stato solido (neve) allo stato liquido determinando l'innalzamento del livello dei corsi d'acqua, che al momento dell'evento erano in fase di morbida e già vicini alla soglia di attenzione.

Le portate

Nel corso della serata del 29 giugno e fino alle prime ore della giornata del 30 giugno, i livelli idrometrici delle cinque stazioni sulla Dora Baltea sono repentinamente saliti, superando la soglia di attenzione

massima H3, che rappresenta la soglia di esondazione in un'area interessata dalla presenza di attività antropiche permanenti. In Figura 2, l'andamento delle portate per tre stazioni della Dora Baltea (Aymavilles, Champdepraz e Hône) mostra che l'evento ha avuto il suo picco verso le 19 UTC a Aymavilles (ore 21:00 locali) per poi arrivare a Hône alle 1:30 UTC (ore 3:30 del 30 giugno). Secondo lo studio della regionalizzazione delle portate l'evento di piena registrato a Hône ha un tempo di ritorno di oltre 20 anni. Comparando le portate con i due precedenti eventi importanti, l'alluvione del 2000 e del 2008, si può notare che questo evento si colloca circa a metà tra l'evento del 2008 e quello più importante del 2000. Bisogna infatti considerare che la Dora Baltea è esondata in vari punti prima di arrivare alla stazione di Hône, causando un effetto di laminazione. La portata reale al colmo transitata a Hône si può stimare in 1360 m^3/s. L'aumento delle portate è imputabile in gran parte alle precipitazioni dell'evento ma anche a delle portate di partenza già elevate per il periodo di morbida in corso e all'apporto di acqua dalla fusione nivale causata dallo zero termico superiore alla quota di innevamento. Anche in diversi torrenti delle vallate laterali, i livelli idrometrici hanno superato le soglie di attenzione e di prima esondazione, in particolare a Valsavarenche Eaux-Rousses, Gressoney Capoluogo, Valtournenche Maen, Valpelline Prelé, Issime e Cogne Crétaz, dove l'idrometro è stato asportato durante l'evento alle ore 18.40 UTC, quando è stata stimata una portata di 377 mc/s, corrispondente ad un tempo di ritorno di circa 1000 anni.

Effetti al suolo

L'evento ha provocato l'attivazione di numerosi fenomeni di dissesto. Le zone più colpite sono state le testate della Valtournenche, la Valle di Cogne e i bacini limitrofi della valle centrale, le testate delle valli d'Ayas e del Lys e tutto il fondo valle da Brissogne a Pont-Saint-Martin. Come si vede dalla Figura 3, il comune con più dissesti risulta quello di Cogne (62), con più del doppio di quelli registrati da Valtournenche (25), al terzo e al quarto posto si trovano i comuni a valle del secondo e del primo, Antey-Saint-André (11) con Châtillon (9) e poi Aymavilles (8).

Gli effetti al suolo generati dall'evento sono consistiti nell'innesco di fenomeni di esondazione, molteplici colate detritiche, erosioni dei tratti apicali e non dei torrenti della val di Cogne e della testata della Valtournenche, e di fenomeni di alluvionamento nella valle centrale tra Brissogne e Pont-Saint-Martin con particolare riferimento ai territori di Pontey, Chambave, Montjovet, Champdepraz, Issogne, Arnad, Hône e Bard.

Nella zona più colpita, nel comune di Cogne, le testate della Valnontey, della Valeille, della Valle dell'Urtier e la maggioranza degli affluenti della Grand-Eyvia hanno dato origine a colate detritiche e flussi iperconcentrati apportando notevoli quantità di materiale solido nella rete idrologica principale, interrompendo la viabilità di accesso alla valle, danneggiando i campeggi presenti e allagando diverse abitazioni.

Il secondo comune più colpito in termini di dissesti registrati è stato quello di Valtournenche dove le precipitazioni e la fusione nivale sono state il fattore d'innesco di un fenomeno franoso evolutosi in una colata di detrito che ha mandato in crisi il reticolato idrografico del torrente Mont Cervin, coinvolgendo circa 5-6 ettari dell'abitato del Breuil Cervinia.

Figura 1: Precipitazione cumulata giornaliera del 29 e del 30 giugno 2024 in mm e stimata dai sistemi radarmeteorologici e corretta con i pluviometri delle reti meteoidrografiche regionali di Piemonte e Valle d'Aosta.

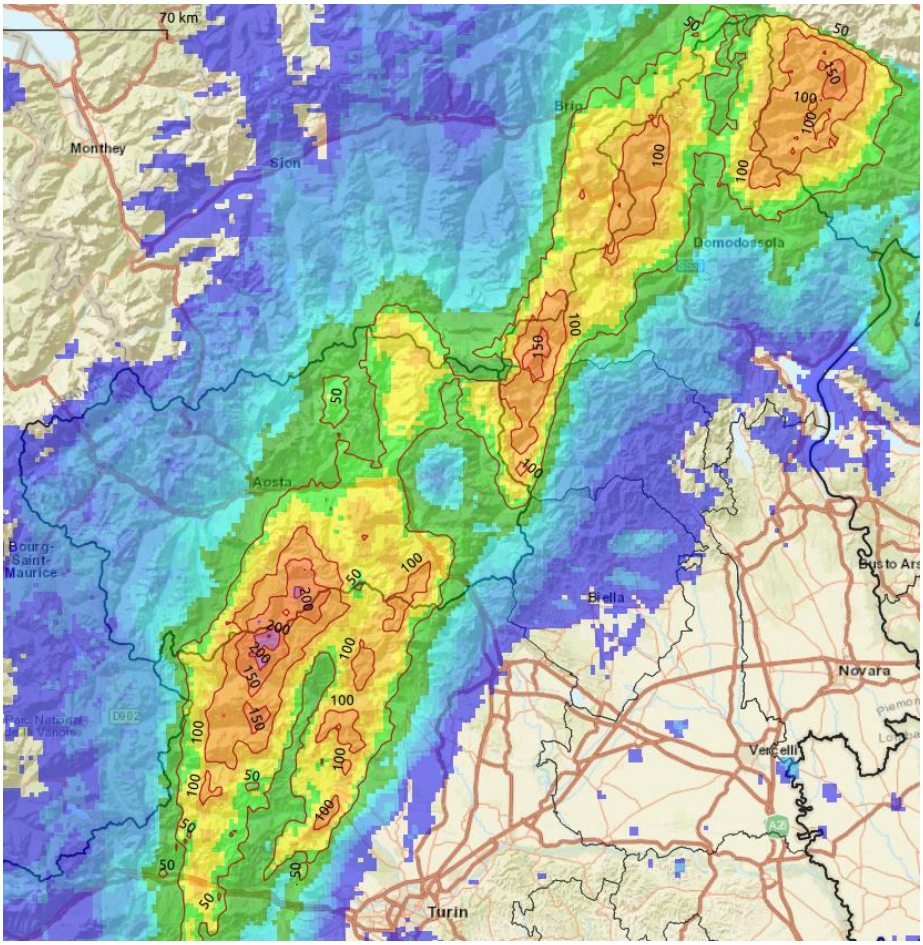


Figura 2: Confronto degli idrogrammi dell'evento nelle sezioni della Dora Baltea di Aymabilles, Nus e Hône.

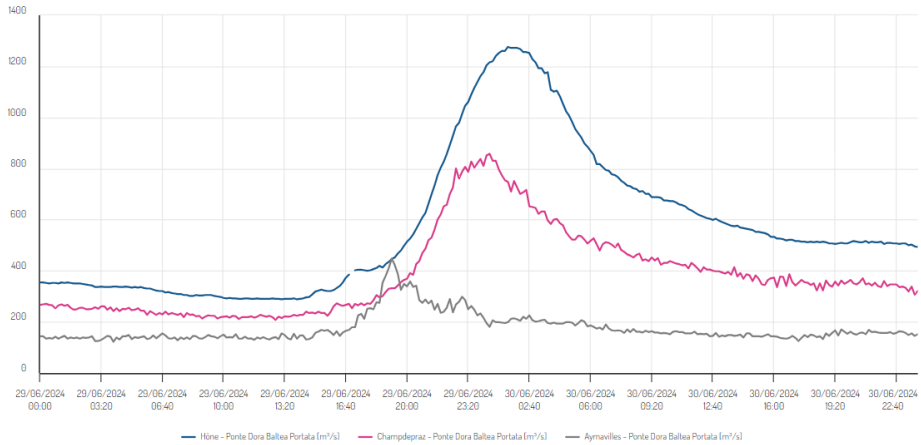
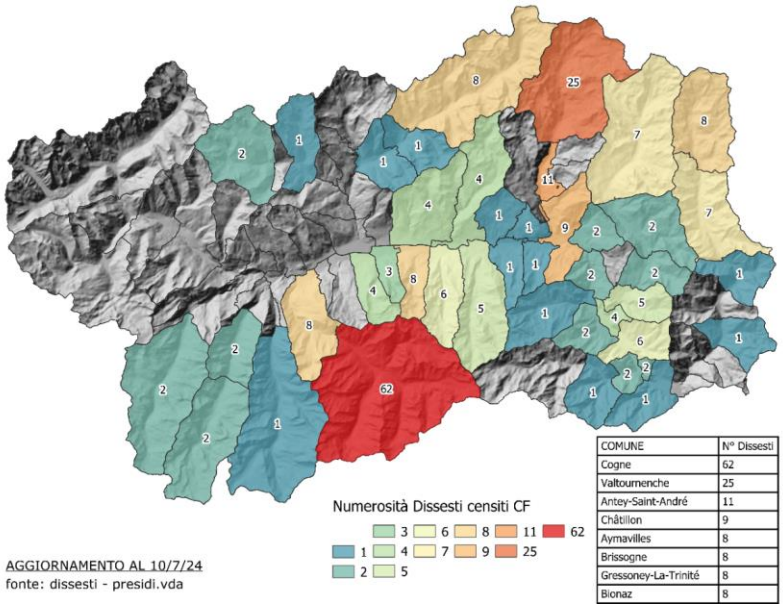


Figura 3: Distribuzione del numero di dissesti per comune del 29-30 giugno 2024 in Valle d'Aosta.



COMUNE	N° Dissesti
Cogne	62
Valtournenche	25
Antey-Saint-André	11
Châtillon	9
Aymavilles	8
Brissogne	8
Gressoney-La-Trinité	8
Bionaz	8

Piemonte

Le precipitazioni

Precipitazioni abbondanti si sono verificate sulla fascia alpina soprattutto tra Alpi Graie e Lepontine. In particolare, sono stati registrati valori di pioggia cumulata anche superiori ai 150 mm nelle valli di Lanzo, in valle Orco e in valle Anzasca. Nella stazione di Noasca (TO) i valori massimi cumulati sulle 1, 3 e 6 ore corrispondono a tempi di ritorno di oltre 200 anni. Anche le precipitazioni registrate presso la stazione di Alpe Veglia (VB) risultano statisticamente significative: i valori massimi cumulati per le durate di 3 e 6 ore corrispondono rispettivamente a tempi di ritorno di 100 e 200 anni. La Figura 4 mostra la distribuzione delle grandinate occorse nella giornata di sabato 29 giugno. Il fenomeno ha interessato le zone pedemontane nordoccidentali con dimensioni ed accumuli più significativi sul Canavese e sul Verbano. Numerose le segnalazioni di grandine grossa o gigante caduta nella zona tra Forno Canavese, Rivara, Castellamonte e Cuorgnè nel Torinese. Rilievi fotografici mostrano chicchi fino a 12 cm e con un peso di ben 180 g.

Le portate

I primi consistenti innalzamenti dei corsi d'acqua si sono verificati nelle valli di Lanzo nella serata di sabato: la Stura di Valgrande a Cantoira (TO) e la Stura di Lanzo a Mezzenile (TO) hanno superato repentinamente la soglia di pericolo raggiungendo il colmo alle 19:00 UTC. I livelli sono tornati al di sotto della soglia di guardia nella mattinata di domenica. Il colmo di piena della Stura di Lanzo è successivamente transitato alle 20:00 UTC a Lanzo (TO) senza superare il livello di guardia. Nelle stesse ore, il torrente Orco ha superato il livello di pericolo in corrispondenza della sezione di Spineto (TO). A valle, il colmo di piena del torrente è transitato a San Benigno (TO) nelle prime ore di domenica, raggiungendo la soglia di guardia. I contributi della Stura di Lanzo e del torrente Orco hanno determinato il transito di una piena ordinaria sul fiume Po alla sezione di San Sebastiano (TO), dove il colmo è transitato alle 4:00 UTC di domenica senza superare il livello di guardia.

A seguito delle forti precipitazioni che hanno interessato la Valle d'Aosta, la Dora Baltea a Tavagnasco (TO) ha superato il livello di guardia nelle prime ore di domenica, raggiungendo il colmo di piena alle 2:30 UTC.

Nella notte tra sabato e domenica anche nel Verbano ci sono stati importanti innalzamenti dei corsi d'acqua del reticolo secondario: a San Carlo (VB), il torrente Anza ha superato il livello di pericolo alle 20:30 UTC di sabato ed è tornato sotto il livello di guardia nella tarda mattinata di domenica. Anche il torrente Ovesca a Villadossola (VB) ha superato la soglia di pericolo, raggiungendo il colmo alle 00:00 UTC di domenica. Nelle stesse ore, il Toce a Domodossola (VB) ha raggiunto il livello di guardia. Tutti i contributi sono defluiti alla chiusura del bacino del Toce, dove il colmo di piena ordinaria è transitato a Candoglia (VB) alle 4:00 UTC di domenica, determinando anche un incremento del livello del Lago Maggiore.

Effetti al suolo

Le zone più colpite sono state quelle comprese tra le Valli di Lanzo, le valli Orco e Soana in provincia di Torino; le valli Anzasca, Sesia e Devero nel nord Piemonte.

Sono state segnalate alcune frane nei dintorni di Oulx (TO), in Valle Susa, in particolare in loc. Royeres verso Bardonecchia. A Usseglio (TO) una frana ha bloccato la strada del Vallone d'Arnas, intorno alle ore 20. Alcuni pastori sono rimasti isolati. Una colata di fango e detriti ha interessato il torrente Vassola a Chialamberto (TO), nella Val Grande di Lanzo determinando disagi in paese, con alcune persone evacuate dalle proprie abitazioni; è stato evacuato a titolo precauzionale un condominio di cinquanta persone. In Valle Orco nella zona delle cascate, il torrente Orco è fuoriuscito trascinando fango e detriti in centro al paese. Chiusa la strada tra Fornolosa (TO) e Noasca (TO) per una colata detritica che ha ostruito completamente la carreggiata. In Val Soana il torrente Arietta nel Vallone dell'Azaria (TO) si è ostruito a causa di una frana riversando materiale sui pascoli e deviando il suo percorso. Una frana ha interessato la SP n. 47 all'altezza di Ingria.

Criticità in diverse località della Val d'Ossola e nelle aree di confine in Svizzera, dove si sono verificati eventi franosi significativi. A San Domenico (VB) e Simplon Dorf, si sono verificate due grosse frane, con grandi quantità di fango e detriti che hanno invaso alcune strade e bloccato il transito stradale.

In Valsesia si sono verificati diversi dissesti: ad Alagna (VC) evacuate 13 persone rimaste bloccate ai rifugi Pastore, Barba Ferrero e Crespi Calderini. Molte le strade chiuse: quella per Pianalunga, Acqua Bianca, Val Vogna (da Sant'Antonio a Peccia) e quella per Wittine (dalla frazione di Piane). In località Schennine è crollato un ponte e quello di Zam Tackj risulta inaccessibile. A Campertogno, una ventina di campeggiatori sono rimasti isolati

Nel panorama generale del territorio piemontese interessato dall'evento, il Comune di Macugnaga (VB) risulta quello che è stato colpito in modo più significativo (Figura 5), con il coinvolgimento non solo della viabilità, ma anche delle abitazioni, soprattutto in corrispondenza del concentrico e della rete dei sottoservizi. Entrando in paese la sezione del Torrente Tambach si riduce progressivamente, fino a scorrere nella parte centrale all'interno di una sezione decisamente contenuta. Il passaggio del materiale solido a pezzatura grossolana trasportato dalla piena ha così ostruito l'alveo e si è riversato nell'abitato in corrispondenza dell'area compresa tra il piazzale delle "Funivie Passo Moro" e il primo gruppo di case che si incontra scendendo Via Chiesa vecchia; da qui è proseguito interessando il centro del paese fino oltre la piazza centrale. La maggior parte del materiale detritico grossolano si è depositato in questo primo tratto di abitato, dove si è anche attivato temporaneamente un nuovo ramo d'alveo che scorreva tra le abitazioni comprese tra Via Chiesa Vecchia e la Strada Statale n. 549. Il flusso è quindi proseguito seguendo la viabilità, attraversando il centro dell'abitato e rientrando in alveo poco prima della confluenza nel T. Anza. Lungo tutto il tratto interessato dal passaggio del materiale detritico e delle acque del T. Tambach sono stati registrati ingenti danni alle abitazioni, alle pertinenze, alla viabilità e ai sottoservizi.

Figura 4: Probabilità di grandine e aree interessate da grandine grossa stimate da radar meteorologici. I colori blu, verde e rosso indicano le aree interessate da probabilità crescente; Il ciano scuro le zone interessate da grandine con diametro superiore a 2 cm.

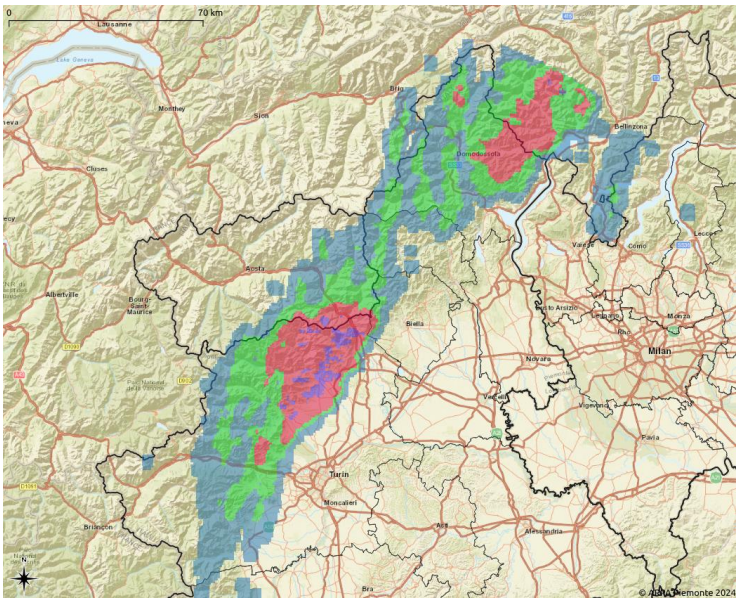
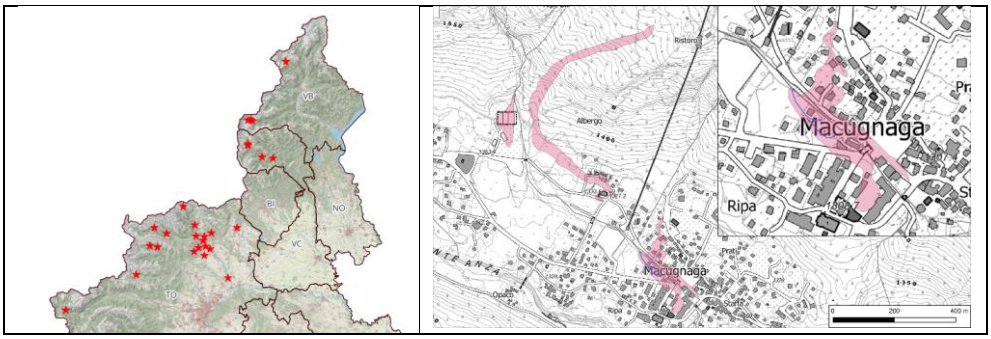


Figura 5: Cartogramma con l'ubicazione delle principali segnalazioni raccolte da rassegna stampa o da altre fonti (sinistra). Mappa speditiva delle zone interessate da fenomeni di dissesto di varia natura (in rosa). In alto a destra dettaglio sulla zona del concentrico di Macugnaga con riportato il percorso del ramo d'alveo temporaneamente attivatosi in seguito all'ostruzione del corso d'acqua principale (destra).



3.3 Evento idrometeorologico occorso il 27 agosto 2024 nei comuni di Arienzo, Baiano, Capua, Mugnano del Cardinale e San Felice a Cancello

Nella giornata del 27 agosto 2024 un evento idrometeorologico intenso ha interessato le zone regionali interne poste fra le province di Avellino e Caserta, ricadenti nell'area compresa fra la piana di Cancello Scalo, il Parco regionale del Partenio, la pianura di Terra di Lavoro e il Vallo di Lauro Baianese. I rilevanti effetti al suolo, in termini di dissesti sui versanti collinari e montani, sono stati causati dal rapido deflusso delle acque piovane riversatesi negli esistenti impluvi naturali e nei solchi di erosione creati dall'elevata energia cinetica delle precipitazioni, con innesco, nelle zone più acclivi dei versanti, di forti correnti di ruscellamento superficiale e colate miste di detriti e fango.
In particolare, tali dissesti, nella località Talanico del comune di San Felice a Cancello (CE), ricadente nel bacino imbrifero posto a sud del Monte Piano del Termine, hanno causato la perdita di due vite umane.
Le condizioni meteo avverse sono state determinate da una diminuzione della pressione atmosferica dovuta a correnti di aria fresca in quota affluenti sulla penisola italiana e dal contrasto termico fra le masse d'aria estremamente calde presenti al suolo in Campania e quelle fresche e instabili in arrivo, con il conseguente innesco di fenomeni, nelle ore centrali della giornata, soprattutto a ridosso delle zone appenniniche, ma con sconfinamento anche sui settori costieri.
L'evento, in termini di previsioni di criticità idrauliche e idrogeologiche al suolo, indotte dalle precipitazioni attese, stimate dalla modellistica previsionale disponibile per il territorio della Regione Campania a partire dagli output deterministici e probabilistici, a scala globale e locale, è stato anticipato dall'emissione, nella giornata del 26 agosto 2024, di un Avviso di Allerta Meteo-Idrogeologica, con validità dalle ore 12 del 27 alle ore 00 del 28 agosto 2024, livello di allerta gialla e tipologia di rischio Idrogeologico per temporali per tutte le zone di allerta.
I valori delle precipitazioni misurate da diverse stazioni pluviometriche della rete fiduciaria di monitoraggio di protezione civile, gestite e monitorate dal Centro Funzionale Multirischi della Regione Campania, installate presso il territorio in esame, hanno superato di sovente le medie delle massime precipitazioni annue storicamente registrate, per le durate di 10 e 20 minuti, a partire dagli anni 2001-2002 ad oggi.
Presso la stazione di Capua (CE) le altezze di precipitazione registrate per le durate di 30 minuti e 1 ora rappresentano i massimi della serie storica, dall'anno di installazione (2008) ad oggi, mentre per tutte le durate da 10' a 3 ore hanno superato i valori medi dello stesso periodo. In particolare, presso tale stazione l'altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata pari a 70 mm; le massime precipitazioni sono state: 17 mm (10'), 32.2 mm (20'), 45 mm (30'), 63.2 mm (1h) e 63.8 mm (3h).
La massima altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata registrata presso la stazione di Quadrelle (AV), pari a 75.9 mm. Le massime precipitazioni sono state: 30.2 mm (15'), 55.9 mm (30'), 70.1 mm (45'), 74.3 mm (1h), 75.9 mm (3h).
Per tale stazione, la lunghezza della serie storica omogenea disponibile, inferiore ai 5 anni, limita la consistenza e la robustezza della serie stessa, rendendo impossibile attribuire valutazioni all'entità dei valori d'evento rispetto a quelli storici.

Presso la stazione di S. Martino Valle Caudina (AV) le altezze di precipitazione registrate per tutte le durate da 10 minuti a 3 ore hanno superato i valori medi della serie storica, a partire dall'anno 2001 ad oggi. In particolare, presso tale stazione l'altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata pari a 71.8 mm; le massime precipitazioni sono state: 17.8 mm (10'), 31.8 mm (20'), 41.8 mm (30'), 45.2 mm (1h) e 70.6 mm (3h).
Presso la stazione di Pietrastornina (AV) le altezze di precipitazione registrate per le durate di 10 e 20 minuti hanno superato i valori medi della serie storica, a partire dall'anno 2001 ad oggi. In particolare, presso tale stazione l'altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata pari a 52.2 mm; le massime precipitazioni, per le durate sub orarie indicate, sono state: 13.4 mm nei 10' e 22.8 mm nei 20'.
Presso la stazione di Mugnano del Cardinale (AV) le altezze di precipitazione registrate per le durate di 20, 30 minuti e 1 ora hanno superato i valori medi della serie storica, a partire dall'anno 2008 ad oggi. In particolare, presso tale stazione l'altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata pari a 46.8 mm; le massime precipitazioni, per le durate sub orarie indicate, sono state: 29.4 mm nei 20', 35 mm nei 30' e 45.4 in 1h.
La stazione di Arienzo (CE) è ritenuta fra le più pertinenti e le maggiormente significative alla fattispecie indagata ai fini della valutazione idrogeologica della forzante meteo che ha determinato notevoli dissesti nel territorio del comune di San Felice a Cancello (CE). Presso tale stazione le altezze di precipitazione registrate per tutte le durate da 10 minuti a 3 ore hanno superato i valori medi della serie storica, a partire dall'anno 2001 ad oggi. In particolare, presso tale stazione l'altezza di precipitazione cumulata giornaliera è stata pari a 50.8 mm; le massime precipitazioni sono state: 17.8 mm (10'), 30.4 mm (20'), 41.8 mm (30'), 47.6 mm (1h) e 50.8 mm (3h).
In relazione alle criticità idrogeologiche associate, v'è da rilevare la particolare significatività delle cumulate d'evento di durata pari a 1 e 3h, che hanno superato, in alcune stazioni pluviometriche della rete di monitoraggio in tempo reale installate presso il territorio in esame, i valori di soglia prefissati per l'attivazione delle fasi operative di risposta del vigente sistema di allertamento regionale di protezione civile e degli stati di allerta (attenzione, preallarme ed allarme), previsti per le precipitazioni osservate realmente riscontrate sul territorio, con riferimento ai territori comunali associati al precursore superato.

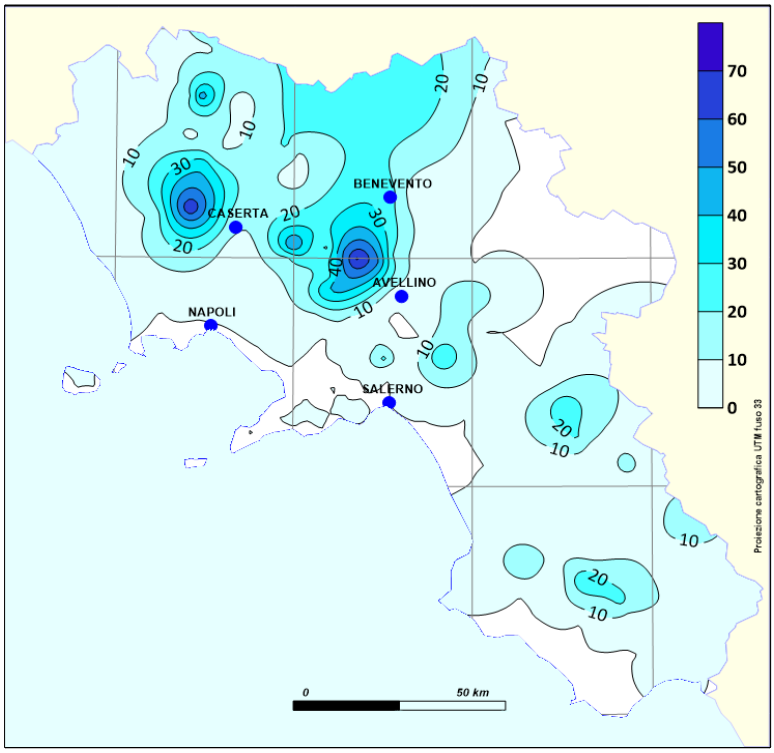
In particolare:

- presso la stazione di Capua (CE) sono state superate le soglie di allarme per le durate di 1 e 3 ore;
- presso la stazione di S. Martino Valle Caudina (AV) è stata superata la soglia di preallarme per la durata di 3 ore;
- presso le stazioni di Arienzo (CE) e Mugnano del Cardinale (AV) sono state superate le soglie di attenzione per la durata di 3 ore.

In Figura 1 si riporta la mappa delle isoiete della precipitazione cumulata giornaliera registrata dalla rete fiduciaria in data 27 agosto 2024; in Figura 2 il pluviogramma delle precipitazioni orarie e il relativo andamento della precipitazione cumulata, per la stazione di Capua (CE); in Figura 3 l'andamento temporale del precursore pluviometrico di durata 1h per la stazione di Capua (CE), confrontato con il relativo valore di soglia.

Nella fattispecie degli effetti al suolo intervenuti sul territorio del comune di San Felice a Cancello (CE), v'è da rilevare come essi siano stati certamente amplificati dalle condizioni locali di esposizione e vulnerabilità, come peraltro già verificatosi in occasione del precedente evento occorso nel 1998, per il quale si rinvia agli approfondimenti e agli estratti disponibili sul sito del Dipartimento della Protezione Civile (L'alluvione di Sarno e Quindici).
Il "Rapporto degli eventi meteo-idrogeologici occorsi il giorno 27 agosto 2024 sul territorio della Regione Campania", redatto dal Centro Funzionale Multirischi di Protezione Civile della Regione Campania, è pubblicato sul sito istituzionale[37] .

Figura 1: Mappa delle isoiete della precipitazione cumulata giornaliera registrata dalla rete fiduciaria in data 27 agosto 2024.



[37] centrofunzionale.regione.campania.it – sezione Pubblicazioni.

Figura 2: Pluviogramma delle precipitazioni e relativa precipitazione cumulata. Stazione di Capua (CE).

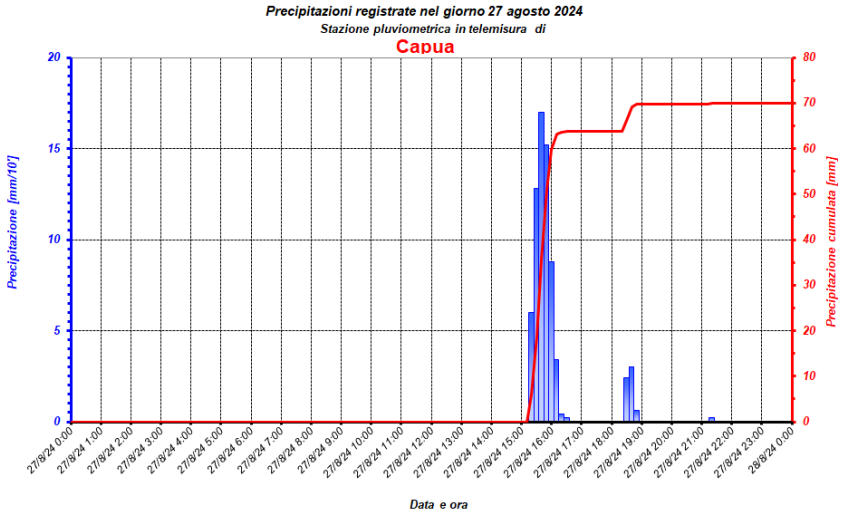
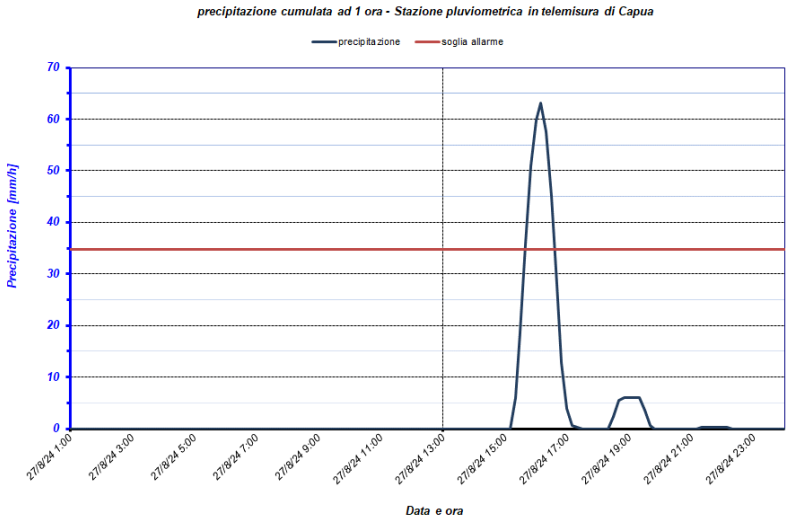


Figura 3: Stazione di Capua (CE): andamento temporale del precursore pluviometrico di durata 1 ora.



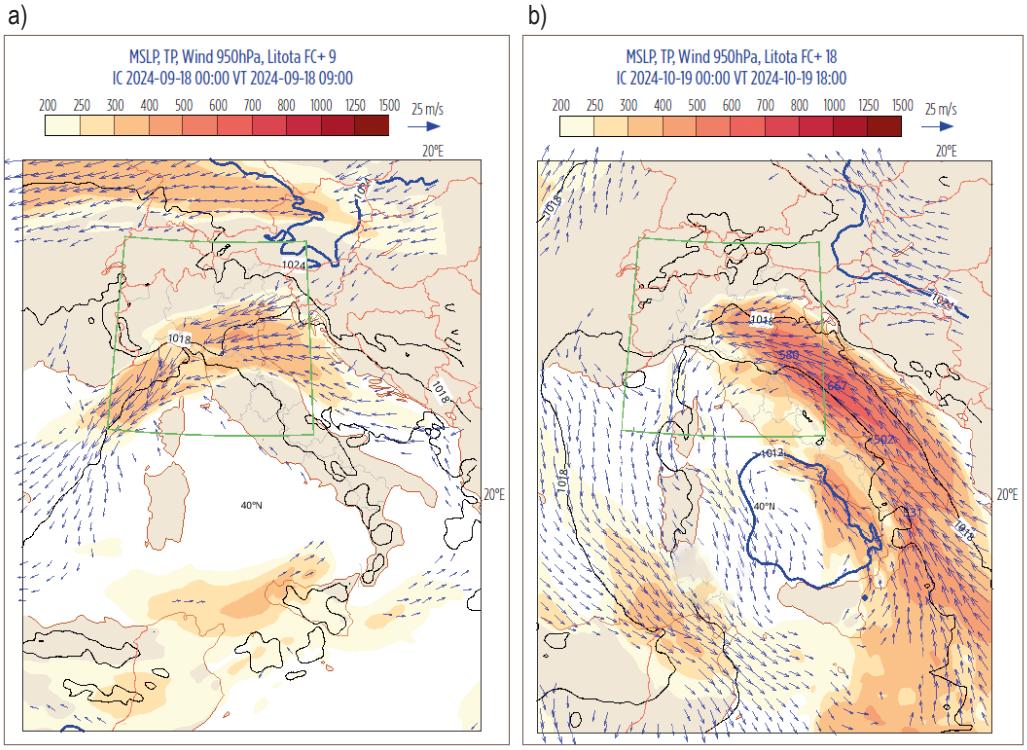
3.4 Gli eventi alluvionali del 2024 in Emilia-Romagna in un contesto di anomalie climatiche estreme

Dal punto di vista climatico, in Emilia-Romagna, il 2024 è stato l'anno più caldo e più piovoso, in base al dataset climatico regionale che parte dal 1961. Le temperature medie e minime regionali hanno infatti raggiunto un nuovo record massimo, mentre le temperature massime sono risultate le seconde più alte dopo il 2022 e il 2023.
Le anomalie termiche hanno raggiunto valori particolarmente elevati nel corso dell'inverno meteorologico, il più caldo dal 1961, e nel corso dell'estate, la quarta più calda dopo quella del 2003, del 2022 e del 2012. A causa delle miti temperature invernali l'indice dei giorni con gelo, con temperatura minima inferiore a 0 °C, ha assunto il terzo valore più basso della serie storica, dopo il 2014 e il 1974; le calde temperature estive hanno portato l'indice delle notti tropicali, con temperatura minima maggiore di 20 °C, al terzo valore più alto, e quello del numero di giorni estivi caldi, con temperatura massima superiore a 30 °C, al quarto più alto delle rispettive serie. Tutti i precedenti indici sono calcolati a partire dalle serie di valori medi regionali delle temperature minime e massime.
Il record annuale di precipitazioni dal 1961 è stato raggiunto grazie ad anomalie nettamente positive in buona parte dei mesi dell'anno. I mesi di settembre e di ottobre hanno superato di più del 100% i valori mensili climatici 1991-2020, soprattutto a causa degli eventi eccezionali dei giorni 17-19 settembre e 17-20 ottobre. Settembre è stato il secondo più piovoso dopo il 1973, mentre ottobre il terzo più piovoso, dopo il 1964 e il 1992. Nonostante le scarse precipitazioni di novembre, il terzo meno piovoso dal 1961, l'autunno 2024 è risultato comunque il secondo più piovoso dopo il 1966.
Le condizioni climatiche dell'Emilia-Romagna sono in buona parte state osservate anche nelle altre regioni italiane e possono considerarsi la declinazione locale di condizioni climatiche globali fuori dall'ordinario. Come documentato dal *Copernicus Climate Change Service* (C3S)[38], le temperature medie globali di ciascun mese del 2024, stimate utilizzando il dataset ERA5, sono risultate tra le più alte nelle rispettive serie e il valore medio annuo ha superato il precedente record del 2023 ponendosi 1.60 °C sopra il clima pre-industriale (1850-1900). Questo è stato il primo anno in cui la temperatura media globale ha superato continuativamente l'anomalia di 1.5 °C rispetto al clima pre-industriale, indicato nei documenti dell'Accordo di Parigi come una soglia oltre la quale potrebbero verificarsi impatti gravi e non reversibili agli ecosistemi e alla popolazione, così come alle infrastrutture e all'economia locale. Questi risultati sono stati confermati da altri dataset climatici e il *World Meteorological Organization* (WMO) ha stimato, per il 2024, un'anomalia media annua rispetto al livello pre-industriale (1850-1900) pari a 1.55 ± 0.13 °C (WMO, 2025).
I servizi climatici di Copernicus hanno inoltre stimato che nella fascia latitudinale tra 60 °S e 60 °N si sia verificata un'anomalia particolarmente intensa della temperatura superficiale dei mari, accompagnata nella stessa area da corrispondenti valori record nel contenuto totale di vapor d'acqua in atmosfera che ha raggiunto nel 2024 valori decisamente più alti dei precedenti record del 2016 e 2023.

[38] *Copernicus Climate Change Service* (C3S), *Global Climate Highlights 2024*. https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024, 10 January 2025.

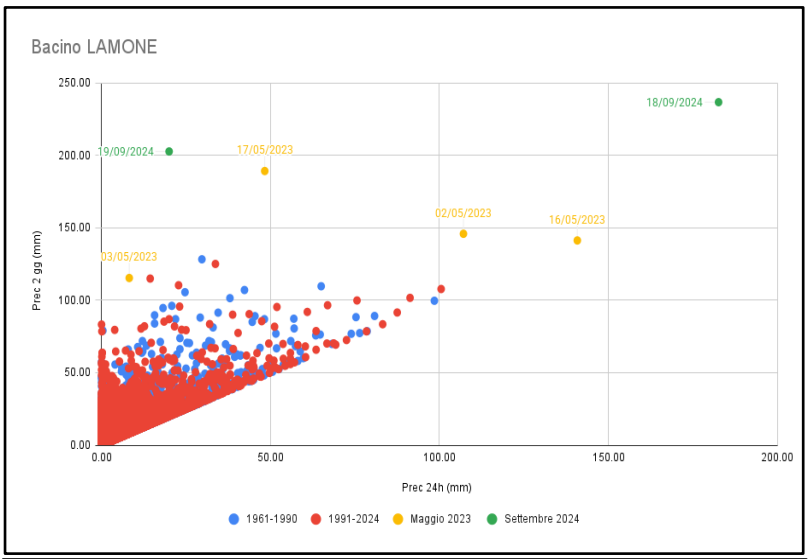
Anomalie particolarmente intense sono state osservate nelle temperature superficiali dell'Atlantico Settentrionale e del Mediterraneo, dove ad agosto 2024 è stato rilevato il valore mensile massimo assoluto. Un'elevata temperatura superficiale dei mari ha conseguenze importanti anche su altri aspetti: prima di tutto conferisce maggiore persistenza temporale alle anomalie termiche superficiali, grazie all'elevata capacità termica dell'acqua. Questa condizione ha infatti favorito il verificarsi di anomalie climatiche locali in indici come la temperatura minima annua, il numero di giorni con gelo e il numero di notti tropicali. Secondariamente, alti valori di temperatura superficiale aumentano la potenzialità della superficie marina di rilasciare flussi di calore latente, e quindi anche di vapore acqueo, verso l'atmosfera.
A questo quadro si è sommato il persistere di un'anomalia termica di segno opposto tra le aree più settentrionali del Nord Atlantico e del Nord Europa, sia nel corso dell'inverno (Rantanen et al, 2025) sia nell'ultima parte dell'estate, che ha favorito l'intensificazione del gradiente termico meridionale sull'Europa, e l'instaurarsi di condizioni dinamicamente instabili, favorevoli allo sviluppo in queste aree di sistemi sinottici e di mesoscala.
In queste condizioni generali, nel corso dei primi mesi dell'autunno 2024, l'Emilia-Romagna è stata interessata dal passaggio di diversi sistemi depressionari, alcuni dei quali hanno riversato localmente quantitativi di precipitazioni eccezionali, che in un contesto di suoli generalmente già saturi, hanno causato ingenti danni al territorio.
In particolare, a partire dall'11 settembre una depressione sul golfo di Genova denominata Boris, dopo aver causato alluvioni devastanti nel Centro-est Europa, 24 morti e gravi danni in Repubblica Ceca, Polonia, Austria e Slovacchia, si è posizionata, con un successivo movimento retrogrado, a ovest della Corsica, attivando intensi flussi di scirocco nei bassi strati lungo l'Adriatico, convergenti sulla Romagna con flussi di bora alla superficie (Figura 1a). La persistenza di una linea di temporali molto intensi dal mare al largo di Rimini fino ai rilievi romagnoli ha determinato tra il 18 e il 19 settembre precipitazioni cumulate eccezionali in Romagna, associate a intensità orarie particolarmente alte, a causa del carattere convettivo del fenomeno.
I grafici in Figura 2 presentano la distribuzione delle precipitazioni cumulate su due giorni (in ordinata) e su 24 ore (in ascissa), per i bacini dell'Idice e del Lamone. I valori rappresentano le medie areali ottenute dai dati giornalieri di precipitazione dell'analisi climatica Eraclito61 dal 1961 a oggi. Queste figure indicano chiaramente che le precipitazioni relative agli eventi di settembre 2024, insieme a quelle degli eventi di maggio 2023, fanno parte del gruppo di valori più alti delle due distribuzioni. In particolare, per l'evento del 18 settembre sul Lamone, se si escludono gli eventi posteriori a maggio 2023, il dato presenta un valore quasi doppio rispetto al più alto dei valori precedenti, sia per la cumulata giornaliera sia per quella su due giorni. Nel caso dell'Idice, i cinque eventi con cumulata giornaliera più alta (valore di ascissa) sono tutti relativi agli eventi di maggio 2023 e settembre-ottobre 2024, tranne un singolo dato, relativo al 4 novembre 1966, riconducibile all'alluvione di Firenze.

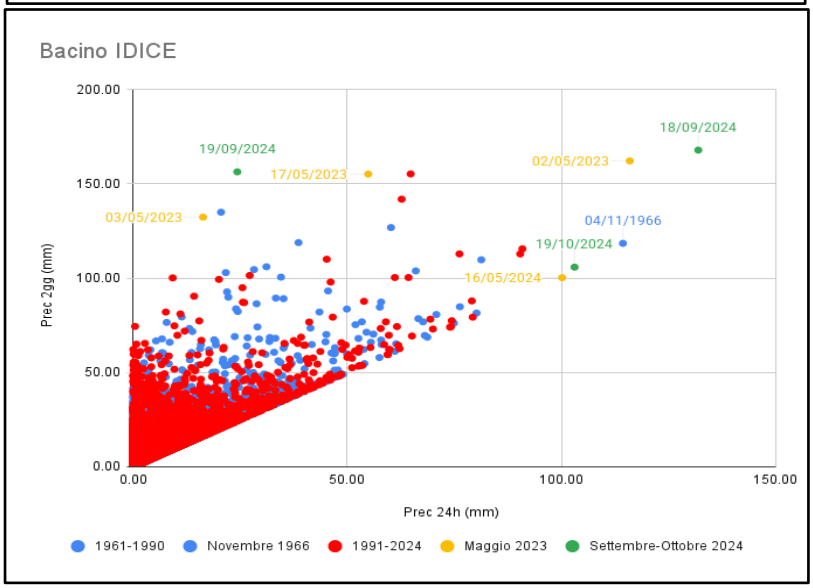
Figura 1: Quadro sinottico della circolazione nei bassi strati per il 18 settembre 2024 alle ore 11.00 locali (a), e per il 19 ottobre 2024 alle ore 19.00 locali (b). Le frecce rappresentano il vento a 950 hPa, corrispondente a circa 500 m di altitudine, le isolinee rappresentano la pressione al suolo, mentre la campitura colorata mostra il trasporto di vapore acqueo integrato lungo tutta la colonna atmosferica.



Fonte: Previsioni a breve termine ECMWF.

Figura 2: Distribuzione delle precipitazioni medie areali su 24 ore (asse x) e su 48 ore (asse y) dal 1961 ad oggi, sul bacino del Lamone e dell'Idice.

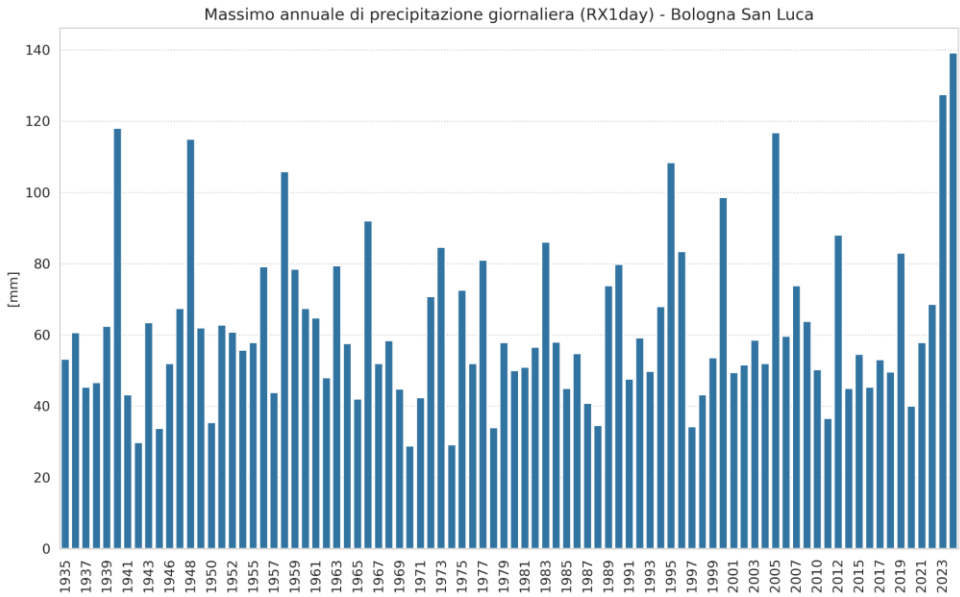




Fonte: Dataset climatico Eraclito61.

Successivamente, una nuova profonda onda depressionaria, derivante dalla transizione alle medie latitudini di un uragano tropicale (Leslie), a partire dal giorno 17, ha riversato forti precipitazioni sui bacini del Reno e di altri fiumi emiliani. L'isolamento dell'onda dal flusso principale ha reso i fenomeni particolarmente persistenti e, dal giorno 19 ottobre, si è nuovamente intensificata in associazione con intensi flussi di scirocco che hanno determinato forti temporali sulla costa romagnola, e conseguenti allagamenti nella zona di Cesenatico. Nella sera dello stesso giorno, i fenomeni hanno interessato l'entroterra fino alla zona collinare centrale. Il grafico in Figura 3 presenta la serie dei massimi annui dei valori di precipitazioni giornaliere osservate presso la stazione di Bologna San Luca, nel Comune di Bologna, particolarmente colpito nel corso di questo evento: il valore relativo a quest'ultimo, il più intenso del 2024, rappresenta il massimo per le cumulate su 24 ore dal 1935, di poco superiore al precedente massimo del 2 maggio 2023. Gli eventi del 2024 e dell'anno precedente si pongono in discontinuità rispetto alla serie precedente, che non ha mai registrato due anni consecutivi con valori superiori a 100 mm/24 h.

Figura 3: Serie temporale dei massimi valori annui di precipitazione giornaliera (mm) per la stazione di Bologna San Luca.



Anche in questo caso, la stazionarietà del ciclone sul Mediterraneo, le anomalie record della temperatura del mare, l'elevato flusso di vapore acqueo (Figura 1b) sono tutti elementi che hanno giocato un ruolo importante nel determinare intensità e accumulo totale delle precipitazioni estreme osservate.
È stato inoltre notato che, rispetto alle correnti che tipicamente affluiscono verso un ciclone mediterraneo, nei casi di maggio 2023 e di settembre e ottobre 2024, il flusso orientale, solitamente povero di umidità a causa della sua provenienza continentale, è risultato invece particolarmente umido e ha giocato un ruolo rilevante nell'evoluzione dei sistemi depressionari (Dorrington et al., 2024).
Gli studi di attribuzione rapida condotti sui due casi (Faranda et al., 2024) hanno evidenziato che depressioni mediterranee di questo tipo nei modelli climatici sono caratterizzate da un aumento delle precipitazioni fino al 25% (stima conservativa a causa della scarsa risoluzione dei modelli) e producono venti più forti, con un aumento pari al 10% dell'intensità, rispetto al passato: eventi di questo tipo in un clima più freddo avrebbero quindi avuto intensità e impatti significativamente inferiori.

Bibliografia

WMO, 2025: State of the Global Climate 2024, WMO-No.1368, https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024, 19 March 2025.

Rantanen M., Hyvärinen O., Vajda A., and Karpechko A., 2025: The atmospheric 'cold blob' over Fennoscandia from October 2023 to January 2024. Weather, 80: 10-16. https://doi.org/10.1002/wea.4570.

Dorrington J., Wenta M., Grazzini F., Magnusson L., Vitart F., and Grams C.M., 2024: Precursors and pathways: dynamically informed extreme event forecasting demonstrated on the historic Emilia-Romagna 2023 flood, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 24, 2995–3012, https://doi.org/10.5194/nhess-24-2995-2024.

Faranda D., Alberti T., Coppola E., and Antonescu B., 2024: Heavy precipitations in storm Boris exacerbated by both human-driven climate change and natural variability, ClimaMeter, Institut Pierre Simon Laplace, Cnrs, https://doi.org/10.5281/zenodo.14054777.

Coppola E., Pons F.M.E., Alberti T., Portal A., and Faranda D., 2024: October 2024 Italy multiple floods mostly strengthened by human-driven climate change, ClimaMeter, Institut Pierre Simon Laplace, Cnrs, https://doi.org/10.5281/zenodo.14054627.

3.5 Evento alluvionale nella piana di Santa Eufemia del 19-22 ottobre 2024

Nel mese di ottobre 2024, dopo un lungo periodo caldo e siccitoso, la lenta evoluzione di un sistema frontale legato ad una profonda saccatura che dal Nord Atlantico si è estesa fino al Mediterraneo ha determinato anche sulla Calabria precipitazioni intense e fenomeni temporaleschi che hanno causato l'esondazione di diversi torrenti soprattutto nella Piana di Sant'Eufemia. In particolare, a partire dalla giornata del 19 ottobre, un vortice depressionario posizionato tra il basso Tirreno e il Canale di Sicilia ha determinato il continuo richiamo di venti di Scirocco caldi e umidi, dando origine alla formazione di fenomeni temporaleschi, soprattutto sui settori ionici meridionali e nelle aree interne del crotonese. Dalla serata del 20 ottobre e fino alla giornata del 21, il movimento retrogrado verso ovest del suddetto *cut-off* ha determinato l'intensificarsi del maltempo; le correnti umide e instabili hanno generato fenomeni temporaleschi di tipo stazionario, esaltati anche dall'orografia locale, che hanno interessato oltre ai settori ionici anche le aree interne del catanzarese fino a raggiungere la piana di Santa Eufemia. Molte stazioni hanno registrato valori di pioggia superiori a 200 mm: il pluviometro di Maida-Licciardi nella notte tra il 20 e il 21 ottobre ha misurato una precipitazione cumulata di circa 380 mm in 12 ore.
Di seguito sono riportate alcune analisi pluviometriche relative alle cumulate di precipitazione e ai massimi di precipitazione di breve durata registrati durante l'evento di cui sono stati determinati i casi critici e i tempi di ritorno.
In Figura 1 è mostrata la mappa delle **precipitazioni cumulate** sulla regione Calabria, mentre la Tabella 1 riporta le precipitazioni cumulate delle stazioni che hanno registrato valori superiori a 200 mm a confronto con le relative piogge medie annue.
Si può osservare che la precipitazione complessiva registrata durante l'evento dal pluviometro di Maida risulta pari al 40% della pioggia media annua, per Bovalino Marina il 29.6% e per quello di Cortale il 26%.
In Figura 2 vengono riportati i **diagrammi pluviometrici** rispettivamente di Maida Licciardi e Cortale, da cui si evince che in questi pluviometri è stata registrata una precipitazione particolarmente intensa.
Sono state poi calcolate le **massime altezze di precipitazione di breve durata** (1-3-6-12-24 ore): i valori si riportano in Tabella 2.
Per i valori più elevati è stata valutata la collocazione rispetto alle relative serie storiche, determinando il livello del "**caso critico**": i risultati si riportano in Tabella 3.

Figura 1: Precipitazione cumulata durante l'evento.

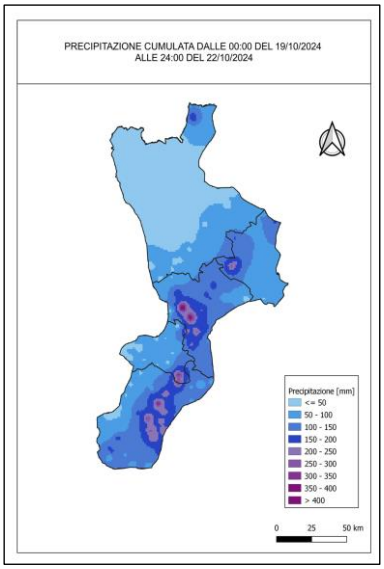
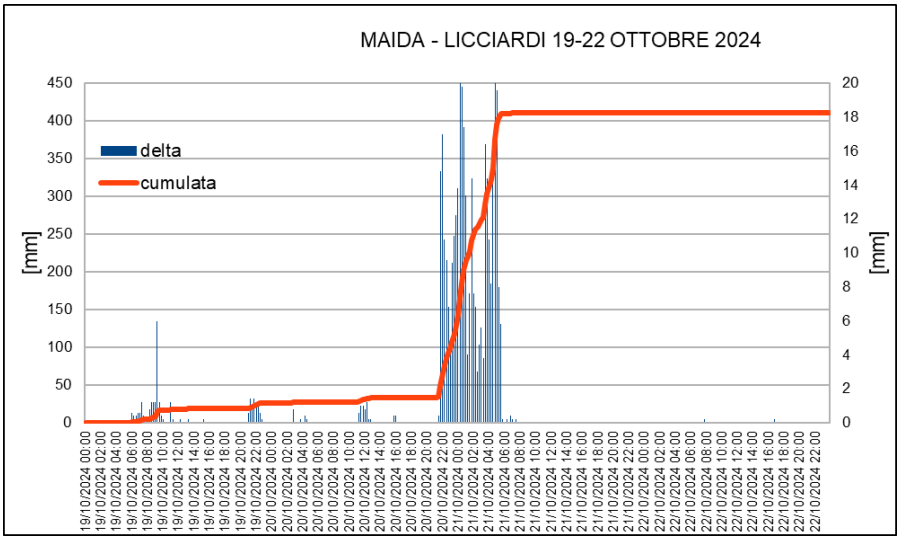


Tabella 1: Stazioni dove sono stati registrate cumulate di evento superiori a 200 mm a confronto con i dati storici.

pluviometro	pioggia evento	pioggia media annua	Rapporto percentuale
Maida - Licciardi	410.8	1029.4	39.9
Cortale	392.8	1505.3	26.1
Antonimina - Canolo Nuovo	344.4	1852.1	18.6
Fabrizia	331.2	1717.2	19.3
Fabrizia - Cassari	304.0	1826.4	16.6
Platì	296.2	1739.6	17.0
Petilia Policastro Pagliarelle	263.0	1267.6	20.7
Palermiti	258.0	1340.3	19.2
San Luca	257.8	1141.8	22.6
Sant'Agata del Bianco	249.6	1066.2	23.4
Mammola - Limina	247.2	1838.9	13.4
Bovalino Marina	230.8	780.4	29.6
Cenadi - Serralta	227.6	1573.8	14.5
Antonimina	224.0	1356.2	16.5
Ardore Superiore	214.4	939.1	22.8
Cotronei	213.0	1188.2	17.9
Chiaravalle Centrale	210.0	1467.4	14.3
Caraffa di Catanzaro	202.6	1129.9	17.9

Figura 2: Diagrammi pluviometrici per la stazione di Maida Licciardi (in alto) e Cortale (in basso).



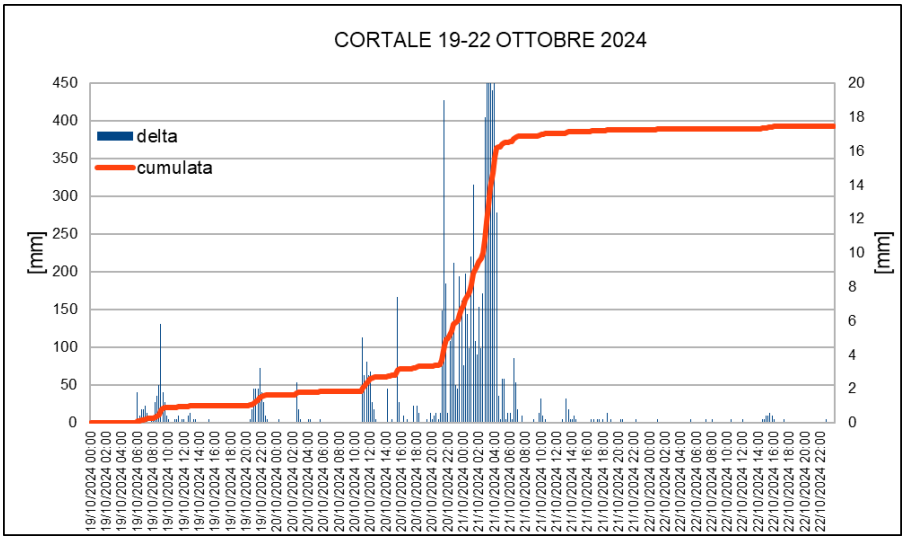


Tabella 2: Massime precipitazioni di breve durata (mm).

pluviometro	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Albi	30.4	65.0	91.0	111.8	121.6
Antonimina	35.8	53.2	63.0	82.4	96.4
Antonimina - Canolo Nuovo	31.6	59.2	94.0	113.0	138.6
Ardore Superiore	35.8	75.4	95.4	117.6	154.0
Bovalino Marina	56.0	79.2	112.0	139.8	202.6
Caraffa di Catanzaro	50.9	75.9	83.5	86.1	113.3
Cardeto	37.8	83.4	109.0	115.2	151.8
Cenadi - Serralta	60.4	110.8	137.2	162.0	169.4
Chiaravalle Centrale	42.2	88.4	105.6	123.6	132.4
Cittanova	24.0	49.0	71.8	78.2	83.2
Cortale	87.6	168.0	247.8	305.6	342.0
Cotronei	35.0	64.4	76.8	105.6	126.4
Fabrizia	27.0	57.4	88.8	132.2	204.6
Fabrizia - Cassari	26.4	59.2	78.4	103.4	151.2
Maida - Licciardi	80.6	153.6	298.0	376.8	382.6
Mammola - Limina	25.6	51.0	88.4	106.0	112.0
Nicastro - Bella	39.6	87.2	114.6	141.0	145.6
Palermiti	36.4	68.0	97.6	148.8	174.8
Petilia Policastro Pagliarelle	45.2	85.0	97.8	124.6	147.2
Plati'	63.8	77.8	96.8	99.2	135.4
San Luca	43.6	52.2	70.0	75.6	114.8
Sant'Agata del Bianco	54.8	73.0	83.0	92.2	164.0

Tabella 3: Massime precipitazioni registrate per le diverse durate (mm), con livello di "caso critico".

pluviometro	max 1 ora	Caso critico
Cortale	87.6	1°
Maida - Licciardi	80.6	1°
Plati'	63.8	5°
Cenadi - Serralta	60.4	2°
Bovalino Marina	56.0	2°
Sant'Agata del Bianco	54.8	5°
Caraffa di Catanzaro	50.9	1°
pluviometro	**max 3 ore**	**Caso critico**
Cortale	168.0	1°
Maida - Licciardi	153.6	1°
Cenadi - Serralta	110.8	2°
Chiaravalle Centrale	88.4	2°
Nicastro - Bella	87.2	2°
Petilia Policastro Pagliarelle	85.0	4°
Cardeto	83.4	1°
pluviometro	**max 6 ore**	**Caso critico**
Maida - Licciardi	298.0	1°
Cortale	247.8	1°
Cenadi - Serralta	137.2	2°
Nicastro - Bella	114.6	2°
Bovalino Marina	112.0	2°
Cardeto	109.0	2°
Chiaravalle Centrale	105.6	24°
Oriolo	100.8	1°
pluviometro	**max 12 ore**	**Caso critico**
Maida - Licciardi	376.8	1°
Cortale	305.6	1°
Cenadi - Serralta	162.0	2°
Palermiti	148.8	8°
Nicastro - Bella	141.0	2°
Bovalino Marina	139.8	2°
Fabrizia	132.2	9°
Petilia Policastro Pagliarelle	124.6	8°
Chiaravalle Centrale	123.6	24°
pluviometro	**max 24 ore**	**Caso critico**
Maida - Licciardi	382.6	1°
Cortale	342.0	1°
Fabrizia	204.6	7°

Bovalino Marina	202.6	2°
Palermiti	174.8	9°
Cenadi - Serralta	169.4	3°
Sant'Agata del Bianco	164.0	6°
Ardore Superiore	154.0	13°
Cardeto	151.8	7°
Fabrizia - Cassari	151.2	17°

Si può notare che per i pluviometri di Maida e Cortale l'evento rappresenta il 1° caso critico nell'intero periodo di osservazione, relativamente a tutte le integrazioni temporali ovvero, per i suddetti pluviometri, le massime piogge registrate nell'evento in esame risultano essere i valori più elevati misurati finora.
Per gran parte degli altri pluviometri, soprattutto per durate inferiori a 12 h, i valori misurati rappresentano invece il 2° caso critico finora registrato.
Per le precipitazioni di breve durata più significative è stata effettuata la valutazione del tempo di ritorno T utilizzando i modelli probabilistici dei valori estremi di Gumbel (metodo dei momenti) e TCEV-*Two Components Extreme Value Distribution* (1° livello di regionalizzazione). Sono stati considerati esclusivamente i pluviometri con serie storica sufficientemente numerosa (N>=18) tranne che per Cenadi - Serralta dove la serie storica delle piogge brevi è composta solo da 15 anni di osservazione.
Di seguito i risultati ottenuti per le diverse aggregazioni (Tabella 4).
Come si può notare, per le stazioni di Maida-Licciardi e Cortale, i Tempi di Ritorno sono sempre superiori a 100 anni, ad eccezione del valore di durata 1 h di Maida-Licciardi e del valore di durata 24 h di Cortale a cui, con il modello TCEV, è associato un Tempo di Ritorno di 40 anni. Notevoli anche i Tempi di Ritorno per la stazione di Nicastro-Bella soprattutto in riferimento ai massimi di durata 3, 6 e 12 ore.

Tabella 4: Tempi di ritorno (anni) per le diverse durate.

pluviometro	max 1 ora	N	T (Gumbel)	T (TCEV)
Cortale	87.6	18	>100	>100
Maida-Licciardi	80.6	22	75	41
Platì	63.8	57	14	14
Cenadi - Serralta	60.4	15	22	26
pluviometro	**max 3 ore**	**N**	**T (Gumbel)**	**T (TCEV)**
Cortale	168	18	>100	>100
Maida-Licciardi	153.6	22	>100	>100
Cenadi - Serralta	110.8	15	17	28
Nicastro-Bella	87.2	27	79	55
pluviometro	**max 6 ore**	**N**	**T (Gumbel)**	**T (TCEV)**
Maida-Licciardi	298	22	>100	>100
Cortale	247.8	18	>100	>100
Cenadi - Serralta	137.2	15	10	16
Nicastro-Bella	114.6	27	100	65
pluviometro	**max 12 ore**	**N**	**T (Gumbel)**	**T (TCEV)**
Maida-Licciardi	376.8	22	>100	>100
Cortale	305.6	18	>100	>100
Cenadi - Serralta	162	15	9	14
Palermiti	148.8	26	6	6
Nicastro-Bella	141	27	94	53
pluviometro	**max 24 ore**	**N**	**T (Gumbel)**	**T (TCEV)**
Maida-Licciardi	376.8	22	>100	>100
Cortale	305.6	18	100	40

Conclusioni

Dall'analisi delle precipitazioni alle diverse scale di aggregazione spaziale e temporale risulta evidente che, per alcune stazioni pluviometriche posizionate nel Lametino, ed in particolare per quelle di Maida-Licciardi e di Cortale, l'evento occorso ha presentato caratteristiche di eccezionalità. Ciò si può evincere sia dal fatto che le precipitazioni cumulate rappresentano un'aliquota significativa della precipitazione media annua, sia dall'analisi dei casi critici delle massime piogge di breve durata, che si collocano quali valori più alti nel periodo di osservazione, sia ricorrendo all'analisi statistica tramite l'utilizzo dei Modelli Probabilistici dei Valori estremi, che hanno evidenziato valori elevatissimi del tempo di ritorno T associato alle piogge di diversa durata.

3.6 Evento alluvionale nel Sud Sardegna del 26-27 ottobre 2024

Situazione sinottica

Tra la tarda serata del 26 e la mattina del 27 ottobre la Sardegna è stata interessata da precipitazioni temporalesche intense e localmente persistenti che hanno causato numerose criticità sul territorio, quali allagamenti di centri abitati, frane ed esondazioni di piccoli corsi d'acqua. La presente relazione intende caratterizzare l'evento dal punto di vista meteorologico e metterlo in relazione con gli eventi passati.
Nei giorni precedenti l'evento, tra il 24 e il 25, la situazione sinottica europea vedeva un'ampia ondulazione, la cui saccatura si elongava dalle Isole Britanniche fino alla Penisola Iberica trovandosi tra due ampi promontori estesi lungo i meridiani, uno sul Vicino Atlantico e l'altro che si protendeva dalla Libia alla Penisola Scandinava. Nella giornata di sabato 26 i due promontori si sono uniti all'altezza della Francia, isolando un *cut-off* sulla Spagna. La Penisola Italiana era investita da flussi umidi ed instabili da sud con precipitazioni temporalesche forti e stazionarie su alcune zone di Liguria e Toscana.
Nel frattempo, il contrasto tra l'aria più fredda di origine atlantica a ovest e l'aria calda in risalita dall'entroterra del Nord-Africa aveva generato una linea frontale al suolo, che dal Mar di Sardegna muoveva lentamente verso oriente.
Nel corso della notte tra sabato 26 e domenica 27 il fronte freddo si è avvicinato alla Sardegna, rallentando la sua evoluzione verso levante proprio in prossimità dell'Isola. Tale dinamica è stata favorita dall'azione di blocco del promontorio presente sui Balcani e ha determinato lo sviluppo di una linea di convergenza nei bassi strati tra il flusso umido da sud-est in ingresso dal Golfo di Cagliari e l'aria più secca in ingresso da ovest. Quest'ultimo fattore ha rappresentato il principale innesco per la convezione profonda, mentre la situazione a scala sinottica ne ha rallentato il moto verso est, causando la stazionarietà dei fenomeni convettivi che si erano formati sul Campidano.
Nella mattina di domenica 27 la linea frontale più attiva si trovava tra il Canale di Sardegna e il Mar Tirreno, mentre le ultime precipitazioni in prevalenza deboli e stratiformi indugiavano su Gallura e Baronia. Nel pomeriggio il *cut-off* dalla Spagna ha lentamente cominciato a migrare verso sud-ovest, favorendo un lento aumento di geopotenziale sulla Sardegna. Tale situazione ha determinato l'affievolirsi della forzante sinottica e di conseguenza, nonostante il perdurare del flusso umido sud-orientale nei bassi strati, i principali nuclei convettivi in risalita da sud hanno soltanto sfiorato le coste del Sulcis senza interessare direttamente il territorio regionale.

Situazione a scala regionale e descrizione dei fenomeni

Dalla serata del 26, poco dopo le 16:00 UTC, lungo la linea frontale fredda succitata si osservava convezione organizzata in cluster multicellulari lineari in estensione meridiana che approcciava le coste occidentali. Sui versanti orientali del Massiccio del Linas e dei Monti del Sulcis la convezione si

sviluppava lungo la linea di convergenza prefrontale stazionaria. Nelle ore successive, la parte settentrionale del fronte è rimasta quasi-stazionaria e si è indebolita, interessando marginalmente il settore Nord-occidentale dell'Isola. La parte meridionale, invece, è riuscita a penetrare maggiormente su terra, continuando ad alimentare la convezione profonda preesistente. Tale evoluzione ha causato fenomeni intensi sotto forma di celle convettive autorigeneranti, con intensità anche superiori a 30 mm/h sul settore Sud-occidentale e anche localmente persistenti tra Campidano e Iglesiente.
Qualche ora dopo la mezzanotte, intorno alle 01:50 UTC del 27, il nucleo convettivo più intenso ha cominciato a muovere verso nord-est, indebolendosi. Il fronte freddo ha continuato a suscitare convezione profonda in mare aperto, muovendosi verso levante dal Canale di Sardegna al Mar Tirreno, mentre sull'Isola ha lentamente cominciato a occludersi, determinando precipitazioni prevalentemente stratiformi, che hanno interessato per ultime la Baronia e la Gallura. I fenomeni sono terminati nella mattinata del 27, intorno alle 08:00 UTC.
I cumulati più elevati dell'evento sono stati registrati nell'Iglesiente (Figura 1), in particolare: i) nelle 48 ore dal 26 al 27 a Siliqua, della cui stazione *non fiduciaria* si dispone attualmente solo dei cumulati giornalieri, il pluviometro ha registrato complessivamente 409.6 mm (valori climatici di riferimento 1981-2010[39]: 539.9 mm medi annuali; 57.8 mm medi nel mese di ottobre); ii) a Vallermosa il pluviometro della rete fiduciaria ha misurato cumulati orari sino a 60 mm, con un valore complessivo nell'evento di 291.2 mm di cui la maggior parte in circa 6 ore (valori climatici di riferimento 1981-2010: 555.8 mm medi annuali, 54.4 medi nel mese di ottobre).
I fenomeni descritti, in prevalenza temporaleschi con intensità forti, possono essere sottostimati dalla rete pluviometrica per cui per completezza si riportano alcune stime radar. Su un'ampia zona, lunga circa 40 km dal versante settentrionale dei Monti del Sulcis a quello orientale del Linas, l'intensità superava 50 mm/h, con massimi anche localmente superiori a 100 mm/h. Qualche ora più tardi, alle 02:00 UTC, il radar stimava cumulati esaorari superiori a 120 mm/6h tra Campidano e Iglesiente, con massimi localmente superiori a 400 mm/6h tra Vallermosa e Siliqua (Figura 2).
Per fornire una caratterizzazione termodinamica e cinematica dei fenomeni descritti è utile analizzare il radiosondaggio di Decimomannu delle ore 00:00 UTC del 27 (Figura 3). Il profilo atmosferico era particolarmente umido e instabile con valori di energia potenziale disponibile per la convezione (MLCAPE) superiori a 2000 J/kg, assenza di inibizione (CIN~0 J/kg) e altezza di convezione libera (LFC) inferiore a 400 m. Tale altezza veniva evidentemente raggiunta facilmente grazie alle convergenze di basso livello e il sollevamento orografico sui versanti orientali dei Monti del Sulcis e del Linas. Inoltre, si osserva come i profili fossero instabili sino al livello di equilibrio (EL) che coincideva con la tropopausa, favorendo lo sviluppo di convezione profonda. Discreti valori di CAPE erano anche presenti nella zona di crescita dei chicchi di grandine (HGZ), anche superiori a 800 J/kg, per cui si suppone che le celle più intense abbiano anche prodotto grandine di piccole dimensioni (parzialmente confermato dai prodotti polarimetrici del radar).

Confronto con gli eventi storici precedenti

[39] Climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010: www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/miscellanea/ReportClima1981-2010.pdf; dati al link arpas.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=0bedeb6a438f428bb66372ea592f8eb6.

L'evento del 26-27 ottobre presenta delle analogie con alcuni eventi che hanno investito la Sardegna nel corso di un secolo e che presentano le seguenti caratteristiche comuni:

1) occorrenza nei mesi autunnali (ottobre-novembre);
2) presenza di una struttura estesa in altezza sino alla tropopausa e che interessa gran parte della Sardegna Meridionale;
3) massimo principale di precipitazione ben localizzato a ovest di Cagliari, dovuto a precipitazioni convettive intense e persistenti alimentate da un flusso umido da sud-est in presenza di una grande quantità di energia potenziale disponibile per la convezione (CAPE);
4) valori di precipitazioni elevati attorno al massimo, ma che si riducono a poche decine di chilometri di distanza da esso;
5) un'area di precipitazioni intense piuttosto estesa sulla Sardegna Sud-Orientale distinta dall'area del massimo.

I quattro eventi più recenti nel Sud Sardegna, nonché gli unici avvenuti da quando la regione si è dotata di una rete in telemisura, sono stati i seguenti:

- 13 novembre 1999 (massimi a Decimomannu: 293.2 mm/8h);
- 22 ottobre 2008 (massimo a Capoterra: 372 mm/5h);
- 10 ottobre 2018 (massimo a Uta-Santa Lucia: 464.4 mm/24h);
- 27 ottobre 2024 (massimo a Siliqua: 409.6 mm/48h).

Esistono poi alcuni eventi storici caratterizzati da una pluviometria simile, ma avvenuti in un periodo in cui le misure avvenivano solo maniera meccanica:

- 7 ottobre 1929 (massimo a Vallermosa: 202 mm);
- 23 novembre 1961 (massimo a Uta: 400 mm);
- 8 novembre 1983 (massimo a Villacidro-Montimannu: 221.6 mm)

Queste considerazioni portano a ipotizzare l'esistenza di una fenomenologia rara, ancorché ricorrente, che può essere chiamata il *Nubifragio del Basso Campidano*. Uno degli elementi di interesse che sembra emergere da quest'analisi preliminare è che si tratti di un evento caratterizzato da precipitazioni molto elevate che sta aumentando in frequenza; infatti, gli eventi più recenti sembrano essere più ravvicinati temporalmente rispetto a quelli più antichi.

Figura 1: Cumulato di precipitazione misurato dalle reti pluviometriche nelle 48 ore dei giorni 26-27 ottobre 2024.

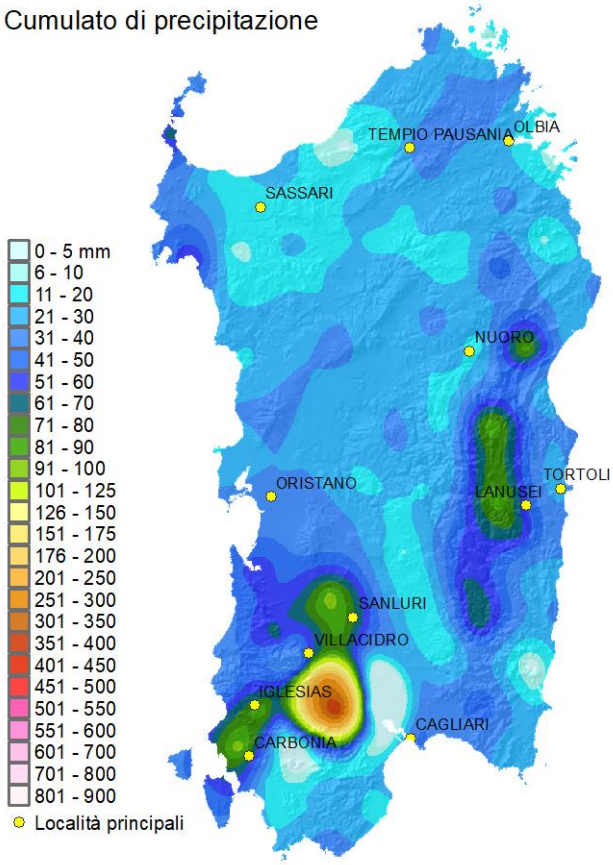


Figura 2: Cumulato di precipitazione stimato da radar (dBA – mm/6h) alle ore 02:00 UTC del 27/10/2024.

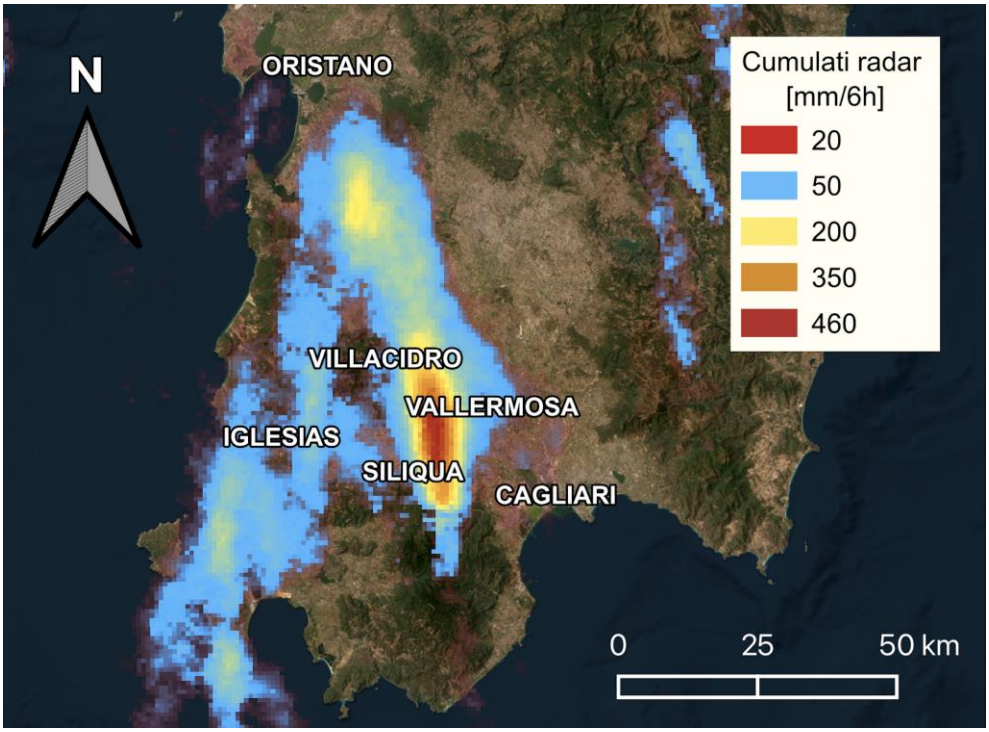
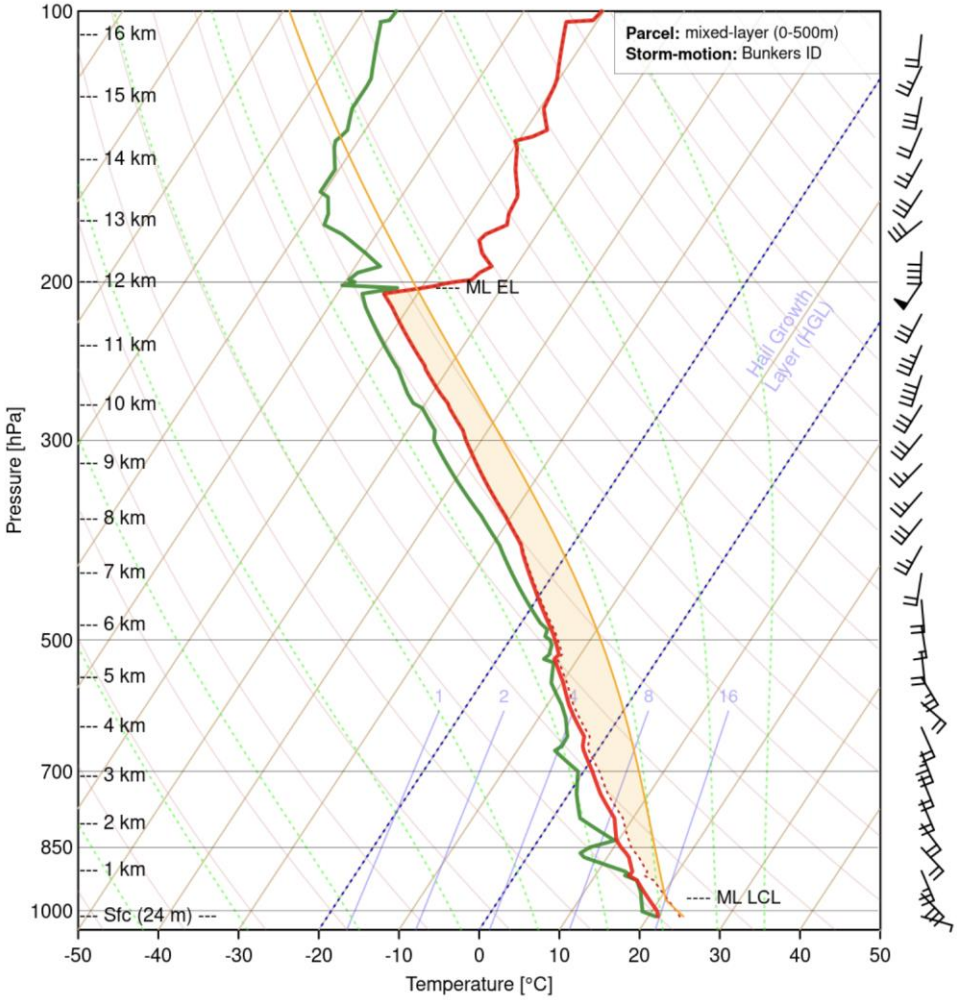


Figura 3: Radiosondaggio di Decimomannu delle ore 00:00 UTC del 27/10/2024.



Fonte: www.rawinsonde.com/thunder_app.

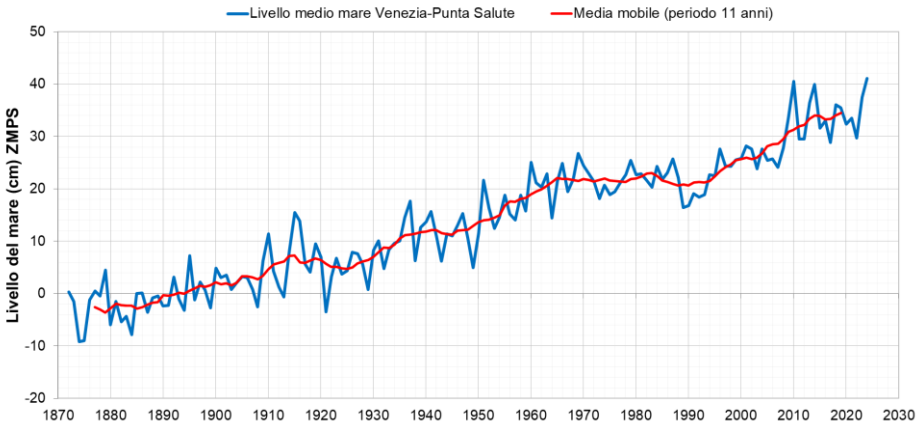
3.7 2024 a Venezia: anomalie stagionali e record del livello medio del mare

In Veneto, l'anno 2024 ha mostrato un andamento meteorologico particolarmente anomalo per quanto riguarda sia le temperature che le precipitazioni. A livello regionale, rispetto all'intera serie climatologica disponibile, il 2024 sarà ricordato come uno dei più caldi (+1.4 °C rispetto alla media del periodo 1991-2020) e uno dei più piovosi (+40% rispetto al 1991-2020)[40] (ARPAV, 2025).
Dal punto di vista meteo-mareografico, a Venezia il 2024 ha presentato il valore di livello medio del mare (l.m.m.) più alto di sempre (+41.1 cm ZMPS, Figura 1), in particolare a causa dei livelli anomali stagionali osservati nel periodo tra marzo e ottobre.
Con riferimento alla stazione mareografica di *Venezia - Punta della Salute*[41], che rappresenta il centro storico della Città di Venezia e di cui si possiede una serie storica ultracentenaria (dal 1872), nel 2024 sono stati registrati per 6 mesi consecutivi (da aprile a settembre) i valori medi mensili più alti di sempre, con anomalie di oltre +10 cm rispetto alla media del trentennio di riferimento 1991-2020 (Figura 2a). Il mese di settembre, in particolare, con un l.m.m. di +47.9 cm ZMPS, ha registrato uno scostamento di quasi +7 cm rispetto al secondo dell'intera serie storica (settembre 2014). A questi 6 mesi eccezionali, si aggiungono anche il mese di marzo, con un l.m.m. più alto di ben +21 cm rispetto alla media (terzo marzo della storia) e il mese di ottobre (secondo ottobre della serie storica), con un l.m.m. pari a +48 cm ZMPS, il valore più alto dell'anno 2024.
Com'è noto, il livello medio del mare è strettamente ed inversamente correlato alla pressione atmosferica. I valori della pressione atmosferica media mensile non spiegano però, di per sé, l'eccezionalità dei livelli osservati nel 2024 (Figura 2b, Figura 3).
L'analisi della relazione tra le anomalie del livello del mare e le anomalie della pressione atmosferica, misurata presso la stazione di *Lido Meteo* (Venezia) (ISPRA, 2025) indica come, nel 2024, il record di l.m.m. dell'intera serie storica (+41.1 cm, con una anomalia di +12.9 cm rispetto alla media), sia stato registrato in presenza di una pressione atmosferica annua sostanzialmente corrispondente alla media del periodo di riferimento (Figura 3). Questo è dovuto in parte ai valori osservati nei mesi di novembre e dicembre, caratterizzati dalla persistenza di strutture anticicloniche e conseguenti alte pressioni. Ma più in generale, anche nei mesi da aprile a settembre, la pressione atmosferica, seppur costantemente inferiore ai valori medi del periodo di riferimento, non presenta anomalie tali da giustificare i l.m.m. registrati (Figura 2b). L'effetto barometrico inverso, fenomeno per il quale il livello del mare si alza di circa 1 cm per un abbassamento di 1 hPa della pressione atmosferica (ben visibile negli anni con l.m.m. più alto come nel 2009, 2010, 2014 e 2023), non spiega quindi i l.m.m. osservati nel 2024. Le ragioni vanno ricercate in fenomeni a più ampia scala geografica, le cui cause sono da attribuire principalmente ai cambiamenti climatici in atto. Valori eccezionalmente alti del l.m.m. sono infatti stati osservati nel 2024 in stazioni dislocate nel Tirreno e lungo l'intera costa mediterranea; a titolo esemplificativo si

[40] focus ARPAV: Anomalie termiche nel corso del 2024 in Veneto
[41] Il livello del mare qui misurato si riferisce allo Zero Mareografico di Punta della Salute 1897 (ZMPS), piano di riferimento solidale con il suolo veneziano. Per dare continuità storica alla serie, a partire dall'anno 2020, per le sole giornate di chiusura delle paratoie del Mo.S.E., il calcolo dei livelli medi e delle statistiche collegate prevede l'integrazione dei dati di livello misurati a Punta della Salute con quelli misurati a Piattaforma "Acqua Alta", stazione mareografica di proprietà del CPSM del Comune di Venezia, posta a circa 8 miglia al largo dalla costa veneziana (ISPRA, 2024).

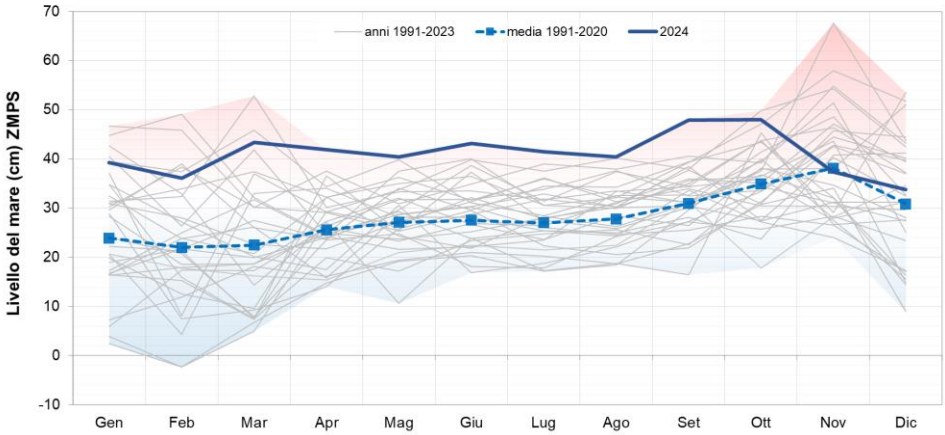
riportano i dati di Almerìa (Andalusia), situata in prossimità dello stretto di Gibilterra e quindi rappresentativa della "condizione al contorno" dell'intero Mediterraneo (Figura 4). Più in generale, l'Osservatorio della NASA sul Sea Level Change, da misure satellitari ha rilevato a livello globale nel 2024 un inaspettato tasso di crescita del livello del mare rispetto alle previsioni, dovuto principalmente all'espansione termica dell'acqua marina a seguito delle temperature estreme che hanno classificato il 2024 come l'anno più caldo dall'inizio delle osservazioni sistematiche[42].
Oltre all'analisi dell'innalzamento del l.m.m., in Laguna di Venezia un altro indicatore climatologico molto utile è il numero di superamenti di soglia per classi di marea alta e medio-alta (superiore agli 80 cm rispetto al piano di riferimento ZMPS). Nel 2024 si sono verificati 227 casi con massimi di livello maggiore-uguale agli 80 cm (ZMPS), distribuiti su un totale di 206 giorni (Figura 5a). Il numero di superamenti di quota +80 cm restituisce un'ulteriore conferma della persistenza di un l.m.m. elevato nel corso dell'anno dovuto alla combinazione di una condizione meteorologica mediamente "stabile", associata ad un importante contributo climatico di scala globale. Non si sono verificati, invece, frequenti eventi meteo-marini intensi con superamenti di quota +110 cm (denominati "acque alte") (Figura 5b). Per effetto dell'alta pressione persistente nei mesi autunnali, nel 2024 ne sono stati conteggiati solo 13, uno realmente osservato in centro storico il 16 maggio (primo caso dal 2020) e gli altri 12 misurati solo in *Piattaforma "Acqua Alta"* in occasione delle chiusure del Mo.S.E, dei quali soltanto quattro nei mesi di novembre (3) e dicembre (1), in controtendenza rispetto al periodo caratterizzato solitamente da un numero ben più elevato di eventi meteo-marini intensi.

Figura 1: Venezia. Livello medio del mare dal 1872 al 2024. Quote riferite allo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS 1897).

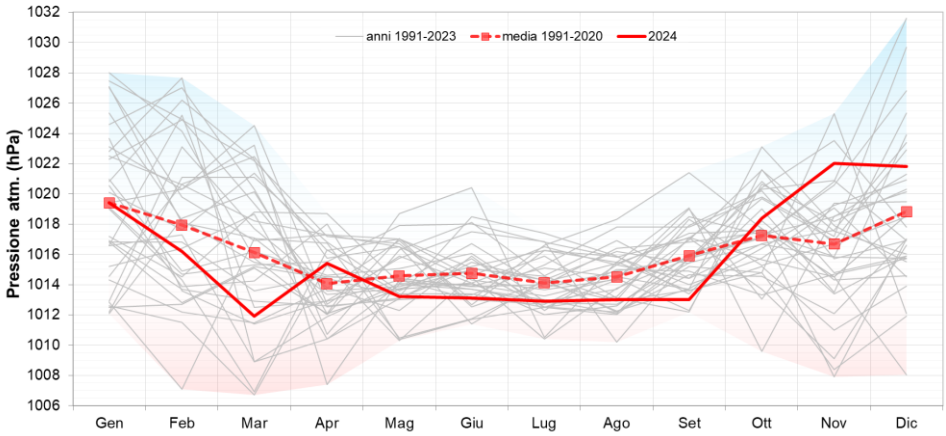


[42] sealevel.nasa.gov.

Figura 2: Venezia. Confronto tra valori mensili 2024 e medie nel trentennio di riferimento 1991-2020 per il livello del mare (a) e la pressione atmosferica (b).



(a)



(b)

Figura 3: Venezia - periodo di analisi 1986-2024. Anomalie annue di livello del mare e pressione atmosferica rispetto al trentennio di riferimento 1991-2020.

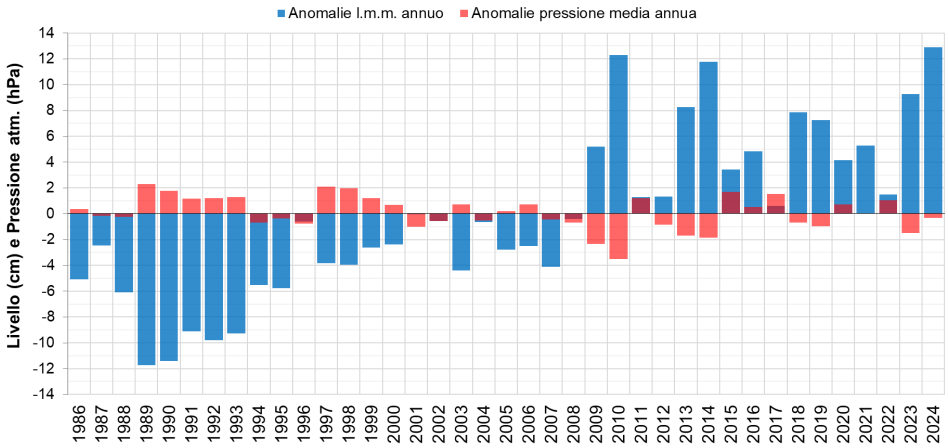
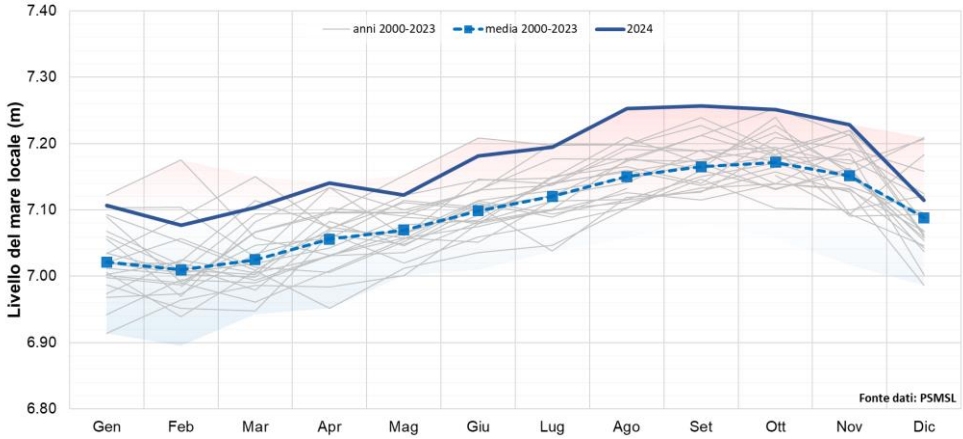
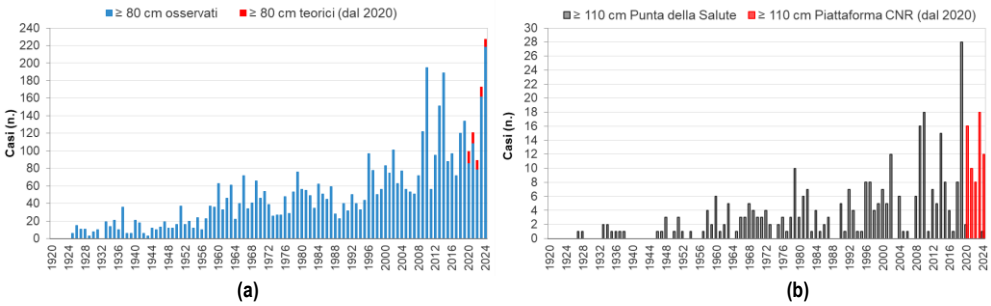


Figura 4. Almerìa (Andalusia). Confronto tra valori mensili 2024 e medie nel periodo 2000-2023 per il livello del mare.



Fonte: Elaborazione ISPRA su dati dell'*Instituto Geográfico Nacional* (https://psmsl.org/data/obtaining/stations/2435.php).

Figura 5. Venezia - periodo di analisi 1924-2024. Frequenza dei casi di superamento della soglia 80 cm (a) e 110 cm (b) di livello del mare. Quote riferite allo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS 1897).



Bibliografia

ARPAV-ARPA Veneto, 2025: Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio - Unità Organizzativa Meteorologia e Climatologia. “Meteo e Clima 2024. Rapporto Annuale”.

ISPRA, 2024: Indicatori della Tematica Ambientale “Laguna di Venezia”, Banca dati indicatori ambientali. Disponibili su: https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/laguna-di-venezia/.

ISPRA, 2025: Bollettino meteo-mareografico – Laguna di Venezia, Anno 2024. Disponibile su: https://www.venezia.isprambiente.it/index.php?action=download&upload_id=174076.