

# IL CLIMA IN ITALIA NEL 2022

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 14.07.2023. Doc. n.213/23



# IL CLIMA IN ITALIA NEL 2022

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 14.07.2023. Doc. n.213/23

Il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della Legge 28 giugno 2016, n.132 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale".

Esso costituisce un vero e proprio Sistema a rete che fonde in una nuova identità quelle che erano le singole componenti del preesistente Sistema delle Agenzie Ambientali, che coinvolgeva le 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA), oltre a ISPRA.

La legge attribuisce al nuovo soggetto compiti fondamentali quali attività ispettive nell'ambito delle funzioni di controllo ambientale, monitoraggio dello stato dell'ambiente, controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, attività di ricerca finalizzata a sostegno delle proprie funzioni, supporto tecnico-scientifico alle attività degli enti statali, regionali e locali che hanno compiti di amministrazione attiva in campo ambientale, raccolta, organizzazione e diffusione dei dati ambientali che, unitamente alle informazioni statistiche derivanti dalle predette attività, costituiranno riferimento tecnico ufficiale da utilizzare ai fini delle attività di competenza della pubblica amministrazione.

Attraverso il Consiglio del SNPA, il Sistema esprime il proprio parere vincolante sui provvedimenti del Governo di natura tecnica in materia ambientale e segnala al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e alla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano l'opportunità di interventi, anche legislativi, ai fini del perseguimento degli obiettivi istituzionali. Tale attività si esplica anche attraverso la produzione di documenti, prevalentemente Linee Guida o Report, pubblicati sul sito del Sistema SNPA e le persone che agiscono per suo conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:  
"Il clima in Italia nel 2022", Report SNPA 36/2023

ISBN 978-88-448-1168-6  
© Report SNPA, 36/2023

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:  
Daria Mazzella – ISPRA

Copertina:  
Sonia Poponessi – Ufficio Grafica ISPRA

Foto di copertina:  
Antonio Meloni

Luglio 2023

Abstract

Il Rapporto SNPA "Il clima in Italia nel 2022" illustra i principali elementi che hanno caratterizzato il clima nel corso del 2022 e aggiorna la stima delle variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia. Il rapporto è realizzato in un unico volume strutturato in due parti. La prima descrive l'andamento del clima a scala nazionale e si basa in gran parte su dati, indici e indicatori climatici derivati dal Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA). La seconda è composta da contributi e approfondimenti a scala nazionale, regionale e locale che mettono in evidenza le caratteristiche climatiche e gli eventi idro-meteorologici e meteo-marini più rilevanti del 2022.

The "Climate in Italy in 2022" Report-SNPA outlines the main features of climate during 2022 and updates the estimate of climate variations over the last decades in Italy. The report consists in one volume structured in two parts. The first one illustrates climate trends at the national scale; it is mainly based on data, indices and climate indicators derived from the National System for the Collection, Processing and Dissemination of Climatological Data of Environmental Interest (SCIA). The second part is composed of contributions and analyses at the national, regional and local scales, focusing on the most relevant climate features and hydro-meteorological and marine-weather events of 2022.

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

# CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI

Il presente rapporto è stato realizzato nell'ambito della linea di attività di climatologia operativa – RR TEM 28/1 della Rete Tematica SNPA RRTEM 28 “Meteorologia, climatologia e idrologia operativa”.

La linea di attività è composta dai seguenti referenti ed esperti tematici:

Emanuela Piervitali (ISPRA, coordinamento)

Carlo Glisci (ARPA Basilicata)

Michela Munari (ARPA Bolzano)

Eugenio Filice (ARPA Calabria)

Antonio D'Ambrosio (ARPA Campania)

Valentina Pavan (ARPA Emilia-Romagna)

Livio Stefanuto (ARPA Friuli Venezia Giulia)

Francesca Giannoni (ARPA Liguria)

Matteo Zanetti (ARPA Lombardia)

Daniele Foschini (ARPA Marche)

Micaela Menegotto (ARPA Puglia)

Roberto Cremonini (ARPA Piemonte)

Michele Fiori (ARPA Sardegna)

Salvatore Campanella (ARPA Sicilia)

Roberto Barbiero (ARPA Trento)

Marco Vecchio Cattivi (ARPA Umbria)

Francesco Rech (ARPA Veneto)

## AUTORI

### Parte I – Gli indicatori del clima in Italia

Piero Frascchetti, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali, Giulio Settanta – ISPRA (capitoli 1 - 6);

Valentina Pavan – ARPAE EMILIA-ROMAGNA (capitolo 2);

Gabriele Nardone, Marco Picone – ISPRA (capitolo 4)

### Parte II – Focus

#### Siccità e scarsità idrica

##### *La siccità e la crisi idrica del 2022*

Giovanni Braca, Martina Bussetini, Barbara Lastoria, Stefano Mariani, Francesca Piva – ISPRA;

Mario Barbani, Emanuela Campione, Cinzia Conte, Emilio De Francesco, Luca Delli Passeri, Andrea Duro, Flavia Massimi – DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

##### *Cronaca della grande siccità in Piemonte*

Roberto Cremonini, Maria Graziadei, Alessio Salandin, Christian Ronchi, Mattia Faletto – ARPA PIEMONTE

##### *La siccità del 2022 nel bacino dell'Adda in Lombardia*

Paola Parravicini, Orietta Cazzuli, Matteo Zanetti – ARPA LOMBARDIA

##### *La risorsa nevosa sulla montagna veneta (SWE)*

Mauro Valt – ARPA VENETO

##### *Ruolo della neve e dei ghiacciai al deflusso idrico superficiale nell'anno idrologico 2021/2022 in Valle d'Aosta*

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

#### Elevate temperature e ondate di calore

##### *Le ondate di calore e il Discomfort Index (indice di Thom) in Friuli-Venezia Giulia nel 2022*

Andrea Cicogna, Valentina Gallina, Luana Sandrin, Livio Stefanuto, Fulvio Stel – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA

##### *Estate 2022: le anomalie termiche in Emilia-Romagna*

Valentina Pavan, Gabriele Antolini, Alice Vecchi, Rodica Tomozeiu e Cinzia Alessandrini – ARPAE EMILIA-ROMAGNA

*Valutazione delle anomalie termiche stagionali in Calabria dell'anno 2022*

Loredana Marsico, Roberta Rotundo, Eugenio Filice – ARPA CALABRIA

*Le condizioni termiche in Sardegna nel 2022*

Michele Fiori, Ilaria Peana, Giuliano Fois e Alessandro Mario Sergio Delitala – ARPA SARDEGNA

*L'evoluzione delle ondate di caldo estremo in Sicilia negli anni recenti*

Luigi Pasotti – SIAS REGIONE SICILIANA

Eventi idro-meteo-climatici e meteo-marini significativi e focus locali

*Sistema temporalesco autorigenerante e stazionario del 15 settembre 2022*

Paolo Sandroni, Marco Lazzeri, Francesco Iocca, Francesco Boccanera, Stefano Sofia, Gabriella Speranza, Francesca Sini, Valentino Giordano – Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile REGIONE MARCHE

*Evento meteo-marino eccezionale in Alto Adriatico: 22 novembre*

Andrea Bonometto, Marco Casaioli, Elisa Coraci, Michele Cornello, Franco Crosato, Stefano Mariani, Riccardo Alvisè Mel, Sara Morucci – ISPRA;  
Gabriele Fasano – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA  
Alvisè Papa – CENTRO PREVISIONI E SEGNALAZIONI MAREE;  
Franco Zardini – ARPA VENETO

*L'evento estremo occorso in data 26 novembre 2022 sul territorio del Comune di Casamicciola Terme – Isola di Ischia (NA)*

Mauro Biafore, Matteo Gentilella – Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile REGIONE CAMPANIA

*Analisi precipitazioni e temperature dal 2013 al 2022 nella stazione meteo "Vajana" di Palermo*

Anna Abita, Antonina Lisa Gagliano, Vincenzo Infantino, Giuseppe Madonia, Nicolò Tirone – ARPA SICILIA

## REDAZIONE EDITORIALE

Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali, Giulio Settanta – ISPRA

## RINGRAZIAMENTI

L'analisi a scala nazionale (Sezione I) si basa in gran parte su statistiche e indicatori climatici elaborati attraverso il sistema SCIA, realizzato dall'ISPRA e alimentato grazie alla collaborazione e alle serie di dati, aggiornate al 2022, del SNPA e dei seguenti organismi (tra parentesi i referenti per il sistema SCIA):

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare;  
Regione Marche, AMAP Marche Agricoltura Pesca – Agenzia per l'Innovazione nel settore Agroalimentare e nella Pesca (Daniele Sparvoli);  
Regione Marche, Centro Funzionale di Protezione Civile;  
Regione Lazio, Servizio Integrato Agrometeorologico – ARSIAL (Ruggero Mizioni);  
Regione Basilicata, Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura – ALSIA (Emanuele Scalcione);  
Regione Sicilia – Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (Luigi Neri, Luigi Pasotti);  
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 Nazionale;  
ARPA Sardegna, Protezione Civile Regione Sardegna;  
SIAS – Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano;  
ARPA Campania  
Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile – Giunta Regionale della Campania;  
Centro Funzionale della Regione Marche;  
Centro Funzionale – Dipartimento della Protezione Civile della Regione Molise;  
Consorzio LaMMA;

Servizio Idrologico del Centro Funzionale della Regione Toscana;  
Servizio Idrografico Regione Umbria;  
Centro Funzionale Decentrato Regione Basilicata;  
Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria, ARPA Calabria;  
ARPAE-SIMC Emilia-Romagna;  
ARPA Liguria e Centro Funzionale della Regione Liguria;  
ARPA Piemonte – Dipartimento Servizi Previsionali;  
Centro Funzionale Regionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta;  
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.

Si ringraziano inoltre:

Silvia Brini – ISPRA, Responsabile dell'Area per il monitoraggio della qualità dell'aria e per la climatologia operativa, per aver promosso e supportato questa iniziativa

Stefano Mariani – ISPRA, Coordinatore della Rete Tematica SNPA RR TEM28 "Meteorologia, climatologia e idrologia operativa"

# SOMMARIO

|  |     |
|--|-----|
| CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI .....  | 4   |
| INTRODUZIONE .....   | 9   |
| PARTE I: GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA .....  | 11  |
| 1 SINTESI .....  | 12  |
| 2 IL CLIMA NEL 2022 .....  | 15  |
| 2.1 Il clima nel 2022 a grande scala .....   | 15  |
| 2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia .....  | 24  |
| 2.2.1 Inverno .....  | 24  |
| 2.2.2 Primavera .....  | 24  |
| 2.2.3 Estate .....   | 26  |
| 2.2.4 Autunno e dicembre .....   | 29  |
| 3 TEMPERATURA .....  | 38  |
| 3.1 Anno 2022 .....  | 38  |
| 3.2 Variazioni e tendenze .....  | 38  |
| 3.3 Estremi .....  | 39  |
| 4 TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE .....  | 58  |
| 5 PRECIPITAZIONE .....   | 66  |
| 5.1 Anno 2022 .....  | 66  |
| 5.2 Variazioni e tendenze .....  | 66  |
| 5.3 Frequenza, intensità, estremi .....  | 67  |
| 6 UMIDITÀ RELATIVA .....   | 86  |
| BIBLIOGRAFIA .....   | 90  |
| PARTE II: FOCUS .....  | 92  |
| 1 SICCIÀ E SCARSITÀ IDRICA .....   | 93  |
| La siccità e la crisi idrica del 2022 .....  | 93  |
| Cronaca della grande siccità in Piemonte .....   | 103 |
| La siccità del 2022 nel bacino dell'Adda in Lombardia .....  | 112 |
| La risorsa nevosa sulla montagna veneta (SWE) .....  | 117 |
| Ruolo della neve e dei ghiacciai al deflusso idrico superficiale nell'anno idrologico 2021/2022 in Valle d'Aosta ..... | 125 |
| 2 ELEVATE TEMPERATURE E ONDATE DI CALORE .....   | 133 |
| Le ondate di calore e il Discomfort Index (indice di Thom) in Friuli Venezia Giulia nel 2022 .....                     | 133 |
| Estate 2022: le anomalie termiche in Emilia-Romagna .....  | 137 |
| Valutazione delle anomalie termiche stagionali in Calabria dell'anno 2022 .....  | 141 |
| Le condizioni termiche in Sardegna nel 2022 .....  | 147 |
| L'evoluzione delle ondate di caldo estremo in Sicilia negli anni recenti .....   | 152 |

|  |     |
|--|-----|
| 3 EVENTI IDRO-METEO-CLIMATICI E METEO-MARINI SIGNIFICATIVI E FOCUS LOCALI .....  | 157 |
| Sistema temporalesco autorigenerante e stazionario del 15 settembre 2022 .....   | 157 |
| Evento meteo-marino eccezionale in Alto Adriatico: 22 novembre .....   | 163 |
| L'evento estremo occorso in data 26 novembre 2022 sul territorio del Comune di Casamicciola Terme – Isola di Ischia (NA) ..... | 169 |
| Analisi precipitazioni e temperature dal 2013 al 2022 nella stazione meteo “Vajana” di Palermo .....                           | 173 |



# INTRODUZIONE

Il rapporto del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente sul clima in Italia è stato sviluppato nell'ambito delle attività della Rete Tematica RR TEM 28 "Meteorologia, climatologia e idrologia operativa", recentemente istituita nell'ambito del programma triennale SNPA 2021-2023.

Il nuovo rapporto SNPA rappresenta l'evoluzione del rapporto ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia", la cui pubblicazione, promossa e avviata nel 2006, è proseguita regolarmente con cadenza annuale fino alla XVII edizione del 2022. Attraverso il più forte coinvolgimento delle Agenzie che già da diversi anni collaborano con le attività di climatologia di ISPRA il nuovo rapporto è stato arricchito di contenuti, con approfondimenti sul clima a scala nazionale, regionale e locale e sugli aspetti più rilevanti dell'anno in esame. Il volume è strutturato in due parti: la prima descrive l'andamento del clima nel corso dell'ultimo anno e aggiorna la stima delle variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia, la seconda raccoglie brevi articoli di approfondimento sui principali elementi che hanno caratterizzato il 2022.

L'analisi del clima a scala nazionale (Parte I) si basa in gran parte su dati e indicatori disponibili attraverso il Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA; Desiato et al., 2006, 2007, 2011; Desiato et al., 2007), 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, decadal,

mensili e annuali nonché i valori climatologici normali di diverse variabili meteorologiche.

Indici e indicatori climatici sono calcolati, aggiornati annualmente e sottoposti a controlli di validità con metodologie omogenee e condivise con gli organismi titolari dei dati. Le informazioni prodotte da SCIA sono accessibili attraverso un sito web dedicato, all'indirizzo: [www.scia.isprambiente.it](http://www.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).

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

Le statistiche e gli indici climatici dell'anno 2022 sono derivati complessivamente dalle osservazioni di circa 1400 stazioni distribuite sull'intero territorio nazionale.

Le stime aggiornate delle variazioni e delle tendenze climatiche nel lungo periodo, attraverso indicatori rappresentativi dell'andamento dei valori medi e degli estremi delle variabili climatiche, si basano invece sui dati di un numero ridotto di stazioni, che rispondono ai necessari requisiti di durata, completezza e qualità delle serie temporali. Per le stime delle variazioni di temperatura (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 World Meteorological Organization e contribuiscono a comporre il quadro conoscitivo sull'evoluzione del clima a scala globale.

La Parte I – Gli indicatori del clima – è articolata in 6 capitoli. Dopo una sintesi dei risultati riportata nel capitolo 1, il capitolo 2 descrive gli aspetti salienti del clima nel 2022, dapprima a scala globale e poi a scala sinottica, con particolare riguardo agli elementi che hanno influenzato l'andamento delle temperature e delle precipitazioni in Italia nel corso dell'anno; nella seconda parte del capitolo vengono riportate le principali caratteristiche delle condizioni meteorologiche in Italia nel corso dell'anno, con una breve descrizione degli eventi maggiormente rilevanti e dei conseguenti impatti locali. I capitoli successivi sono dedicati ciascuno ad una variabile climatica (temperatura, temperatura del mare, precipitazione e umidità). La prima parte di ogni capitolo illustra sinteticamente gli indicatori relativi all'anno 2022, 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 2022, gli indicatori attraverso i quali è possibile stimare la variabilità e le tendenze del clima nel lungo periodo. Per una descrizione dei criteri di selezione delle serie temporali e dei metodi e modelli statistici applicati per la stima della variabilità climatica si rimanda ai riferimenti bibliografici e in particolare ai rapporti ISPRA - Serie "Stato dell'Ambiente" (Fioravanti et al., 2016; Desiato et al., 2012, 2013).

La Parte II – Focus – include numerosi contributi di approfondimento, a scala nazionale, regionale e locale, che mettono in evidenza gli elementi climatici più rilevanti e gli eventi idro-meteorologici e meteo-marini che hanno caratterizzato l'ultimo anno.

Per il 2022 sono stati individuati i seguenti focus:

- siccità e scarsità idrica
- elevate temperature e ondate di calore
- eventi idro-meteo-climatici e meteo-marini significativi e focus locali.

# PARTE I: GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA

# 1 SINTESI

Le caratteristiche del 2022 sono state il caldo, con i nuovi record della temperatura media annuale e della media annuale delle temperature massime e minime giornaliere, e la siccità persistente, che ha investito soprattutto le regioni centro-settentrionali, causando una notevole diminuzione della disponibilità della risorsa idrica e gravi problemi nella sua gestione e uso in diverse regioni.

Non sono mancati eventi estremi di precipitazione, in alcuni casi eccezionali. Particolarmente rilevante è stato l'evento che il 15 settembre ha investito le Marche, fra le province di Ancona e di Pesaro e Urbino: un sistema temporalesco autorigenerante e stazionario che ha causato fenomeni intensi e localizzati, con precipitazioni giornaliere che hanno superato localmente i 400 mm e cumulate a 3, 6, 12 e 24 ore di gran lunga superiori ai massimi mai registrati.

Le forti precipitazioni, unite alle caratteristiche dei corsi d'acqua interessati, hanno provocato inondazioni con conseguenti situazioni di criticità su tutta l'area colpita e effetti disastrosi in termini di perdita di vite umane e di danni alla struttura produttiva del territorio.

## TEMPERATURA

Mentre a scala globale sulla terraferma il 2022 è stato il quinto anno più caldo della serie storica, con un'anomalia di  $+0.49^{\circ}\text{C}$  rispetto alla media 1991-2020, **in Italia con un'anomalia media di  $+1.23^{\circ}\text{C}$** , rispetto allo stesso periodo di riferimento, **il 2022 è risultato l'anno più caldo della serie dal 1961**, superando di  $0.58^{\circ}\text{C}$  il precedente record assoluto del 2018 e di  $1.0^{\circ}\text{C}$  il valore del precedente anno 2021.

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 2022 è stato il nono anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Il 2022 si colloca al primo posto della serie anche per l'anomalia della temperatura massima ( $+1.42^{\circ}\text{C}$ ) e per l'anomalia di temperatura minima ( $+1.03^{\circ}\text{C}$ ).

Temperature medie superiori ai valori normali 1991-2020 hanno interessato tutti i mesi dell'anno, ad esclusione di marzo e aprile. **Marcate anomalie positive, superiori a  $2^{\circ}\text{C}$  si sono registrate a giugno, con il picco di  $+3.09^{\circ}\text{C}$ , e nei mesi di luglio, ottobre e dicembre.** I mesi di maggio, giugno e luglio si collocano tutti al secondo posto fra i più caldi delle rispettive serie mensili dal 1961, mentre **ottobre e dicembre sono stati i più caldi delle rispettive serie mensili dal 1961.**

La temperatura media annuale è stata superiore alla media 1991-2020 in tutte le macroregioni italiane: al Nord ( $+1.39^{\circ}\text{C}$ ), al Centro ( $+1.23^{\circ}\text{C}$ ) e al Sud e Isole ( $+1.06^{\circ}\text{C}$ ).

All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2022 ha contribuito in maniera più marcata l'estate, che con il valore di  $+2.18^{\circ}\text{C}$  sopra la media si colloca al secondo posto della serie dal 1961 (dopo il 2003), seguita dall'autunno ( $+1.38^{\circ}\text{C}$ ), al primo posto della serie dal 1961, e dall'inverno ( $+0.58^{\circ}\text{C}$ ); la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia molto prossima alla media climatologica 1991-2020.

La stima aggiornata del tasso di variazione della temperatura media in Italia, calcolata sul periodo 1981-2022 è di  $(+0.39 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$  anni, della temperatura massima di  $(+0.41 \pm 0.05)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e della temperatura minima di  $(+0.36 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$  anni. Su base stagionale i maggiori trend positivi per la temperatura si registrano in estate ( $+0.60 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e primavera ( $+0.35 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$  anni, seguiti da autunno ( $+0.32 \pm 0.08)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e inverno ( $0.29 \pm 0.10)^{\circ}\text{C} / 10$  anni.

**Quasi tutti gli indici che descrivono gli estremi di temperatura hanno fatto registrare valori record nel 2022.**

Per il numero medio di **notte tropicali** e numero medio di **giorni estivi**, il 2022 si colloca al primo posto tra i più alti della serie dal 1961, rispettivamente con +22 giorni e con +23 giorni rispetto alla norma, mentre per il numero medio di giorni torridi si colloca al secondo posto, dopo il 2003.

Per l'indice dei "periodi caldi" (WSDI-Warm Spell Duration Index) il 2022 ha fatto registrare il valore più alto della serie dal 1961, a conferma di un anno con anomalie termiche superiori alla media in quasi tutti i mesi.

Nell'ultimo decennio le notti e i giorni freddi sono stati quasi sempre inferiori alla media climatologica 1991-2020 e le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media. Nel 2022 le notti e i giorni caldi hanno fatto registrare entrambi il valore più alto della serie dal 1961, mentre i giorni freddi hanno fatto registrare il valore più basso della serie dal 1961.

Analogamente alla temperatura dell'aria, la temperatura superficiale dei mari italiani nel 2022 si colloca al primo posto della serie dal 1982, con un'anomalia di +1.0°C rispetto alla media climatologica 1991-2020. Escludendo il 2003, gli ultimi dodici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie e il 2022 è stato il dodicesimo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma. Le anomalie medie sono state positive in tutti i mesi dell'anno ad eccezione di aprile (-0.18°C), con gli scostamenti positivi dai valori normali massimi a giugno e luglio (+2.11°C entrambi).

## PRECIPITAZIONE

Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia pari al -22% rispetto alla media 1991-2020, il 2022 si colloca al primo posto tra gli anni meno piovosi dell'intera serie dal 1961, seguito dal 2001 e dal 2017.

Il 2022 è stato caratterizzato dalla persistenza di anomalie negative di precipitazione da gennaio a luglio: questo periodo ha fatto registrare a scala nazionale precipitazioni inferiori alla norma del -39%. Quasi tutti i mesi hanno fatto registrare precipitazioni inferiori alla norma: fanno eccezione agosto, settembre, novembre e dicembre. I mesi relativamente più secchi sono stati ottobre (-62%) e gennaio (-54%), mentre il

mese relativamente più piovoso è stato agosto con un'anomalia positiva di +69%.

La precipitazione cumulata annuale è stata ovunque inferiore alla media: l'anomalia negativa è stata più marcata al Nord (-33%), seguito dal Centro (-15%) e dal Sud e Isole (-13%). Da gennaio a luglio e ad ottobre le precipitazioni sono state inferiori alla norma ovunque, ad eccezione del mese di maggio al Sud e Isole. Ad agosto invece le anomalie sono state positive ovunque. Al Nord si sono registrate precipitazioni superiori alla norma solo nei mesi di agosto (+23%) e dicembre (+21%); marzo ha fatto registrare l'anomalia negativa più pronunciata (-72%). Al Centro il mese relativamente più secco è stato ottobre (-88%); al Sud e Isole gennaio (-51%). Il mese relativamente più piovoso è stato agosto al Sud e Isole, con un'anomalia di +128%.

La precipitazione cumulata annuale è stata inferiore al valore normale su gran parte del territorio nazionale, soprattutto nelle aree centro-settentrionali e in particolare nel nord-ovest (con anomalie fino a -70%); anomalie positive di debole entità hanno prevalentemente interessato ampie zone di Campania, Basilicata, Puglia e Molise.

I valori medi nazionali su base stagionale evidenziano che tutte e quattro le stagioni sono state meno piovose della norma. La stagione relativamente più secca è stata la primavera (-35%), che si colloca al quarto posto tra le meno piovose, seguita dall'inverno (-32%), all'ottavo posto tra i meno piovosi; troviamo infine l'autunno (-12%) e l'estate, che ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-2%). Va sottolineato che, per l'inverno, la precipitazione cumulata stagionale viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente. Dall'analisi statistica dei trend della precipitazione cumulata annuale e stagionale nel periodo 1961-2022 non emergono tendenze statisticamente significative.

I valori più elevati di precipitazione giornaliera sono stati registrati in occasione dell'evento del 15 settembre che ha colpito prevalentemente la parte centrale delle Marche ed a seguire l'Umbria settentrionale: la precipitazione giornaliera ha raggiunto il massimo di 419 mm a Cantiano (PU, 475 m slm).

Riguardo agli indici climatici rappresentativi delle condizioni di siccità, **il 2022 ha fatto registrare valori molto elevati di giorni asciutti**. I più alti si registrano su Piemonte e Liguria di Ponente, Sicilia e Sardegna, dove si registrano localmente picchi di 330 giorni asciutti, con il massimo di 347 giorni a Capo Bellavista (NU), seguito da 345 giorni presso la stazione sinottica di Lampedusa. I valori più bassi (fino a circa 230 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi centro-orientali e sulla dorsale appenninica.

L'indice di siccità "Consecutive Dry Days" (CDD), che rappresenta il **numero massimo di giorni asciutti consecutivi nell'anno, ha fatto registrare valori molto elevati**, in particolare sulla quasi totalità della Sicilia e

della Sardegna (fino a 160 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 130 in Sardegna); notevoli anche i valori registrati sulla costa tirrenica centrale (fino a 100 giorni) e nella parte centrale del Piemonte (fino a 96 giorni secchi consecutivi).

Per quanto riguarda gli indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione per il 2022 l'analisi sulle stazioni disponibili mette in evidenza valori di anomalia nettamente inferiori alla media per tutti e tre gli indici al Nord, con valori che si collocano al primo posto fra i più bassi della serie.

## 2 IL CLIMA NEL 2022

### 2.1 IL CLIMA NEL 2022 A GRANDE SCALA

#### Il clima a livello globale

Il 2022 a livello globale è stato **il quinto anno più caldo della serie di temperatura media annuale sulla terraferma** e il sesto anno più caldo della serie di temperatura media annuale su terraferma e oceani insieme.

Nel 2022 l'anomalia della temperatura media globale sulla terraferma è stata di  $+0.49^{\circ}\text{C}$  rispetto al periodo 1991-2020 (Figura 2.1).

Ciascuna delle dodici anomalie mensili di temperatura globale registrate nel 2022 è risultata tra le 10 più elevate delle rispettive serie; l'anomalia mensile più intensa è stata registrata a marzo, il quinto più caldo della serie, e la meno intensa a novembre, che è comunque risultato il nono più caldo della serie.

**I dieci anni più caldi della serie si sono verificati tutti dopo il 2010**; il 2022 risulta essere il quarantaseiesimo anno consecutivo in cui le temperature medie globali (terraferma e oceani) presentano valori superiori alla media del ventesimo secolo.

Come accaduto per il 2021, l'inizio del 2022 ha visto la presenza di un'anomalia negativa delle temperature superficiali del Pacifico tropicale di tipo La Niña: a gennaio 2022 l'indice ENSO 3.4, ottenuto mediando la temperatura superficiale dell'Oceano Pacifico equatoriale nelle aree centro-orientali, ha assunto un valore mensile di  $-0.8^{\circ}\text{C}$  e si è mantenuto su valori vicini a  $-1.0^{\circ}\text{C}$  per tutto l'anno, raggiungendo il valore minimo nel mese di maggio, quando ha assunto il valore di  $-1.1^{\circ}\text{C}$ .

La presenza di una anomalia termica negativa nelle aree tropicali favorisce l'assorbimento di calore da parte dell'oceano proprio in una regione più esposta alla radiazione solare, e si ritiene che per questo motivo nel recente passato gli anni interessati da anomalie tipo La

Niña siano stati caratterizzati da anomalie termiche globali più contenute rispetto agli altri anni. Va però notato che, nonostante la presenza **negli ultimi due anni** di queste anomalie negative, i relativi **valori medi annuali del contenuto totale di calore degli oceani nei primi 2000 metri di profondità sono stati i più alti della serie**, con il 2022 più caldo del 2021. I valori di questo indice oceanico negli ultimi quattro anni sono risultati i più alti della serie dal 1950 e il contenuto di calore del Nord Pacifico, Nord Atlantico, Mediterraneo e degli oceani dell'emisfero australe è risultato nel 2022 il più alto delle rispettive serie. In generale, questo indice presenta una significativa tendenza a crescere nel tempo; il risultato relativo agli ultimi due anni sembra inoltre indicare che l'effetto di mitigazione di tali anomalie sia calato negli ultimi anni, rispetto al periodo precedente. Si ritiene che l'intenso aumento del contenuto termico dell'Oceano Antartico sia responsabile del progressivo e rapido scioglimento dei ghiacci marini australi registrato dopo il 2015 e del fatto che **l'estensione dei ghiacci sull'Oceano Antartico abbia raggiunto nel 2022 il valore minimo** dal 1980. Questa riduzione rappresenta un improvviso cambiamento nelle dinamiche dei ghiacci marini antartici che, tra la metà degli anni '80 e il 2015, avevano invece registrato un periodo di progressivo aumento nella loro estensione (WMO, 2022), probabilmente collegato all'intensificazione delle precipitazioni sull'area antartica in presenza di basse temperature all'interno del vortice antartico.

Nell'Artico, invece, le estensioni minima e massima della calotta hanno registrato nel 2022 il decimo valore più basso delle rispettive serie.

Nella Figura 2.2 è riportata una sintesi dei principali eventi che hanno caratterizzato il clima a scala globale nel corso del 2022.

## Il clima nelle regioni del mondo

Le temperature medie annuali del 2022 sono state molto più alte della norma in molte regioni; in particolare sono state registrate **temperature record in Europa e nel Mediterraneo centro-occidentale, sul Tibet e in alcune aree centrali extra-tropicali dell'Oceano Pacifico**, mentre temperature nettamente inferiori alla norma sono state registrate solo sulle aree centro-orientali del Pacifico tropicale. Il Nord America ha registrato un'intensa variabilità termica nel mese di febbraio e i mesi da giugno a ottobre sono stati fra i sette più caldi delle rispettive serie: in particolare agosto e settembre sono stati i più caldi mai registrati. In Argentina, a gennaio, si sono verificate intense ondate di calore durante le quali sono stati raggiunti nuovi record termici in 75 stazioni di monitoraggio, mentre a Florida in Uruguay il 14 gennaio è stato eguagliato il record termico segnato nel gennaio 1943.

Anche **sul continente antartico** intorno alla metà del mese di marzo sono state rilevate temperature particolarmente alte e presso diverse stazioni **sono stati raggiunti nuovi record termici**. In particolare, il 18 marzo presso la stazione Concordia è stata rilevata la temperatura massima di  $-12.2^{\circ}\text{C}$ , di  $38.8^{\circ}\text{C}$  superiore alla media climatica, e presso la stazione di ricerca australiana Casey il 16 marzo è stato registrato il nuovo record di temperatura massima, pari a  $5.6^{\circ}\text{C}$ .

**L'Asia ha registrato il secondo anno più caldo** da inizio misurazioni e il mese di aprile è stato il più caldo della rispettiva serie climatica. Nello specifico, in India e Pakistan, un sistema di alta pressione semi-stazionario ha portato temperature particolarmente alte, con valori di temperatura massima giornaliera superiori a  $40^{\circ}\text{C}$ , che hanno stabilito nuovi record termici per la stagione. Anche il Giappone è stato investito a metà giugno dalla più intensa ondata di calore dal 1875: nel corso di questi giorni, per la prima volta in questo territorio, in varie località sono state osservate temperature superiori a  $40^{\circ}\text{C}$  durante il mese di giugno.

In **Europa l'estate** meteorologica, come confermato dal Copernicus Climate Change Service (C3S, 2023), **è stata la più calda mai registrata**, con un'anomalia superiore di  $0.3\text{-}0.4^{\circ}\text{C}$  rispetto al precedente record del

2021. **L'Irlanda, la Spagna, la Francia e l'Italia hanno registrato l'anno più caldo da inizio misurazioni**, mentre il 2022 è risultato il secondo anno più caldo in Austria e il terzo nei Paesi Bassi. Il Copernicus Climate Change Service segnala inoltre che nelle aree meridionali del continente è stato registrato un nuovo record nel numero di giorni con intenso stress termico e che **in Gran Bretagna le temperature massime hanno superato per la prima volta i  $40^{\circ}\text{C}$** . Anche la temperatura media dei mari europei è stata la più calda mai registrata.

**Le alte temperature e l'assenza di precipitazioni hanno favorito l'intenso scioglimento dei ghiacciai alpini**, che si stima abbiano perso l'equivalente di  $5\text{ km}^3$  di ghiaccio e uno spessore medio di  $3.5\text{ m}$ . Va inoltre segnalato che a livello medio europeo è stato registrato un nuovo record annuo di numero di ore di insolazione diretta, al quale hanno contribuito in particolare le anomalie positive dei mesi tra gennaio e luglio.

In **Groenlandia è stato registrato un record nello scioglimento dei ghiacci** che a settembre, durante una delle tre ondate di calore, è arrivato a interessare il 23% della superficie dell'isola. L'ultimo evento di scioglimento sull'isola si è verificato quando le coste occidentali sono state investite da un "fiume atmosferico" (Atmospheric river), connesso al passaggio dell'uragano Fiona che si è dissipato sul territorio della Groenlandia dopo essere passato sul Canada. L'aumento della frequenza di eventi simili a questo, a partire dagli anni '90, ha contribuito all'intensificazione dei fenomeni di scioglimento dei ghiacciai groenlandesi.

Per quanto riguarda le precipitazioni, le anomalie a livello globale sono state molte. In generale, precipitazioni superiori alle attese sono state osservate nell'Europa orientale, in Alaska e nelle aree nord-orientali dell'America settentrionale, nell'America centrale, nelle aree orientali dell'Australia, lungo le coste orientali dell'Asia e in buona parte dell'Asia settentrionale. Precipitazioni scarse hanno invece interessato gli stati centro-occidentali degli Stati Uniti, le aree meridionali del Sud America, il Medio Oriente, l'Indocina, Cina meridionale e alcune isole del Pacifico centro-orientale.

Per quanto riguarda **l'Europa**, il Copernicus Climate Change Service conferma che **il 2022 è stato**



**mediamente più secco della media del 10%:** in particolare, maggio è stato il mese meno piovoso, con precipitazioni tra il 21% e il 28% inferiori alla norma, mentre settembre è risultato il più umido, con anomalie fino al 21% superiori ai valori climatici di riferimento. Durante la prima parte dell'anno il continente è stato interessato da una intensa siccità, che al suo apice ha toccato la maggior parte dei territori. Durante i primi mesi invernali le anomalie pluviometriche sono state positive nell'Europa settentrionale e orientale, ma negative nelle aree sud-occidentali. Durante la primavera e l'estate le precipitazioni sono risultate scarse, in modo particolare sulle **Alpi italiane**, dove **l'accumulo di neve primaverile è stato del 60% inferiore alla norma**, causando l'insorgere di condizioni di siccità in gran parte del continente. Conseguentemente l'indice medio europeo di contenuto idrico del suolo ha assunto nel 2022 il secondo valore più basso della serie dal 1991, con valori minimi nel mese di luglio. Parallelamente, il valore medio annuo di portata dei fiumi europei è risultato il secondo più basso dal 1991, mentre il valore dell'indice di portata per il mese di marzo è stato il più basso della serie, e in agosto due terzi dei fiumi europei presentavano portate inferiori alla media, di cui un terzo eccezionalmente inferiori.

Per quanto concerne gli effetti al suolo di queste condizioni, la combinazione di intense anomalie termiche e scarse precipitazioni durante la prima metà dell'anno ha favorito lo sviluppo di numerosi incendi boschivi. L'area boschiva totale bruciata in Europa è stata la seconda più elevata dal 1991, con estensioni particolarmente alte nelle aree dell'Europa centrale e del Mediterraneo: più di 10.000 ettari di bosco sono stati bruciati in Repubblica Ceca, Francia, Portogallo, Slovenia e Spagna.

Durante il mese di **settembre** sono state osservate **piogge particolarmente intense** in varie regioni europee, che **hanno portato a locali inondazioni**. Tra le più rilevanti ricordiamo le alluvioni in Portogallo, sulla costa meridionale della Spagna, in Slovenia, in Bulgaria e in Italia.

La stagione degli uragani atlantici ha presentato un'attività vicina alla media; nel 2022 sono stati registrati 14 cicloni tropicali, tra i quali 8 uragani. L'uragano Ian,

dopo aver messo fuori uso la rete di distribuzione dell'energia elettrica a Cuba, ha causato piogge intense e mareggiate distruttive in Florida; l'uragano Fiona ha interessato i Caraibi per poi avvicinarsi alla terraferma in Nuova Scozia, risultando il ciclone post tropicale più intenso e più dannoso in Canada: si tratta del ciclone che ha colpito, come accennato precedentemente, le coste occidentali della Groenlandia, causando un significativo disgelo.

Invece, tra i 10 uragani registrati nel Pacifico orientale, Agatha, in maggio, è stato il più intenso che abbia mai colpito la costa pacifica del Messico.

Al fine di evidenziare il legame tra le anomalie climatiche nell'area euro-mediterranea e le anomalie di circolazione atmosferica nell'area euro-atlantica, viene presentata la mappa dell'anomalia media annuale di altezza di geopotenziale a 500 hPa (Z500, Figura 2.3) per l'area euro-atlantica. Questa grandezza è strettamente legata alle anomalie di circolazione generale, poiché i flussi medi mensili atmosferici all'interno della troposfera sono generalmente orientati in direzione tangente alle isolinee del geopotenziale; è inoltre proporzionale alla temperatura dello strato, quindi, valori di geopotenziale superiori alla norma sono generalmente associati ad anomalie termiche positive. Alti (bassi) valori di geopotenziale nella media troposfera sono strettamente legati a condizioni di alta (bassa) pressione superficiale. Anomalie annuali significative in questo indice si verificano in presenza di anomalie di circolazione di larga scala particolarmente persistenti, che influiscono sul clima regionale nell'anno considerato. La mappa dell'anomalia media di geopotenziale per il 2022 sull'Europa, rispetto al valore normale 1991-2020, mostra la persistenza di alti valori di Z500 e quindi di condizioni di alta pressione e di intense anomalie termiche al suolo. I valori nella mappa sono infatti tutti positivi ed è presente una vasta area con anomalie di geopotenziale più intense, con il massimo collocato sulle coste francesi del Mediterraneo. Altri poli positivi, parzialmente collocati fuori mappa, sono presenti nelle aree occidentali dell'Atlantico settentrionale e sulle coste settentrionali dell'Asia e in Medio Oriente, tutte regioni che hanno registrato nel corso dell'anno intense anomalie termiche. L'anomalia sull'area euro-atlantica è

legata al persistere di condizioni di blocco atmosferico, cioè a condizioni di alta pressione persistenti per una frazione significativa dell'anno, che hanno portato al verificarsi di intensa siccità e di alti valori termici su tutta l'area.

### **Il clima in Italia**

In Italia il 2022 è stato nettamente l'anno più caldo dall'inizio delle osservazioni (Figura 2.1), raggiungendo un'anomalia media rispetto al trentennio 1991-2020 di  $+1.23^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$  in più rispetto all'anno precedente, e  $0.58^{\circ}\text{C}$  in più rispetto al precedente record del 2018. L'anomalia termica è stata più pronunciata nelle temperature massime rispetto a quelle minime, ma in entrambi i casi il valore del 2022 risulta il più alto della rispettiva serie. L'eccezionale intensità dell'anomalia termica è associabile alla persistenza di anomalie di larga scala legate a condizioni di blocco atmosferico, che hanno favorito il persistere di valori termici superiori alla norma e di piovosità particolarmente scarsa. Con

un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia pari al  $-22\%$  rispetto alla media 1991-2020, il 2022 si colloca al primo posto tra gli anni meno piovosi dell'intera serie dal 1961. La situazione è stata particolarmente critica al Nord, dove la persistenza di condizioni di blocco atmosferico si è solo attenuata nei mesi di agosto e dicembre. Nelle altre regioni, nella seconda metà dell'anno, le precipitazioni hanno ridotto la morsa della siccità e nelle regioni meridionali anche la primavera è risultata meno secca, portando a indici di precipitazione annua meno estremi.

Anche la temperatura dei mari italiani ha risentito della persistenza di condizioni meteorologiche favorevoli all'insolazione: l'anomalia media annuale del 2022, rispetto al periodo 1991-2020, ha raggiunto il valore di  $+1^{\circ}\text{C}$ , il più alto della serie dal 1982. Anche in questo caso, la persistenza di anomalie mensili positive intense, seppur non eccezionali, ha reso l'indice annuale di quasi  $0.3^{\circ}\text{C}$  superiore al precedente record.

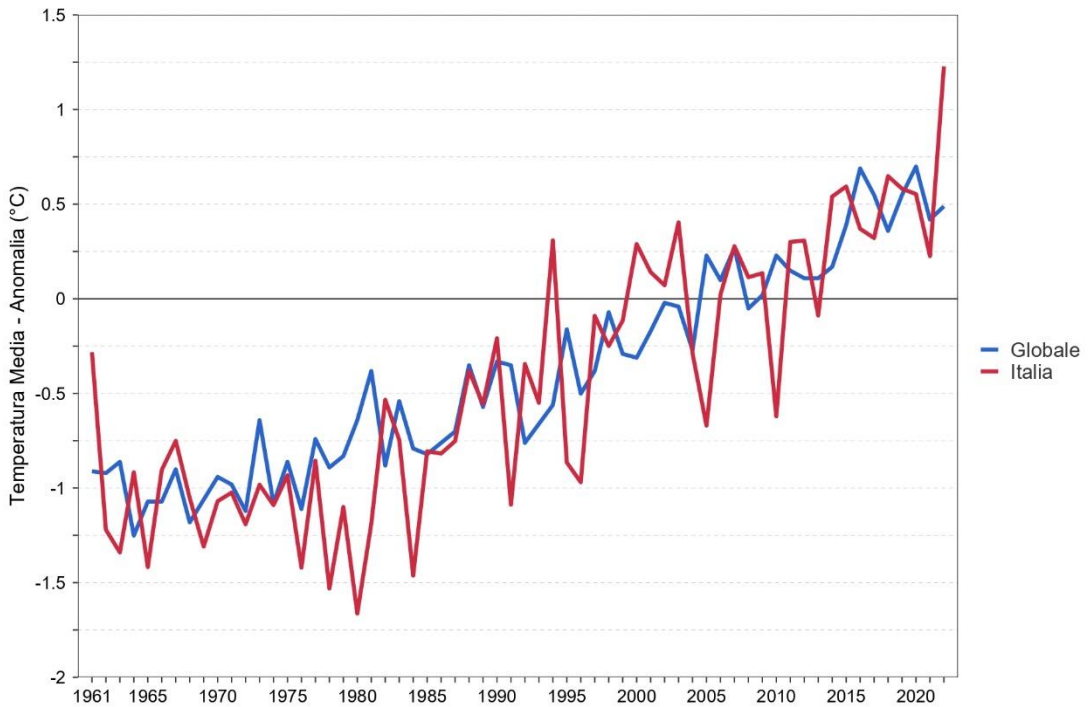


Figura 2.1: Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. Fonte: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

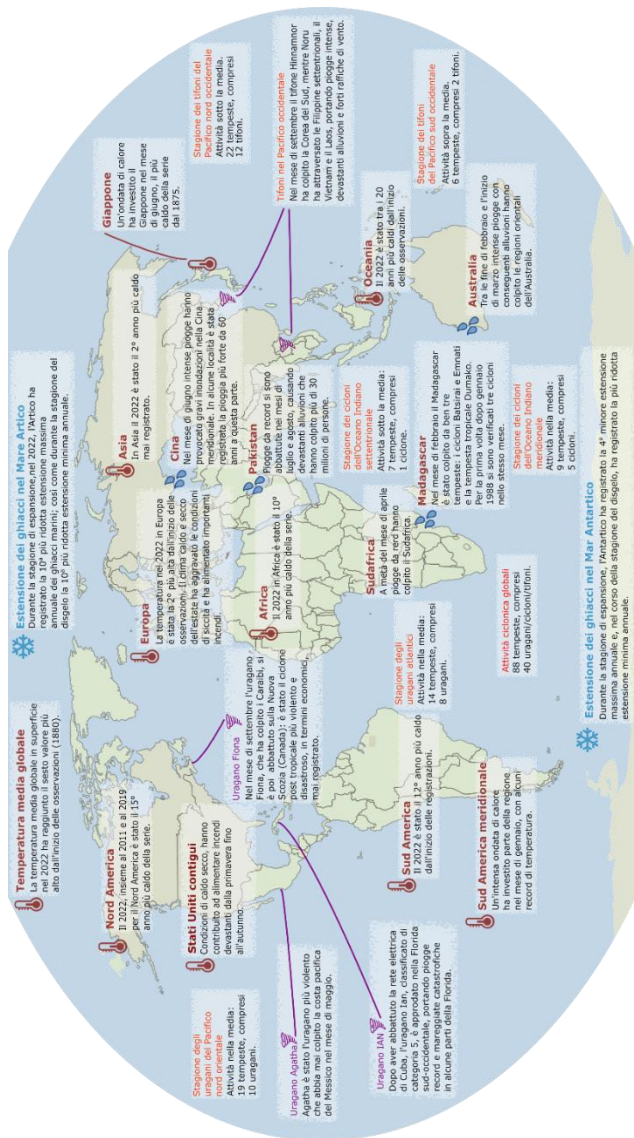


Figura 2.2: Sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2022. Fonte: NOAA. Elaborazione: ISPRA.

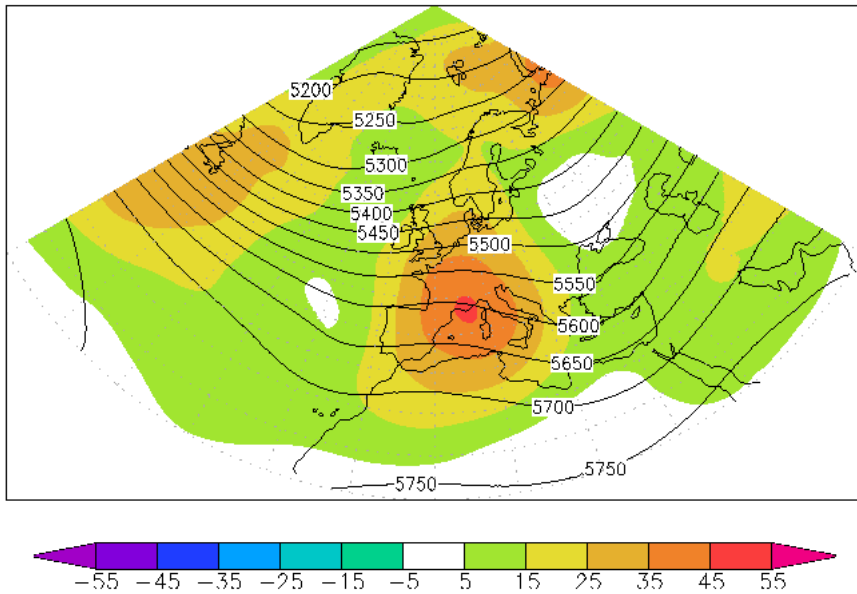


Figura 2.3: Mappa del geopotenziale medio annuale 2022. L'intervallo tra le isolinee è 50 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2022 rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ERA5 - fifth generation ECMWF reanalysis, disponibile tramite la piattaforma del Copernicus Climate Change Service.

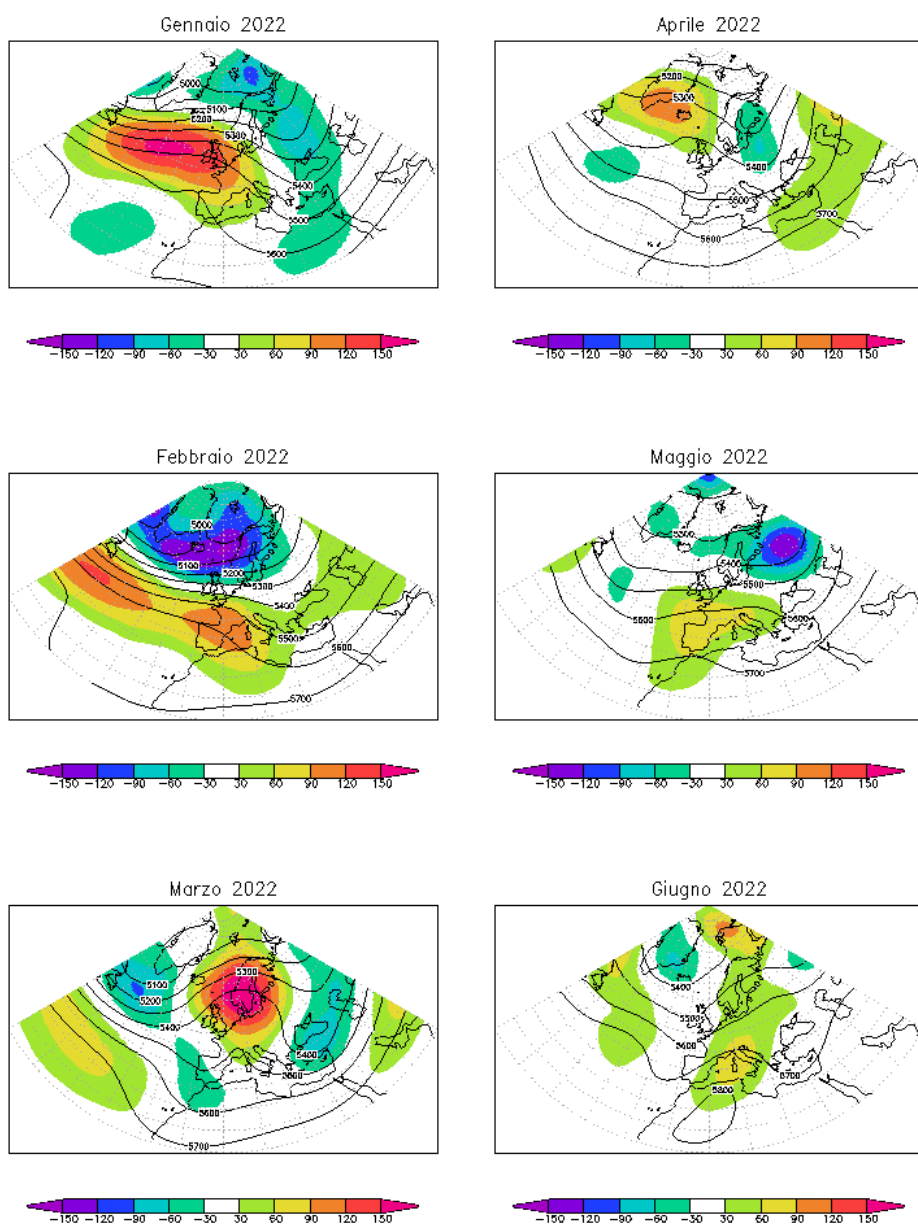


Figura 2.4a: Mappe del geopotenziale medio mensile (da gennaio a giugno 2022) a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2022 rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ERA5 - fifth generation ECMWF reanalysis, disponibile tramite la piattaforma del Copernicus Climate Change Service Copernicus.

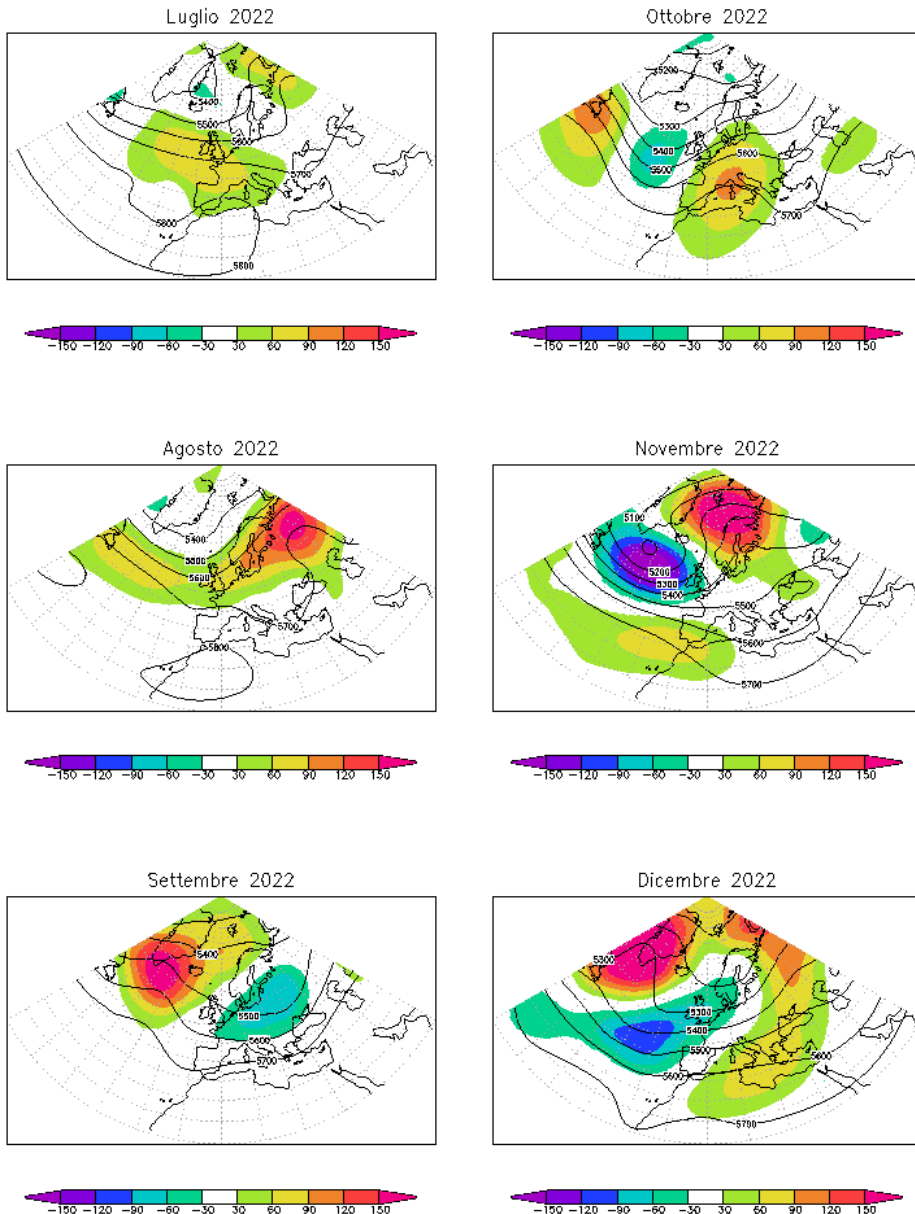


Figura 2.4b: Mappe del geopotenziale medio mensile (da luglio a dicembre 2022) a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2022 rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: ERA5 - fifth generation ECMWF reanalysis, disponibile tramite la piattaforma del Copernicus Climate Change Service.

## 2.2 CIRCOLAZIONE E FENOMENI SIGNIFICATIVI SULL'ITALIA

### 2.2.1 Inverno

Nei primi due mesi dell'anno la circolazione di larga scala nell'area euro-mediterranea (Figura 2.4a) è stata caratterizzata da uno spostamento a nord del jet atlantico, associato a valori positivi e particolarmente alti dell'indice della Oscillazione Nord Atlantica (NAO): 1.08 a gennaio e 1.68 a febbraio. Lo spostamento a nord è stato più intenso a febbraio, con conseguente maggiore estensione territoriale delle anomalie termiche: mentre a gennaio solo le regioni settentrionali hanno registrato significative anomalie positive di temperatura superficiale, a febbraio le anomalie sono state osservate in tutte le regioni italiane. Queste anomalie di larga scala sono state, inoltre, associate a un'intensa anomalia pluviometrica negativa su tutta l'Italia. **Nelle regioni settentrionali** queste condizioni hanno segnato il **ritorno della siccità** che aveva caratterizzato anche la prima metà del 2021, poi conclusasi con l'arrivo delle piogge autunnali. Condizioni di siccità particolarmente intense sono state registrate già a partire dai primi mesi dell'anno in Piemonte, dove l'inverno 2021-2022 è risultato il terzo più caldo e più secco degli ultimi 65 anni ([v. focus regionale](#)).

Nel corso dei primi mesi sono stati comunque osservati alcuni eventi meteorologici rilevanti, come quello che tra il 7 e il 12 **gennaio** ha interessato il territorio nazionale, creando impatti rilevanti sulla Sicilia. In quei giorni, una saccatura centrata sulla nostra penisola ha favorito l'avvezione di alcuni minimi depressionari di mesoscala provenienti da nord e da nord-est che ha causato **progressive ondate di maltempo sulla Sicilia**. Le precipitazioni, pur non raggiungendo valori elevati di intensità oraria, sono risultate estese, persistenti e associate a nevicate sulle zone collinari, che il giorno 10 gennaio si sono estese sopra i 700-900 m slm, con precipitazioni cumulate di evento superiori a 160 mm nelle aree prossime alla costa settentrionale dell'isola e un picco di 194.2 mm presso la stazione meteorologica

di Isnello (PA, 458 m slm). L'evento ha causato diffusi fenomeni di dissesto idrogeologico con la riattivazione di frane, l'esondazione di corsi d'acqua minori e allagamenti nelle aree urbane. Tra le frane riattivate dall'evento, degna di nota è quella che il 26 gennaio a Polizzi Generosa ha interessato l'abitato e la viabilità regionale. Ingenti danni sono stati inoltre registrati a Capo d'Orlando, colpita anche da un'intensa mareggiata alimentata dai forti venti settentrionali.

Infine, il 26 gennaio a causa di un'irruzione fredda unita a irraggiamento notturno in alcune aree orientali della Sicilia sono state raggiunte le temperature minime assolute più basse degli ultimi 20 anni: nella stazione SIAS Siracusa (SR, 90 m slm) è stato rilevato il valore di  $-4.3^{\circ}\text{C}$ .

Nonostante l'inverno 2021-2022 sia risultato prevalentemente caldo e secco, in generale le condizioni del manto nevoso sull'Appennino centrale hanno beneficiato della presenza di quantitativi di precipitazioni mediamente vicini alla media, grazie all'apporto delle perturbazioni provenienti dalla penisola balcanica.

Il **manto nevoso alpino**, invece, dopo un avvio di stagione di poco inferiore alla media climatica, a partire da gennaio **ha cominciato a presentare in molte aree intense anomalie negative**, raggiungendo a fine stagione valori localmente inferiori al 50° percentile. Queste condizioni sono state favorite dalla forte variabilità termica osservata in questi mesi con valori di temperatura superiori alla norma climatica e localmente anche superiori ai massimi degli ultimi 60 anni. Già a inizio marzo si presentava un panorama alpino tipico di una stagione primaverile avanzata (Figura 2.5). Per quanto riguarda lo Snow Water Equivalent (SWE), ossia la quantità di acqua contenuta nel manto nevoso, già a fine **febbraio** le stime modellistiche di ARPA Piemonte sul bacino del Po chiuso alla confluenza col Ticino indicavano valori di poco superiori a 600 milioni di  $\text{m}^3$  di acqua, con un deficit di circa il 66%, che rappresenta il minimo storico dell'ultimo ventennio.

### 2.2.2 Primavera

A marzo la circolazione di larga scala sull'Europa è stata



fortemente influenzata da condizioni di blocco, con alte pressioni persistenti centrate sulla penisola scandinava, che hanno favorito l'avvezione di correnti fredde e secche sulle nostre regioni. Le anomalie pluviometriche e termiche sono state negative su tutto il territorio italiano: mentre l'intensità delle anomalie pluviometriche più marcata si è osservata sulle regioni settentrionali, dove hanno continuato a insistere condizioni di intensa siccità, l'intensità maggiore delle anomalie termiche si è riscontrata nelle regioni meridionali. In particolare, il mese di **marzo** in Emilia-Romagna è stato il più freddo dal 1988 e il quarto più freddo dal 1961. Un evento meteorologico di rilievo si è verificato il 15 marzo, con il **passaggio di una profonda saccatura che ha portato le sabbie del Sahara fin sull'arco alpino** (Figura 2.6) e forte vento in Sicilia, dove sono state rilevate raffiche a 2 m da suolo fino a 136 km/h nella stazione meteorologica di Castelbuono (PA, 430 m slm).

La circolazione di larga scala di **aprile** ha presentato un indebolimento e un lieve spostamento a ovest delle anomalie di marzo, che a livello locale si è tradotta in una persistenza delle anomalie climatiche osservate nel corso del mese precedente, se pur con intensità ridotta. Una circolazione depressionaria centrata sulla Sardegna ha prodotto in Sicilia venti di scirocco particolarmente intensi il 21 aprile, quando la stazione Novara di Sicilia (ME, 750 m slm) ha rilevato una raffica a 2 m dal suolo pari a 146.5 km/h, il massimo valore per la Sicilia nel 2022.

Sugli **Appennini**, ed in particolare sui settori centro-meridionali, il **periodo primaverile è stato abbastanza ricco di neve** grazie ad apporti deboli ma continui. **Su gran parte dell'arco alpino, invece, il manto nevoso nel corso della primavera ha presentato estensioni nettamente inferiori ai valori climatici** e comunque molto ridotte. In particolare, in Veneto, il manto nevoso presso la stazione di Arabba da metà a fine stagione ha presentato valori eccezionalmente scarsi e prossimi al 10° percentile. Le condizioni di alta pressione e di estesa siccità nel corso del mese di marzo hanno favorito il verificarsi di ben 48 incendi. Nella serata del 22 marzo, si è attivato un vasto incendio boschivo, in comune di Longarone (BL) tra le località di Igne e Soffranco, investendo un'area molto ampia sulla sinistra orografica

del torrente Maè da quota 650 metri a quota 1000 metri. Nella mattinata successiva, alla distanza di circa 4 Km dal primo focolaio, si è sviluppato un ulteriore incendio lungo i versanti orientali di Cima Beccola, sovrastanti l'abitato di Fortogna, nei Comuni di Ponte nelle Alpi e Longarone, dove le fiamme hanno interessato la destra orografica del fiume Piave da quota 700 m a 1100 m, con il fronte di fuoco di alcuni chilometri.

A partire da metà **maggio** si sono instaurate condizioni di alta pressione centrate sull'Europa occidentale ed estese fino alle coste settentrionali dell'Africa. Queste anomalie di larga scala hanno lasciato un segno anche sulla mappa di anomalia mensile di Z500 e hanno portato, nel giro di pochi giorni, all'improvviso instaurarsi di condizioni climatiche estive su tutto il territorio nazionale. Nonostante il cambio di regime sia avvenuto intorno a metà mese, le **anomalie termiche medie mensili sono risultate particolarmente intense nelle aree centro-settentrionali**, con valori anche superiori a +2°C, e sono state **associate al persistere di anomalie pluviometriche negative**.

In Emilia-Romagna, a maggio, le temperature inizialmente nella norma sono aumentate rapidamente dopo la prima decade, rimanendo fino a fine mese prossime o superiori ai massimi valori osservati dal 1961, in modo tale da rendere maggio 2022 il secondo più caldo dopo il 2009, a pari merito con il 2003. In Veneto la temperatura media regionale ha raggiunto il secondo valore più alto della serie, mentre la temperatura minima regionale è stata la più alta della serie, soprattutto in quota.

Le anomalie termiche hanno velocemente sciolto il manto nevoso e aumentato la domanda di risorse idriche da parte dei settori agricoli e civili, innescando criticità locali anche per l'uso idropotabile, soprattutto in Piemonte ([v. focus regionale](#)). In Lombardia, all'inizio di aprile, il deficit di riserva idrica raggiungeva il 60% della media del periodo 2006-2020, principalmente a causa della carenza di innevamento (SWE -72%), ma anche della riduzione del 30% dell'acqua disponibile sia nei grandi laghi sia negli invasi alpini artificiali. Già a marzo **la portata del Po a Pontelagoscuro è scesa per un lungo periodo sotto il minimo storico medio mensile** (Figura 2.7).

Nel corso di maggio si sono comunque verificati alcuni locali intensi fenomeni convettivi, come il temporale che il 24 maggio ha colpito il territorio di Asolo, in Veneto, con grandine di piccole dimensioni ma che ha reso difficili gli spostamenti. In Lombardia, il 28 maggio, una grandinata con chicchi di 5-6 cm ha interessato la pianura centrale tra Bergamo e Crema.

### 2.2.3 Estate

L'estate, già arrivata sul territorio italiano nel corso delle ultime settimane di primavera, è stata inizialmente caratterizzata da intense anomalie climatiche. Nei primi due mesi si è osservato il persistere di condizioni di alta pressione. Nella Figura 2.4a si può notare che nel mese di **giugno** le anomalie di Z500 presentano valori positivi sull'area euro-mediterranea occidentale. Su tutta l'Italia sono state osservate **intense anomalie termiche positive e scarse precipitazioni. La siccità** che durante i primi mesi dell'anno aveva presentato particolare intensità nelle regioni settentrionali, **si è così estesa progressivamente a gran parte del territorio nazionale** ([v. focus siccità](#)).

In Piemonte giugno e luglio sono risultati i secondi più caldi degli ultimi 65 anni. In Emilia-Romagna, giugno è stato il secondo più caldo dopo il 2003 e luglio il secondo più caldo dopo il 2015. In Toscana, in molte stazioni meteorologiche, luglio nel suo complesso è risultato il più caldo mai registrato, superando il precedente record del 2003.

L'estate è stata particolarmente calda anche in Veneto: il mese di giugno è risultato il terzo più caldo in termini sia di temperature medie regionali che di numero di giorni con temperatura massima superiore a 30°C; il mese di luglio è stato il secondo più caldo, collocandosi al primo posto della serie delle temperature massime e dei giorni con temperatura massima sopra ai 30°C e al terzo della serie del numero di notti tropicali (con temperatura minima superiore a 20°C). In Lombardia molte località hanno registrato durante l'estate il più alto numero di notti tropicali: nella stazione di Milano Brera ne sono state registrate ben 101 superando il precedente record dell'estate 2012, con 86 notti tropicali.

Le alte temperature di **luglio** sono state accompagnate

dal rialzo dello zero termico in libera atmosfera. Le misurazioni fatte nel corso dei radiosondaggi presso la stazione di San Pietro in Capofiume di ARPAE Emilia-Romagna indicano per luglio un valore medio della quota di zero termico di poco inferiore a 4500 m slm. Anche in Trentino luglio è stato il più caldo mai registrato e le alte temperature in quota hanno causato lo scioglimento dei ghiacciai alpini, con la movimentazione di diversi apparati glaciali. Di grande rilievo è stato il **distacco di un'ampia porzione del ghiacciaio della Marmolada** avvenuto il **3 luglio**, a causa del quale hanno perso la vita 11 alpinisti.

L'intenso **scioglimento glaciale** legato alla scarsa consistenza del manto nevoso primaverile e alle altissime temperature estive, secondo le stime, **ha ridotto di un terzo le riserve glaciali dell'arco alpino.**

Anche nelle Marche le temperature estive sono risultate sovente superiori alla media. Giugno 2022 è risultato il secondo più caldo dal 1961, dopo quello del 2003; il mese di luglio è risultato invece il terzo luglio più caldo dal 1961, a causa di intense anomalie positive nella seconda e terza decade.

In Sardegna le temperature massime giornaliere hanno superato i 40°C per diversi giorni in alcune località (fino a 18 giorni nella stazione Ozieri cantoniera Fraigas), raggiungendo nella terza decade di giugno valori di picco pari a 44°C nella stazione di Oschiri RF nella Piana di Chilvani e 44.3°C nella stazione di Ozieri cantoniera Fraigas nel nord della Sardegna ([v. focus regionale](#)).

Anche in Sicilia, nonostante non siano stati raggiunti i picchi termici eccezionali del 2021, l'estate 2022 è stata la più calda da inizio osservazioni a causa della persistenza delle ondate di calore: l'indice relativo al numero di giorni con temperature massime superiori a 30°C ha segnato infatti un nuovo record di ben 10 giorni superiore al valore del 2003 ([v. focus regionale](#)).

**Le temperature in molte regioni della penisola hanno raggiunto i loro valori massimi nella seconda metà di luglio.** Durante questo periodo in Val d'Adige per 11 giorni si sono superati i 35°C e a Bolzano il 22 luglio è stato registrato il valore massimo dell'estate, pari a 39°C. In Friuli Venezia Giulia, in questo periodo, in pianura le temperature massime hanno raggiunto valori tra 35°C e 40°C e in alcune stazioni (Cividale, Bicinicco e

Pordenone) sono stati segnati nuovi record termici locali battendo quelli registrati a luglio 2015. In Veneto, in questi stessi giorni, si sono raggiunte le temperature massime di 39.2°C a Zero Branco (TV, 12 m slm), 39.1°C ad Agna (PD, 1 m slm) e Trecenta (RO, 9 m slm) e 38.9°C a Bagnolo di Po – Pellizzare (RO, 6 m slm). In generale, le temperature massime si sono assestate sui 37/39°C in pianura e pedemontana, 33/36°C attorno ai 500 m, 27/32°C attorno ai 1000 m e 22/25°C attorno ai 2000 m. Queste condizioni hanno acuito gli effetti della siccità sull'agricoltura e sulla produzione di energia idroelettrica causando interruzioni di corrente. In Liguria la temperatura massima estiva regionale pari a 39.4°C è stata registrata il 18 luglio presso la stazione meteorologica di Padivarma (SP, 75 m slm).

Dal punto di vista delle precipitazioni, in Piemonte ad un inizio d'estate leggermente sotto media (-20%), ha fatto seguito un mese di luglio decisamente secco su gran parte del territorio regionale (-45%), che si è tradotto nel persistere di condizioni di siccità severa o estrema su gran parte del territorio regionale ([v. focus regionale](#)). In Emilia-Romagna, le precipitazioni cumulate mensili nei mesi di giugno e luglio sono state estremamente inferiori ai valori climatologici di riferimento: rispettivamente, 21.7 mm osservati rispetto ai 65.5 mm attesi (ovvero il terzo valore più basso dal 1961, insieme al 2019 e al 2012) e circa 22 mm, pari a metà del valore atteso nel mese. Le precipitazioni cumulate da gennaio a luglio, pari a 281 mm medi regionali, sono risultate in assoluto le più basse dal 1961, inferiori al precedente record negativo del 2017 di 301 mm.

**Già a giugno gran parte dei fiumi alpini presentavano condizioni di intensa siccità con scarse portate.** Con il procedere della stagione, le condizioni di intensa siccità su gran parte delle regioni settentrionali si sono tradotte in **valori di portata del fiume Po eccezionalmente bassi.** Le anomalie negative più significative si sono verificate a marzo e da giugno a novembre, con **deflussi confrontabili o inferiori ai minimi storici mensili degli ultimi 100 anni.** A seguito dell'andamento dei deflussi fluviali in decrescita fino al valore minimo di portata registrato in luglio, si è osservata nel corso della prima parte dell'anno una progressiva **risalita del cuneo salino che, nel delta del Po,** ha raggiunto a luglio una

lunghezza massima stimata di circa 34-36 km dalla foce lungo il Po Grande e di circa 37-39 km dalla foce lungo il ramo di Goro.

Anche il Friuli Venezia Giulia è stato interessato da una siccità eccezionale tra l'inizio di maggio e il 27 agosto e tra il 19 e il 29 luglio; le alte temperature e la bassissima umidità hanno creato condizioni favorevoli all'innescio di incendi boschivi di eccezionale estensione sul Carso, bruciando un'area di 3700 ettari.

**Nonostante la presenza di condizioni generali di alta pressione, nel corso dell'estate si sono comunque sviluppati locali temporali.**

In Emilia-Romagna è stato di particolare rilevanza l'evento del 15 giugno, quando le grandinate sono state così estese da imbiancare alcune zone collinari e montane del modenese, con accumuli di grandine anche di 20 cm.

In Veneto il 21 giugno è stata registrata un'insolita e abbondante grandinata in Valbelluna, con chicchi di varie dimensioni. Il 29 giugno temporali intensi e insistenti sul Cadore orientale hanno provocato un'estesa colata detritica con interruzione della Strada Provinciale 619 a Vigo di Cadore: le stazioni pluviometriche di Valle di Cadore (BL, 794 m slm) e di Sella Campigotto (BL, 1783 m slm) hanno registrato nuovi record di intensità di pioggia (rispettivamente 71.6 mm in 3 ore e 109.8 mm in 6 ore). Il 1° luglio una violenta grandinata di grandi dimensioni ha colpito il territorio di Selvazzano, Abano e Teolo, mentre il 4 luglio, in associazione al passaggio di un sistema temporalesco, si sono osservati significativi e improvvisi rinforzi dei venti con raffiche comprese tra i 70 e i 100 km/h, fino ad un massimo di 110 km/h a Buttapietra (VR, 39 m slm). Infine, il 6 luglio un sistema temporalesco presente sulle zone pedemontane occidentali del vicentino si è spostato rapidamente verso sud-est, interessando dapprima Vicenza, poi Padova e infine una fascia tra Piove di Sacco, Chioggia, Cavarzere, Rosolina e il delta del Po; tale sistema è risultato associato a rovesci molto forti, grandinate assai significative e intense raffiche di vento: presso la stazione meteorologica di Rosolina Po di Tramontana (RO, 2 m slm) e Codevigo - Ca' di Mezzo (PD, 1 m slm) sono stati misurati rispettivamente 19.0 e 17.6 mm in 5 minuti e a Codevigo 68.2 mm in 45 minuti.

Il 23 luglio intensi temporali, concentrati sulle regioni nord-orientali, hanno causato una frana in località Tre Fontane-Trafoi in provincia di Bolzano; il 28 luglio si sono raggiunte intensità pluviometriche pari a 100 mm in 6 ore a Plata (BZ, 1145 m slm).

Tra il 25 e il 26 luglio precipitazioni intense a carattere convettivo hanno colpito l'Emilia-Romagna causando allagamenti nella Val Tidone, dove diverse strade sono state invase dall'acqua e dal fango, oltre che nel parmense e nel reggiano, con danni localizzati.

In Lombardia il giorno 26 una violenta grandinata, con chicchi superiori ai 5 cm, ha interessato la bassa pianura tra Lodi e Pavia, mentre il giorno successivo un forte temporale rigenerante ha colpito i comuni di Braone, Ceto e Niardo in Valcamonica: in questa occasione si stima che siano caduti tra 150 e 200 mm in sole 2 ore, provocando le esondazioni dei torrenti Re e Cabello.

Ad **agosto** si è rotto il regime di alta pressione e le più intense anomalie di circolazione di larga scala si sono spostate sull'Europa nord-orientale (Figura 2.4b), lasciando le nostre regioni in condizioni più vicine alla normale variabilità climatica.

Le anomalie termiche, positive in tutte le macroaree geografiche, hanno presentato un'intensità più contenuta e sono tornate ovunque le precipitazioni, con cumulate totali che hanno raggiunto anche il doppio dei valori climatici nelle regioni meridionali, mitigando i valori medi delle temperature stagionali dell'estate 2022, che è comunque risultata in molte regioni veramente eccezionale. In Piemonte, in Veneto e in Emilia-Romagna la stagione estiva nel suo complesso è risultata la seconda più calda degli ultimi 65 anni, dopo quella del 2003.

Queste condizioni hanno favorito il verificarsi di **intensi eventi convettivi**. Durante il pomeriggio e la serata del 5 agosto si sono formati temporali diffusi nelle aree centrali dell'arco alpino. In provincia di Bolzano si sono registrate forti piogge con grandine in Val Martello, Bassa Venosta, Fleres e Val Pusteria/Badia. A San Martino in Badia sono stati misurati 100 mm di precipitazione in poco più di 1 ora, segnando un nuovo record di intensità per la stazione meteorologica. Le intense precipitazioni hanno causato frane e colate detritiche ad Anterselva, Kogbach-Pflersch e a San Martino in Badia. Anche la

Provincia di Trento tra il 5 e il 6 agosto è stata colpita da intensi nubifragi; in particolare in Val di Fassa, in località Monzon, sono stati misurati 123 mm in pioggia in 2 ore, di cui più di 100 mm in 1 ora. Le precipitazioni hanno causato un repentino ingrossamento dei torrenti, locali allagamenti e colate detritiche (Figura 2.8).

Tra l'8 e l'11 agosto intensi e persistenti temporali si sono abbattuti sul territorio del Comune di Monteforte Irpino (AV), in Campania, con intensità pluviometriche che il giorno 9 hanno raggiunto massimi di 27.4 mm in 10 minuti e 51.6 mm in 20 minuti presso la stazione meteorologica di S. Salvatore Telesino (BN, 167 m slm), di 64.0 mm in 30 minuti, e 80.0 mm in un'ora presso la stazione meteorologica di Caserta Vecchia (CE, 422 m slm) e di 92.8 mm in un giorno presso la stazione meteorologica di Montemarano (AV, 865 m slm). Tali intensità rappresentano spesso i massimi valori osservati presso ciascuna stazione dall'inizio delle osservazioni e hanno causato colate detritiche che hanno invaso una vasta area del centro abitato, causando notevoli danni ad abitazioni e infrastrutture.

Pochi giorni dopo, il 12 agosto tra le ore 5 e le 6, un intenso temporale si è abbattuto sulle Isole Eolie, nel Tirreno, con valori di precipitazione particolarmente intensi sull'Isola di Stromboli, dove, presso la stazione meteorologica di Scari (ME, 15 m slm), sono state rilevate massime intensità di 60 mm in 1 ora e circa 30 mm in 15 minuti; le precipitazioni nel corso dell'evento hanno raggiunto anche l'estrema punta nord-orientale della Sicilia, dove le stazioni meteorologiche di Messina SP44 e di Castanea delle Furie hanno rilevato oltre 70 mm in poco più di un'ora e la stazione SIAS Curcuraci (ME, 420 m slm) ha registrato 73.4 mm in un'ora, la massima intensità regionale degli ultimi 20 anni. Sull'isola di Stromboli le piogge torrenziali hanno trascinato a valle grandi quantità di detriti lungo le incisioni torrentizie, riversandoli nel centro abitato. Si ritiene possibile che i fenomeni di colata detritica siano stati favoriti anche dall'esteso incendio boschivo che aveva coinvolto una significativa frazione dei pendii dell'isola a maggio 2022, aumentando la fragilità del territorio vulcanico.

**Il 18 agosto un intenso temporale si è abbattuto sulle coste tirreniche di Liguria e Toscana;** in Liguria i

temporali sono stati accompagnati da intensa grandine con dimensioni fino a 7 cm, e almeno 22 persone sono rimaste ferite; i **venti hanno superato ampiamente i 100 km/h** lungo le coste centro-orientali della regione, **raggiungendo i valori massimi di 150 km/h** presso la stazione meteorologica di Fontana Fresca (GE, 791 m slm) e di 144 km/h a La Spezia (SP, 55 m slm), causando caduta d'alberi, danni nel Comune di Portofino e danni alla linea ferroviaria nei Comuni di Lavagna e Sestri Levante (Figura 2.9). Venti fortissimi con raffiche fino a 120-150 km/h sono stati osservati anche lungo le coste delle provincie di Massa e Carrara, in Toscana, causando nel giro di un'ora 2 vittime, 41 feriti, caduta di migliaia di alberi, tetti di edifici scoperchiati e danni alle infrastrutture. Nel corso dell'evento temporali organizzati si sono estesi al Veneto, interessando inizialmente soprattutto il veronese e le zone centro-settentrionali della regione. Successivamente, un ulteriore sistema organizzato associato a rovesci e temporali ha interessato più diffusamente tutta la regione e in particolare la fascia costiera, con forti temporali associati anche a forti raffiche di vento, superiori ai 90 Km/h, con un massimo di 113 km/h nella stazione meteorologica di Marcon (loc. Zuccarello, VE, 1 m slm). Fra gli altri danni, il vento ha danneggiato il campanile di Piazza San Marco. Solo a Venezia si parla di danni accertati per milioni di euro.

Il 19 agosto un temporale si è abbattuto sull'Emilia-Romagna e abbondanti e violente grandinate hanno colpito il parmense, il modenese e il ferrarese, oltre al territorio di Riccione, dove le dimensioni dei chicchi hanno superato i 5 cm.

#### 2.2.4 Autunno e dicembre

Il mese di **settembre** ha presentato caratteristiche simili ad agosto. La saccatura sull'Europa centrale si è leggermente approfondita (Figura 2.4b), favorendo l'instaurarsi di flussi da nord-ovest che hanno portato anomalie termiche positive, di entità rilevante solo nelle regioni meridionali, e anomalie pluviometriche significative solo nelle regioni centrali, dove, come vedremo, si è sviluppato uno degli eventi meteorologici più rilevanti dell'anno in Italia.

Nonostante le anomalie termiche siano state generalmente contenute, in Veneto il mese di settembre si è posizionato al terzo posto per numero di giornate del mese con temperatura massima sopra i 30°C.

L'8 settembre il passaggio di un fronte sui territori del Friuli -Venezia Giulia ha accentuato il richiamo di correnti mediterranee verso la regione, con conseguenti piogge intense, in particolare sulla costa, dove sono state alimentate da venti di Scirocco; sono stati registrati valori record di precipitazione su 3 ore: 162 mm a Grado, 87 mm a Trieste, più di 140 mm sul Carso (143 mm a Borgo Grotta Gigante, TS, 275 m slm) e valori oltre i 100 mm anche ad Aquileia e Monfalcone. Nello stesso giorno sul Lago di Garda si è osservata un'insolita tromba d'aria lacustre, sviluppata in associazione ad una supercella che ha poi interessato l'area settentrionale della provincia di Verona. Il vento ha causato danni alle colture dell'ulivo e della vite, in particolare nelle zone a nord-est di Negrar (VR) e a nord di Fumane (VR), dove una parte del paese ha subito danni alle linee elettriche.

**Il 15 settembre si è assistito a uno degli eventi più rilevanti del 2022 in termini di intensità e danni:** all'interno di condizioni medie di flussi occidentali, legati a una saccatura con minimo sulle regioni europee nord-occidentali, si sono sviluppate delle strutture convettive sul versante umbro-toscano dell'Appennino che hanno successivamente interessato la parte montana e alto collinare delle **Marche centro-settentrionali**, assumendo carattere semi-stazionario nella seconda metà della giornata del 15 ([v. focus regionale](#)); le **precipitazioni** si sono concentrate in particolare tra le ore 16 e le 22, **con quantitativi sulle 6 ore eccezionali sia in termini di cumulata che di intensità per il territorio regionale**. I quantitativi giornalieri hanno superato i 400 mm e le cumulate a 3, 6, 12 e 24 ore sono state di gran lunga superiori ai massimi registrati da quando esistono gli annali idrologici (secondo decennio del 1900). La particolare intensità dell'evento, unita alle caratteristiche dei corsi d'acqua interessati, tipicamente a regime torrentizio, con tempi di corrivazione molto ridotti e con bacini fortemente antropizzati, particolarmente favorevoli alla formazione e propagazione molto rapida delle piene, e i gravi problemi riscontrati nella fase previsionale dei modelli numerici

hanno reso più difficili le operazioni di allertamento della popolazione da parte della protezione civile regionale, rendendo l'evento particolarmente distruttivo, con un bilancio di 12 vittime e 1 disperso nelle valli del Misa e Nevola, effetti al suolo, danni diffusi e numerosissime situazioni di criticità nell'area centro-settentrionale della regione (Figura 2.10). **Lo stesso evento ha causato intense precipitazioni anche sul territorio umbro**, in particolare nei comuni di Pietralunga e Scheggia e Pascalupo, in provincia di Perugia; a Perugia sono stati registrati massimi di intensità pluviometrica pari a 105 mm in 3 ore, 165 mm in 6 ore e 195 mm in 12 ore, per i quali è stato calcolato un tempo di ritorno di 200 anni.

Pochi giorni dopo, il 17 settembre, forti raffiche fino a oltre 100 km/h hanno colpito l'Emilia-Romagna nel settore costiero e nell'entroterra fino al Bolognese e Ferrarese, causando danni ad alberi e strutture temporanee, inoltre, i fenomeni di ingressione marina lungo la costa hanno provocato allagamenti. Nel corso della giornata la neve è comparsa inaspettatamente per la prima volta sulle cime dell'Appennino, fino a 1300 m di quota in Romagna.

Tra il 25 e il 26 settembre un'ampia saccatura ha causato in quota un flusso di correnti calde e umide sull'Italia innescando locali temporali in molte regioni. Precipitazioni particolarmente intense sono state registrate in Sicilia, dove i totali di evento hanno superato localmente i 100 mm nelle aree occidentali e meridionali dell'isola, con un picco di 144.8 mm registrato a Modica (RG, 560 m slm). Le precipitazioni hanno causato locali allagamenti nel ragusano e nel trapanese, in particolare nell'area urbana di Trapani, dove l'intensità oraria ha toccato il valore di 84 mm/h, con un accumulo totale di 122.5 mm in 3 ore.

Tra il 30 settembre e il 1° ottobre una saccatura ha attraversato nuovamente l'Italia causando piogge e temporali localmente intensi sulle coste tirreniche e sulla Puglia. In Sicilia le precipitazioni hanno colpito principalmente i settori occidentali, dove localmente sono stati misurati totali di evento intorno a 100 mm sui rilievi del palermitano, fino a 124.1 mm presso la stazione meteorologica di Contessa Entellina sulla Strada Provinciale 44 (PA, 313 m slm). Le precipitazioni hanno causato locali allagamenti nelle aree urbane, in

particolare a Mazara del Vallo, e colate detritiche sulle strade nel settore centro-occidentale dell'isola. L'evento è stato accompagnato da forti venti e sono state osservate locali trombe d'aria a Castelvetrano e a Santa Margherita Belice. L'area del trapanese è stata colpita da ulteriori fenomeni intensi a distanza di pochi giorni, il 9 e il 14 ottobre, che hanno causato prima l'allagamento dell'area urbana di Trapani poi l'esondazione del torrente Verderame, con l'allagamento della frazione Salinagrande del comune Misiliscemi, dove la stazione SIAS Fontanasalsa ha registrato un'intensità oraria di 74 mm/h.

Con il mese di **ottobre** si è osservato un nuovo cambio di regimi meteorologici con il ritorno di condizioni di blocco atmosferico. La mappa di anomalia mensile di Z500 mostra la presenza di una zona con valori positivi centrata proprio sul Nord Italia (Figura 2.4b). Queste condizioni sono risultate associate in superficie ad **anomalie termiche positive**, particolarmente intense sulle regioni centro-settentrionali, e **anomalie pluviometriche ovunque negative che**, in un mese normalmente piovoso, **hanno riacutizzato le condizioni di estrema siccità**, leggermente mitigate dalle precipitazioni dei mesi precedenti.

In Emilia-Romagna e in Trentino il mese di ottobre è risultato il più caldo dal 1961. In Emilia-Romagna, con un indice pluviometrico regionale di 7.4 mm, il mese è risultato anche il meno piovoso dal 1961. Anche in Veneto ottobre è stato il terzo più secco, ma si posiziona al primo posto considerando la sola pianura.

In Veneto, inoltre, tra il 26 e il 31 ottobre sono stati registrati nuovi record termici per il periodo, con valori massimi pari a 26.7°C a Frassinelle Polesine (RO, 4 m slm), 26.6°C a Barbarano Vicentino (VI, 16 m slm), 26.5°C a San Pietro in Cariano (130, m slm), Sorgà (VR, 24 m slm) e Porto Tolle - Pradon (RO, 0 m slm).

A **novembre** il flusso medio atmosferico sul territorio italiano è stato principalmente da nord-ovest, associato a valori positivi particolarmente intensi del pattern scandinavo e del pattern est-atlantico. Gli indici climatici superficiali hanno assunto valori prossimi alle attese.

Nel corso del mese si sono osservati vari eventi meteorologici intensi, il primo dei quali si è verificato quando, il 10 novembre, un fronte atlantico è passato

sulle regioni settentrionali. Sulla costa e nella pianura friulana inizialmente sono arrivati venti di scirocco, ma dal pomeriggio sopraggiunta la Bora. Le piogge associate al passaggio di questo fronte sono risultate in generale abbondanti, localmente anche intense, specialmente nelle aree sud-orientali della regione. Nel corso dell'evento la stazione meteorologica di Grado (GO, 4 m slm) ha registrato piogge di intensità record in mattinata, quando il vento di scirocco, mite e umido, ha alimentato l'instabilità: 194 mm di pioggia in 12 ore, di cui 175 mm in 6 ore e 125 mm in 3 ore. Le piogge hanno causato allagamenti nelle aree urbane.

Il 12 novembre una cella temporalesca persistente per circa 2 ore sull'abitato di Pachino (SR) e sui dintorni, ben testimoniata dalle immagini radar, ha prodotto un intenso nubifragio che ha causato diffusi allagamenti nel centro abitato e danni ingenti alle aziende serricole invase dall'acqua.

Tra il 22 e il 27 novembre una saccatura è transitata sulla penisola italiana, portando con sé un'ondata di maltempo in molte regioni. Tra il 21 e il 22 al suo ingresso ha causato precipitazioni persistenti, anche a carattere nevoso in Emilia-Romagna. **Il giorno 22 i venti intensi di Bora e Scirocco hanno causato un significativo innalzamento dei livelli del mare lungo tutte le coste dell'Alto Adriatico** fino a raggiungere i valori più elevati delle rispettive serie storiche di rilevazione ([v. focus evento](#)). Lungo le coste del Friuli -Venezia Giulia la Bora ha superato i 100 Km/h e si sono osservati diffusi fenomeni di acqua alta; a Grado il mareografo della Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'alto Adriatico (RMLV) ha registrato valori pari a 166 cm sopra il livello medio del mare e si sono osservate mareggiate lungo tutta la costa, specie fra Lignano e Grado, dove il centro città è stato sommerso sotto 50 cm di acqua. In Veneto, nel rodigino, si sono registrati dei forti e persistenti rovesci con 30-45 mm in un'ora e circa 60-90 mm in 3 ore (tra le località di Villadose, Sant'Apollinare e Adria, in provincia di Rovigo). Lungo la fascia costiera e su buona parte della pianura centro-meridionale si sono registrati venti medi con velocità di 45-55 km/h, accompagnati da raffiche molto forti, fino a 80-100 km/h circa. Gli eventi hanno causato intense mareggiate, con conseguente significativa erosione delle

spiagge, allagamenti e danni agli stabilimenti balneari e ad alcune abitazioni. Anche lungo le coste dell'Emilia-Romagna i venti hanno causato una significativa mareggiata, con allagamenti delle spiagge e del territorio urbanizzato retrostante e forte erosione in varie località costiere. Nell'entroterra, invece, i venti sostenuti hanno causato la rottura di rami e alberi, con conseguenti danni e interruzione della viabilità.

Il passaggio del fronte tra il pomeriggio del 21 e la mattina del 22 novembre sulla Sardegna ha causato intense precipitazioni sul bacino del Temo nella parte nord-occidentale dell'isola, provocando un innalzamento significativo dei livelli idrometrici che hanno superato i valori massimi precedentemente osservati. Le precipitazioni hanno raggiunto massimi di cumulata su 24 ore di 114.8 mm nella stazione pluviometrica di Sindia (NU, 538 m slm), di 107.4 mm a Badu Crabolu (SS, 240 m slm) e di 104.2 mm a Montresta (OR, 479 m slm), con tempo di ritorno di 20 anni.

Il progressivo spostamento della perturbazione verso le regioni meridionali ha causato intense precipitazioni in Sicilia e in Campania, colpendo particolarmente le coste ioniche. Nelle aree orientali della Sicilia tra il 26 e il 27 del mese sono state osservate precipitazioni cumulate superiori a 100 mm su vaste aree e massimi pari a 190 mm presso la stazione meteorologica di Albareseda (SR, 604 m slm). I settori sud-orientali dell'isola sono stati interessati, a partire dalla sera del 26 novembre, da forti venti con intensità massima di 106 km/h (superiore al grado Tempesta nella scala Beaufort) rilevata presso la stazione meteorologica di Ragusa (RG, 705 m slm), che hanno causato mareggiate lungo la costa e danni alle serre, ai collegamenti elettrici, interruzioni dell'elettricità, e disagi alla viabilità a causa della caduta di alberi nell'entroterra.

**In Campania il 26 novembre precipitazioni di intenso carattere temporalesco** sono iniziate dalle primissime ore del giorno interessando le isole di Ischia e Capri, la città di Napoli, la penisola sorrentina, la costiera amalfitana e l'area valliva del bacino del fiume Sarno. **I massimi valori di precipitazione cumulata giornaliera e di evento sono stati osservati sull'isola di Ischia**, con 176.8 mm/24 h presso la stazione pluviometrica di Forio d'Ischia (NA, 340 m slm), e 13.4 mm/10 minuti,

presso la stazione meteorologica di Monte Epomeo (NA, 390 m slm). I valori massimi di precipitazione cumulata su vari intervalli orari presso la stazione di Forio sono stati i massimi registrati dal 2007, e sono stati segnati record per le precipitazioni cumulate su alcuni intervalli orari presso le stazioni di Piano Liguori e Monte Epomeo. Le intense precipitazioni hanno innescato diverse colate di fango, miste a detriti e massi di rilevanti dimensioni, che hanno causato 12 decessi e ingenti danni al territorio, principalmente nel Comune di Casamicciola ([v. focus regionale](#)).

Il 30 novembre una nuova ondata di maltempo ha riversato intense precipitazioni sul comune di Maratea (PZ) e nelle aree più settentrionali della Calabria, causando una frana di grosse dimensioni in località Castrocuoco; l'evento ha causato il crollo di un'ampia porzione del costone roccioso sottostante l'antico castello medievale di Castrocuoco, con conseguente distruzione di un tratto della sottostante Strada Statale n. 18 e l'interruzione della viabilità e dei servizi essenziali. Si chiude così una stagione autunnale decisamente calda e mediamente secca, dove comunque non sono mancati gli eventi meteorologici intensi.

A **dicembre**, come si può notare dalla mappa di anomalia della Z500 (Figura 2.4b), si è osservato un lieve abbassamento del jet atlantico, che ha favorito l'avvezione di masse di aria calda sulle nostre regioni. Questa tipologia di circolazione è stata accompagnata dall'instaurarsi di **anomalie termiche positive, particolarmente intense nelle regioni centro-meridionali**. Le anomalie pluviometriche sono risultate invece più contenute.

In Veneto dicembre è stato il più caldo in pianura ed è risultato il terzo più caldo considerando l'intera regione, primo per minor numero di giorni di gelo e quindi per le temperature minime più elevate in pianura. Anche in Emilia-Romagna il mese è risultato il più caldo dal 1961. Il primo evento meteorologico rilevante del mese si è verificato il 3 dicembre, quando un impulso di maltempo ha colpito la Sicilia, con precipitazioni intense e persistenti nella seconda parte della giornata, soprattutto sul messinese. I valori di precipitazione cumulata giornaliera hanno superato in molte stazioni di misura i 100 mm e hanno raggiunto un picco di 313 mm, presso

la stazione meteorologica di Novara sulla Strada Statale 185 (ME, 500 m slm).

Tra il 9 e l'11 dicembre in Emilia-Romagna precipitazioni diffuse hanno causato piene su tutti i corsi d'acqua maggiori del settore centrale della regione, senza però generare criticità sul territorio, e frane a Castel di Casio (BO), con disagi alla circolazione viaria, e a Villa Minozzo (RE), dove si è verificata anche la caduta di massi in una zona non abitata.

Le nevicate hanno imbiancato più volte le Alpi nel corso del mese. In Valle d'Aosta, nella prima parte del mese, più volte la neve è arrivata fino a fondo valle, ma poi tra il 22 e il 24 dicembre il vento caldo ha portato temperature insolitamente alte per la stagione (il 24 dicembre massime di 20°C nella valle centrale) e pioggia. Il 23 dicembre sono caduti 70.4 mm di pioggia a Courmayeur-Dolonne (AO, 1200 m slm), un evento piuttosto raro a questa quota e in prossimità del massiccio del Monte Bianco. Queste condizioni meteorologiche hanno portato alla quasi completa fusione della neve sotto 1200-1300 m di quota. Sulle Alpi lombarde il 20 dicembre è stato un giorno eccezionalmente mite: la stazione meteorologica di Livigno La Vallaccia (SO, 2660 m slm) ha registrato una temperatura massima di 6.7°C, secondo valore più elevato del mese di dicembre dal 1993 dopo il 10 dicembre 2016 con 6.9°C. Tra il 24 e il 27 dicembre, a causa di una prolungata avvezione di aria nord africana, anche in Sardegna sono state rilevate anomale temperature superiori a 26°C: 26.4°C a Dolianova Arst (SU, 195 m slm) e 26.2°C a Ollastra RU (OR, 30 m slm) con un picco, pari a 26.7°C, registrato il giorno 25 nella stazione meteorologica San Vito cantoniera S. Barbara (SU, 4 m slm). Negli ultimi 20 anni massime giornaliere così elevate erano state registrate soltanto nel 2009 e 2010.

Il 2022 per l'Italia è stato un anno segnato da diversi eventi idro-meteorologici e meteo-marini intensi, alcuni dei quali con caratteristiche di eventi estremi, e contraddistinto profondamente dalla siccità, che si è propagata a partire dalle regioni settentrionali su gran parte del territorio nazionale. La siccità ha raggiunto intensità eccezionali sul Distretto Idrografico del Fiume



Po e in particolare in Piemonte sul Distretto Idrografico delle Alpi Orientali e, in maniera minore e localizzata, su alcuni territori dei Distretti dell'Appennino Settentrionale e dell'Appennino Centrale ([v. focus siccità](#)). Per il fiume Po il 2022 è stato un anno decisamente sotto la norma, con deflusso annuo a Pontelagoscuro (FE) pari a 551 m<sup>3</sup>/s, inferiore al minimo storico degli ultimi 100 anni. Le portate medie mensili sono risultate sempre inferiori sia alla media storica di lungo periodo (1921-1970), sia alla media storica dell'ultimo periodo (2001-2021). Il 2022 è stato l'anno più caldo della serie per la persistenza di condizioni di blocco di larga scala che ha determinato su gran parte del territorio italiano anomalie termiche positive per diversi mesi.

Nonostante la persistenza di queste condizioni atmosferiche si sono verificati alcuni eventi che hanno causato un alto numero di vittime. Proprio a causa del cambiamento climatico il territorio può trovarsi esposto a calamità e condizioni meteo-climatiche rare, talvolta difficilmente prevedibili anche con i più aggiornati strumenti modellistici come accaduto nel caso dell'alluvione della Regione Marche, e pertanto cogliere impreparati anche i nostri esercitati sistemi di protezione civile causando gravissimi danni sia in termini di vite umane che economici.

Una mappa di sintesi degli eventi significativi del 2022 è disponibile al link: <http://mappaestremi.isprambiente.it>



Figura 2.5: Scarsissimo innevamento sui pendii di Torgnon in Valtoumenche, Valle d'Aosta il 4 marzo 2022 (Cortesia Regione Autonoma Valle d'Aosta).



Figura 2.6: La sabbia del Sahara colora il cielo in Provincia di Bolzano il 15 marzo 2022 (Cortesia Provincia Autonoma di Bolzano).



Figura 2.7: Po a Murazzi il 1° maggio 2022 (Cortesia Arpa Piemonte).



Figura 2.8: Colate detritiche in Val di Fassa a seguito delle intense precipitazioni del 5 agosto 2022 (Cortesia Provincia Autonoma di Trento).



Figura 2.9: Danni causati dalla violenta grandinata del 18 agosto 2018 sul territorio del Comune di Sestri Levante (GE) (Cortesia Luca Onorato – ARPA Liguria, C. Monteverde – A.P.S. Osservatorio Raffaelli dal 1883).



Figure 2.10: Danni sul Cesano a Pergola (PU) nelle Marche dopo le precipitazioni del 15 settembre 2022 (Cortesia della Protezione Civile Regionale della Regione Marche).

## 3 TEMPERATURA

### 3.1 ANNO 2022

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 2022 sono compresi tra i  $-3.8^{\circ}\text{C}$  della stazione sinottica di Pian Rosà (AO, 3488 m slm) e i  $21.0^{\circ}\text{C}$  della stazione di Lampedusa (AG, Rete Sinottica).

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  $-23^{\circ}\text{C}$  è stato rilevato dalla stazione sinottica di Pian Rosà.

La temperatura massima assoluta più elevata, pari a  $46.8^{\circ}\text{C}$ , è stata rilevata il 18 agosto nella stazione di Monreale (PA, 630 m slm) della Rete SIAS; valori elevati di temperatura massima, superiori a  $42^{\circ}\text{C}$ , sono stati rilevati nello stesso giorno sempre in Sicilia.

L'andamento della temperatura media in Italia nel corso del 2022 è illustrato dalle figure 3.4 e 3.5.

Temperature medie superiori al valore normale 1991-2020 hanno interessato tutti i mesi dell'anno, a esclusione di marzo e aprile. **Marcate anomalie positive, superiori a  $2^{\circ}\text{C}$ , si sono registrate a giugno, luglio, ottobre e dicembre, con il picco di  $+3.09^{\circ}\text{C}$  a giugno.** I mesi di maggio, giugno e luglio si collocano tutti al secondo posto fra i più caldi delle rispettive serie mensili dal 1961, mentre **ottobre e dicembre sono stati i più caldi delle rispettive serie mensili dal 1961.** L'anomalia negativa più marcata si è avuta a marzo ( $-1.23^{\circ}\text{C}$ ).

La temperatura media annuale (Figura 3.5) è stata superiore alla media 1991-2020 ovunque: al Nord ( $+1.39^{\circ}\text{C}$ ), al Centro ( $+1.23^{\circ}\text{C}$ ) e al Sud e Isole ( $+1.06^{\circ}\text{C}$ ).

**Tutti i mesi da maggio fino a dicembre sono stati più caldi della media,** con il valore più alto di anomalia registrato a ottobre al Nord ( $+3.37^{\circ}\text{C}$ ), e a giugno al

Centro ( $+3.41^{\circ}\text{C}$ ) e al Sud e Isole ( $+3.28^{\circ}\text{C}$ ). Marzo e aprile hanno fatto invece registrare ovunque anomalie negative, con il valore più basso a marzo ( $-0.77^{\circ}\text{C}$  al Nord,  $-1.39^{\circ}\text{C}$  al Centro e  $-1.60^{\circ}\text{C}$  al Sud e Isole).

Le anomalie spazializzate della temperatura media nel 2022 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.

### 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 2022 è risultato **l'anno più caldo della serie** dal 1961, con una marcata anomalia positiva di temperatura media di  **$+1.23^{\circ}\text{C}$ , superando di  $0.58^{\circ}\text{C}$  il precedente record assoluto del 2018, e di  $1.0^{\circ}\text{C}$  il valore del precedente anno 2021.**

A partire dal 2000 le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state quasi sempre positive: fanno eccezione quattro anni (2004, 2005, 2010 e 2013); il 2022 è stato inoltre il nono anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

Il 2022 si colloca al primo posto della serie anche per l'anomalia della temperatura massima ( $+1.42^{\circ}\text{C}$ ) e per l'anomalia di temperatura minima ( $+1.03^{\circ}\text{C}$ ).

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

All'anomalia positiva della temperatura media annuale del 2022 ha contribuito in maniera più marcata l'estate, che, con il valore di  $+2.18^{\circ}\text{C}$  sopra la media, si colloca al secondo posto della serie dal 1961 (dopo il 2003), seguita dall'autunno ( $+1.38^{\circ}\text{C}$ ), al primo posto della serie dal 1961, e dall'inverno ( $+0.58^{\circ}\text{C}$ ); la primavera ha fatto registrare invece un'anomalia molto prossima alla media climatologica 1991-2020. Nella Tabella 1 vengono riportate le stime aggiornate dei **trend di temperatura** calcolati con un modello di regressione lineare. Poiché si fa risalire all'inizio degli anni '80 un cambiamento del trend di temperatura, quando ha inizio un periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell'ultimo secolo (Toreti e Desiato, 2007), i trend sono calcolati sul periodo 1981-2022. 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  $(+0.39 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$  anni**, della temperatura massima di  $(+0.41 \pm 0.05)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e della temperatura minima di  $(+0.36 \pm 0.04)^{\circ}\text{C} / 10$  anni. Su base stagionale i maggiori trend positivi per la temperatura si registrano in estate ( $+0.60 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e primavera ( $+0.35 \pm 0.09)^{\circ}\text{C} / 10$  anni, seguiti da autunno ( $+0.32 \pm 0.08)^{\circ}\text{C} / 10$  anni e inverno ( $0.29 \pm 0.10)^{\circ}\text{C} / 10$  anni.

### 3.3 ESTREMI

Per un'analisi sistematica degli estremi di temperatura, sono stati presi in considerazione alcuni indici definiti da uno specifico Gruppo di Lavoro della Commissione per la Climatologia dell'OMM (Peterson et al., 2001, Toreti e Desiato, 2008). I criteri di selezione delle serie di dati italiani utili e i metodi di calcolo degli indici, che riprendono quelli di valutazioni analoghe a scala globale o continentale (Alexander et al., 2006; Klein Tank e Können, 2003), sono descritti in dettaglio in Desiato et al. (2013). Anche questi indici sono stati calcolati per gruppi di stazioni distribuite in modo abbastanza uniforme sul territorio nazionale e che soddisfano requisiti di completezza e omogeneità delle serie temporali. I valori medi nazionali degli indici e, conseguentemente, anche

le relative anomalie, dipendono naturalmente dal campione, cioè dalla composizione dei gruppi di stazioni di cui è stato possibile utilizzare i dati. Pertanto, l'elemento significativo da cogliere in ciascuna delle figure 3.11-3.18, che riportano le anomalie degli indici rispetto all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020, non è rappresentato dai singoli valori numerici, ma dal confronto tra i valori nei diversi anni, cioè dall'andamento temporale delle serie di anomalia di ciascun indice. Per un'analisi dettagliata dei dati e dei metodi di stima degli estremi di temperatura in Italia si rimanda a Fioravanti et al. (2015).

Nel 2022 il numero medio di giorni con gelo (numero medio di giorni con temperatura minima minore o uguale a  $0^{\circ}\text{C}$ ) ha fatto registrare un'anomalia di -6.1 giorni rispetto alla media 1991-2020 e si colloca al nono posto fra i più bassi della serie dal 1961 (Figura 3.11).

Per il numero medio di **notti tropicali** (con temperatura minima maggiore di  $20^{\circ}\text{C}$ , Figura 3.12) e numero medio di **giorni estivi** (con temperatura massima superiore a  $25^{\circ}\text{C}$ , Figura 3.13), il 2022 si colloca al **primo posto** tra i più alti della serie dal 1961, rispettivamente con +22 giorni e con +23 giorni rispetto norma, superando in entrambi i casi il precedente record del 2003. Il numero medio di **giorni torridi** (con temperatura massima superiore a  $35^{\circ}\text{C}$ , Figura 3.14) ha fatto registrare il **secondo valore più alto della serie**, dopo il 2003, 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  $90^{\circ}$  percentile della distribuzione nel periodo climatologico di riferimento, per almeno sei giorni consecutivi. L'indice identifica perciò periodi prolungati e intensi di caldo nel corso dell'anno. I valori dei percentili sono calcolati su una finestra di 5 giorni centrata su ogni giorno dell'anno. A differenza degli indici basati su un valore soglia prefissato, questo indice, conteggiando le eccedenze rispetto ad una soglia definita dal percentile, è rappresentativo delle variazioni del clima locale. Il WSDI, che individua i periodi di caldo in senso relativo, che possono verificarsi in qualunque stagione, ha fatto registrare nel 2022 un'anomalia media nazionale pari a +47.3 giorni rispetto alla media climatologica 1991-2020 (Figura 3.15). **Per l'indice**

**WSDI il 2022 si colloca al primo posto tra i più alti della serie dal 1961**, superando il precedente record del 2003 di quasi 12 giorni, a conferma di un anno con anomalie termiche superiori alla media in quasi tutti i mesi.

Altri indici di estremi di temperatura, che si basano sul confronto con la distribuzione statistica dei valori normali, sono le notti fredde (TN10p, percentuale di giorni in un anno con temperatura minima inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione sul periodo climatologico), i giorni freddi (TX10p, percentuale di giorni con temperatura massima inferiore al 10° percentile), le notti calde (TN90p, percentuale di giorni con temperatura minima superiore al 90° percentile) e i giorni caldi (TX90p, percentuale di giorni con temperatura massima superiore al 90° percentile). Come illustrato dalle figure 3.16-3.19 le **notti e i giorni freddi** mostrano una **chiara tendenza a diminuire**, mentre i **giorni e le notti calde** mostrano una **chiara tendenza ad aumentare**.

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

2020, mentre le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.

In particolare, nel 2022 **le notti e i giorni caldi hanno fatto registrare entrambi il valore più alto della serie dal 1961**, mentre **i giorni freddi hanno fatto registrare il valore più basso della serie dal 1961**.

In generale, dall'analisi degli indici estremi emerge un forte segnale di riscaldamento nel 2022, coerentemente con quanto rilevato per i valori medi di temperatura.

Tabella 1: Trend (e relativo errore standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2022, stimati con un modello di regressione lineare semplice. Tutti i trend sono statisticamente significativi al livello del 5%. Fonte: Elaborazione ISPRA.

| Indicatore                  | Trend (°C/10 anni) |
|-----------------------------|--------------------|
| Temperatura media           | +0.39 ± 0.04       |
| Temperatura minima          | +0.36 ± 0.04       |
| Temperatura massima         | +0.41 ± 0.05       |
| Temperatura media inverno   | +0.29 ± 0.10       |
| Temperatura media primavera | +0.35 ± 0.09       |
| Temperatura media estate    | +0.60 ± 0.09       |
| Temperatura media autunno   | +0.32 ± 0.08       |



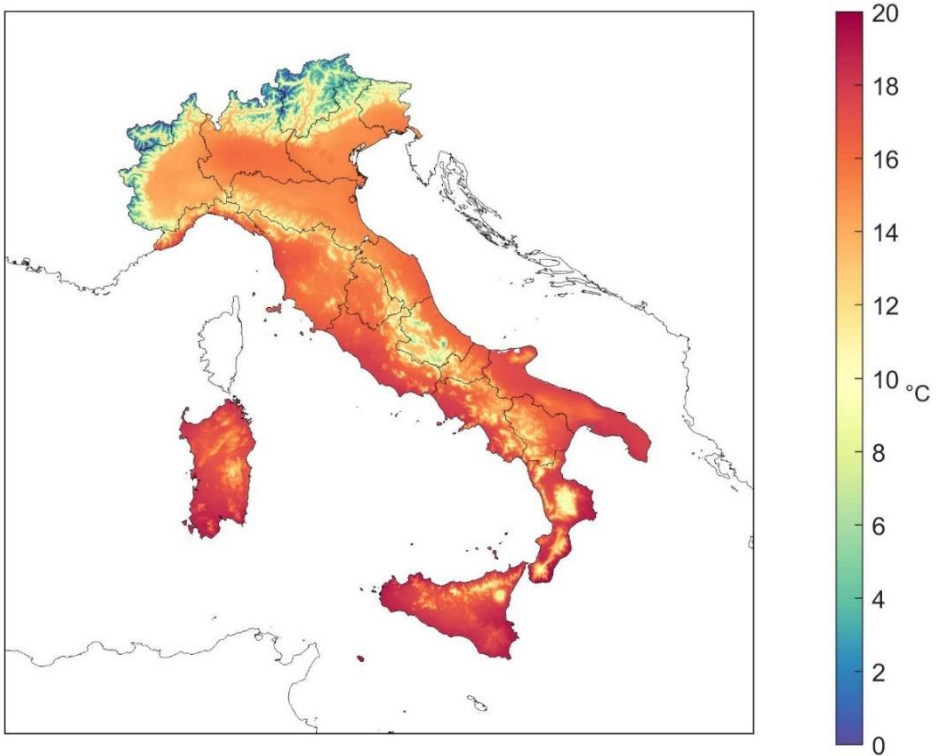


Figura 3.1: Temperatura media 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

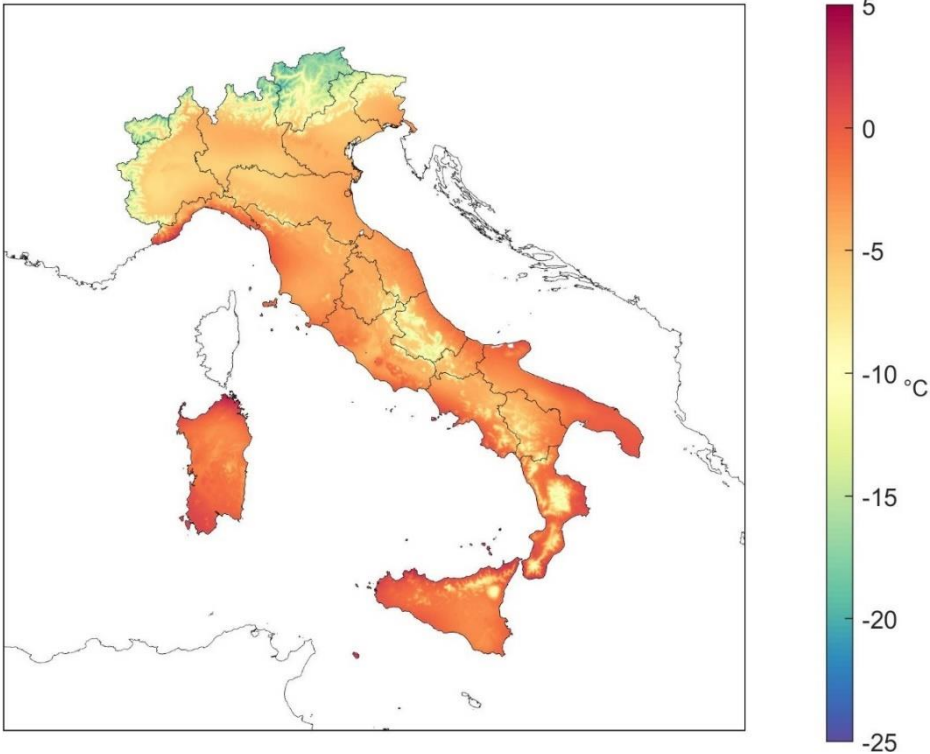


Figura 3.2: Temperatura minima assoluta 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

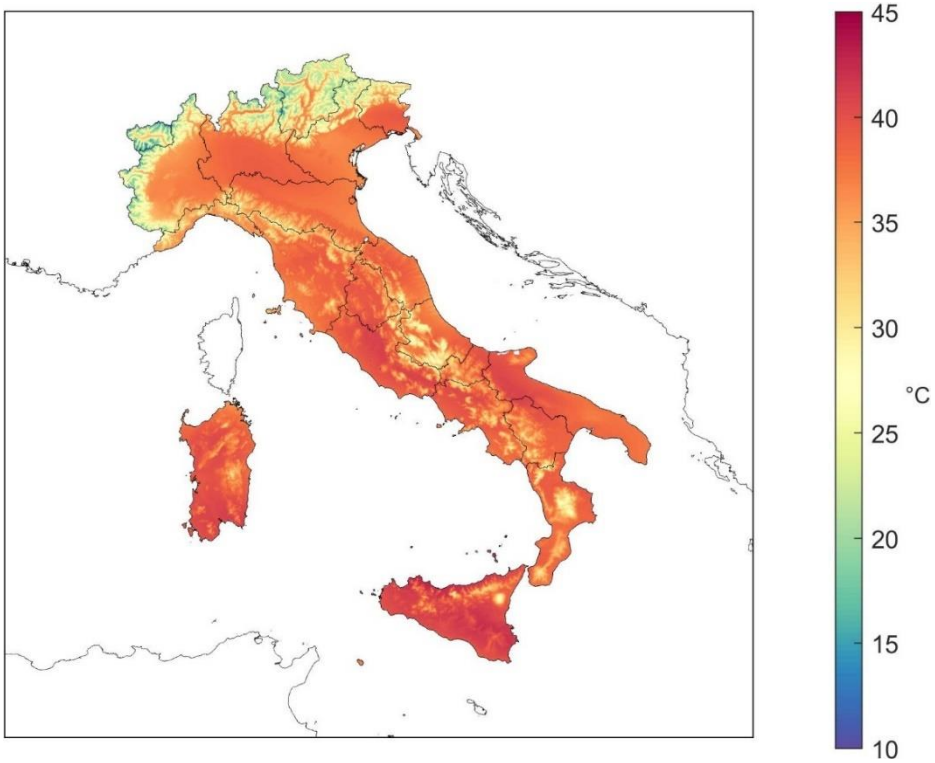


Figura 3.3: Temperatura massima assoluta 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

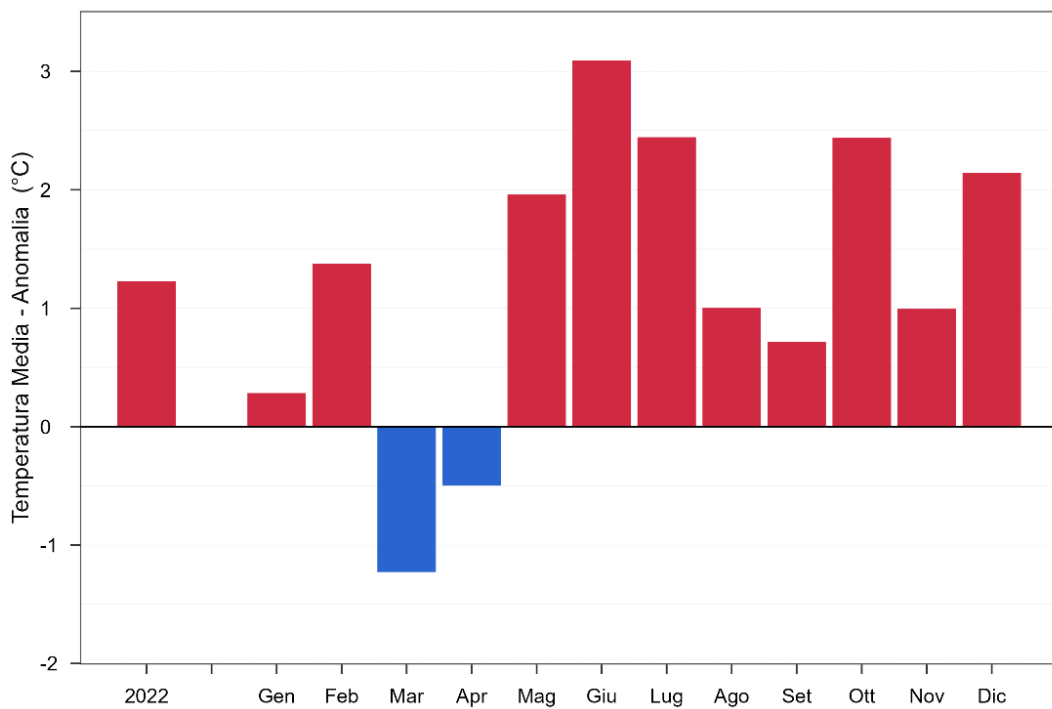


Figura 3.4: Anomalia media 2022 in Italia (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

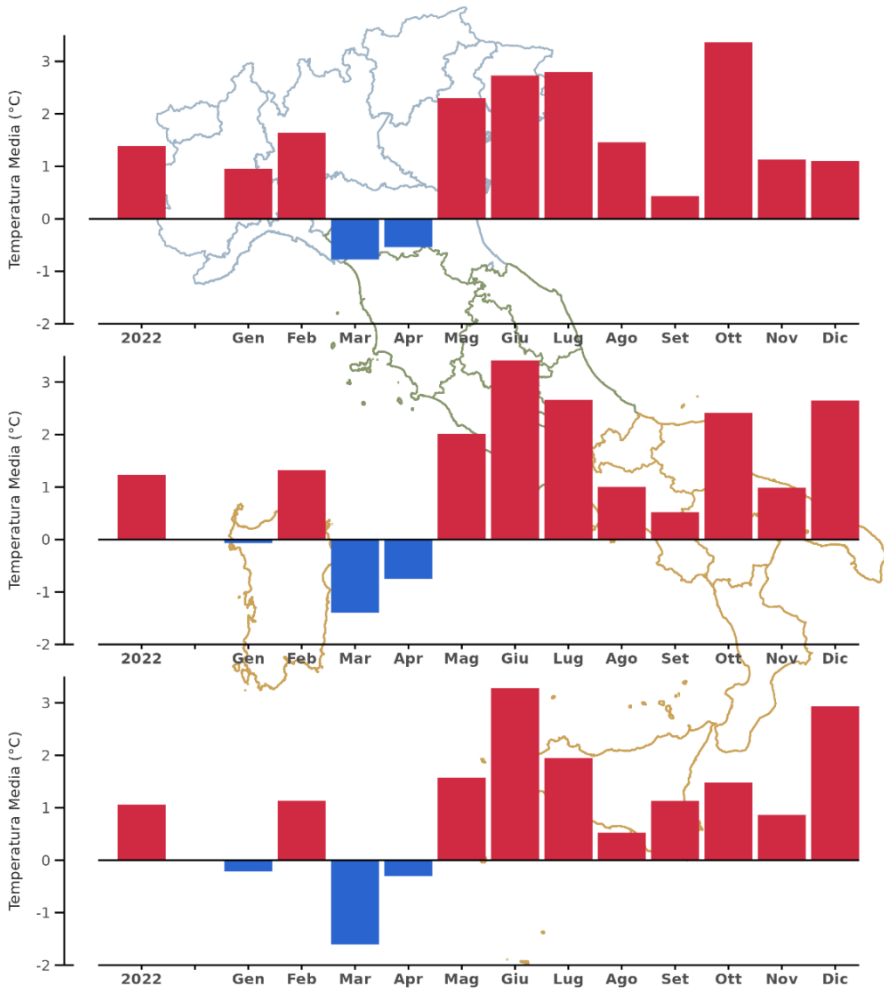


Figura 3.5: Anomalia media 2022 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1991-2020 – Nord, Centro, Sud e Isole.  
Fonte: Elaborazione ISPRA.

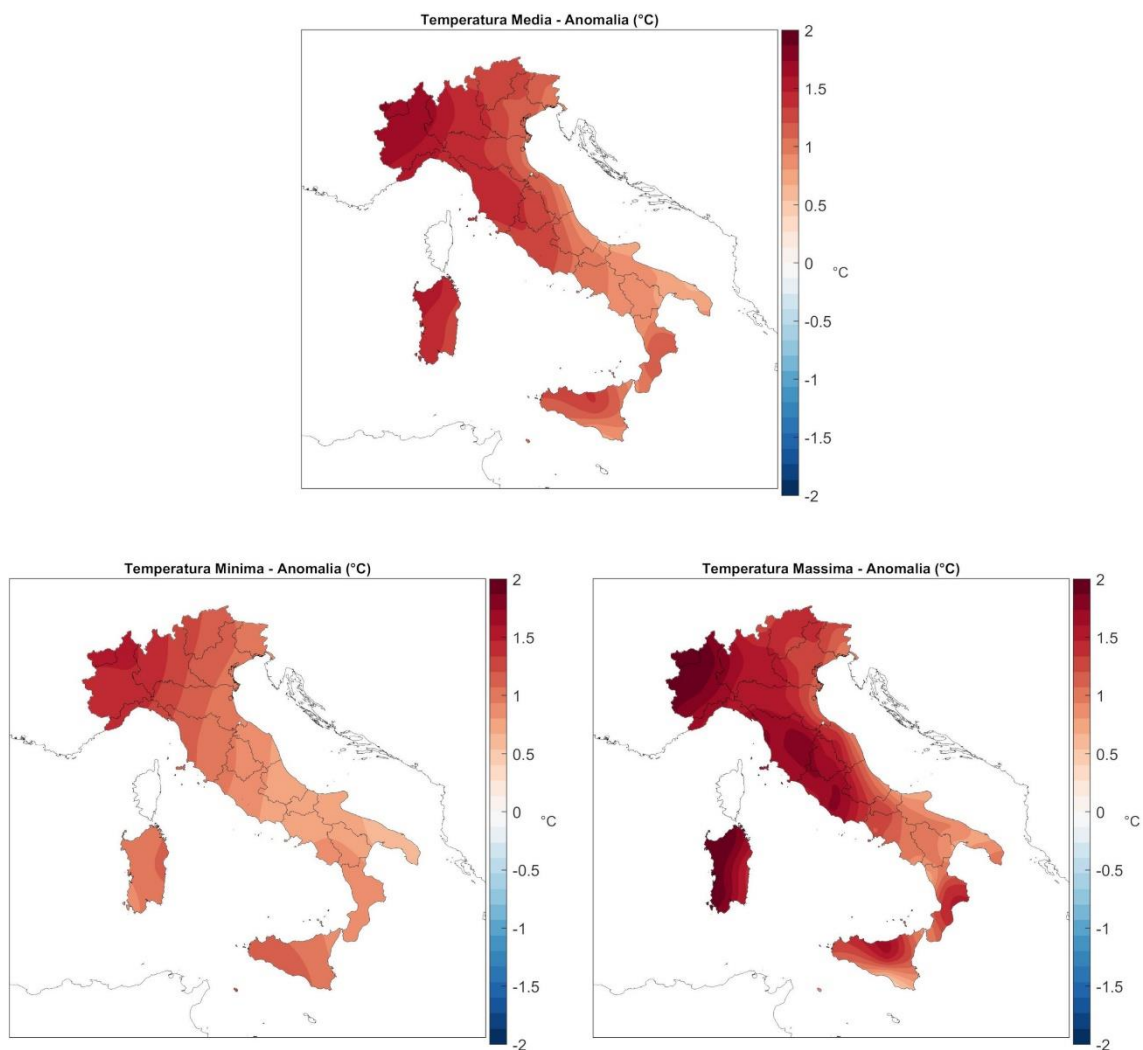


Figura 3.6: Anomalia della temperatura media, minima e massima annuale 2022 rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

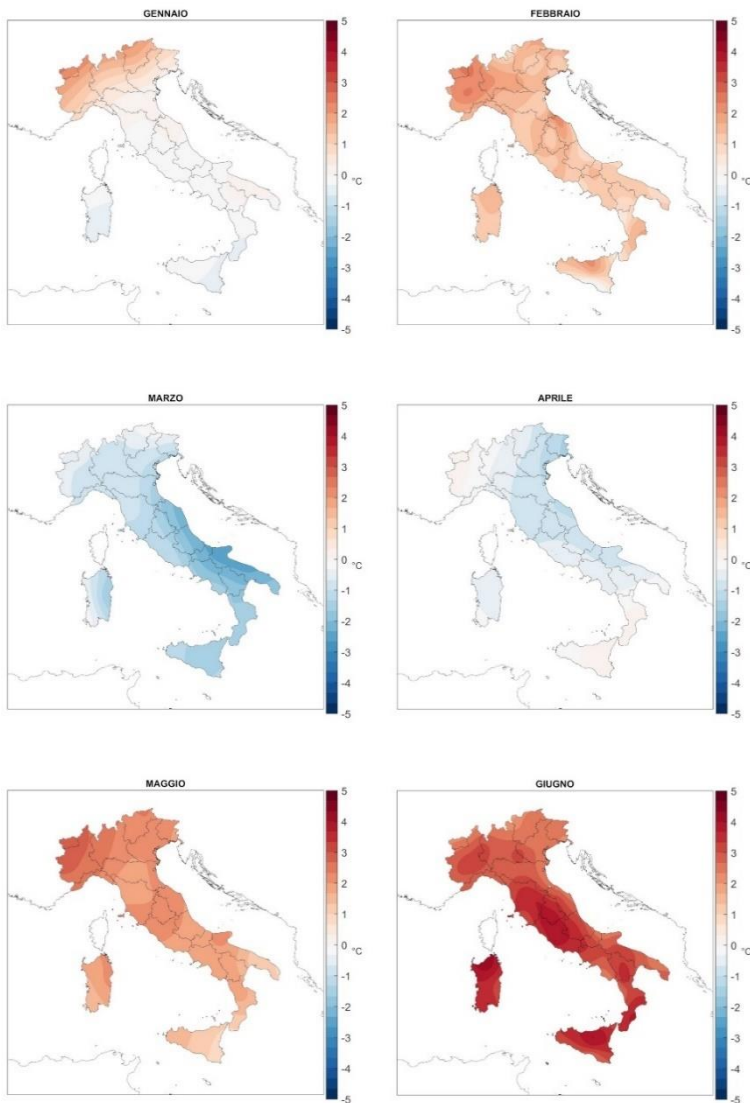


Figura 3.7a: Anomalie della temperatura media mensile 2022 rispetto ai valori normali 1991-2020 (gennaio-giugno). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe. Fonte: Elaborazione ISPRA.

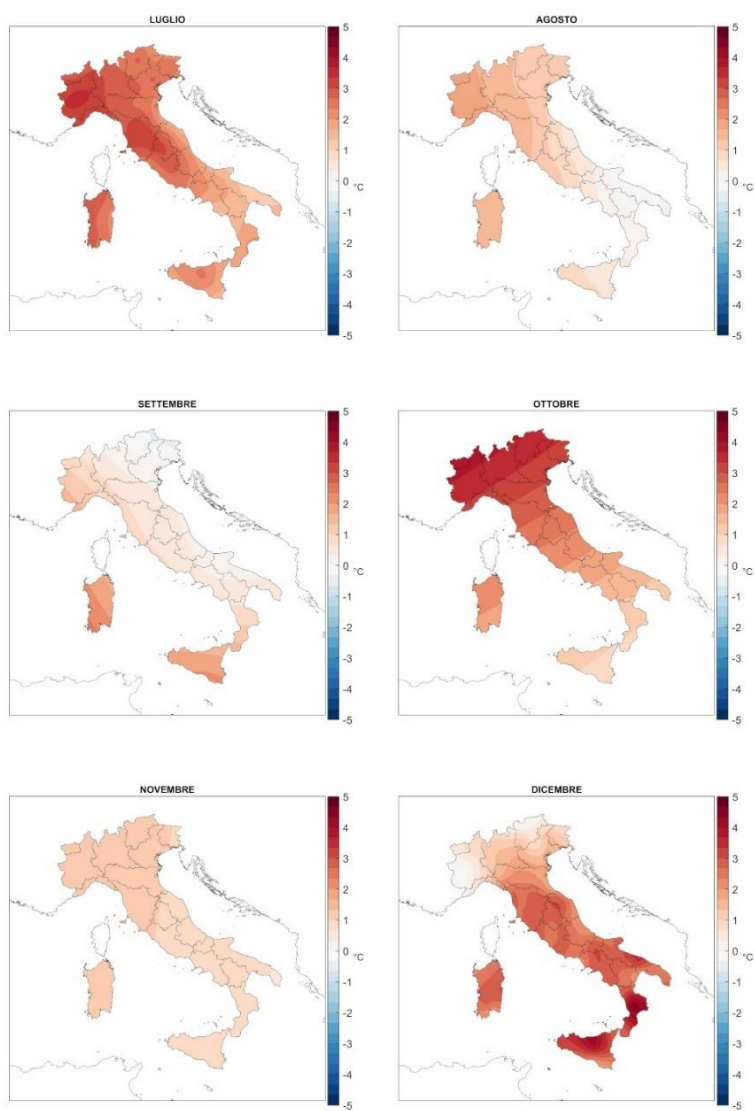
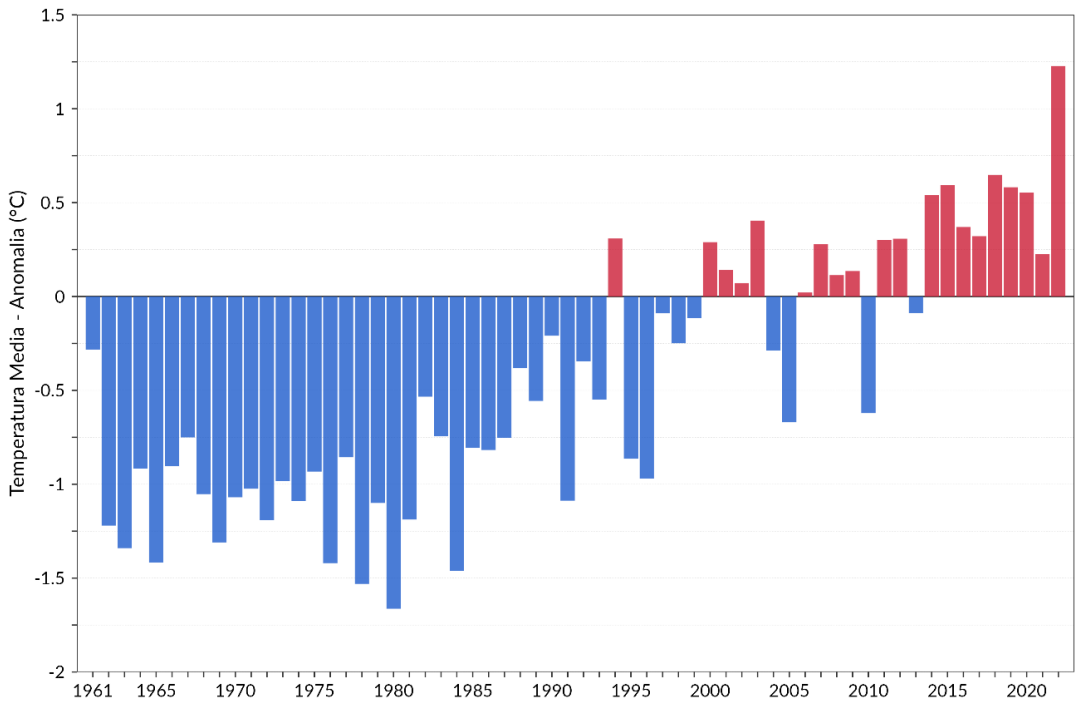


Figura 3.7b: Anomalie della temperatura media mensile 2022 rispetto ai valori normali 1991-2020 (luglio-dicembre). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe. Fonte: Elaborazione ISPRA.





Figura

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

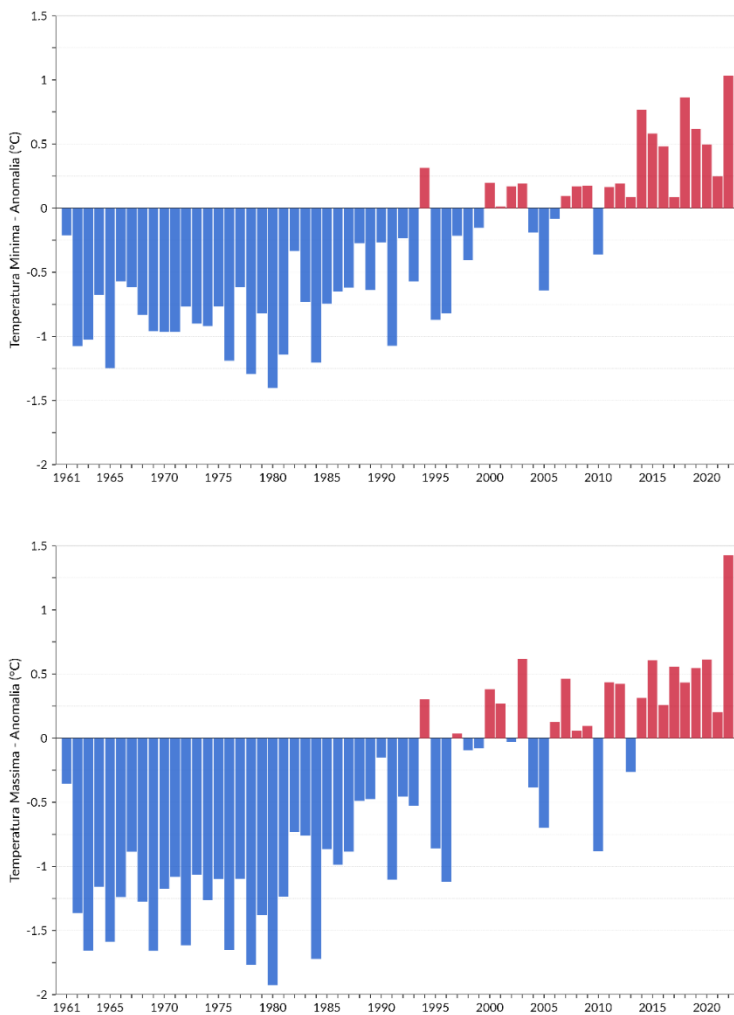


Figura 3.9: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura minima e massima in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

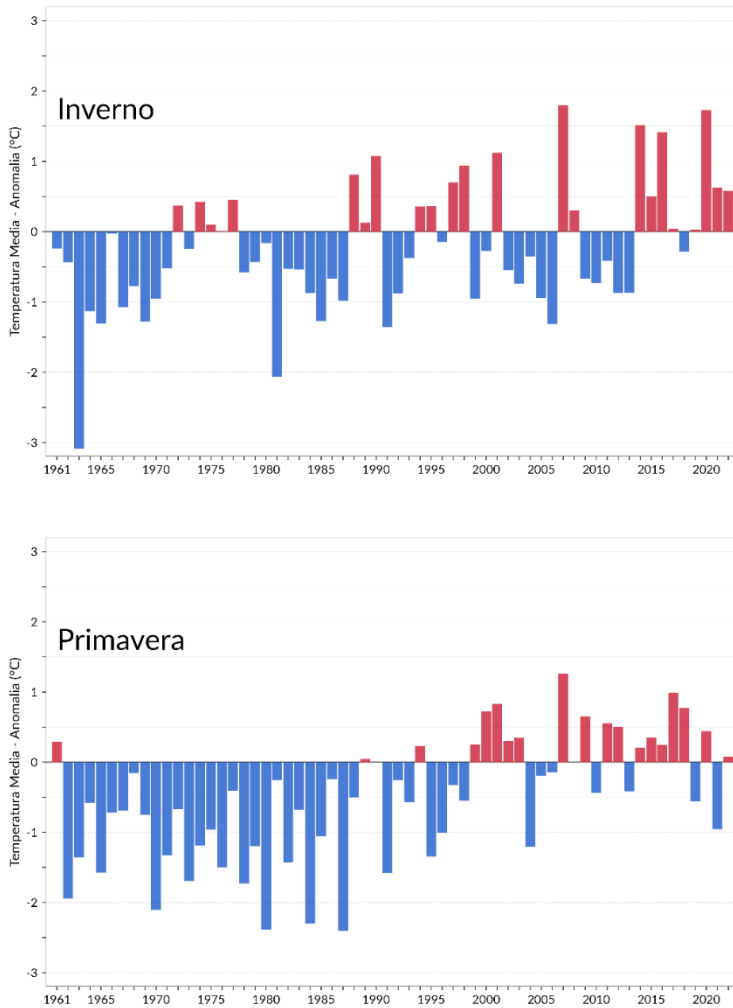


Figura 3.10a: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (inverno e primavera). Per l'inverno, la temperatura media stagionale viene calcolata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente. Fonte: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

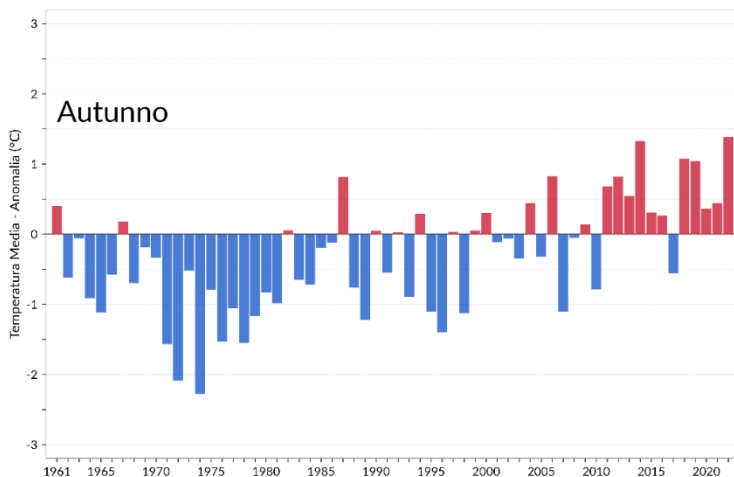
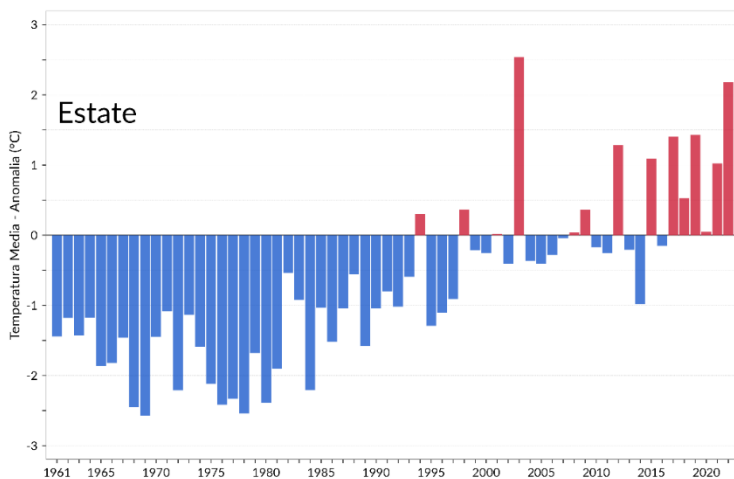


Figura 3.10b: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (estate e autunno).  
Fonte: Elaborazione ISPRA.

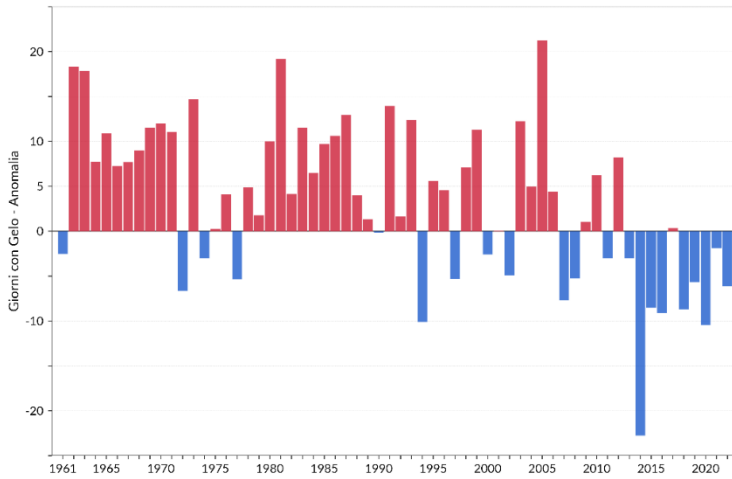


Figura 3.11: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con gelo<sup>1</sup> in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

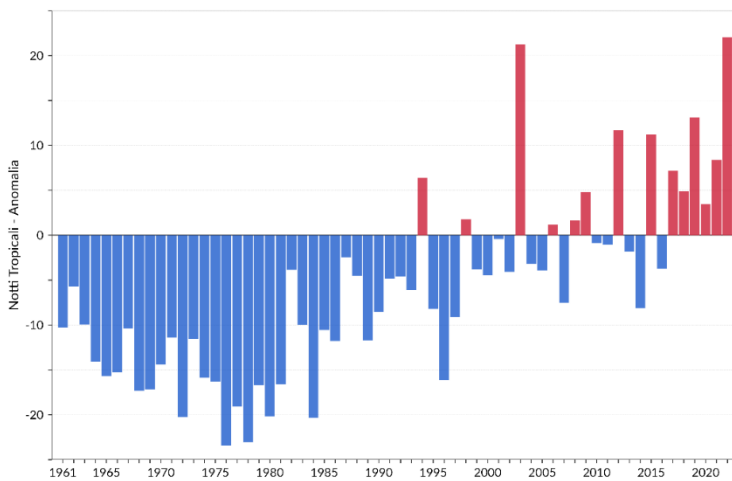


Figura 3.12: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali<sup>2</sup> in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>1</sup> Numero di giorni l'anno con temperatura minima giornaliera <0°C

<sup>2</sup> Numero di giorni l'anno con temperatura minima giornaliera > 20°C

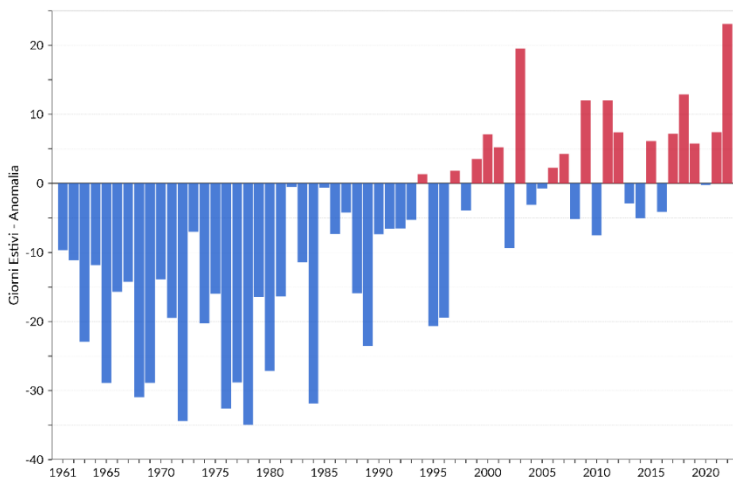


Figura 3.13: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi<sup>3</sup> in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

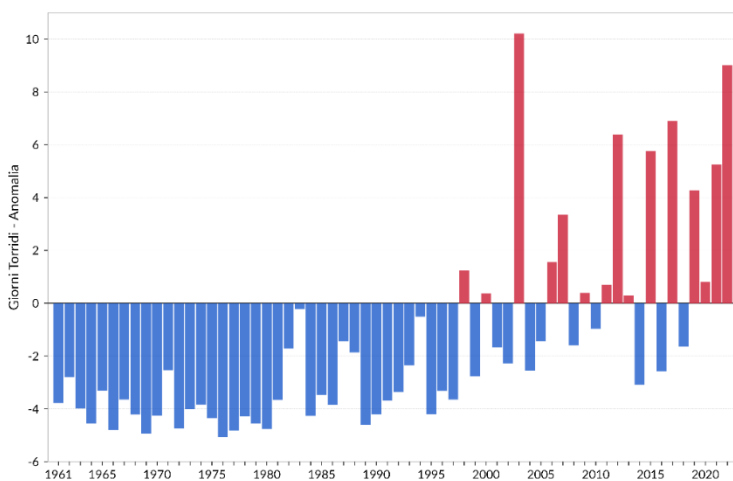


Figura 3.14: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni torridi<sup>4</sup> in Italia rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>3</sup> Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera > 25°C

<sup>4</sup> Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera >30°C

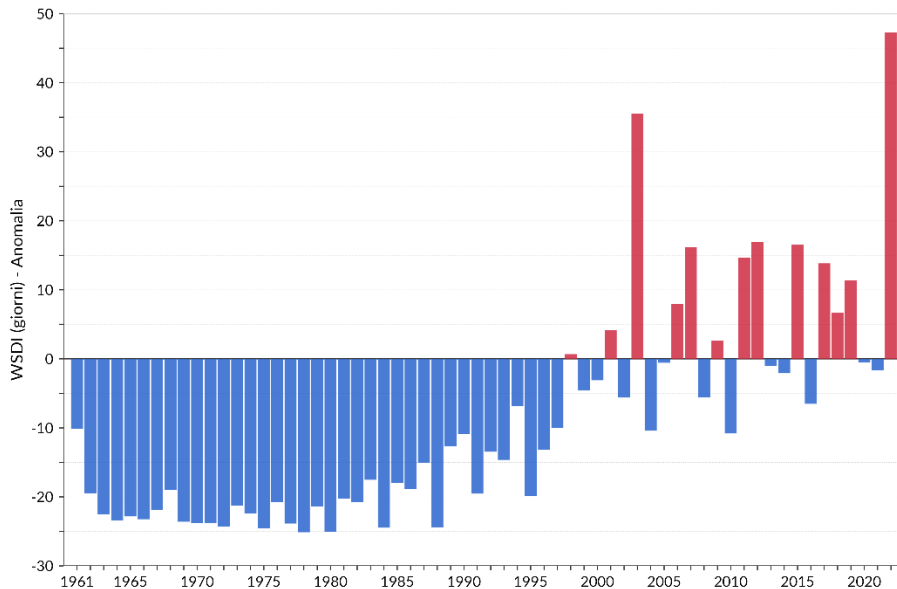


Figura 3.15: Serie delle anomalie medie annuali dell'indice WSDI (Warm Spell Duration Index)<sup>5</sup> in Italia rispetto al valore normale 1991-2020.

Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>5</sup> Numero di giorni l'anno con temperatura massima giornaliera > 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico di riferimento, per almeno sei giorni consecutivi

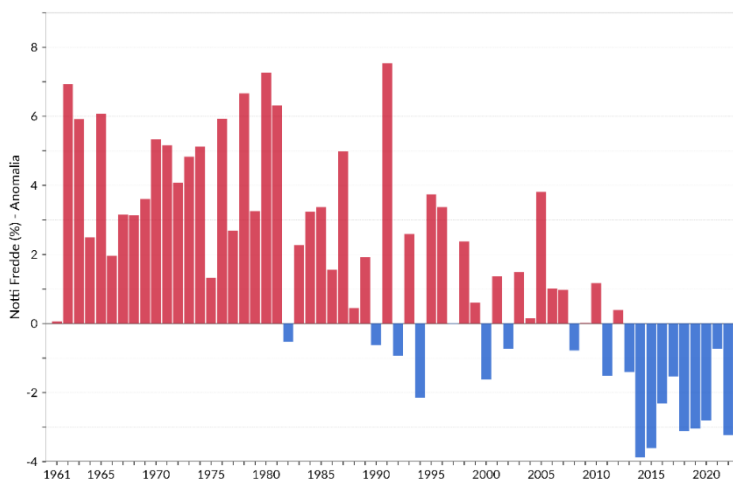


Figura 3.16: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti fredde in Italia (TN10p)<sup>6</sup>, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

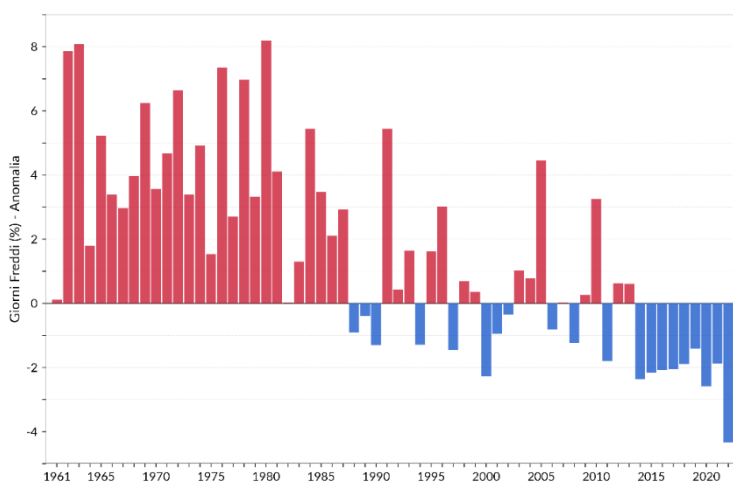


Figura 3.17: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni freddi in Italia (TX10p)<sup>7</sup>, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>6</sup> Percentuale di giorni l'anno con temperatura minima < 10° percentile della distribuzione del periodo di riferimento

<sup>7</sup> Percentuale di giorni l'anno con temperatura massima < 10° percentile della distribuzione del periodo di riferimento



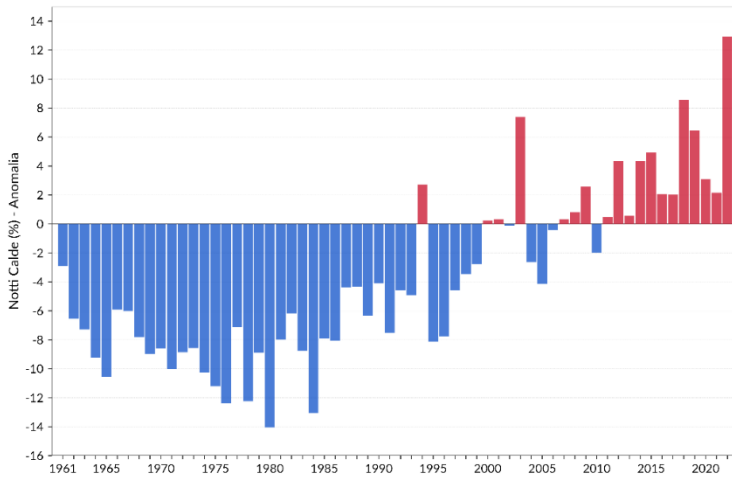


Figura 3.18: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti calde in Italia (TN90p)<sup>8</sup>, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

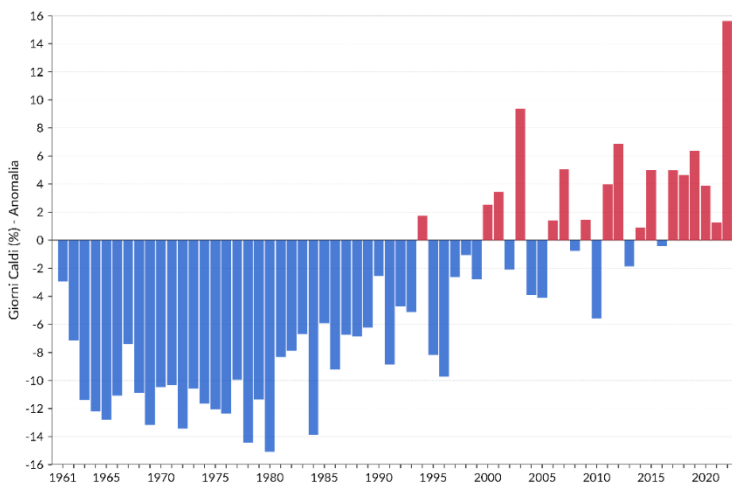


Figura 3.19: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni caldi in Italia (TX90p)<sup>9</sup>, espresso in % di giorni/anno, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>8</sup> Percentuale di giorni l'anno con temperatura minima > 90° percentile della distribuzione del periodo di riferimento

<sup>9</sup> Percentuale di giorni l'anno con temperatura massima > 90° percentile della distribuzione del periodo di riferimento

## 4 TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

Gli indicatori 2022 della temperatura superficiale dei mari italiani (SST – Sea Surface Temperature) sono stati elaborati a partire dai dati forniti dalla piattaforma del Copernicus Marine Service. Il prodotto utilizzato consiste nella stima della SST su un grigliato regolare con passo orizzontale di 0.05°, ottenuta dall'interpolazione di dati satellitari<sup>10</sup>. Il periodo coperto dal prodotto va dal 1982 al 2022 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 2022, così ottenuti, sono compresi tra 19.1°C del Mar Adriatico e 21.0°C del Canale di Sicilia (Figura 4.2).

I valori mensili più bassi si registrano per tutti i mari tra febbraio e marzo; luglio e agosto segnano invece i valori più alti. Il valore medio mensile minimo è stato registrato nel Mar Adriatico nel mese di marzo (12.9°C), quello massimo nel Mar Tirreno ad agosto (28.3°C).

I valori della temperatura media per il 2022 sono inoltre riportati nella Figura 4.3. Oltre al normale gradiente di temperatura che segue la latitudine, è ben visibile un'area più calda localizzata nel basso Tirreno. L'Adriatico settentrionale risulta invece la zona più fredda tra i mari italiani, compatibile con il consistente afflusso di acqua dolce dai bacini, fra i quali quelli del Po, dell'Adige, del Piave.

Considerata nel suo insieme, la **temperatura superficiale dei mari italiani nel 2022** (Figura 4.4) è stata superiore alla media climatologica 1991-2020; le **anomalie medie sono state positive in tutti i mesi a eccezione di aprile** (-0.18°C), con i massimi scostamenti positivi dai valori normali a giugno e luglio (+2.11°C entrambi).

Con un'anomalia media di **+1.0°C rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1991-2020**, il 2022 si configura come il **massimo assoluto dell'intera serie**

**dal 1982** (Figura 4.5). Escludendo il 2003, gli ultimi dodici anni hanno registrato le anomalie positive più elevate di tutta la serie.

Le anomalie riportate nelle figure precedenti mostrano una generale tendenza di aumento della SST nei mari italiani, con valori particolarmente pronunciati nel 2022. I mari italiani, tuttavia, mostrano importanti differenze nella distribuzione di tali valori (Figura 4.6). A fronte di aree con anomalie meno pronunciate (basso Adriatico e basso Ionio), si nota un evidente incremento (fino a 2°C) rispetto al periodo di riferimento nel tratto di mare compreso tra il Mar Ligure e il Mare di Sardegna.

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, vede confermare il **Mar Ligure** come un'area **fortemente soggetta a riscaldamento**, che raggiunge **trend prossimi a +0.5°C / 10 anni**. Anche l'area del **Golfo di Taranto** e l'intero bacino dell'**Adriatico** mostrano una significativa tendenza al riscaldamento. I valori più bassi, ma comunque positivi, si registrano nel canale di Sicilia.

<sup>10</sup> <https://doi.org/10.48670/moi-00173>

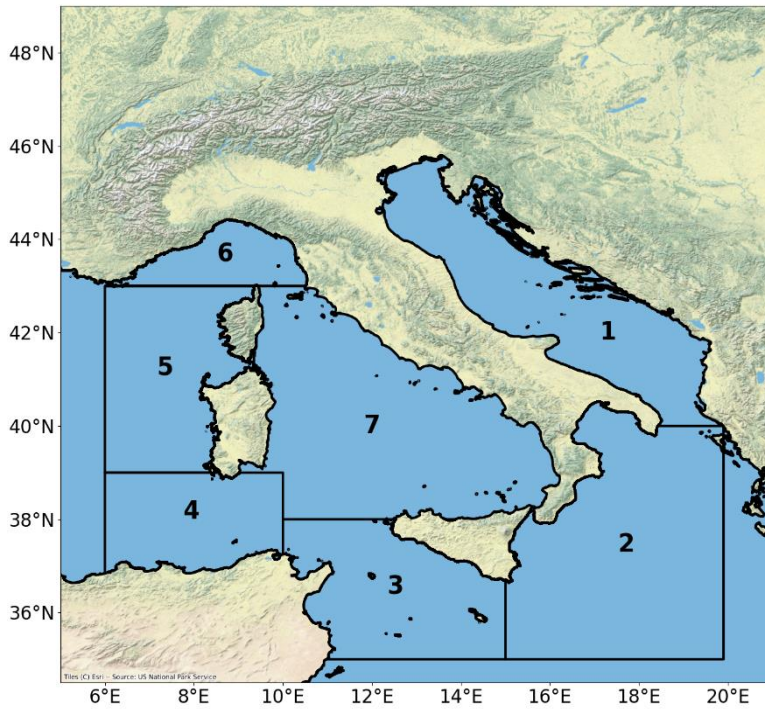


Figura 4.1: Regioni selezionate per l'analisi della temperatura media dei mari italiani. 1: Mar Adriatico, 2: Mar Ionio, 3: Canale di Sicilia, 4: Canale di Sardegna, 5: Mare di Sardegna, 6: Mar Ligure, 7: Mar Tirreno.

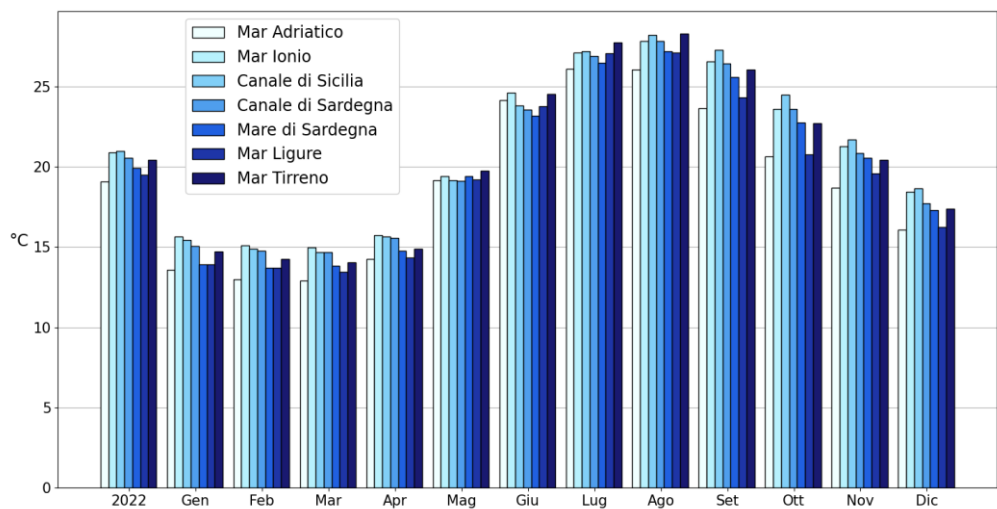


Figura 4.2: Temperatura media superficiale del mare nel 2022 in Italia (annuale e mensile). Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service Copernicus.

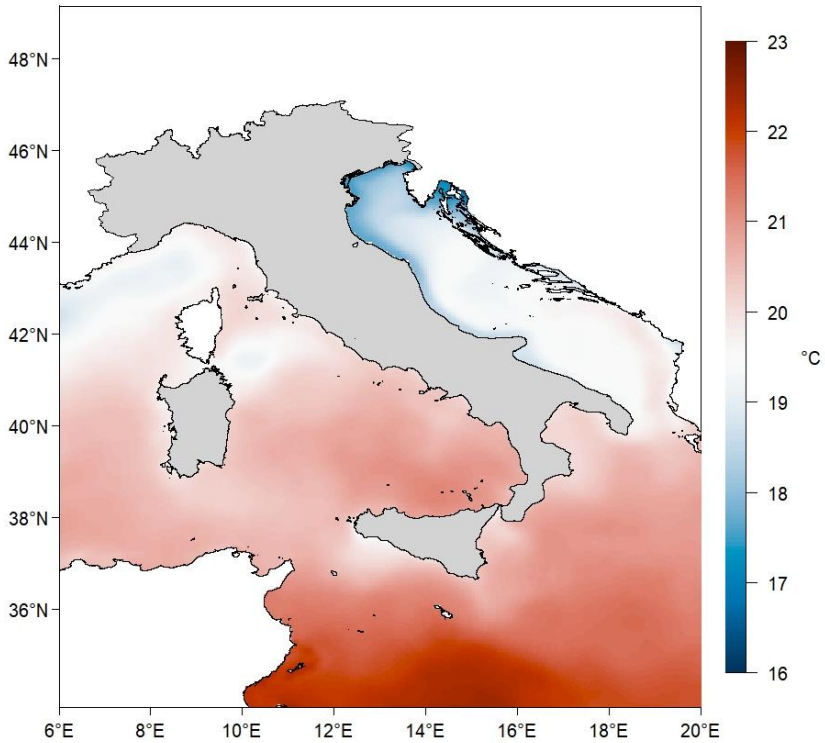


Figura 4.3: Temperatura media superficiale del mare nel 2022 in Italia. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service.

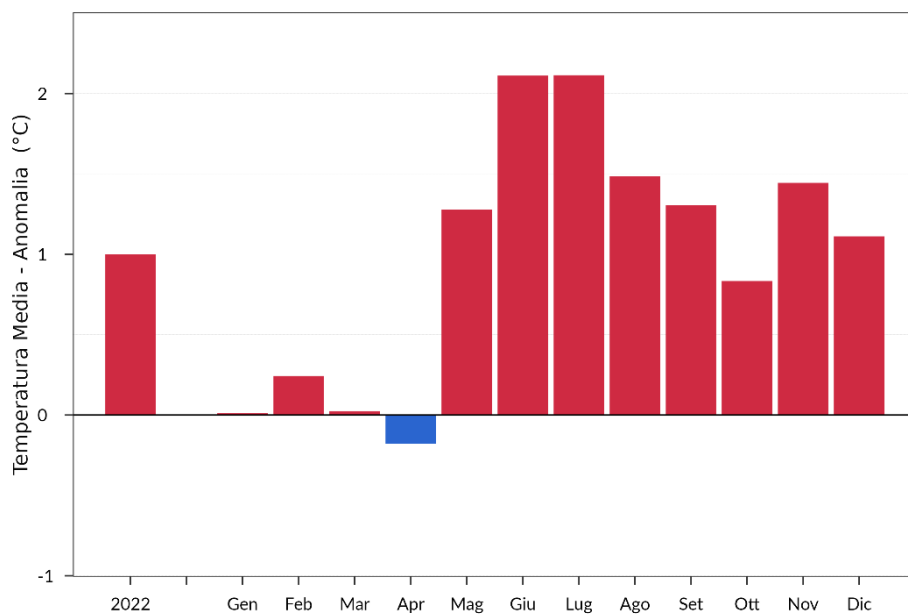


Figura 4.4: Anomalia media 2022 (annuale e mensile) della temperatura media superficiale dei mari italiani rispetto al valore normale 1991-2020.  
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service.

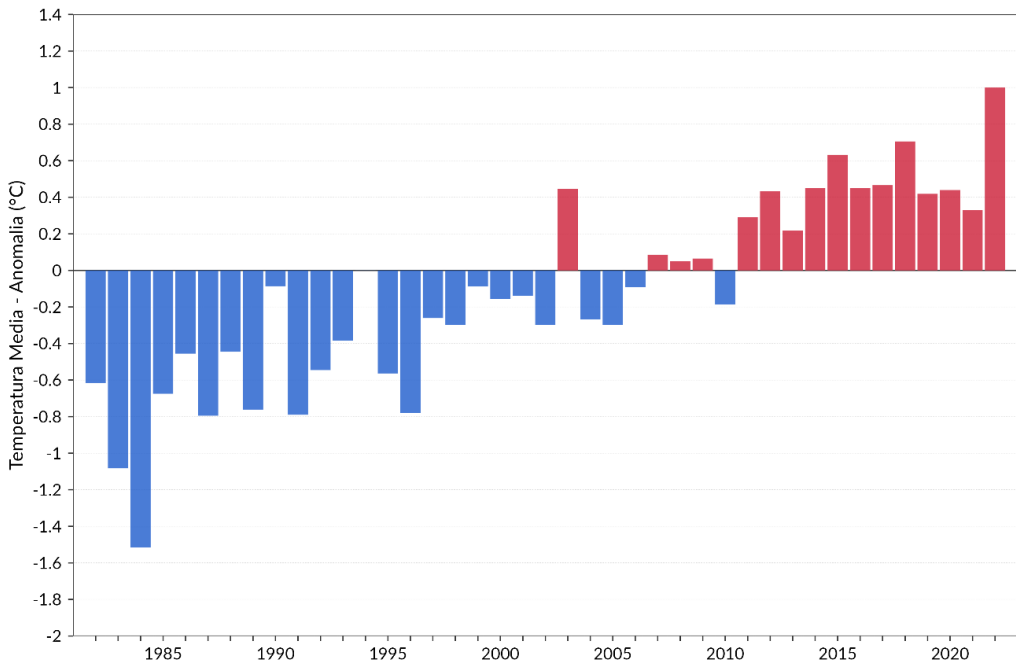


Figura 4.5: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media superficiale dei mari italiani, nell'intervallo 1982-2022, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service.

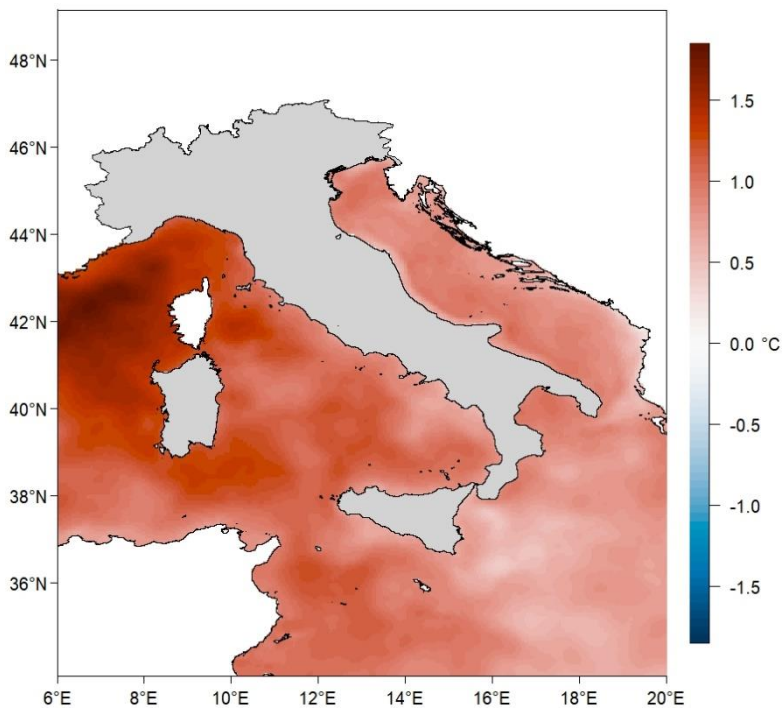


Figura 4.6: Anomalia media annuale 2022 della temperatura media superficiale dei mari italiani, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service.



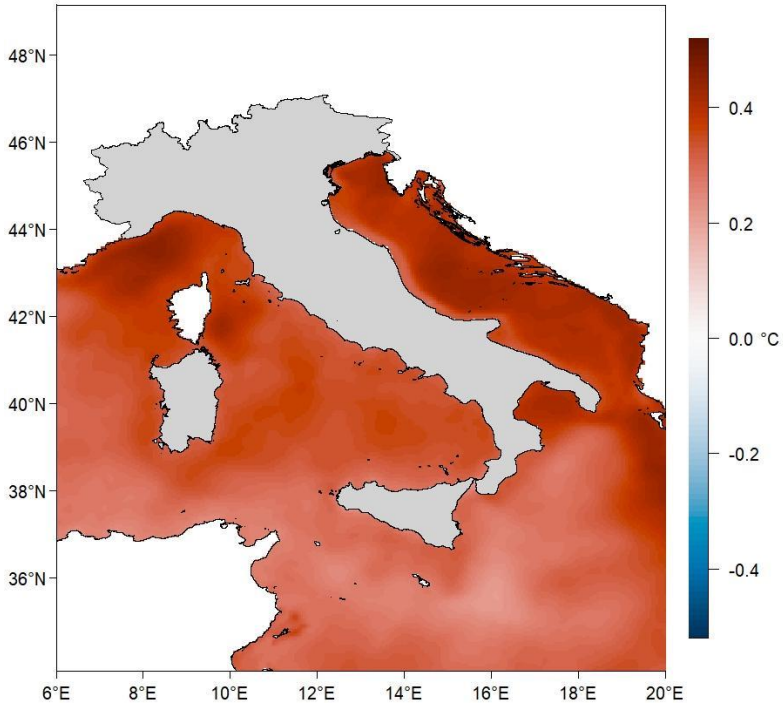


Figura 4.7: Trend della temperatura superficiale dei mari italiani, calcolato nell'intervallo 1982-2022, rappresentato in gradi per decennio.  
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati di SST-Sea Surface Temperature del Copernicus Marine Service.

## 5 PRECIPITAZIONE

### 5.1 ANNO 2022

Nella Figura 5.1 è rappresentata la mappa delle precipitazioni cumulate annuali.

I valori più elevati sono stati registrati su Prealpi orientali, sull'Appennino meridionale e settentrionale, con i valori più elevati in Friuli-Venezia Giulia (fino a 2500 mm). I valori più bassi sono stati registrati su ampie aree di Emilia-Romagna, Puglia e Basilicata e Italia insulare: qui si è registrato il valore più basso, di 145 mm presso la stazione sinottica di Capo Bellavista (NU), seguito da 159 mm della stazione sinottica di Lampedusa.

L'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno è illustrato dai grafici delle figure 5.2 e 5.3 e dalle mappe nelle figure 5.4-5.6, in cui sono rappresentate le anomalie di precipitazione cumulata rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. Le **precipitazioni cumulate annuali** in Italia nel 2022 sono state complessivamente **inferiori alla media climatologica del 22%**. Il 2022 è stato caratterizzato dalla persistenza di anomalie negative di precipitazione da gennaio a luglio: questo periodo ha fatto registrare a scala nazionale precipitazioni inferiori alla norma del -39%. Quasi tutti i mesi hanno fatto registrare precipitazioni inferiori alla norma: fanno eccezione agosto, settembre, novembre e dicembre. I **mesi relativamente più secchi** sono stati **ottobre** (-62%) e **gennaio** (-54%), mentre il mese relativamente più piovoso è stato agosto, con un'anomalia positiva di +69%.

La precipitazione cumulata annuale è stata ovunque inferiore alla media: l'**anomalia negativa è stata più marcata al Nord** (-33%), seguito dal Centro (-15%) e da Sud e Isole (-13%).

**Da gennaio a luglio e a ottobre le precipitazioni sono state inferiori alla norma** ovunque, ad eccezione del mese di maggio al Sud e Isole. **Ad agosto invece le anomalie sono state positive** ovunque. Al Nord si sono registrate precipitazioni superiori alla norma solo nei

mesi di agosto (+23%) e dicembre (+21%); marzo ha fatto registrare l'anomalia negativa più pronunciata (-72%). Al Centro il mese relativamente più secco è stato ottobre (-88%); al Sud e Isole gennaio (-51%). Il mese relativamente più piovoso è stato agosto al Sud e Isole, con un'anomalia di +128%.

Le figure 5.4 e 5.5 mostrano la distribuzione spaziale dell'anomalia di precipitazione cumulata annuale del 2022, espressa rispettivamente come differenza percentuale e come differenza in mm di precipitazione rispetto al valore climatologico 1991-2020 (Kendon e Hollis, 2014). **La precipitazione cumulata annuale è stata inferiore al valore normale su gran parte del territorio nazionale, soprattutto nelle aree centro-settentrionali** e in particolare nel nord-ovest (con anomalie fino a -70%). Anomalie positive di debole entità hanno prevalentemente interessato ampie zone di Campania, Basilicata, Puglia e Molise.

Le mappe nelle figure 5.6a e 5.6b mostrano l'andamento delle precipitazioni sul territorio nazionale per ciascun mese. Sono evidenti le **forti ed estese anomalie negative persistenti nei primi sette mesi** dell'anno e nel mese di ottobre, e le anomalie negative al Nord a novembre e al Sud e Isole nel mese di dicembre.

### 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 1961-2022, rispetto al valore climatologico 1991-2020 (figure 5.7 e 5.8).

Con un'anomalia di precipitazione cumulata media in Italia di -22%, **il 2022 si colloca al primo posto tra gli anni meno piovosi** dell'intera serie dal 1961, seguito dal 2001 e dal 2017.

Dalle serie di anomalia della precipitazione cumulata stagionale (Figura 5.9) si rileva che tutte e quattro le stagioni sono state meno piovose della norma. La

**stagione relativamente più secca** è stata la primavera (-35%), che si colloca al quarto posto tra le meno piovose, seguita dall'inverno (-32%), all'ottavo posto tra i meno piovosi; troviamo infine l'autunno (-12%) e l'estate, che ha fatto registrare un'anomalia poco sotto la norma (-2%). Va sottolineato che per l'inverno, la precipitazione cumulata stagionale viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio con il mese di dicembre dell'anno precedente.

Nella Tabella 2 vengono riassunti i trend della precipitazione cumulata nel periodo 1961-2022, calcolati con un modello di regressione lineare semplice. Le stime sono confermate anche dall'applicazione di un modello non parametrico (stimatore di Theil-Sen e test di Mann - Kendall, si veda ad es., Sen, 1968). I trend sono stati calcolati dapprima per le serie annuali aggregando le stazioni dell'Italia intera, del Nord, del Centro e del Sud e Isole e poi per le serie stagionali dell'intero territorio nazionale. Si osservano deboli trend negativi, ma non statisticamente significativi, sia nelle serie annuali (nazionale e per macroaree) sia nelle serie nazionali stagionali, ad eccezione dell'autunno.

### 5.3 FREQUENZA, INTENSITÀ, ESTREMI

Nella Figura 5.10 sono rappresentate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2022. Per massima giornaliera si intende qui il valore massimo delle precipitazioni cumulate su intervalli fissi dalle ore 0 alle ore 24 e non quello su tutti gli intervalli di 24 ore a orario mobile, che può evidentemente essere maggiore. Va inoltre tenuto presente che i valori interpolati sul grigliato regolare e spazializzati su mappa sono generalmente inferiori ai massimi registrati dalle singole stazioni.

I valori più elevati sono stati registrati in occasione dell'evento del 15 settembre che ha colpito prevalentemente la parte centrale delle Marche e a seguire l'Umbria settentrionale: la **precipitazione giornaliera ha raggiunto il massimo di 419 mm a Cantiano** (PU, 475 m slm), con altre 3 stazioni che hanno registrato valori oltre i 200 mm sempre nelle Marche. Il secondo evento da segnalare è quello relativo al giorno 30 novembre che ha colpito la Calabria ionica

centro-settentrionale, dove si è registrata una precipitazione giornaliera massima di 305 mm presso la stazione Cropolati (CS, 321 m slm).

Nella Figura 5.11 è rappresentato il **numero di giorni asciutti** (con precipitazione inferiore o uguale a 1 mm), che è stato generalmente **molto elevato**. I valori più alti si registrano su Piemonte e Liguria di Ponente, Sicilia e Sardegna, dove si registrano localmente picchi di 330 giorni asciutti con il massimo di 347 giorni a Capo Bellavista (NU), seguito da 345 giorni presso la stazione sinottica di Lampedusa. I valori più bassi (fino a circa 230 giorni asciutti) si registrano su Alpi e Prealpi centro-orientali e sulla dorsale appenninica.

Nella Figura 5.12 sono rappresentati i valori dell'indice di siccità Consecutive Dry Days (CDD), che rappresenta il **numero massimo di giorni asciutti consecutivi** nell'anno con precipitazione giornaliera inferiore o uguale a 1 mm. Questo indice ha fatto registrare **valori molto elevati**, in particolare sulla quasi totalità della Sicilia e della Sardegna (fino a 160 giorni secchi consecutivi in Sicilia e fino a 130 in Sardegna), seguita dalla costa tirrenica centrale (fino a 100 giorni); notevole anche il valore registrato **nella parte centrale del Piemonte** (fino a **96 giorni secchi consecutivi**). La durata minima registrata dei periodi di siccità in termini dell'indice CDD è di 17-22 giorni e si riscontra al confine tra Emilia-Romagna e Liguria, e zone a ridosso dell'Appennino centrale.

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 (Toreti e Desiato, 2008; Alexander et al., 2006), sono descritti in Desiato et al. (2013). Anche per gli indici di precipitazione i risultati sono presentati sotto forma di serie di anomalie rispetto all'ultimo trentennio climatologico 1991-2020. Per favorire l'impiego di un

maggior numero di serie, per l'analisi è stato considerato il periodo dal 1971 al 2021.

L'indice R10mm rappresenta il **numero di giorni nell'anno con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm** (Figura 5.13). 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 2022 l'analisi mette in evidenza valori di anomalia nettamente inferiori alla media per tutti e tre gli indici al Nord**, con valori che si collocano al primo posto fra i più bassi della serie sia per l'indice R10mm (-10.9 giorni) che per l'indice SDII (-2.3 mm/giorno) e al secondo posto con un valore prossimo a quello del 1974 per l'R95p (-175 mm). L'indice R10mm ha fatto registrare valori fra i più bassi della serie anche al Centro e al Sud e Isole, collocandosi rispettivamente al quarto e al terzo posto fra i più bassi dal 1971.

Tabella 2: Trend (e relativo errore standard) delle precipitazioni cumulate dal 1961 al 2022, stimati con il modello di regressione lineare semplice. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi al livello del 5%. Fonte: Elaborazione ISPRA.

| PRECIPITAZIONE CUMULATA | TREND<br>(%/10 anni) |
|-------------------------|----------------------|
| ANNUALE                 |                      |
| Italia                  | $(-0.6 \pm 1.0)$     |
| Nord                    | $(-0.4 \pm 1.2)$     |
| Centro                  | $(-1.5 \pm 1.0)$     |
| Sud e Isole             | $(-0.3 \pm 1.2)$     |
| STAGIONALE (Italia)     |                      |
| Inverno                 | $(-2.7 \pm 2.3)$     |
| Primavera               | $(-3.2 \pm 1.5)$     |
| Estate                  | $(-2.1 \pm 2.2)$     |
| Autunno                 | $(+1.2 \pm 1.5)$     |

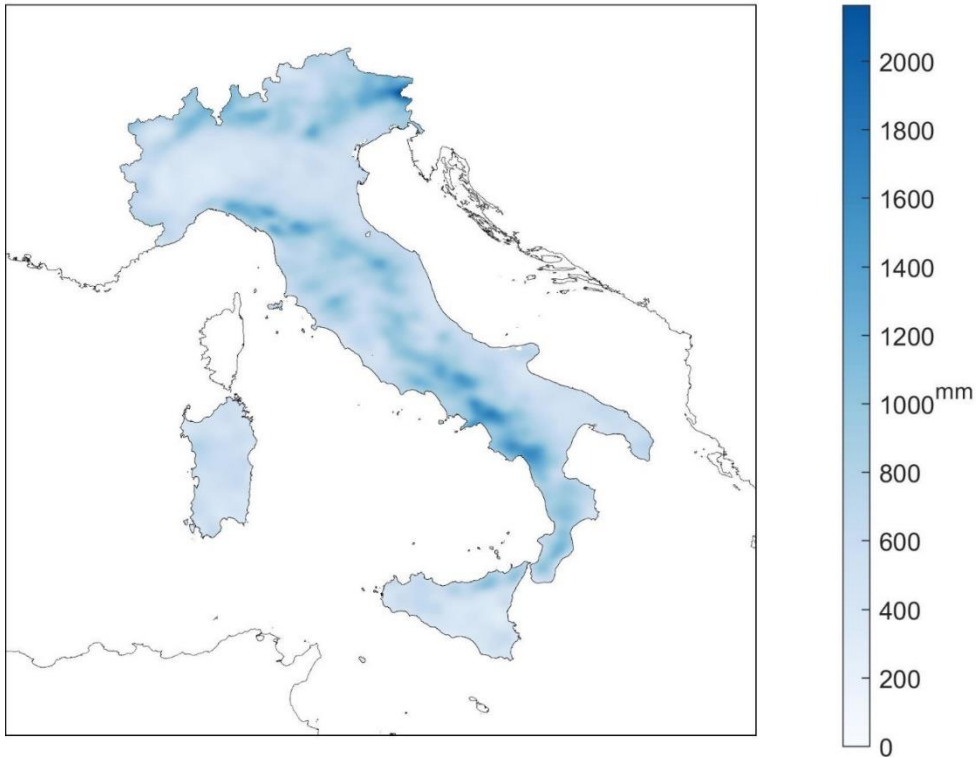


Figura 5.1: Precipitazione cumulata 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

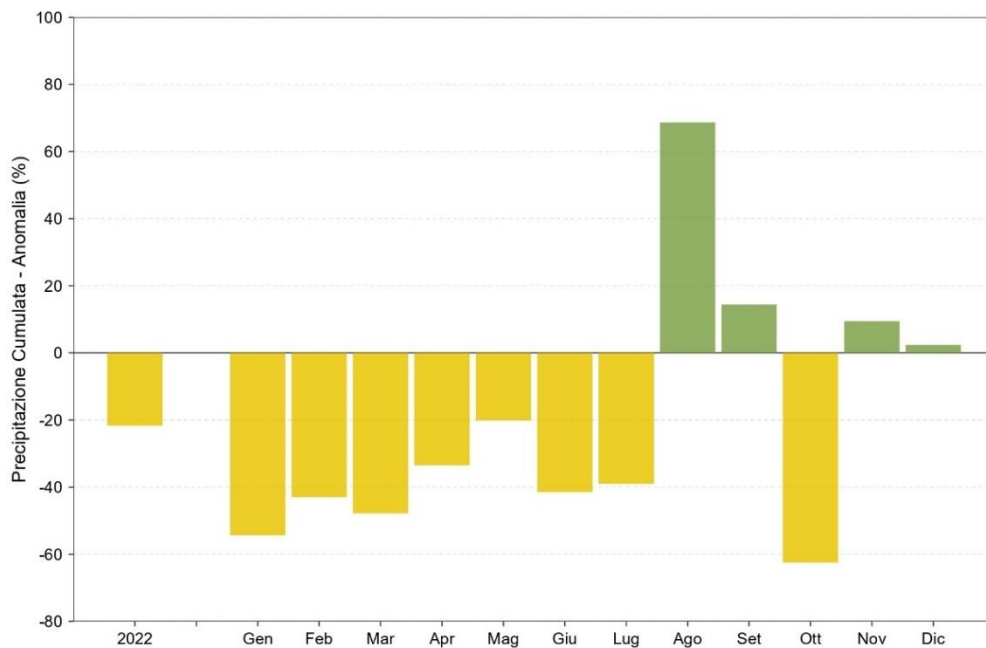


Figura 5.2: Anomalia media mensile ed annuale 2022, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata in Italia, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

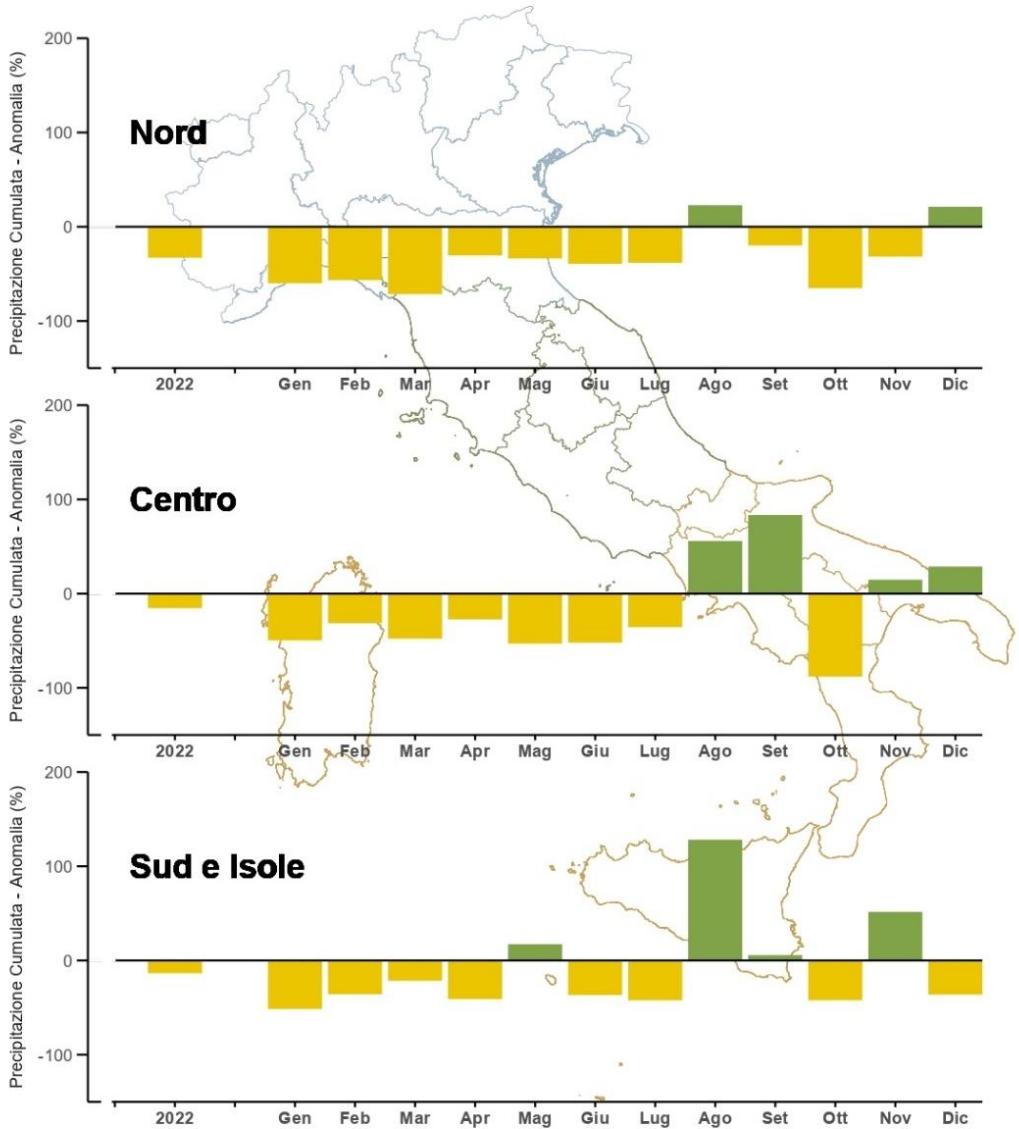


Figura 5.3: Anomalia media mensile ed annuale 2022, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

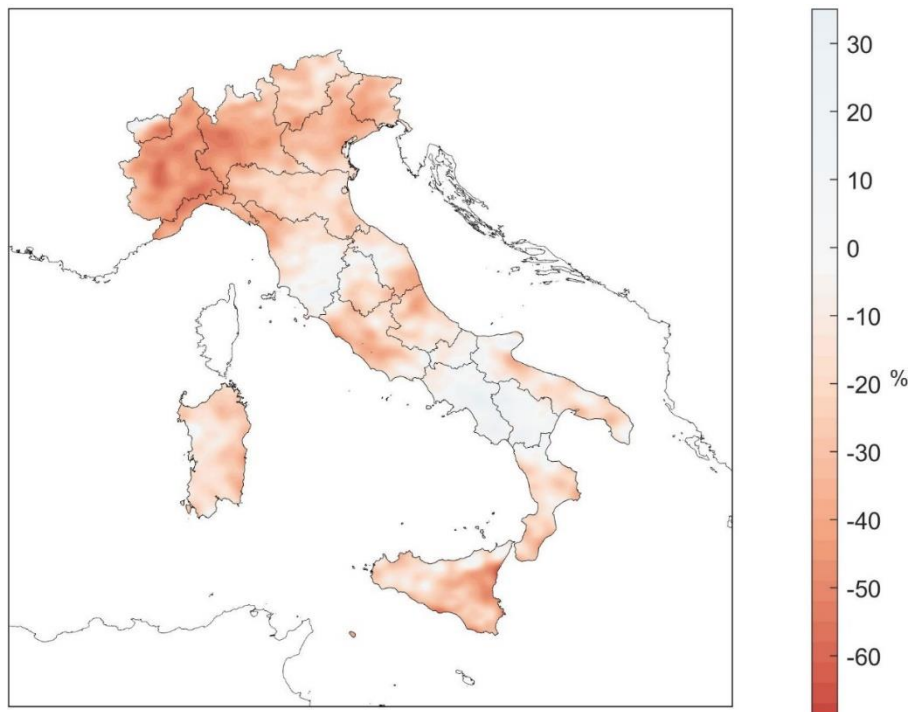


Figura 5.4: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2022, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.



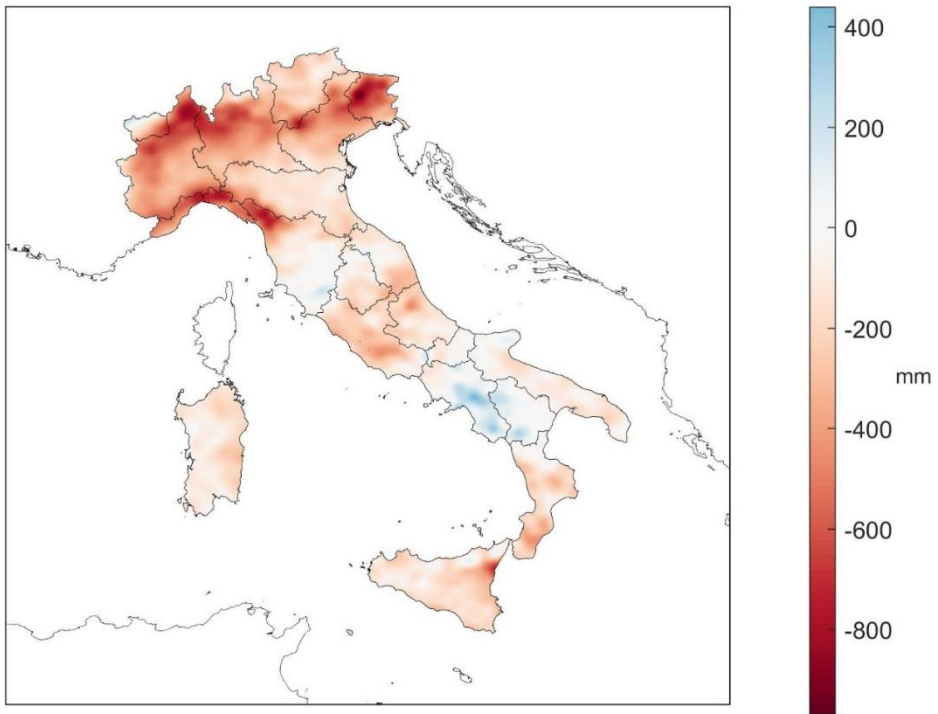


Figura 5.5: Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2022, espressa in mm, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

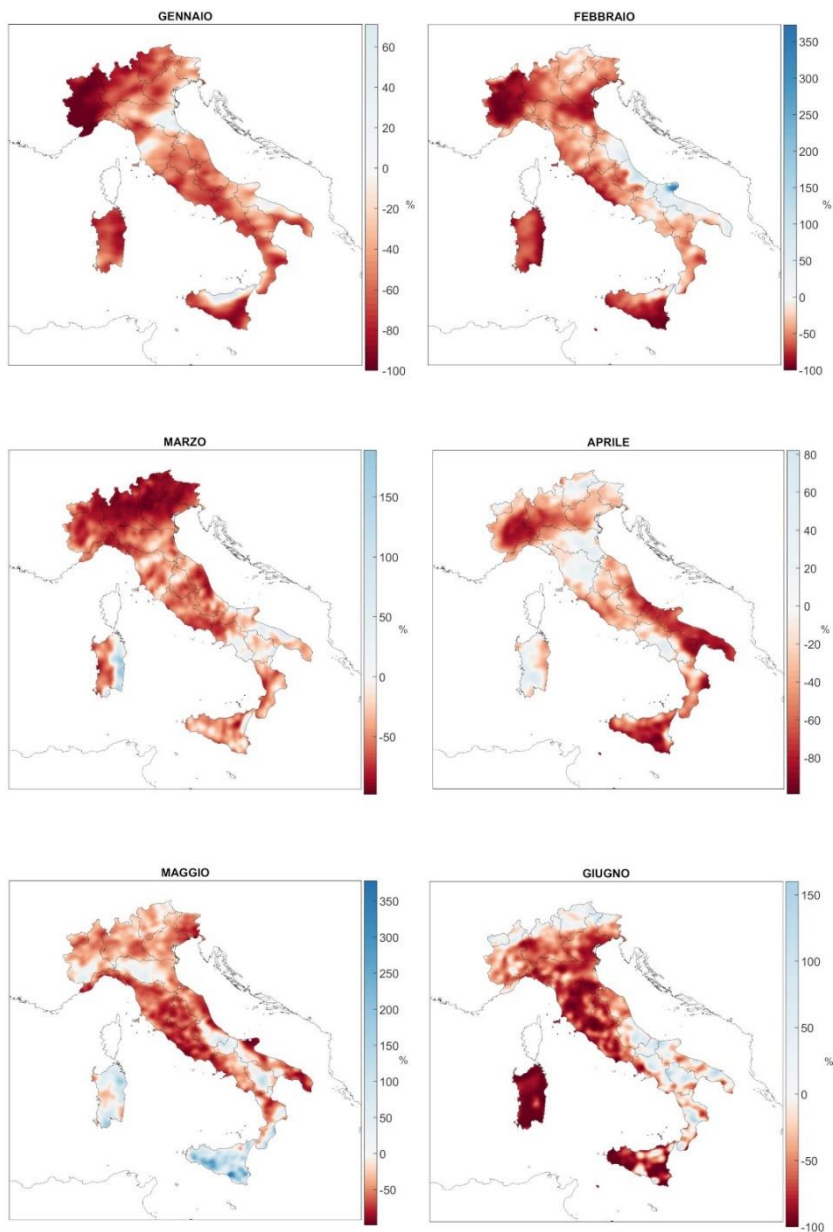


Figura 5.6a: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (gennaio-giugno) 2022 espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe. Fonte: Elaborazione ISPRA.

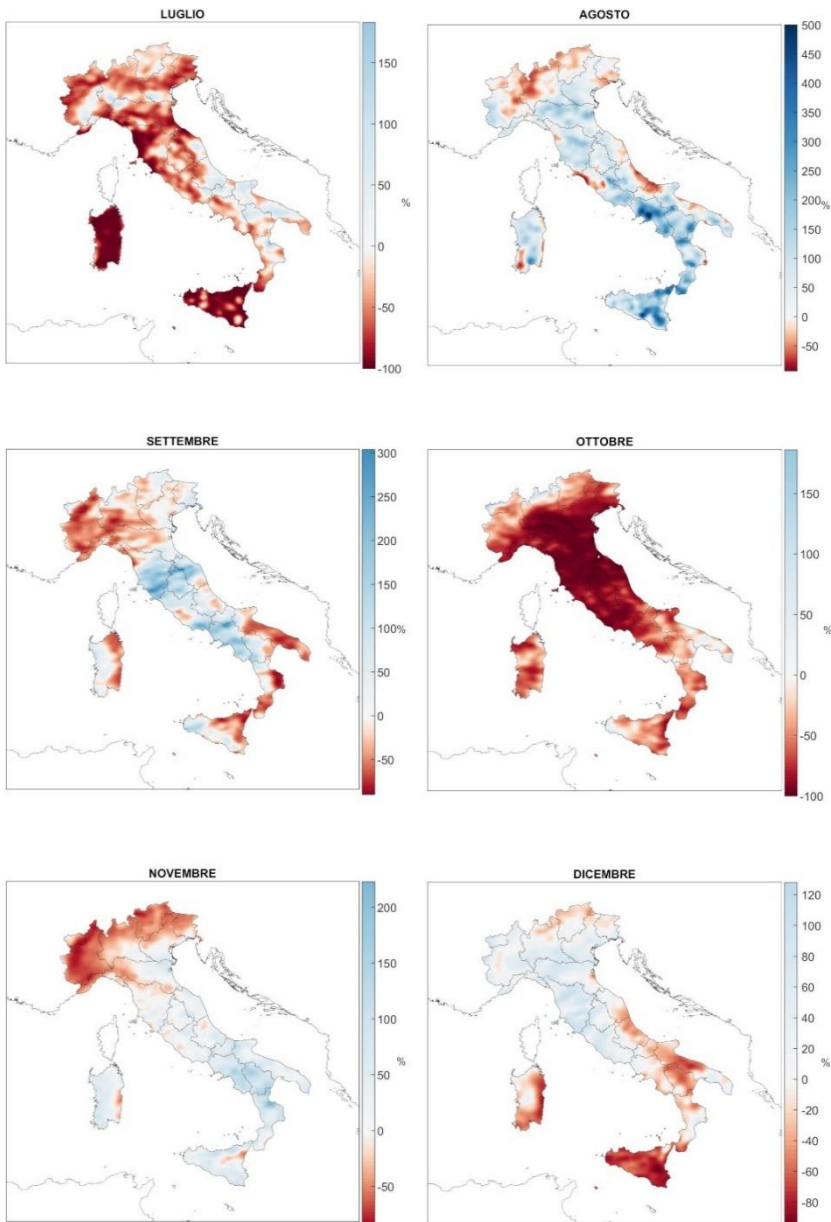


Figura 5.6b: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (luglio-dicembre) 2022, espresse in percentuali, rispetto al valore normale 1991-2020. stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe. Fonte: Elaborazione ISPRA.

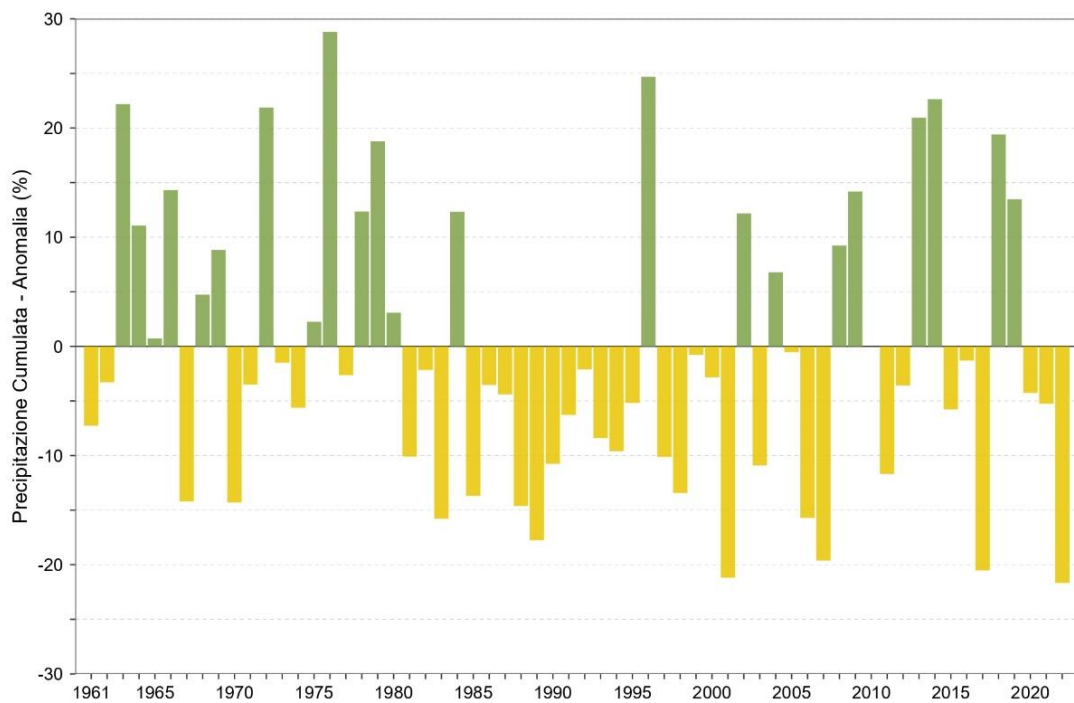


Figura 5.7: Serie delle anomalie medie in Italia, espresse in valori percentuali, della precipitazione cumulata annuale rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

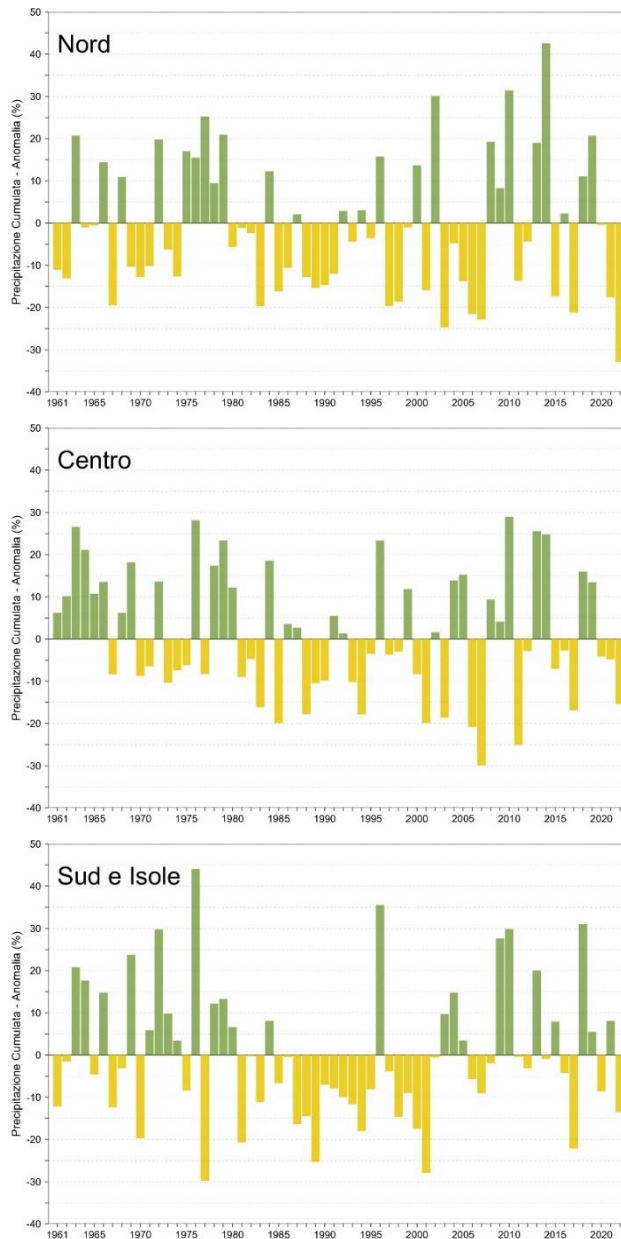


Figura 5.8: Serie delle anomalie medie al nord, centro, sud e isole, espresse in valori percentuali, della precipitazione cumulata annuale rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

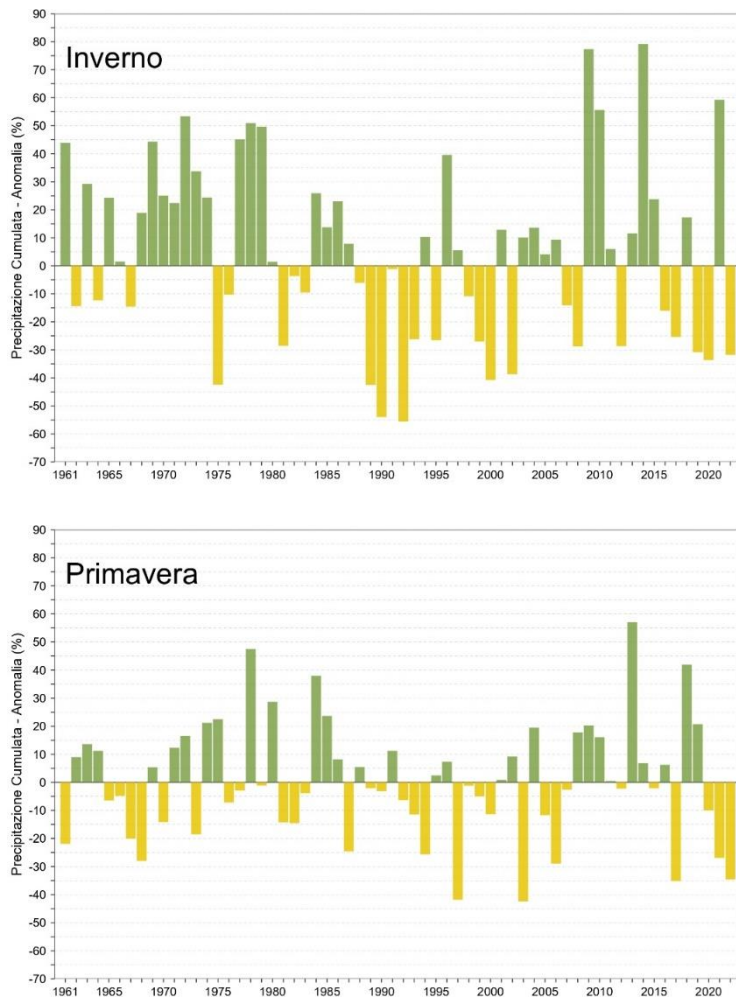


Figura 5.9a: Serie delle anomalie medie, espresse in valori percentuali, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (inverno e primavera). Per l'inverno, sono stati aggregati i mesi di gennaio e febbraio il mese di dicembre dell'anno precedente. Fonte: Elaborazione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

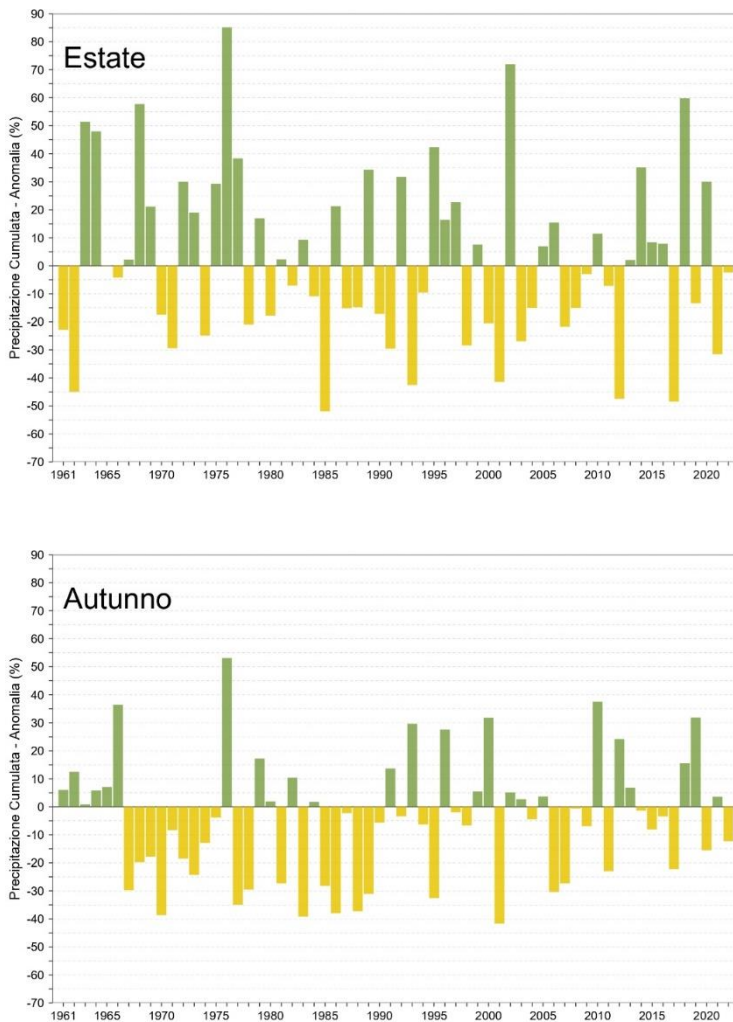


Figura 5.9b: Serie delle anomalie medie, espresse in valori percentuali, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1991-2020 (estate e autunno). Fonte: Elaborazione ISPRA.

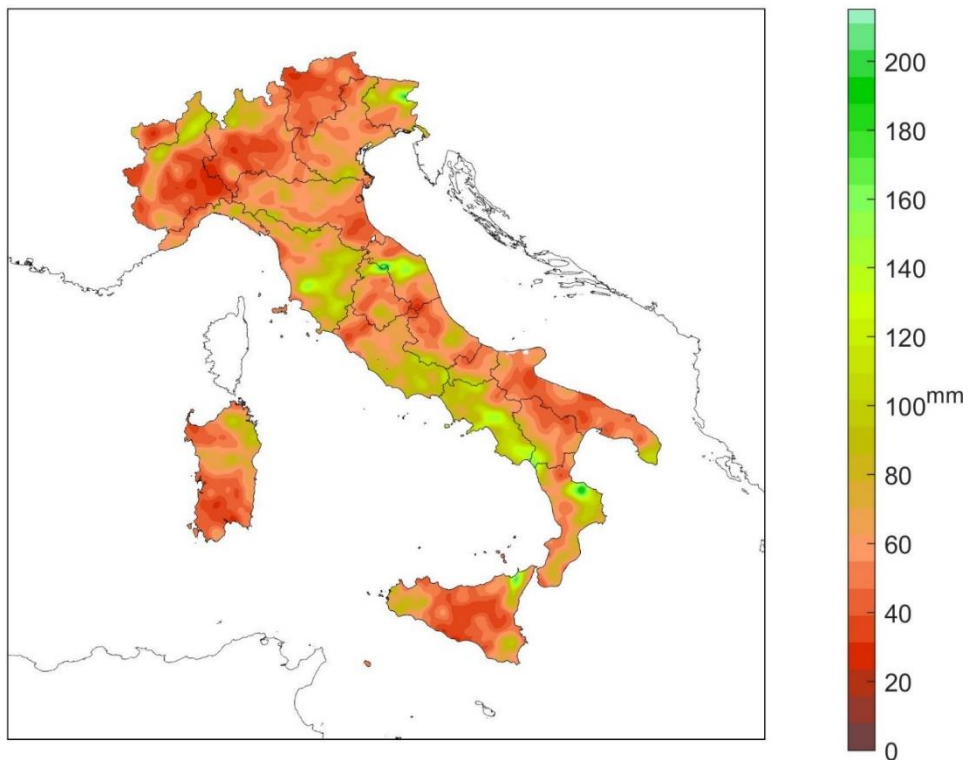


Figura 5.10: Precipitazione massima giornaliera 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.



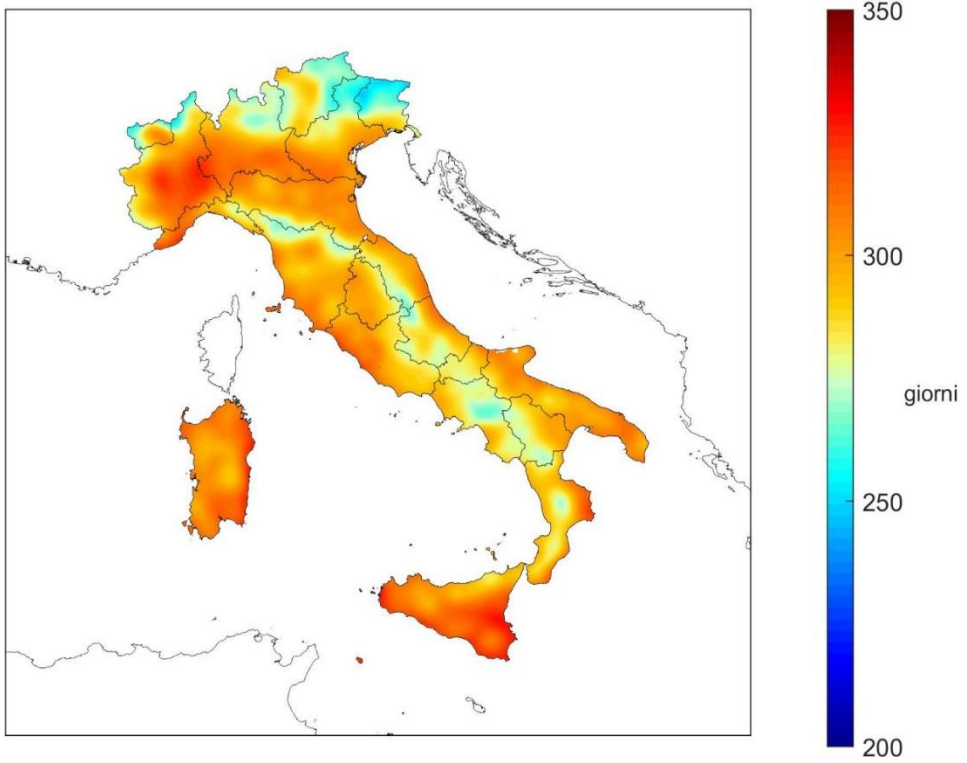


Figura 5.11: Giorni asciutti nel 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

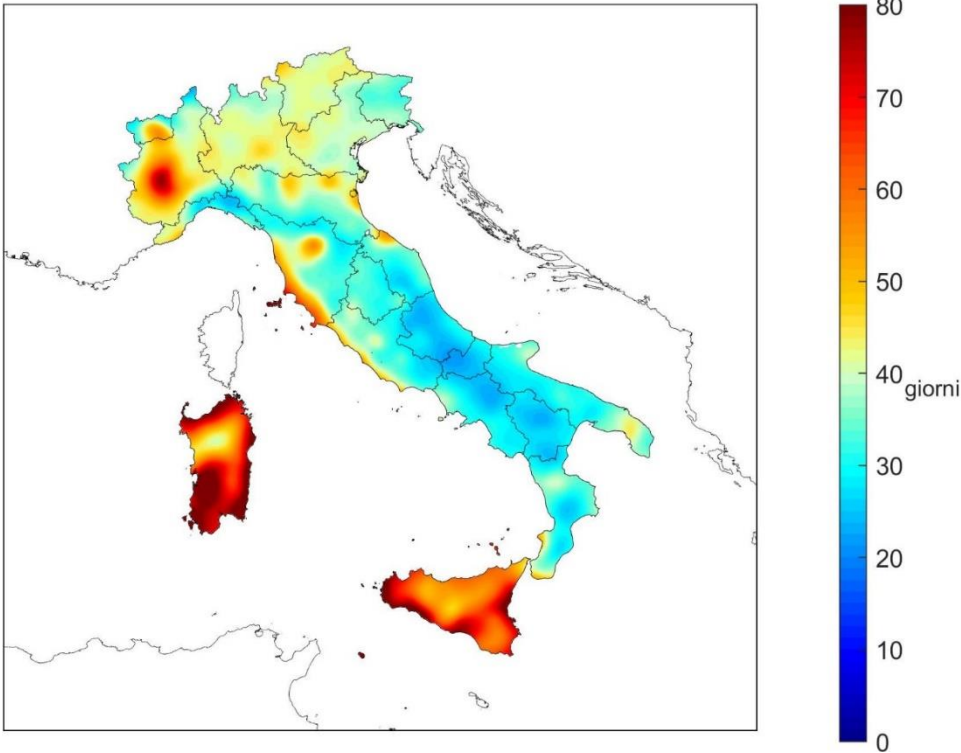


Figura 5.12: Indice di siccità Consecutive Dry Days (CDD) nel 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

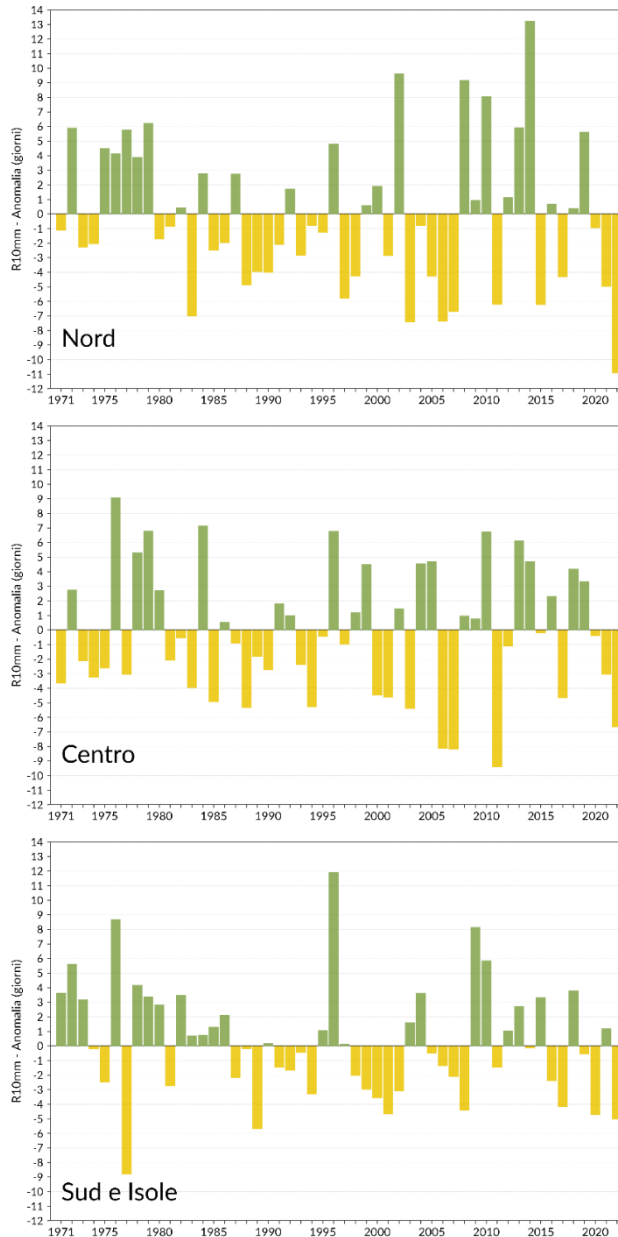


Figura 5.13: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore od uguale a 10 mm (R10mm), rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

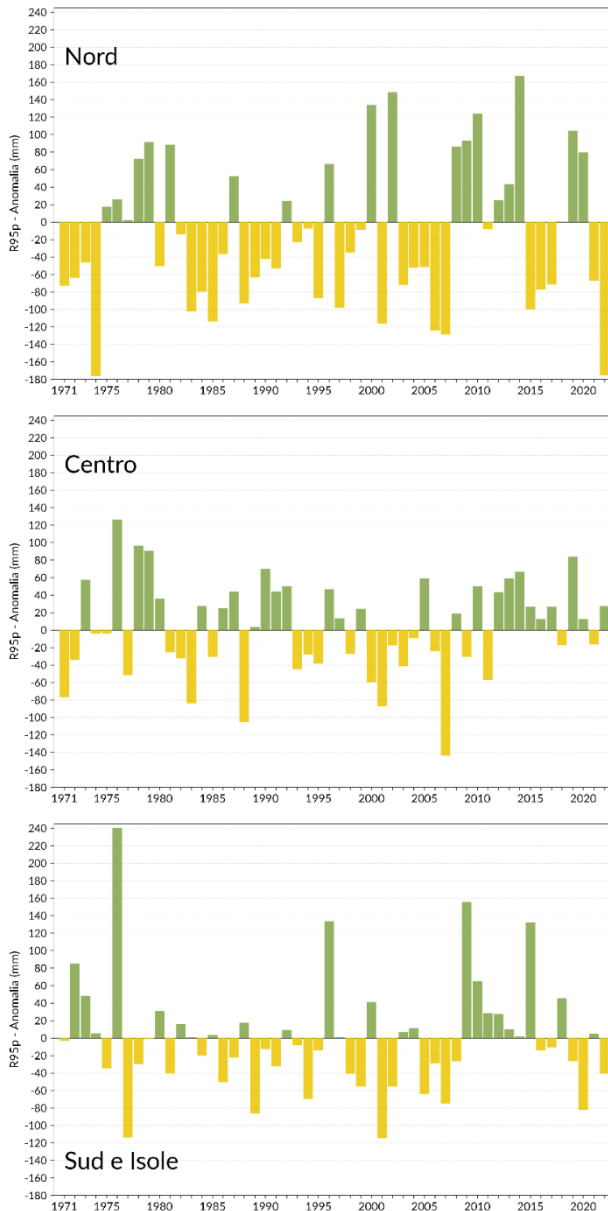


Figura 5.14: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p)<sup>11</sup>, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>11</sup> Somma delle precipitazioni giornaliere > 95° percentile della distribuzione nei giorni piovosi nel periodo climatologico.

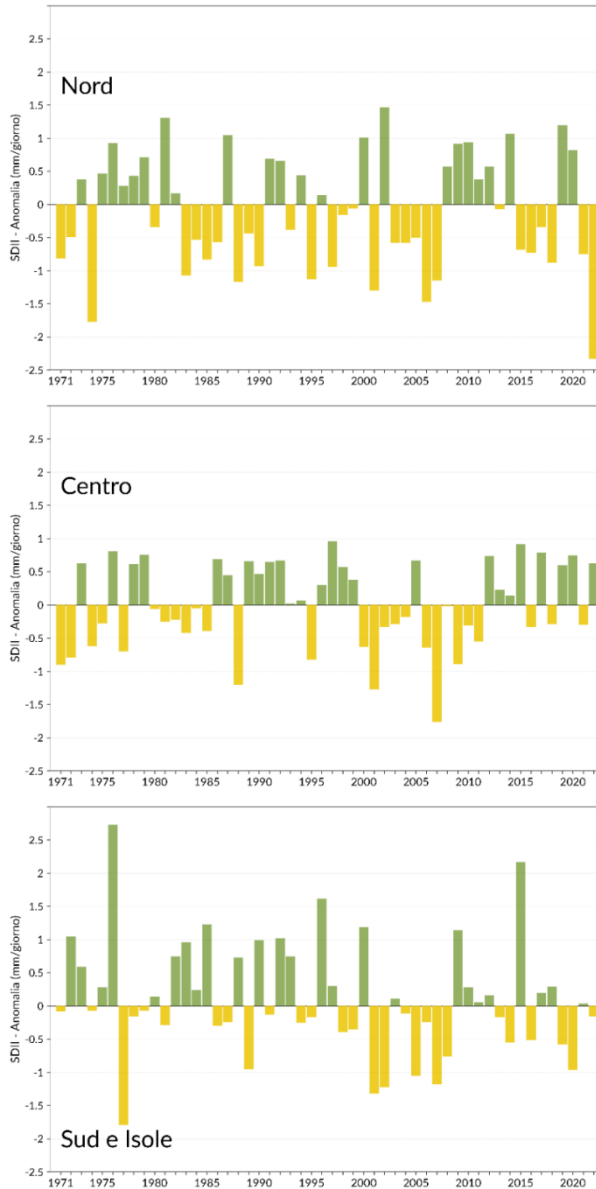


Figura 5.15: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, dell'intensità di pioggia giornaliera (SDII)<sup>12</sup>, rispetto al valore normale 1991-2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.

<sup>12</sup> Precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno.

## 6 UMIDITÀ RELATIVA

I valori dell'umidità relativa media annuale del 2022 sono compresi tra circa il 56% e l'88% (Figura 6.1).

L'umidità relativa annuale è stata ovunque inferiore alla media climatologica 1991-2020 (Figura 6.2), con il valore di anomalia più basso registrato al Nord (-4.2%), seguito dal Centro (-3.1%) e poi dal Sud e Isole (-2.8%).

La **quasi totalità dei mesi** del 2022 sono stati ovunque **più secchi della norma**, tranne dicembre (al Nord +7.3%, al Centro +7.9%, al Sud e Isole +4.5%) e novembre al Sud e Isole. I picchi di anomalia negativa dell'umidità relativa si sono registrati a marzo al Nord

(-11.7%) e al Centro (-10.4%), e a giugno al Sud e Isole (-8.0%).

Nella Figura 6.3 viene rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 42 stazioni che soddisfano i requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2022. Il valore medio dell'anomalia di umidità relativa (-3.2%) colloca il 2022 al **secondo posto**, dopo il 2017, **tra gli anni più secchi** a partire dal 1961, coerentemente con quanto rilevato dall'analisi delle precipitazioni.

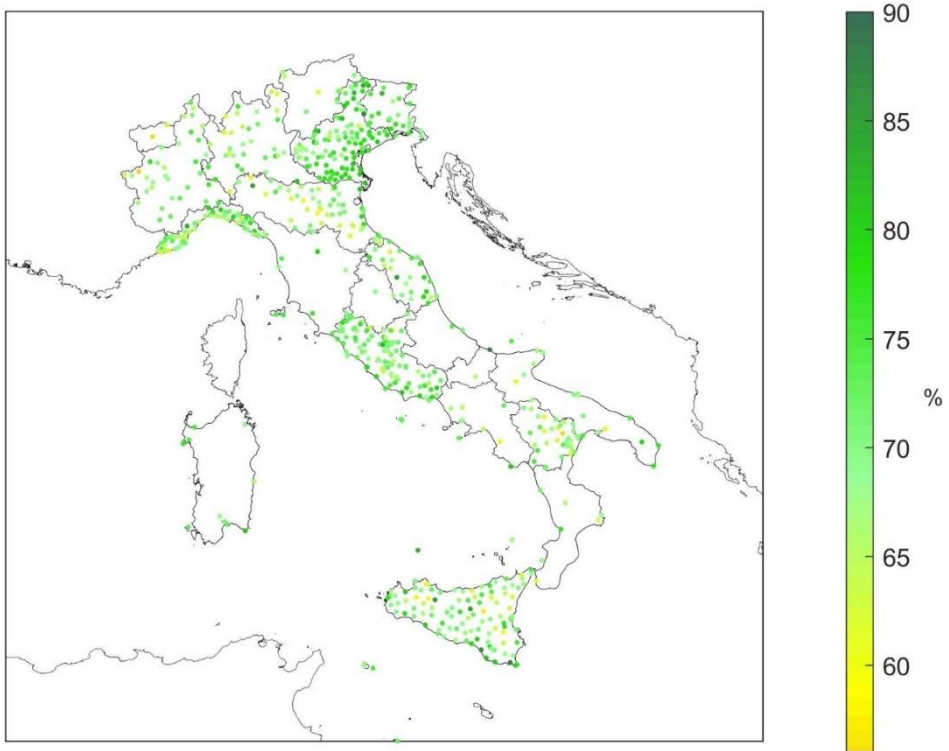


Figura 6.1: Umidità relativa media 2022. Fonte: Elaborazione ISPRA.

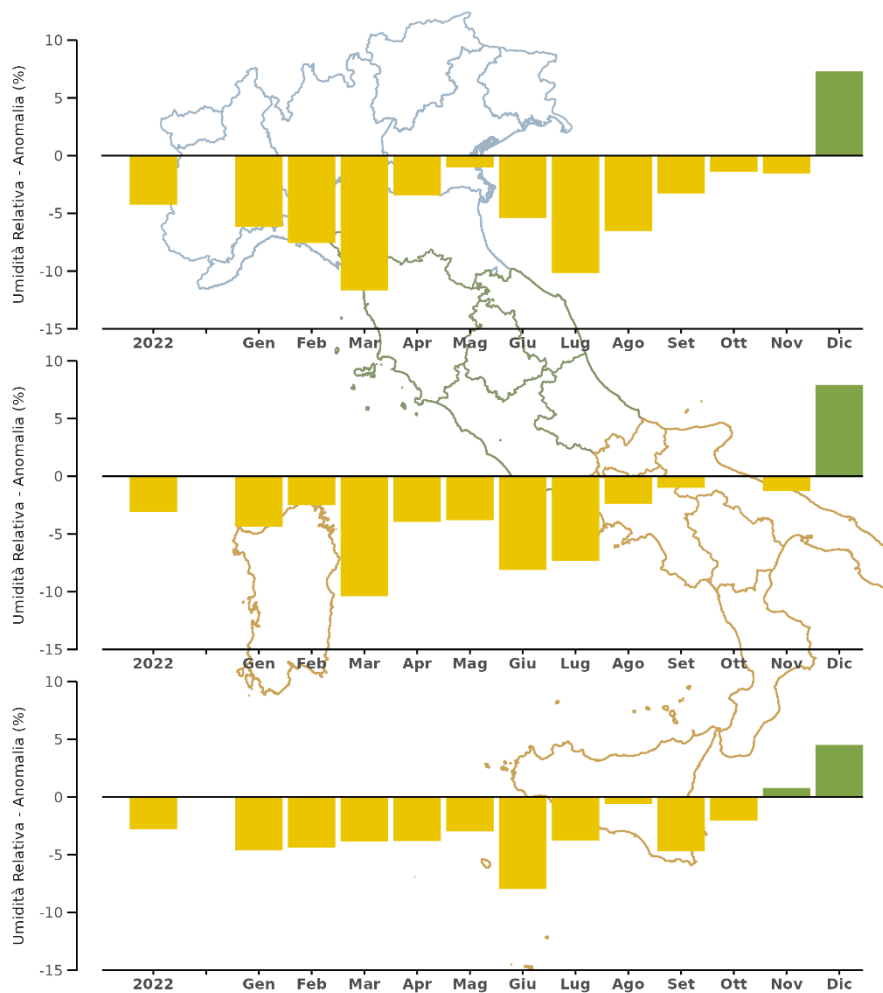


Figura 6.2: Anomalia media 2022 (annuale e mensile) dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1991–2020. Fonte: Elaborazione ISPRA.



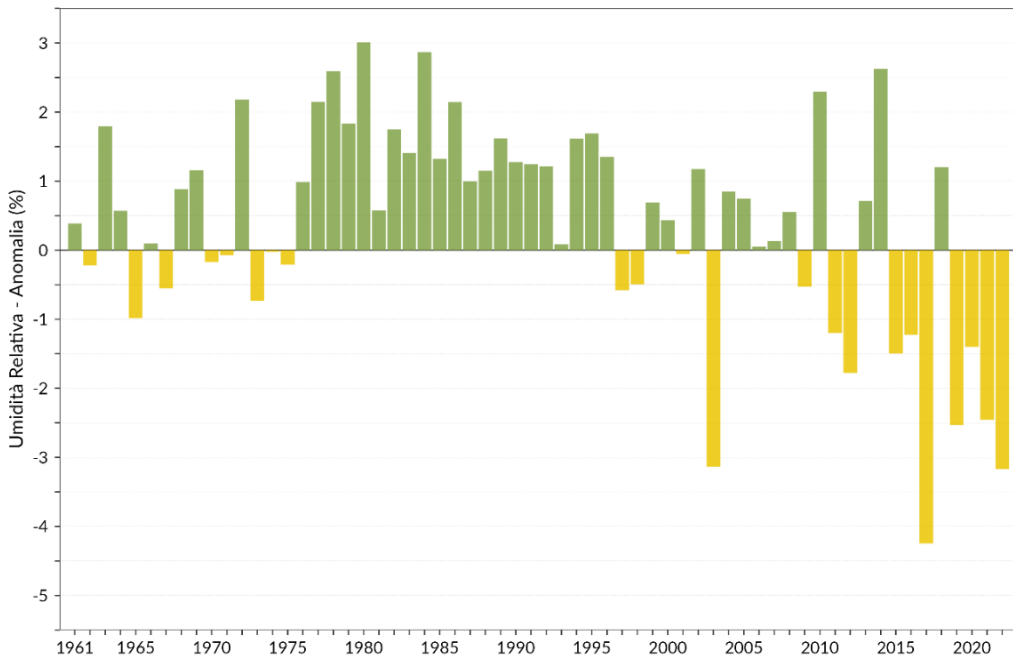


Figura 6.3: Serie delle anomalie medie annuali in Italia dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1991–2020.

## BIBLIOGRAFIA

- Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M. Vazquez-Aguirre J.L., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109. doi:10.1029/2005JD006290.
- Baffo F., Suatoni B. e Desiato F., 2005, Indicatori climatici: i controlli di validità e la ricerca dei valori errati, *Bollettino Geofisico*, Anno XXVIII, N. 1-2.
- Baffo F., Desiato F., Lena F., Suatoni B., Toreti A., Bider M., Cacciamani C. e Tinarelli G., 2005, SCIA - Criteri di calcolo degli indicatori meteo climatici, [www.scia.isprambiente.it](http://www.scia.isprambiente.it) - Documentazione.
- Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023, European State of the Climate 2022, Full report: [climate.copernicus.eu/ESOTC/2022](https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2022)
- Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2006, Un sistema per tutti – climatologia: i dati italiani. *Sapere*, Anno 72, n. 2, 62-69.
- Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2007, SCIA: a system for a better knowledge of the Italian climate, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 48, n. 3, 351-358.
- Desiato F., 2007, SCIA, un sistema nazionale unico per i dati climatologici, *ARPA Rivista*, N. 1, gennaio-febbraio 2007.
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Toreti A., 2011, Climate indicators for Italy: calculation and dissemination, *Advanced Science Research*, 6, 147-150. doi: 10.5194/asr-6-147-2011.
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Piervitali E., 2012, Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 32/2012.
- Desiato F., Fioravanti G., Piervitali E., 2013, Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura in Italia, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 37/2013.
- Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2015, Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 119, No 1-2 2015, doi:10.1007/s00704-014-1362-1.
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., e Desiato F., 2016, Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 66/2016.
- Fioravanti G. e Piervitali E., 2018, Variazioni della temperatura in Italia: estensione della base dati e aggiornamento della metodologia di calcolo, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 81/2018.
- Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2019, A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy, *International Journal of Climatology*, 39: 5635-5654. doi: 10.1002/joc.6177.
- Fioravanti G., Lena F., Frascchetti P., Perconti W. e Piervitali E., 2022, I normali climatici 1991-2020 di temperatura e precipitazione in Italia, *Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente* 99/2022.
- Kendon M., Hollis D., 2014, How are UK rainfall-anomaly statistics calculated and does it matter? *Weather*, 69, 2.DOI: 10.1002/wea.2249
- Klein Tank A. M. G. e Können G. P., 2003, Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99, *Journal of Climate*, 16, 3665-3680. doi:10.1175/1520-0442(2003)016

- <3665:TIIODT>2.0.CO;2.
- Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. e Plummer N., 2001. Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.
  - Sen P. K., 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association.*, 63, 1379–1389.doi:10.2307/2285891.
  - Toreti A., Desiato F., 2007, Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, 51–58. doi:10.1007/s00704-006-0289-6.
  - Toreti A. e Desiato F., 2008, Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *International Journal of Climatology*, 28, 733-745.doi:10.1002/joc.1576.
  - WMO (World Meteorological Organization), 2011. *Guide to Climatological Practices*, WMO-No.100, ISBN 978-92-63-10100-6, Ginevra.
  - WMO (World Meteorological Organization), 2022. *State of the global climate*. WMO n. 1316.

## PARTE II: FOCUS

# 1 SICCATÀ E SCARSITÀ IDRICA

## LA SICCATÀ E LA CRISI IDRICA DEL 2022

### Inquadramento idro-meteo-climatico del 2022

Nel corso del 2022, l'Italia è stata colpita da una intensa e persistente siccità. Tale condizione ha interessato in particolare l'Italia centro-settentrionale dove si sono riscontrate situazioni di siccità severa ed estrema e, in modo particolare, le aree nord-occidentali, dove si sono registrati deficit di precipitazione già a partire dalla fine del 2021. In Piemonte, una delle aree più colpite del Paese, nel corso del 2022 si è registrata, a scala regionale, un'anomalia negativa di precipitazione del 41%, rispetto al dato di riferimento del trentennio climatologico 1991–2020 (fonte: ARPA Piemonte, Osservatorio Permanente sugli Utilizzi Idrici del Distretto idrografico del Fiume Po). La situazione non è molto migliorata nei primi quattro mesi del 2023, considerato che le piogge registrate in Piemonte fino alla fine di aprile hanno fatto segnare un  $-50\%$ , sempre rispetto all'ultimo trentennio climatologico. Lo scenario è, invece, cambiato a maggio 2023 con un'abbondanza di pioggia e neve che ha fatto sì che il deficit medio di pioggia da inizio anno solare si sia ridotto a circa il  $-7\%$ .

Dall'analisi su tutta l'Italia delle anomalie di precipitazione del periodo settembre 2021-maggio 2022, rispetto al clima 1991–2020, si evidenziano deficit mensili molto elevati ed estesi sulle regioni settentrionali, con valori compresi tra il 40% e il 50%, con punte fino al 60%. Anomalie negative, tra il 20% e il 30%, sono state rilevate sul settore appenninico e tirrenico dell'Italia centrale, mentre sono state registrate precipitazioni in media o lievemente al di sopra della media per le regioni meridionali e le isole maggiori (Figura 1). Tale condizione di siccità è proseguita anche nei mesi estivi, ancora con valori molto marcati per le regioni centrali e settentrionali e con una lieve attenuazione solamente nel mese di agosto 2022.

Unitamente alla scarsità delle precipitazioni, l'inverno 2022 è stato caratterizzato anche da una copertura nevosa esigua rispetto agli ultimi decenni. Dall'analisi dell'immagine satellitare MODIS relativa al 20 febbraio 2022, si rileva che la superficie innevata sulle Alpi è stata stimata essere pari a circa 16.000 km<sup>2</sup>, ridotta di circa il 40% rispetto alla superficie media dei precedenti anni 2019–2021 (Figura 2).

Nei mesi primaverili ed estivi, a causa delle alte temperature registrate, superiori alla climatologia di riferimento (le elaborazioni presenti nel Capitolo 3 della Parte I mostrano per il 2022 un  $+1.23^{\circ}\text{C}$  nella temperatura media rispetto al 1991–2020 e marcate anomalie positive tra circa  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $+3^{\circ}\text{C}$  tra maggio e luglio), la già ridotta copertura nevosa si è fusa velocemente, fino ad arrivare, nel mese di maggio, a una superficie stimata inferiore anche a 5.000 km<sup>2</sup>, paragonabile a una situazione tipica di fine giugno-luglio. In seguito alla fusione nivale, tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate, si è assistito in alcuni corsi d'acqua a picchi di portata, però subito esauriti e seguiti da livelli più bassi.

Il prolungato deficit di precipitazioni ha ridotto notevolmente la disponibilità di acqua per la ricarica delle falde acquifere, dei laghi e degli invasi. Inoltre, l'effetto combinato del calo delle precipitazioni e di temperature sopra la media, che ha aumentato la quota di evapotraspirazione, ha aggravato la riduzione della disponibilità naturale di risorsa idrica, causando (o aggravando) situazioni pregresse di scarsità idrica, ossia di non soddisfacimento della domanda di risorsa per i diversi usi (civile, agricolo e industriale) e per gli ecosistemi. Ad esempio, in Lombardia le riserve idriche (valutate come somma del volume di acqua trattenuta dai grandi laghi alpini, dagli invasi artificiali e nello SWE-Snow Water Equivalent) hanno fatto registrare a fine estate del 2022 un deficit del 58% rispetto ai valori di riferimento (2006–2020). Tali riduzioni sono state dovute,

in particolare, al fatto che la stagione 2021–2022 è stata una delle peggiori dell'ultimo ventennio in termini di quantitativi di accumulo nivale, con valori notevolmente inferiori alle medie di riferimento (fonte: ARPA Lombardia, Osservatorio Permanente sugli Utilizzi Idrici del Distretto idrografico del Fiume Po).

### La siccità 2022 e gli impatti sulla risorsa idrica

Il perdurare della siccità, che di per sé è una condizione meteorologica naturale e temporanea, caratterizzata in primis da una riduzione delle precipitazioni liquide e solide rispetto alla climatologia del territorio interessato dall'evento, ha prodotto nel corso del 2022 diversi impatti sulle matrici ambientali e sui comparti economici. Questa situazione ha comportato condizioni di stress nella crescita delle colture, a causa di un deficit del contenuto idrico nel suolo. Nei corsi d'acqua soggetti al marcato minor afflusso meteorico, dovuto a quantitativi di pioggia e neve molto al di sotto delle medie di riferimento, sono state osservate portate inferiori ai valori tipici del periodo e in alcune sezioni, come quelle del Fiume Po, sono state registrate portate inferiori ai valori caratteristici di magra ( $Q_{355}$ , la portata che è superata per 355 giorni all'anno), con conseguenti problematiche, soprattutto nelle zone del delta del Fiume Po, relative all'uso della risorsa idrica per fini agricoli e idropotabili legate alla risalita del cuneo salino.

Questo persistente deficit di precipitazione osservato nel corso del 2022 (e che ha continuato a interessare alcuni territori dell'Italia settentrionale fino ai primi mesi del 2023) è probabile effetto dell'impatto dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico e i suoi estremi. Le analisi effettuate a scala europea hanno mostrato un aumento degli eventi di siccità e un loro peggioramento in termini di severità e persistenza e hanno stimano in circa 9 miliardi di euro le perdite annue dovute alla siccità<sup>13</sup> per l'UE e il Regno Unito (Cammalleri et al., 2020), con

perdite più elevate stimate in Spagna (1.5 miliardi di euro/anno), Italia (1.4 miliardi di euro/anno) e Francia (1.2 miliardi di euro/anno). Con il riscaldamento globale, le proiezioni climatiche future mostrano che tale situazione potrà ulteriormente aggravarsi, specie nelle regioni meridionali e occidentali dell'Europa, con conseguente aumento delle perdite economiche. Alla luce di tutto ciò e degli attuali e possibili futuri impatti dei cambiamenti climatici, la Commissione europea ha deciso di adottare una forte azione conoscitiva e di policy su questa problematica e sugli effetti che ha sulla disponibilità e sull'uso della risorsa idrica<sup>14</sup>.

Anche in Italia sono state condotte analoghe analisi, dalla scala regionale a quella nazionale. La gran parte di queste analisi sono state effettuate attraverso la valutazione dello Standardized Precipitation Index (SPI, McKee et al., 1993), essendo l'indice comunemente usato a livello internazionale (WMO, 2006, 2009, 2012) e nazionale (Mariani et al., 2018) per quantificare, su una data scala temporale, il deficit o il surplus di precipitazioni nelle aree di interesse rispetto alla climatologia di riferimento: valori positivi indicano una precipitazione maggiore del valore mediano, ossia condizioni umide; valori negativi indicano una precipitazione minore del valore mediano, ossia condizioni siccitose più o meno estreme. Per il calcolo dello SPI sono richieste serie temporali molto lunghe (almeno 30 anni continui di dati): una climatologia più robusta porta difatti a una maggiore robustezza statistica dell'indicatore e, quindi, a una minore incertezza nella valutazione della condizione di siccità o di surplus di acqua. Inoltre, la normalizzazione che è alla base di questo indice permette di rappresentare nello stesso modo e, quindi, di riportare su una stessa mappa, aree soggette a climatologie differenti.

A livello nazionale, già da tempo, gli studi effettuati dall'ISPRA, sulla base dei dati meteorologici ufficiali,

<sup>13</sup> Le conseguenze della siccità sugli ecosistemi non sono, in genere, monetizzate; pertanto, non si contemplano nelle stime delle perdite.

<sup>14</sup> Dato l'impatto crescente della siccità a una scala pan-europea, la Commissione ha intrapreso una forte azione conoscitiva e di policy con l'istituzione dell'*Ad hoc Task Group on Water Scarcity and Droughts* all'interno della programmazione 2022–2024 della *Common Implementation Strategy* per l'attuazione della Direttiva

Quadro sulle Acque e delle direttive collegate. Obiettivo della Commissione è arrivare a una migliore comprensione degli impatti e dei rischi di siccità e scarsità idrica in Europa e a una maggiore consapevolezza riguardo l'aumento del rischio di siccità dovuto al cambiamento climatico, anche attraverso lo scambio di buone pratiche tra gli Stati membri e un'armonizzazione nella gestione degli eventi.

evidenziano un trend crescente e statisticamente significativo delle aree del Paese soggette a siccità estrema su base annuale (Figura 3a). Da questo punto di vista, la siccità del 2022 non fa che confermare tale situazione. L'analisi dello SPI calcolato alla scala temporale annuale per ciascun mese del 2022 mostra che circa il 21% di territorio nazionale è stato soggetto a siccità estrema ( $SPI \leq -2.0$ ) nei mesi di luglio e novembre (Figura 3a). Inoltre, l'analisi ha evidenziato che per tutti i mesi del 2022, a eccezione di settembre, una percentuale importante dell'Italia, all'incirca tra il 30% e il 40%, è stata soggetta a siccità severa e moderata ( $-2.0 < SPI \leq -1.0$ ) sulla stessa scala temporale. Nel complesso, circa il 49.2% del Paese si è trovato nel 2022 in una condizione di siccità, con punte dell'ordine del 54–55%. Non solo la presenza di fenomeni di siccità estrema non è nuova per l'Italia, ma è anche sbagliato pensare che sia limitata ai soli territori del sud. Anzi, anche negli ultimi anni, questi fenomeni hanno spesso colpito indistintamente l'Italia, da nord a sud (Figura 3b).

Le elevate temperature occorse nel 2022 hanno, inoltre, esacerbato le condizioni siccitose e la disponibilità di risorsa idrica, anche in conseguenza degli elevati tassi di evapotraspirazione. Al fine di considerare anche questo aspetto nella valutazione della siccità, è utile calcolare anche lo Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014), che considera come variabile idrologica di interesse la differenza tra la precipitazione e l'evapotraspirazione potenziale o di riferimento.

L'analisi spaziale più di dettaglio sulla siccità è mostrata in Figura 4, che riporta la mappa di SPI e SPEI a 12 mesi dell'anno solare 2022, e in Figura 5, dove sono riportate le mappe di SPI a 3 mesi relative alle 4 stagioni meteorologiche del 2022: inverno (da dicembre 2021 a febbraio 2022), primavera (da marzo a maggio 2022), estate (da giugno ad agosto 2022), autunno (da settembre a novembre 2022). Quello che si riscontra in termini di indice di siccità SPI a scala annuale (figura 4a)

è che i territori dei Distretti Idrografici del Fiume Po e delle Alpi Orientali, nel nord dell'Italia, sono stati quelli maggiormente colpiti da siccità estrema ( $SPI \leq -2.0$ ) e da siccità severa ( $-2.0 < SPI \leq -1.5$ ), seguiti da alcune aree dei Distretti Idrografici dell'Appennino Settentrionale e dell'Appennino Centrale. Situazioni di siccità moderata ( $-1.5 < SPI \leq -1.0$ ) hanno interessato diverse parti dell'Italia, da nord a sud. L'analisi in termini di SPEI a scala annuale (Figura 4b) mostra una estensione delle aree colpite da siccità, da quella estrema a quella moderata, a causa del contributo del termine di evapotraspirazione. A scala stagionale, le mappe di SPI evidenziano da un lato la persistenza nel corso del 2022 di siccità estrema e severa sul nord Italia, in particolare in inverno e in primavera (Figura 5a,b) e dall'altro situazioni più limitate temporalmente di siccità estrema e severa nel centro, in particolare in primavera (Figura 5b) e nel sud Italia nel periodo inverno-primavera (Figura 5a,b).

Queste condizioni prolungate di siccità, associate alle alte temperature, hanno determinato una forte riduzione della disponibilità naturale di risorsa idrica. A livello nazionale, nel 2022 si è, difatti, stimata<sup>15</sup> una disponibilità annua di 221.7 mm (ca. 67 km<sup>3</sup>), che rappresenta il minimo storico dal 1951 a oggi. Tale valore delinea una riduzione di circa il 50% rispetto alla disponibilità annua media di risorsa idrica stimata<sup>13</sup> in 441.9 mm (ca. 134 km<sup>3</sup>) per l'ultimo trentennio climatologico 1991–2020; stima quest'ultima che già costituiva una riduzione di circa il 20% rispetto al dato di riferimento storico di 550 mm (ca. 166 km<sup>3</sup>) per il trentennio 1921–1950, stimato dalla Conferenza Nazionale delle Acque, tenutasi dal dicembre 1968 al luglio 1971.

### Gli Osservatori Permanenti sugli Utilizzi Idrici

La situazione di siccità e le conseguenti problematiche di gestione della risorsa idrica sono state oggetto di continuo monitoraggio e analisi da parte degli Osservatori distrettuali Permanenti sugli Utilizzi Idrici (OPUI). Gli Osservatori sono stati istituiti con appositi

<sup>15</sup> Stime del bilancio idrologico nazionale prodotte nel 2023 con la versione 7.0 del modello BIGBANG dell'ISPRA (Braca et al., 2021) e riferite al periodo 1951–2022, disponibili all'indirizzo:

[https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang\\_70](https://groupware.sinanet.isprambiente.it/bigbang-data/library/bigbang_70)

protocolli d'intesa a partire dal 2016, nel contesto della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (sono una misura del Piano di gestione delle acque), proprio per supportare a livello di distretto idrografico il governo integrato dell'acqua e fornire gli indirizzi per la regolamentazione dei prelievi e degli usi e delle possibili compensazioni, in particolar modo in occasione di eventi di siccità e/o di scarsità idrica. I sette Osservatori permanenti, uno per distretto idrografico, hanno monitorato la situazione in corso attraverso i dati idrometeorologici e delle riserve idriche ufficiali provenienti dalle Regioni, i dati dei gestori dei grandi laghi e degli invasi, gli elementi forniti dagli utilizzatori e le informazioni degli indicatori messi a sistema. Sulla base di queste informazioni gli OPUI hanno determinato di volta in volta il livello di severità idrica e le misure da adottare, intensificando anche le proprie attività di monitoraggio e governance in ragione del livello di severità riscontrata. Recentemente, con il D.L. n. 39/2023, recante "Disposizioni urgenti per il contrasto della scarsità idrica e per il potenziamento e l'adeguamento delle infrastrutture idriche" (G.U. n. 88 del 14-04-2023), convertito con modificazioni dalla L. n. 68/2023 (G.U. n. 136 del 13-06-2023), l'istituzione degli Osservatori presso le Autorità di bacino distrettuali è stata disposta da una norma primaria.

A fine giugno-inizio luglio 2022, la situazione era tale da far segnare un livello alto di severità idrica nelle Regioni del nord Italia afferenti ai Distretti idrografici del Fiume Po e delle Alpi Orientali e di severità media nelle Regioni del centro Italia. Un ulteriore peggioramento della siccità a livello nazionale<sup>16</sup> si è avuto nel mese di agosto: la situazione di severità idrica alta ha difatti raggiunto anche i territori del centro e del centro-settentrione, interessando anche le Regioni dei Distretti Idrografici dell'Appennino Settentrionale e dell'Appennino Centrale, mentre il sud Italia e le Isole maggiori hanno evidenziato una situazione compresa tra la normalità e la severità idrica bassa (Figura 6a).

Il perdurare della siccità e della riduzione delle risorse idriche, insufficienti a coprire i diversi usi, ha finanche

comportato l'emanazione dello stato di emergenza nazionale da parte del Governo per la maggior parte delle Regioni del centro-nord (Duro et al., 2023).

Primi segnali positivi sulla disponibilità idrica sono comparsi solo dal mese di ottobre, dove gran parte dei territori del centro-nord sono tornati a un livello medio di severità e la situazione si è mantenuta, praticamente, invariata fino al termine dell'anno (Figura 6b).

Occorre tuttavia sottolineare che il miglioramento dello stato di severità idrica registrato a ottobre 2022 è in buona parte da ricondurre alla riduzione delle esigenze idriche per uso irriguo e idropotabile, tipica della fine della stagione estiva: infatti, le precipitazioni registrate alla fine dell'estate e nei successivi mesi autunnali e invernali, rimanevano inferiori alle medie storiche di riferimento. Si confermava dunque la necessità di un continuo monitoraggio della situazione idrologica da parte degli OPUI.

Nel 2022 l'attività svolta è stata determinante per comprendere meglio l'evoluzione della crisi idrica, gli areali interessati, le criticità che hanno riguardato i differenti comparti d'uso dell'acqua (idropotabile, irriguo, idroelettrico, etc.), le misure di contrasto attuate, etc. La partecipazione alle riunioni di rappresentanti delle Amministrazioni centrali e regionali, nonché di referenti delle associazioni di categoria dei principali utilizzatori, consorzi di bonifica, istituti di ricerca, etc., ha consentito di delineare un quadro esaustivo dell'evoluzione delle variabili meteorologiche e degli indicatori di disponibilità idrica, consentendo l'assunzione di decisioni maggiormente incisive.

### Misure emergenziali di contrasto

Durante l'anno 2022, la crisi idrica ha coinvolto progressivamente quasi tutte le Regioni centro-settentrionali: è stato dichiarato lo stato di emergenza nelle Regioni Piemonte, Liguria, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Toscana, Umbria, Marche, Lazio e, per le azioni di contrasto emergenziale, sono stati assegnati circa 56 milioni di euro (Tabella 1).

<sup>16</sup> Sito ufficiale per lo stato di severità idrica a scala nazionale:  
[https://www.isprambiente.gov.it/pre\\_meteo/idro/SeverIdrica.html](https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html)



Stante il perdurare del periodo siccitoso sul settore centro-settentrionale, con Delibera del Consiglio dei Ministri del 28.12 u.s. è stato prorogato lo stato di emergenza di crisi idrica per 12 mesi su Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Umbria, Lazio, Toscana e Liguria, con estensione alla Regione Marche. Alla predetta delibera ha fatto seguito l'Ordinanza del Capo Dipartimento n. 970 del 28 febbraio u.s. con cui è stato richiesto ai Commissari delegati di effettuare una ricognizione delle ulteriori misure di cui alle lettere a) e b), dell'articolo 25, comma 2, del D.Lgs. n. 1/2018, nonché degli interventi più urgenti di cui al comma 2, lettera d), del medesimo articolo 25.

In tale contesto, il DPC, partecipando ai tavoli degli Osservatori, ha monitorato costantemente l'evoluzione meteo-climatica in atto, nonché le disponibilità idriche nei diversi ambiti territoriali, attività svolta in stretta collaborazione con Regioni, Province Autonome, Ministeri ed Enti di ricerca nazionali. In particolare, il DPC ha fornito utili indicazioni circa le tendenze previsionali meteo-climatiche a medio e lungo termine, al fine di contribuire alla predisposizione degli scenari di disponibilità idrica congiuntamente o da parte degli Osservatori stessi; nello specifico, tali informazioni sono la risultanza di una sintesi delle attività svolte nell'ambito del Gruppo tecnico delle previsioni mensili e stagionali che il Dipartimento coordina dalla crisi idrica del 2007 (Delli Passeri e Campione, 2021).

È importante, inoltre, sottolineare come tutte le informazioni e i dati acquisiti circa la disponibilità idrica nel corso degli OPUI siano necessari per la valutazione del livello di severità idrica in atto e di supporto alle istruttorie tecniche che il DPC predispone, secondo la direttiva PCM del 26.10.2012, per lo svolgimento delle attività propedeutiche alle dichiarazioni dello stato di emergenza da parte del Consiglio dei Ministri.

Le misure di protezione civile, messe in atto durante la fase emergenziale e necessarie per una gestione proattiva degli eventi di scarsità idrica, hanno consentito di mitigare notevolmente i disagi per la popolazione, soprattutto per quanto riguarda il settore idropotabile. In particolare, nei piani presentati dai Commissari Delegati e approvati dal Capo del DPC, sono state previste misure di breve termine quali, per esempio, l'utilizzo di autobotti per il trasporto e il rifornimento dell'acqua nei serbatoi, la realizzazione di punti di distribuzione della risorsa idrica alimentati mediante autobotti, la realizzazione di serbatoi e accumuli di carattere temporaneo, la posa di gruppi di pompaggio, l'attivazione di nuove fonti, la posa di tubazioni provvisorie per il potenziamento della rete di adduzione e distribuzione, interventi di interconnessione di reti acquedottistiche esistenti, la realizzazione di nuovi pozzi o approfondimento di pozzi esistenti, etc.

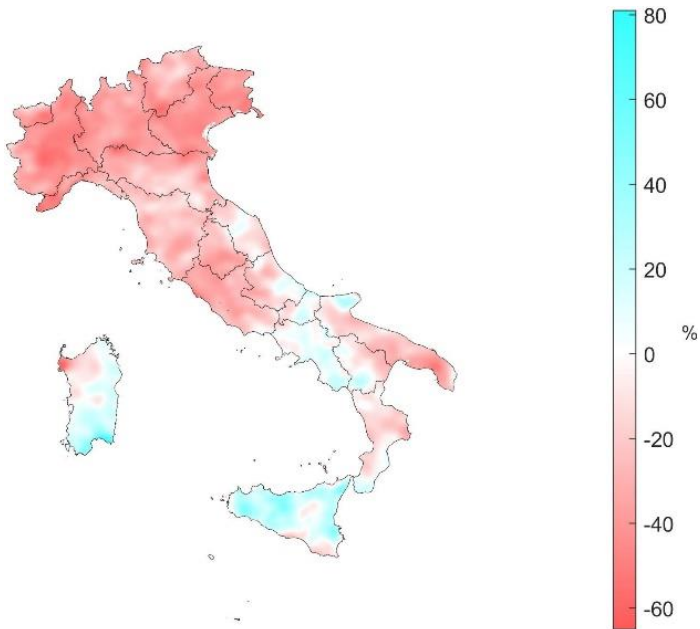


Figura 1: Anomalie di precipitazione cumulate da settembre 2021 a maggio 2022, rispetto alla media trentennale 1991–2020. Fonte: Elaborazione ISPRA-DPC su dati della Rete dei Centri Funzionali e medie storiche SCIA-ISPRA.

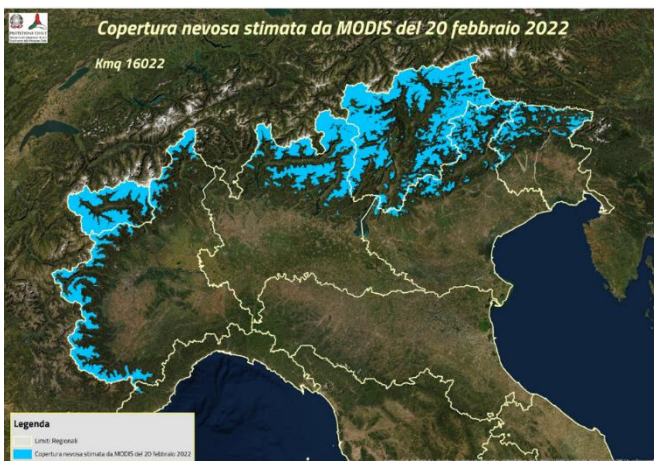


Figura 2: Stima della copertura nevosa dall'immagine satellitare MODIS del 20 febbraio 2022. Fonte: Elaborazione DPC su immagine satellitare MODIS.

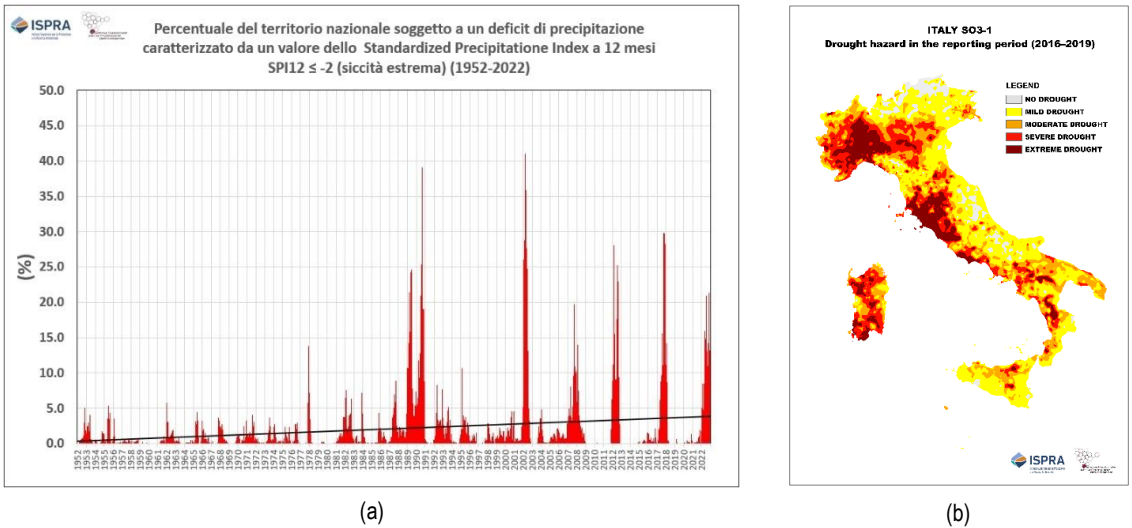


Figura 3: Situazione della siccità a scala nazionale: (a) Percentuale del territorio italiano soggetto a condizioni di siccità estrema e sua tendenza dal 1952 al 2022; (b) Indicatore di pericolo di siccità rappresentato dalla situazione di siccità peggiore riscontrata sulla finestra temporale 2016–2019, per ciascun box della griglia a 1 km di riferimento, del reporting nazionale 2023 per l’attuazione della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla desertificazione – UNCCD. Fonte: Elaborazioni ISPRA basate su SPI a 12 mesi, calcolato sui dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

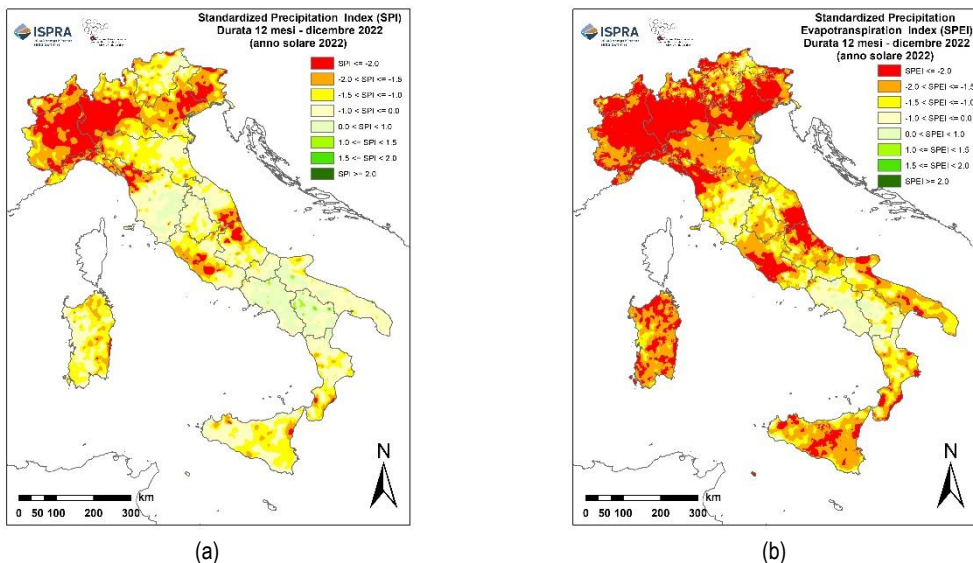


Figura 4: Indici di siccità a 12 mesi a dicembre 2022, con baseline 1952–2022: (a) SPI; (b) SPEI. Fonte: Elaborazione ISPRA sui dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

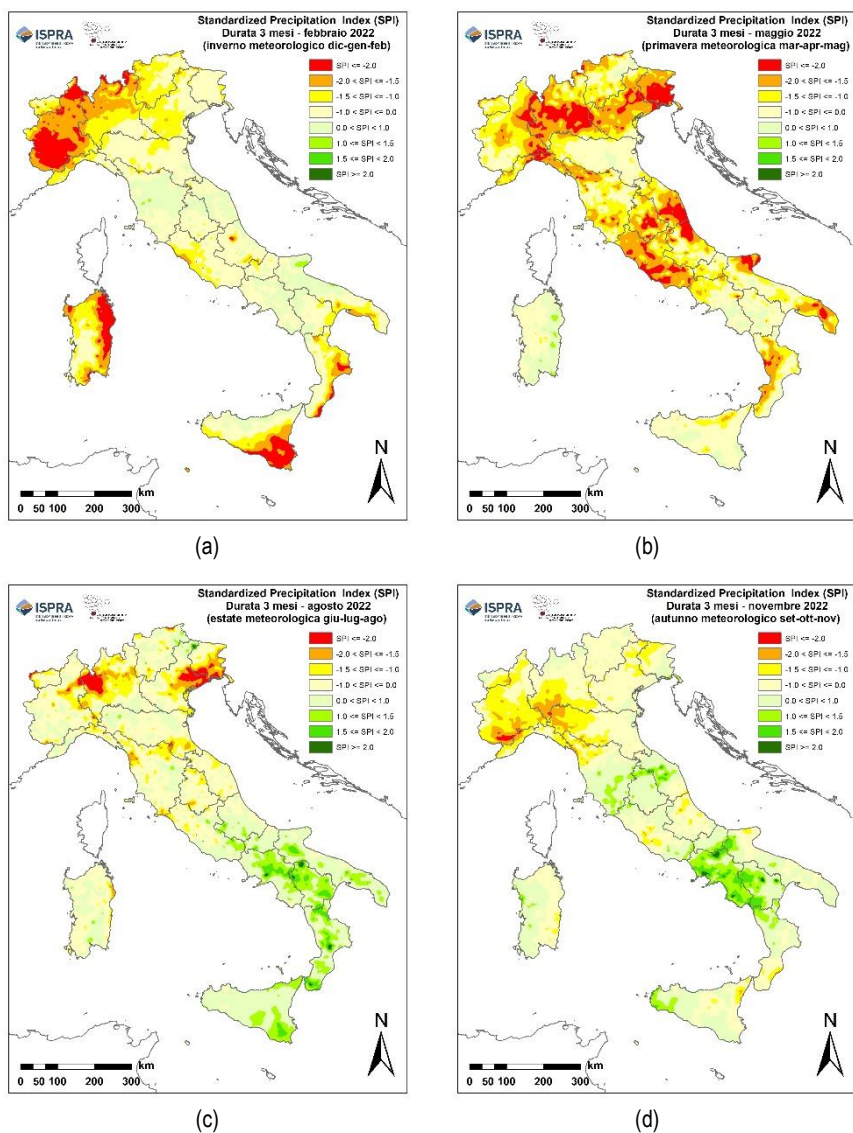


Figura 5: Indici di siccità SPI stagionali a 3 mesi nel 2022, con baseline 1952–2022: (a) inverno, da dicembre 2021 a febbraio 2022; (b) primavera, da marzo a maggio 2022; (c) estate, da giugno ad agosto 2022; (d) autunno, da settembre a novembre 2022. Fonte: Elaborazioni ISPRA sui dati degli uffici idro-meteorologici regionali e delle province autonome e quelli storici del soppresso Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

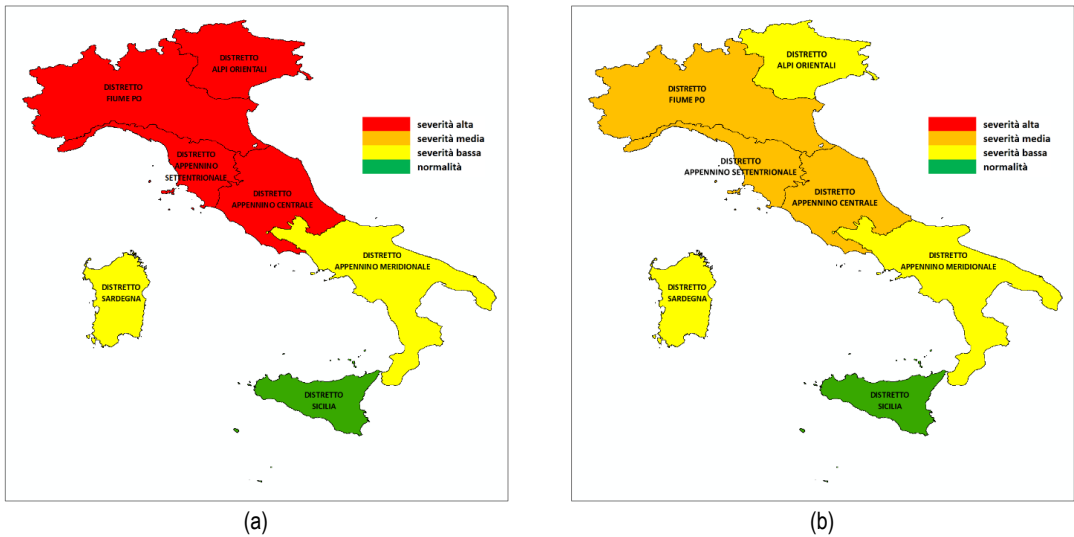


Figura 6: Severità idrica a scala nazionale: (a) situazione a agosto 2022; (b) situazione a dicembre 2022. Fonte: Elaborazioni ISPRA sulla base delle sintesi degli Osservatori distrettuali permanenti sugli utilizzi idrici.

Tabella 1: Elenco delle dichiarazioni dello stato di emergenza e delle Ordinanze di Protezione Civile emanate per il contrasto della crisi idrica del 2022

| Regione               | Data di Delibera del Consiglio dei Ministri | Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile | Fondi assegnati (mln €) |
|-----------------------|---|---|-------------------------|
| Piemonte              | 04/07/2022                                  | 906, 21/07/2022   | 7.6                     |
| Lombardia             | 04/07/2022                                  | 906, 21/07/2022   | 9.0                     |
| Emilia-Romagna        | 04/07/2022                                  | 906, 21/07/2022   | 10.9                    |
| Veneto                | 04/07/2022                                  | 906, 21/07/2022   | 4.8                     |
| Friuli-Venezia Giulia | 04/07/2022                                  | 906, 21/07/2022   | 4.2                     |
| Umbria                | 14/07/2022                                  | 909, 28/07/2022   | 2.8                     |
| Lazio                 | 04/08/2022, 01/09/2022                      | 916, 26/08/2022   | 5.8                     |
| Liguria               | 01/09/2022                                  | 920, 14/09/2022   | 5.7                     |
| Toscana               | 01/09/2022                                  | 920, 14/09/2022   | 4.3                     |
| Marche                | 28/12/2022                                  | 961, 25/01/2023   | 0.965                   |
| <b>TOTALE</b>         |   |   | <b>56.065</b>           |

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano i colleghi della Sezione di Climatologia Operativa dell'ISPRA per le elaborazioni delle mappe di temperatura media mensile del 2022, prodotte in ambito SCIA, che sono state utilizzate nel modello BIGBANG per la valutazione delle componenti del bilancio idrologico.

## Bibliografia

- Begueria, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., and Latorre, B., 2014: Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34, 3001– 3023. DOI: 10.1002/joc.3887.
- 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. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 339/21, Roma. Disponibile online al link: <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/il-bilancio-idrologico-gis-based-a-scala-nazionale-su-griglia-regolare-bigbang>.
- Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A., and Feyen, L., 2020: Global warming and drought impacts in the EU, EUR 29956 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-12947-9. DOI: 10.2760/597045.
- Delli Passeri, L., e Campione, E., 2021: “Analisi meteorologiche e previsioni a lunga scadenza”, Pubblicazione ECOSCIENZA n. 6, 2021, 28-29. Disponibile online al link: [https://www.arpae.it/it/ecoscienza/numeri-ecoscienza/anno-2021/](https://www.arpae.it/it/ecoscienza/numeri-ecoscienza/anno-2021/numero-6-anno-2021)
- Duro, A., Barbani, M., Campione, E., Conte, C., De Francesco, E., Delli Passeri, L., e Massimi, F., 2023: “La crisi idrica del 2022-2023: le attività svolte dal Dipartimento della Protezione Civile”, in Cap. 8 del Blue Book 2023, 75-90. Disponibile online al link: <https://www.utilitatis.org/wp-content/uploads/2023/04/BLUE-BOOK-2023.pdf>.
- Mariani, S., Braca, G., Romano, E., Lastoria, B., e Bussettini, M., 2018: Linee Guida sugli Indicatori di Siccità e Scarsità Idrica da utilizzare nelle Attività degli Osservatori Permanenti per gli Utilizzi Idrici, Pubblicazione CREAMO PA, 66pp. Disponibile online al link: [http://www.isprambiente.gov.it/pre\\_meteo/idro/Osservatori/Linee%20Guida%20Pubblicazione%20Finale%20L6WP1\\_con%20copertina\\_ec.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Osservatori/Linee%20Guida%20Pubblicazione%20Finale%20L6WP1_con%20copertina_ec.pdf).
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993: The relationship of drought frequency and duration of time scales. In Proc. of Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, January 17–23, 1993, Anaheim CA.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*, 23, 1696–1718.
- WMO–World Meteorological Organization, 2006: Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. WMO-No. 1006, Geneva, 24pp.
- WMO–World Meteorological Organization, 2009: Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks. Press Release No. 872.
- WMO–World Meteorological Organization, 2012: Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D.). WMO-No. 1090, Geneva, 24pp.

## CRONACA DELLA GRANDE SICCIÀ IN PIEMONTE

Le radici della grande siccità del 2022 che ha colpito il nord Italia, ma più intensamente il Piemonte, affondano nell'anno precedente. A fine estate-inizio autunno 2021 i bacini meridionali del cuneese mostravano già segni di siccità meteorologica compresa tra moderata e severa. Durante il proseguo della stagione autunnale sono stati registrati afflussi meteorici sostanzialmente nella norma climatica con deficit pluviometrici contenuti nell'ordine del 10-15% ma punte del 25% a sud rispetto alla norma climatica 1991-2020.

### Inverno 2021-2022

In questo contesto nel quale le precipitazioni medie risultavano già deficitarie, il Piemonte è andato incontro all'inverno più anomalo dell'ultimo secolo: una stagione calda e secca con numerosi episodi di foehn che dalle Alpi si è spesso spinto fino alle pianure. Nel dicembre 2021 sono stati registrati afflussi pluviometrici medi sulla regione scarsi, pari a circa 22 mm e concentrati sui settori occidentali, segnando un deficit complessivo di circa il 65% rispetto alla media del trentennio climatico di riferimento (1991-2020). Gennaio 2022 è stato caratterizzato da precipitazioni esigue con soli 5 mm medi sull'intero bacino del Po chiuso alla confluenza col Ticino e un deficit complessivo di oltre il 90%; il mese è risultato il 4° più secco dopo 1989, 1993 e 2005. Il protrarsi di condizioni anticicloniche e temperature superiori alla norma hanno ridotto progressivamente lo spessore del manto nevoso che si presentava, su tutti i settori alpini, al di sotto della norma con un deficit superiore al 50%. L'assenza di precipitazioni di rilievo si è protratta per tutto il mese di febbraio con poco meno di 10 mm medi, risultando l'8° più secco degli ultimi 65 anni. Complessivamente l'inverno (DJF) 2021-2022 è stato sul Piemonte il 3° più caldo degli ultimi 65 anni, con un'anomalia positiva di temperatura media di +1.8°C, ed il 3° più secco con un deficit medio di circa il 70% rispetto alla norma climatica 1991-2020. Gli inverni (DJF) 1981 e 2000 sono stati più secchi e gli inverni 2020 e 2007 sono stati più caldi, ma la combinazione di entrambi i fattori è peculiare dell'inverno 2021-2022 (l'inverno 2019 vi si avvicina, anche se con anomalie decisamente inferiori).

Per quanto riguarda la neve, utilizzando il metodo del SAI –Standardized Anomaly Index, sono stati analizzati i valori delle stazioni nivometriche per ottenere un'analisi complessiva per tutto il Piemonte.

Nel grafico di Figura 1 sono riportate le anomalie di neve fresca cumulata nella stagione invernale, per le stazioni del territorio piemontese dal 1960 al 2022; più i valori sono vicini allo 0 più si avvicinano ai valori medi del periodo 1981-2020. Nel complesso la stagione invernale 2021-2022 risulta notevolmente sotto la media, molto lontano dal 10° percentile, per cui la stagione è da considerare eccezionale; infatti, se osserviamo l'intero grafico del SAI, riferito agli ultimi 60 anni, vediamo come non sia mai stata registrata una stagione con un tale deficit in tutto il periodo analizzato.

Dall'analisi della neve fresca stagionale in 11 stazioni rappresentative per il territorio piemontese (Figura 2) si può notare un deficit stagionale molto marcato, rispetto alla media degli ultimi quarant'anni (1981-2020). I valori sono compresi tra il -50% e il -60% sia alle quote più elevate che alle quote medie, con picchi del 70%-80% soprattutto nelle Alpi Pennine. L'anomalia negativa è risultata minore nei settori di confine settentrionali e occidentali dove, i numerosi eventi di foehn di dicembre e gennaio hanno apportato qualche nevicata in più sulle creste di confine, rispetto alle restanti zone regionali. I valori di carenza risultano più contenuti nella zona di confine occidentale più a ovest della regione (-36.5% a Bardonecchia - L. Rochemolles, 1975 m slm).

La combinazione di scarse precipitazioni nevose e temperature elevate, soprattutto nel periodo primaverile, oltre a determinare una notevole riduzione del periodo di copertura nevosa al suolo durante l'inverno, ha portato alla completa fusione del manto nevoso anche a quote elevate in largo anticipo rispetto alla norma. Tra le stazioni più in quota sono da segnalare: Bardonecchia - Colle del Sommeiller (2981 m slm, Figura 3) dove la fusione completa è stata registrata il 24 maggio 2022 (2 mesi in anticipo rispetto all'anno precedente - 21 luglio 2021), Macugnaga - Passo Moro (2820 m slm) dove la neve si è completamente fusa il 27 maggio 2022 (1.5 mesi di anticipo rispetto all'anno precedente -12 luglio 2021) e Pontechianale - Colletto Fiume (zona Monviso, a quota 3325 m) dove la neve è scomparsa il 6 giugno

2022 (oltre 1 mese di anticipo rispetto alla stagione precedente - 8 luglio 2021).

### **SWE – Snow Water Equivalent**

La quantificazione della risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso è di fondamentale importanza per la corretta definizione dei processi di formazione delle portate idriche nei corsi d'acqua di origine alpina. Con il termine "Snow Water Equivalent (SWE)" si indica il volume di acqua immagazzinata nel bacino sotto forma di neve e viene espressa in milioni di metri cubi.

Per poter stimare i volumi idrici effettivamente immagazzinati sotto forma di neve è stata simulata la dinamica della componente nivale utilizzando il modello idrologico fisico spazialmente distribuito, FEST-Flash flood Event based Spatially distributed rainfall runoff Transformation, operativo presso il Centro Funzionale di ARPA Piemonte. La modellazione considera: l'accumulo della componente nivale, la neve al suolo, la fase di fusione e la propagazione dell'acqua generata all'interno del manto nevoso.

I dati giornalieri dello SWE calcolati sul bacino del Po chiuso a Ponte Becca (PV) a valle della confluenza con il Ticino, sono stati confrontati con i dati storici, ovvero con il 1° ed il 9° decile della distribuzione dei valori storici per il periodo 1999-2021 (Figura 4).

Nel 2022 le precipitazioni nevose hanno fatto registrare un record negativo come quantitativi di neve fresca cumulata da novembre (2021) a maggio (2022) e anche come inizio di stagione 2022-2023. L'andamento dell'SWE è quindi risultato con valori prossimi al 1° decile per lunghi periodi, evidenziando un rapido esaurimento a partire da fine aprile: la rapida fusione del manto nevoso ha determinato significativi effetti nel reticolo idrografico della regione, con ridotti deflussi già a inizio primavera. Nel mese di novembre e dicembre le scarse nevicate non hanno inoltre determinato un accumulo idrico in media coi valori tipici del periodo.

### **Primavera 2022**

Dopo un inverno 2021-2022 così avaro di precipitazioni sul territorio piemontese, anche la primavera 2022 si è posizionata tra le prime sei per scarsità di piogge. Con

uno scenario meteo-climatico caratterizzato da alta pressione persistente e da flussi umidi atlantici diretti oltre le Alpi, non si sono osservate precipitazioni significative sul Piemonte a partire dall'8 dicembre 2021 fino al 29 marzo 2022, per un totale 111 giorni consecutivi. Questo lasso temporale si colloca al 2° posto tra i periodi secchi invernali più lunghi degli ultimi 65 anni, dopo le stagioni 1999-2000 (137 giorni) e 1980-1981 (107 giorni). L'assenza di precipitazioni significative si è protratta fino alla fine del mese di marzo, attestando il deficit a 80% rispetto alla media climatica.

Il proseguo della primavera è stato segnato da pochi episodi, in prevalenza temporaleschi, che hanno interessato il sud della regione. Le piogge di aprile hanno apportato circa 60 mm medi sul territorio regionale con un deficit mensile risultato superiore al 40% rispetto alla norma climatica. Infine, il mese di maggio ha fatto registrare un deficit di precipitazioni pari al 30%, anche se alla fine le giornate piovose (15) sono state in linea con quanto ci si può attendere in questo periodo dell'anno (16).

Maggio è risultato anomalo soprattutto per le temperature che, nelle prime tre settimane del mese, sono state ben al di sopra della norma del periodo, culminando nella giornata del 28 maggio quando in molte località della regione le massime hanno sfiorato i 34°C, valori davvero fuori norma. Il mese è risultato tra i più caldi degli ultimi sessant'anni, alla pari con quello record del 2009 e con un'anomalia di oltre +2°C rispetto alla norma 1991-2020. Complessivamente a fine maggio si è chiuso un semestre terribile per il clima piemontese in termini di precipitazioni, considerato che da dicembre 2021 a fine primavera 2022 sono caduti mediamente alla testata del bacino del Po 181 mm contro una norma di 433 mm (-58%) con punte di oltre il 70% su torinese e novarese. Si è trattato del 3° semestre più asciutto degli ultimi 65 anni dopo il periodo ottobre 1999-marzo 2000 e luglio 2001-gennaio 2002.

### **Estate 2022**

Anche l'estate 2022 ha confermato l'andamento anomalo dell'annata, non tanto per le precipitazioni, quanto per la temperatura media che è stata di 20.7°C, +2.2°C rispetto alla media del periodo 1991-2020: la seconda stagione



estiva più calda degli ultimi 65 anni, dopo l'eccezionale estate del 2003. Giugno e luglio 2022 si collocano al secondo posto tra i mesi più caldi delle rispettive serie storiche, sopravanzati solo dalle annate 2003 e 2015, mentre agosto si è piazzato al 5° posto.

Le notti tropicali (temperature minime oltre 20°C) sono risultate notevolmente al di sopra delle medie e in alcuni capoluoghi di provincia hanno registrato periodi di giorni consecutivi più lunghi. Il numero di notti tropicali consecutivo ha registrato il record a Torino (15), Vercelli (9), Verbania (15) e Asti (15), tutti a partire dall'inizio della seconda decade di luglio. Anche i giorni tropicali ( $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) sono stati sensibilmente superiori alla media in tutti i capoluoghi di provincia.

Dal punto di vista pluviometrico, ad un inizio d'estate leggermente sotto media (-20%), ha fatto seguito un mese di luglio decisamente secco su gran parte del territorio regionale (-45%) salvo qualche area del basso cuneese, dove le piogge sono risultate nella norma rispetto alla climatologia 1991-2020. L'estate si è quindi chiusa con un mese di agosto particolarmente instabile e i frequenti temporali con valori complessivi del mese lievemente al di sopra della media (+5%), soprattutto nei bacini occidentali di cuneese e torinese.

In totale nell'estate 2022, sono caduti in Piemonte circa 195 mm medi di pioggia a fronte di una norma climatica stagionale di 239 mm, con un deficit totale pari a circa il 18% rispetto al valore medio degli ultimi 30 anni. L'estate 2022 è risultata tra le 15 più secche degli ultimi 65 anni.

### **Autunno 2022**

L'autunno 2022 si è aperto con settembre caratterizzato da scarsi apporti pluviometrici e con due sole giornate in cui le precipitazioni medie in regione hanno superato la soglia dei 10 mm medi. Il totale è stato di 57 mm, contro una media mensile di 103 mm nel periodo climatico 1991-2020.

Ottobre ha registrato ancora un forte deficit pluviometrico con valori di 80% nel sud Piemonte e 30% e 50% altrove e novembre ha confermato la tendenza a scarsità di precipitazione (80% nel Piemonte occidentale e circa 50% altrove). Nell'insieme l'autunno 2022 si è chiuso con una precipitazione media di 167.5 mm (9° anno più siccitoso) e un deficit di circa 60%.

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2022 in Piemonte sono state pari a 587.7 mm e sono risultate inferiori alla norma 1991-2020, con un deficit di 412.3 mm, che corrisponde al 41% circa.

Ciò che rende unico l'anno 2022 è la concomitanza di precipitazioni scarse, alte temperature (anno più caldo dal 1958) e lo scarso innevamento montano, con una disponibilità di risorsa nivale ormai già esaurita a fine maggio. Il 2022 si caratterizza come l'anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2022 seguito dal 2001 e l'anno più caldo al 1958, seguito dagli anni 2017, 2015, 2020.

### **Inverno 2022-2023**

Il mese di dicembre sembrava portare ad una svolta nel lungo periodo di scarse precipitazioni e temperature sopra la media, facendo registrare precipitazioni nevose anche a quote di pianura nella prima metà del mese. Tuttavia, un nuovo rialzo delle temperature e assenza di precipitazioni fino alla fine del mese con successivi episodi di foehn hanno favorito il ritorno a condizioni di scarso innevamento anche alle quote più elevate dei settori alpini piemontesi.

La situazione non è molto migliorata nei primi 4 mesi del 2023, considerato che le piogge registrate fino alla fine del mese di aprile hanno fatto segnare un -50%, sempre rispetto all'ultimo trentennio climatologico, un dato che, per il periodo dell'anno, è prossimo al 5° percentile della distribuzione storica.

Lo scenario è tuttavia decisamente cambiato non appena il calendario è arrivato a maggio: negli ultimi 31 giorni della primavera 2023, infatti, sono caduti in Piemonte oltre 215 mm medi di pioggia, un valore che fa del maggio 2023, il 4° maggio più piovoso degli ultimi 65 anni, con un surplus pluviometrico quantificabile attorno all'80% in più rispetto alla norma del trentennio climatico di riferimento. Si veda il grafico dell'andamento della neve al suolo e della neve fresca in Figura 6 relativo alla stazione nivometrica presso il Rifugio Gastandi – Balme (TO) a 2659 m di quota dove nel mese di maggio grazie alle abbondanti precipitazioni i valori sono ritornati prossimi a quelli medi (neve fresca cumulata), se non addirittura superiori (neve al suolo).

Questa abbondanza di pioggia e neve, in uno dei mesi climaticamente più generosi di precipitazione sulla regione piemontese, ha fatto sì che il deficit medio di pioggia da inizio anno solare si sia ridotto a circa -7%. Nonostante questo colpo di coda tardo primaverile, la stagione invernale 2022-2023, dal punto di vista delle precipitazioni nevose sui rilievi, è stata la 3° meno nevosa dal 1960 dopo la stagione precedente e quella del 2006-2007 (Figura 1).

In Piemonte le criticità legate alla siccità 2022-2023 si sono comunque decisamente ridotte, almeno sul breve e medio periodo, come certificano gli indici SPI e SPEI calcolati sui 3 e 6 mesi che sono rientrati entro valori di normalità su quasi tutta la regione; resta ancora sotto stretta osservazione la situazione nel lungo periodo, ovvero la siccità sui 12 e 24 mesi, perché le precipitazioni di maggio, seppur abbondanti, non sono state sufficienti a compensare completamente 18 mesi (circa) di deficit pluviometrico diffuso su tutta l'area.

**Anomalia nevicate in Piemonte da novembre a maggio**

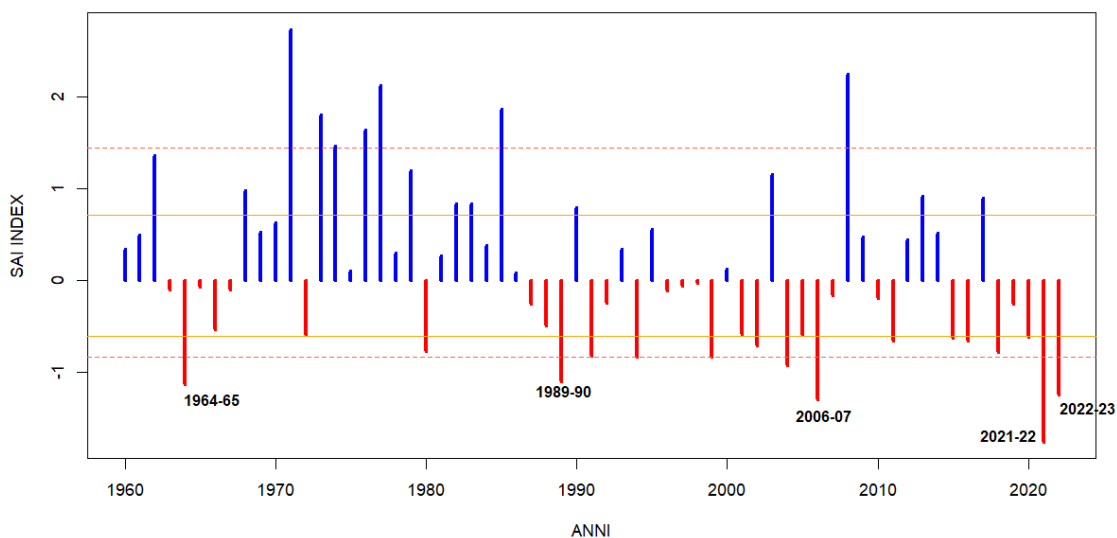


Figura 1: Indice di anomalia standardizzato della precipitazione nevosa in Piemonte (SAI - Standardized Anomaly Index) dal 1960 al 2022 basato sulla media del quarantennio 1981-2020. I valori delle stagioni che rimangono entro le linee continue (arancioni, che indicano rispettivamente il 1° e il 3° quartile) possono essere considerate nella media, mentre le variazioni che ricadono nell'intervallo tra le linee continue e quelle tratteggiate (rispettivamente nella parte negativa tra il 10° e il 25° percentile e nella parte positiva tra il 75° e il 90° percentile) sono considerate stagioni anomale, fuori dalla media. In ultimo le stagioni che ricadono al di sotto del 10° percentile e al di sopra del 90° percentile si considerano stagioni eccezionali.

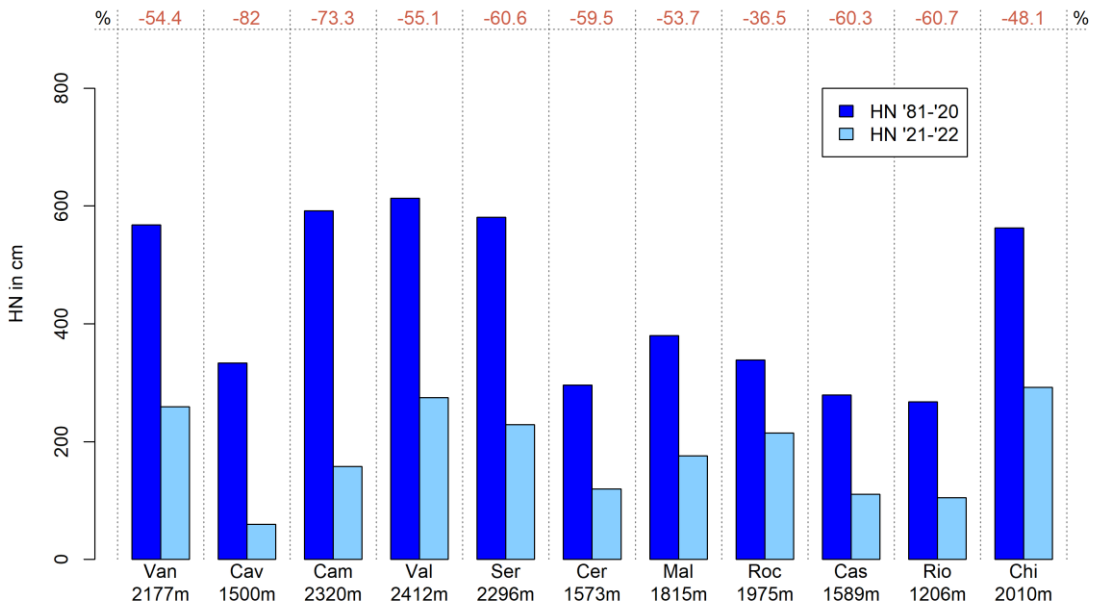


Figura 2: Neve fresca cumulata da novembre a maggio nella stagione 2021-2022 (in azzurro) a confronto con la media trentennale 1981-2020 (in blu).

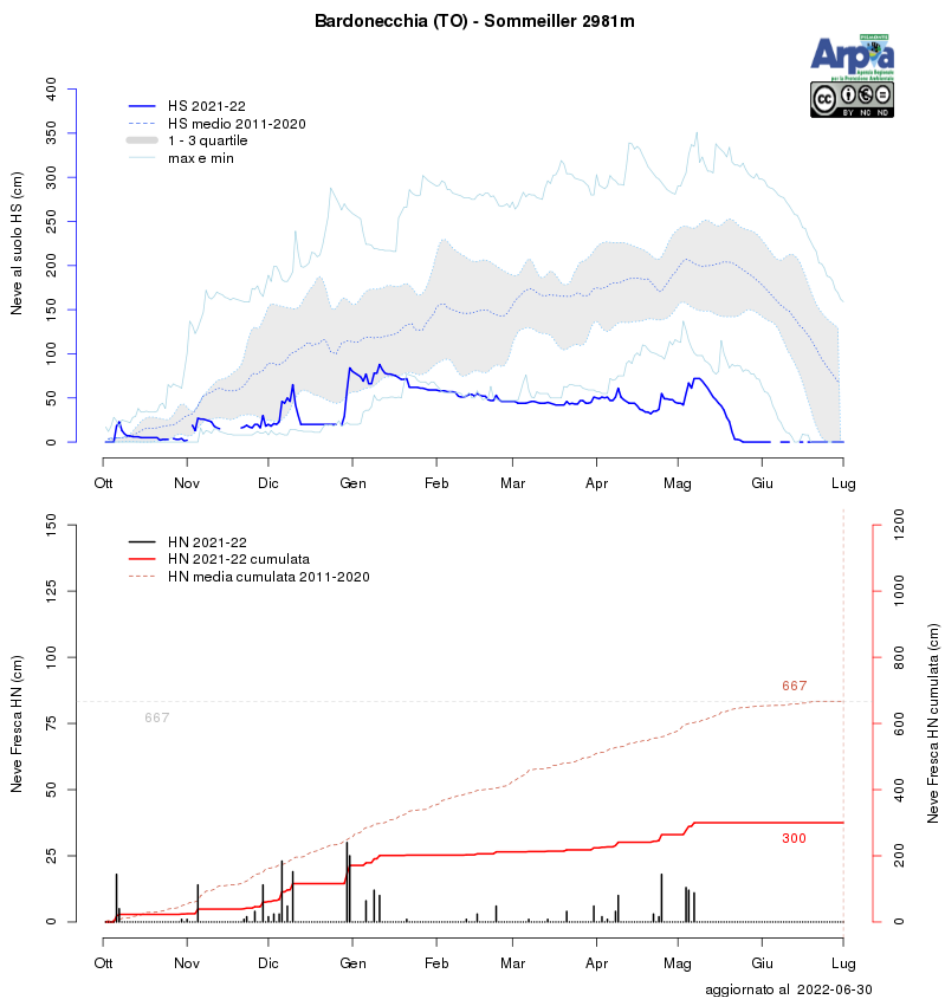


Figura 3: Stazione di Bardonecchia Sommeiller dove la fusione completa del manto nevoso è stata raggiunta con quasi 2 mesi di anticipo rispetto alla scorsa stagione.

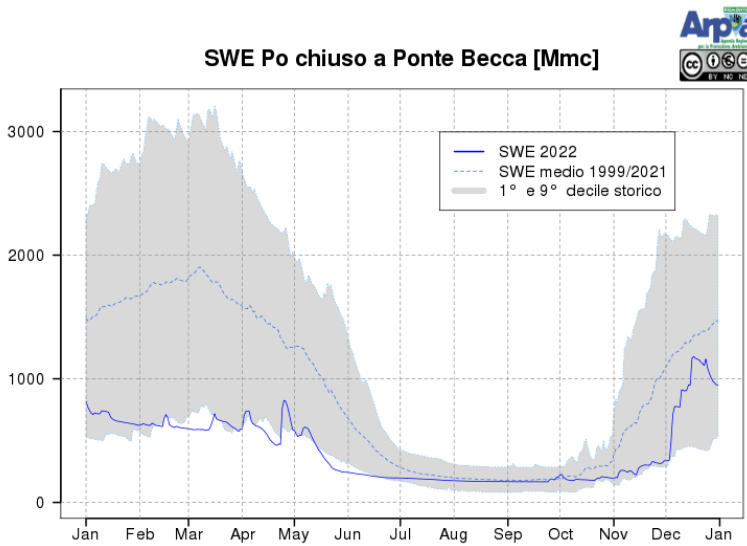


Figura 4: Andamento giornaliero dello SWE nel corso del 2022 e confronto con i dati storici.

Tabella 1: Numero di notti e giorni tropicali nei capoluoghi piemontesi.

|           | Giorni tropicali |      | Notti tropicali |      |           | Giorni tropicali |      | Notti tropicali |      |
|-----------|------------------|------|-----------------|------|-----------|------------------|------|-----------------|------|
|           | 1991-2020        | 2022 | 1991-2020       | 2022 |           | 1991-2020        | 2022 | 1991-2020       | 2022 |
| <b>AL</b> | 55.8             | 77   | 2.9             | 11   | <b>NO</b> | 39.7             | 57   | 32.5            | 55   |
| <b>AT</b> | 49.6             | 72   | 4.3             | 13   | <b>TO</b> | 44               | 79   | 17.2            | 45   |
| <b>BI</b> | 33.2             | 55   | 28.4            | 49   | <b>VB</b> | 38.7             | 61   | 19.9            | 45   |
| <b>CN</b> | 15.7             | 28   | 0.9             | 4    | <b>VC</b> | 45.9             | 65   | 8.6             | 28   |

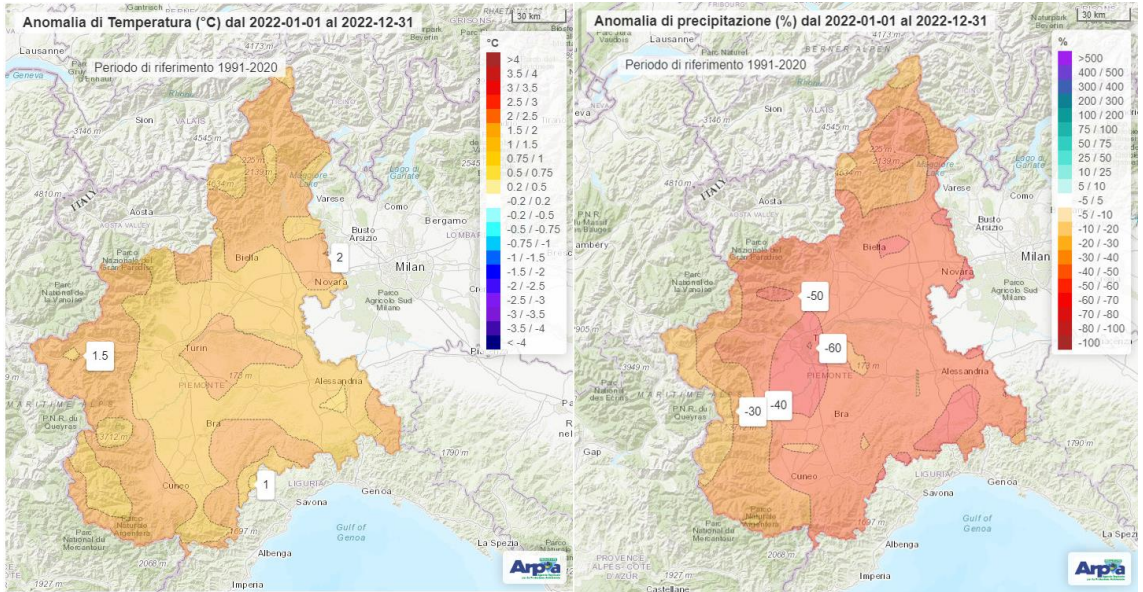


Figura 5: Anomalie di temperature (sinistra) e precipitazioni in Piemonte per l'anno 2022.

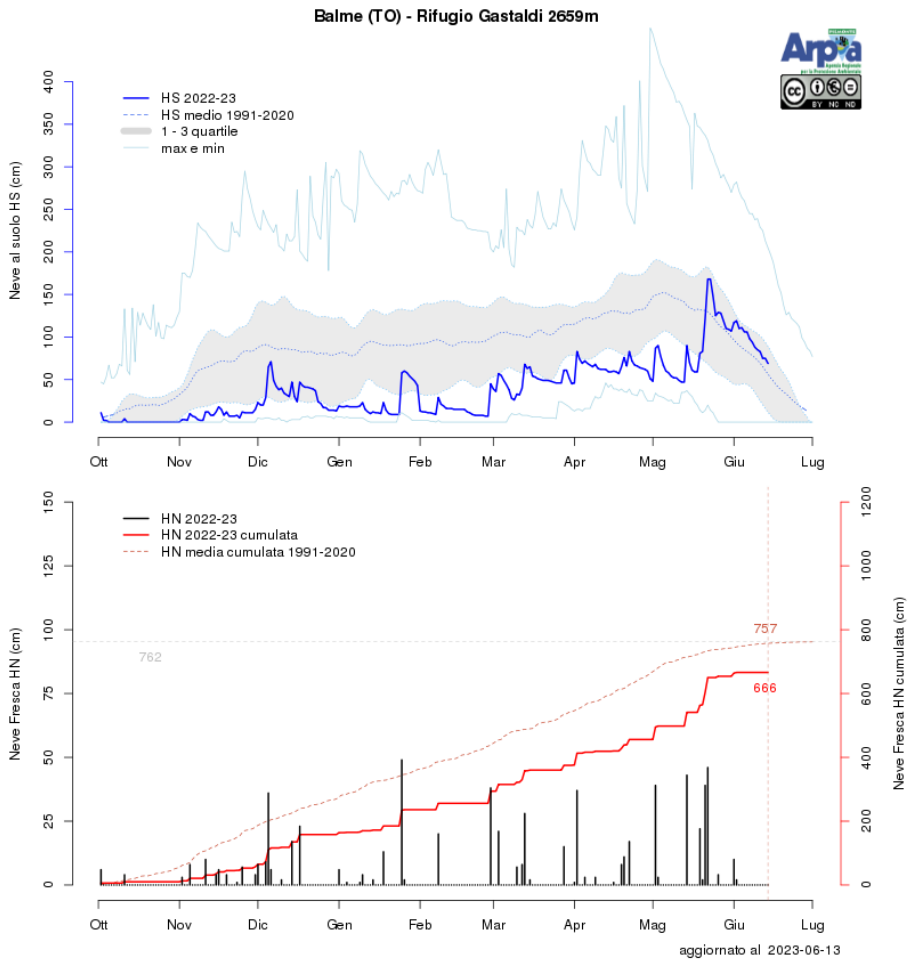


Figura 6: Andamento neve al suolo (grafico in alto - blu) e della neve fresca cumulata (grafico in basso - rosso) rispetto alla media climatologica 1991-2020.

## LA SICITÀ DEL 2022 NEL BACINO DELL'ADDA IN LOMBARDIA

La Lombardia è storicamente una regione ricca di acqua: i sistemi irrigui possono normalmente contare, oltre che sulla precipitazione, anche sulla riserva di acqua stoccata sottoforma di neve (SWE–Snow Water Equivalent) sull'arco alpino e sugli invasi naturali dei grandi laghi prealpini regolati.

Il 2022 è stato un anno contraddistinto da temperature elevate e scarsità di precipitazioni in tutta l'Europa Meridionale, la Lombardia non ha fatto eccezione: nel primo trimestre, i valori di precipitazione cumulata media sui bacini lombardi si sono mantenuti decisamente al di sotto della media e prossimi ai minimi del periodo 2006-2020, con il record negativo di marzo che, con soli 9 mm, si è collocato al di sotto del minimo del periodo di riferimento. I mesi da aprile ad agosto hanno mostrato un'anomalia negativa meno marcata, ma solo settembre e dicembre hanno fatto registrare cumulate in linea con la media del periodo. Riguardo le temperature, la regione ha fronteggiato l'estate più calda di sempre al pari di quella del 2003, con anomalie medie mensili fino a +4°C in giugno e luglio rispetto la climatologia 2006-2020.

Il deficit di precipitazioni ha impattato in maniera significativa sulla disponibilità di riserva idrica; all'inizio di aprile la riserva idrica disponibile raggiungeva solo il 40% della media del periodo 2006-2020. Il deficit osservato è dovuto principalmente alla carenza di innevamento (SWE -72%), associata a un saldo negativo superiore al 30% sia per gli invasi alpini che per i grandi laghi.

I sistemi ambientali e produttivi della Lombardia si sono quindi trovati a fronteggiare una situazione emergenziale, apparsa critica già dai primi mesi dell'anno. Le attività dell'Osservatorio Permanente sugli utilizzi idrici del Distretto del Fiume Po sono iniziate a metà febbraio e quelle del Tavolo Regionale per l'utilizzo della Risorsa idrica in agricoltura alla fine di marzo; entrambi i consessi hanno l'obiettivo di coordinare la gestione della risorsa, tenendo conto della situazione di scarsità generalizzata e dei molteplici usi, spesso concorrenti, cui essa è sottoposta.

Sul fronte dell'approvvigionamento idropotabile, le prime segnalazioni di difficoltà da parte di alcuni comuni montani sono state inviate nei mesi di aprile e maggio, mentre al 30 giugno si evidenziavano criticità nel 24% dei Comuni della Lombardia, che coinvolgevano due milioni di abitanti (circa il 17% della popolazione lombarda). Il 01 luglio 2022 la Regione ha quindi fatto richiesta di dichiarazione dello stato di emergenza nazionale ex art. 24, comma 1 D.Lgs. 1/2018.

Si propone di seguito un approfondimento sul bacino del fiume Adda (7927 km<sup>2</sup>, corrispondente all'11% della superficie del bacino del Po), che ben rappresenta le diverse situazioni presenti a scala regionale. Si tratta infatti di un bacino quasi interamente lombardo, interessato da un intenso uso antropico delle acque. Sia lungo l'asta principale che lungo i due maggiori affluenti, Brembo e Serio, sono diffusamente presenti usi idroelettrici, prevalentemente nel tratto montano, e irrigui, prevalentemente nel tratto di pianura. A differenza di Brembo e Serio, sull'Adda la presenza del lago di Como permette di disporre di una riserva aggiuntiva e di ridistribuire i volumi nel corso dell'anno.

Analogamente a quanto osservato a scala regionale, anche nel bacino dell'Adda le precipitazioni registrate sono state complessivamente inferiori sia alla media (-38%) che ai minimi (-17%) del periodo di riferimento 2009-2020. Il mese più siccitoso si conferma marzo, con un deficit del 90% rispetto alla media e del 74% rispetto ai minimi, mentre i mesi di settembre e ottobre sono stati quelli più vicini alla media del periodo di riferimento (-10%). La zona di pianura, che comprende il bacino dell'Adda sublacuale, quello del Brembo a valle della sezione di Ponte Briolo e quello del Serio a valle della sezione di Ponte Cene, ha registrato precipitazioni del 23% inferiori al minimo del periodo di riferimento, toccato nel 2015, e del 49% inferiori alla media. Sui bacini montani lo scostamento dalla media è stato di -40% e -42% per Brembo e Serio rispettivamente, di -32% per l'Adda (incluso il bacino del lago di Como). In Figura 2 si riporta la precipitazione cumulata media annua sui sottobacini, evidenziando il contributo dei diversi mesi, rapportata alla media del periodo 2009-2020.

La persistente scarsità di afflusso meteorico ha avuto conseguenze sui livelli e sulle portate dei corsi d'acqua.



In Figura 3 è riportato l'andamento delle portate medie giornaliere in alcune sezioni significative del bacino dell'Adda sublacuale: si osserva che, per le sezioni di Adda a Pizzighettone (chiusura bacino, in confluenza Po), Brembo a Ponte Briolo e Serio a Ponte Cene (entrambe in chiusura dei bacini montani), le portate si sono mantenute quasi sempre al di sotto della media del periodo di riferimento 2006-2020 (o di disponibilità dei dati) fino al mese di settembre, con l'eccezione di alcuni picchi isolati legati a brevi eventi precipitativi. Nei mesi primaverili e in agosto si sono osservati valori di portata inferiori anche ai minimi storici. La sezione di Adda a S. Maria Lavello, in uscita dal lago di Como, mostra invece un andamento diverso, definito dalla gestione dei volumi invasati nel lago: si osserva infatti una riduzione dei deflussi fino alla metà di maggio, che ha permesso di accumulare una riserva che è stata utilizzata nei mesi successivi, come si evidenzia dall'aumento dell'erogazione tra maggio e giugno.

Le precipitazioni dei mesi autunnali hanno invece determinato un aumento dei deflussi, con picchi localmente superiori anche al 90° percentile per tutte le sezioni considerate. L'analisi delle portate ha messo in evidenza l'importanza dei volumi stoccati nelle tre componenti della riserva idrica, ossia SWE, invasi artificiali e grandi laghi regolati. La stagione invernale 2021-2022 è stata avara di neve sull'arco alpino: gli unici accumuli significativi sono stati registrati all'inizio di dicembre 2021 e a metà febbraio 2022 e i valori di SWE si sono mantenuti al di sotto della media per tutta la stagione. Le temperature inferiori alla media del mese di aprile hanno rallentato lo scioglimento nivale, consentendo allo SWE di mantenersi stabile nel corso del mese. A maggio si è però osservata una rapida diminuzione, che ha portato all'esaurimento dello SWE già all'inizio di giugno, con quasi un mese di anticipo rispetto a una stagione ordinaria.

I grafici di Figura 5 riportano l'andamento della somma delle tre componenti lungo l'arco dell'anno: si evidenzia

come, a partire da febbraio 2022, la riserva idrica complessivamente disponibile si sia mantenuta quasi sempre prossima o al di sotto del minimo storico.

Alla fine di marzo, la riserva idrica disponibile per il bacino dell'Adda era di circa 360 Mm<sup>3</sup>, ossia il 66% in meno rispetto alla media del periodo di riferimento 2006-2020. Nel dettaglio, il lago di Como registrava un invaso dell'82% inferiore alla media, gli invasi alpini -30% e lo SWE -66%. La riduzione delle erogazioni del lago ha permesso di recuperare circa 140 Mm<sup>3</sup> di volumi invasati, che hanno in parte compensato la perdita di riserva dovuta allo scioglimento nivale. Nel complesso, alla fine di maggio, la riserva per il bacino dell'Adda si attestava a -53% sotto la media, con il lago a -12%, gli invasi a -25% e lo SWE praticamente esaurito (-83%).

Per i bacini di Brembo e Serio la riserva idrica si compone unicamente di SWE e invasi artificiali: la componente nivale, che nella stagione invernale e primaverile è normalmente preponderante, risultava a fine marzo circa l'80% al di sotto della media per entrambi i bacini, determinando un bilancio complessivo della riserva di -81% per il Brembo e -77% per il Serio. Su questi due bacini, la riserva è stata in costante diminuzione lungo l'arco della stagione, toccando valori anche inferiori a -95% rispetto alla media alla fine di luglio.

A fine settembre, la riserva totale per il bacino dell'Adda si attestava a -50% rispetto alla media, mentre per Brembo e Serio il deficit era dell'85% e del 75% rispettivamente.

Con le precipitazioni dell'autunno-inverno 2022 si è avuto un parziale recupero, che non è tuttavia stato sufficiente a riportare in media la riserva idrica: al 31 dicembre si registra un -33% per il bacino dell'Adda e -44% per Brembo e Serio.

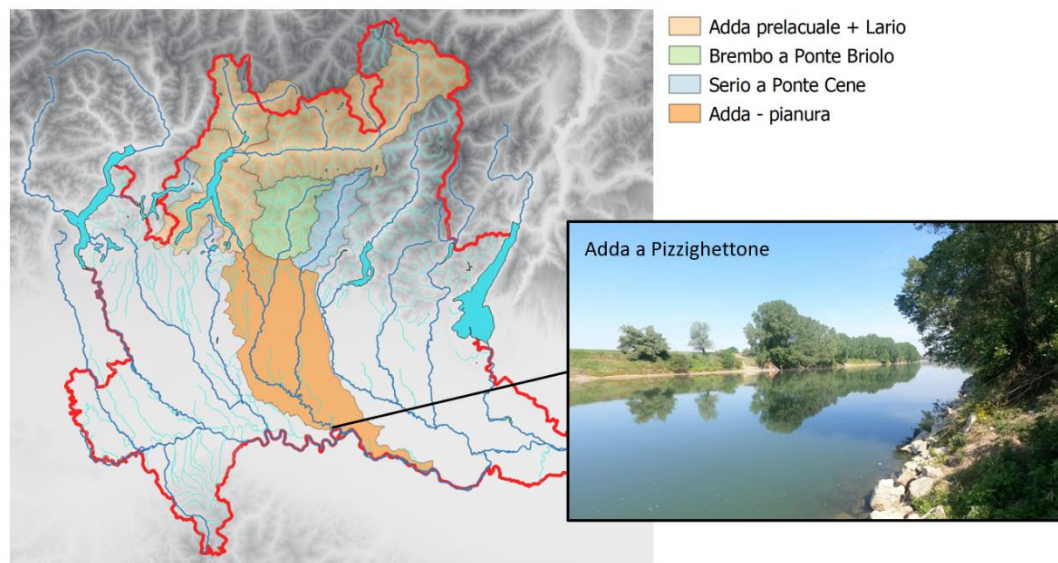


Figura 1: Geografia del bacino dell'Adda. A destra una foto scattata il 13-05-2022 a Pizzighettone (CR).

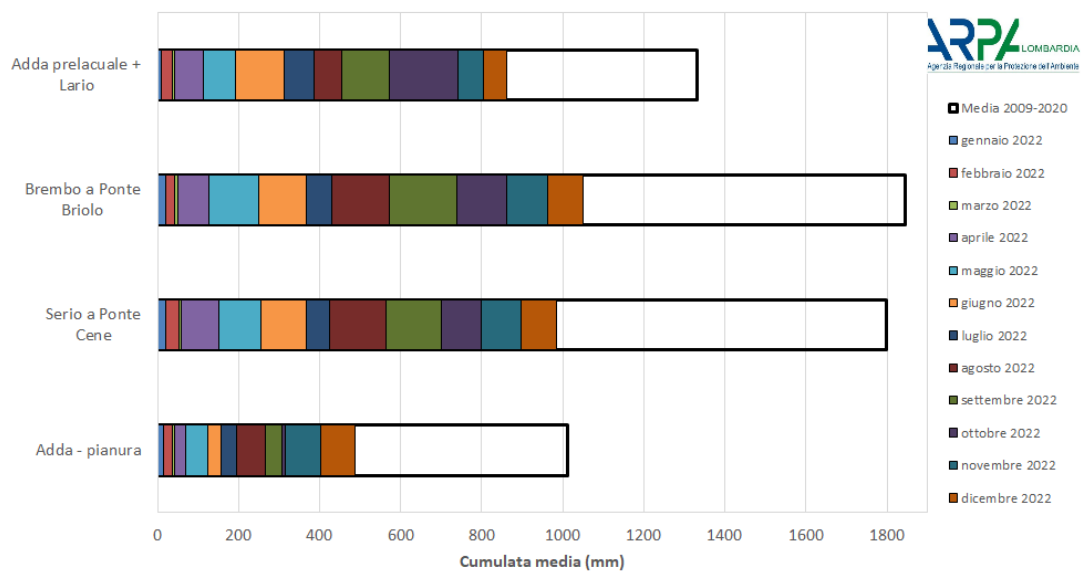


Figura 2: Cumulata media mensile di precipitazione sui sottobacini dell'Adda e confronto con la media annua 2009-2020.

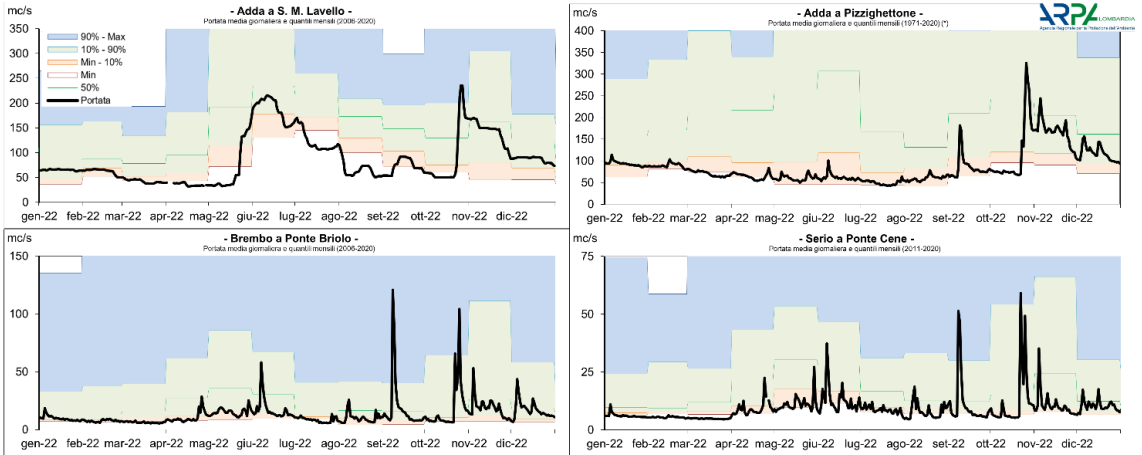


Figura 3: Portate osservate in alcune sezioni significative del bacino dell'Adda sublacuale.

(\*) anni 1971-1978,2001,2013-2016,2019-2020



Figura 4: Foto ARPA Lombardia del 22.03.22 - Pizzo Dosdè (SO)– 3280 m slm.

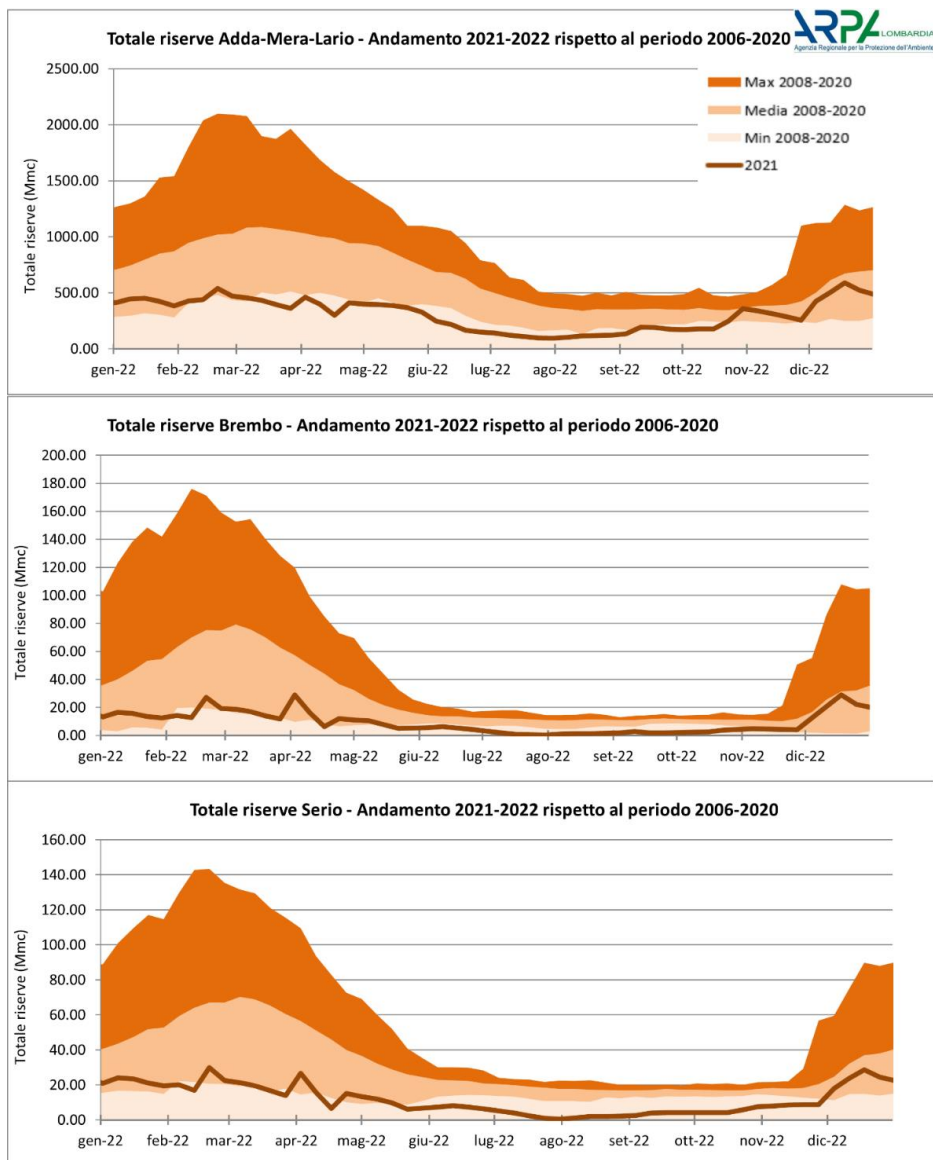


Figura 5: Andamento complessivo delle riserve idriche per i sottobacini dell'Adda.

## LA RISORSA NEVOSA SULLA MONTAGNA VENETA (SWE)

### Introduzione

La montagna veneta è caratterizzata dalla presenza stagionale del manto nevoso che secondo la classificazione internazionale (Sturm et al., 2005) è di tipo “alpino” ossia nella transizione fra un clima continentale e marittimo. Il “manto nevoso alpino” è caratterizzato da uno spessore di 75-250 cm, una durata di 7 mesi ed è frequentemente alternato da strati spessi e sottili, in parte influenzati dal vento, in parte dalle nevicate caratterizzate da basse densità della neve fresca.

Lo studio della risorsa idrica nevosa e la sua variazione nei tempi recenti è un aspetto cruciale negli ultimi anni. Nonostante l'elevata variabilità interannuale, diversi studi hanno già mostrato una significativa diminuzione dei giorni di permanenza della neve al suolo nel recente passato, soprattutto alle basse quote (Valt e Cianfarra, 2010, Metiu et al., 2021).

La risorsa idrica nevosa è data dallo Snow Water Equivalent (SWE) di un bacino montuoso, in un dato momento della stagione invernale, espressa come mm o milioni di metri cubi di acqua equivalente. Lo SWE puntuale è calcolato moltiplicando l'altezza del manto nevoso (HS) per la sua densità e rappresenta la quantità di acqua immagazzinata nel manto nevoso (Fiertz et al., 2009).

Tuttavia, per lo SWE sono disponibili poche misure dirette rispetto al valore di HS (si veda, ad es. Schöber et al., 2016), in quanto le misurazioni richiedono procedure complesse, costose e spesso distruttive del manto nevoso. La maggior quantità di studi sulla variazione della risorsa idrica è concentrata nel nord America, dove la disponibilità di dati è maggiore.

Pochi sono i lavori di analisi sulle Alpi, alcuni relativi alla Svizzera (Rohrer et al., 1994, Jonas et al. 2009, Marty et al., 2017), altri alle Alpi italiane (si veda, ad es. Bocchiola e Dolaiuti, 2010, Avanzi et al., 2023) e un primo studio sul trend dello SWE a lunga scala temporale di Colombo et al. (2022).

### Dati disponibili per la montagna veneta e per le Alpi orientali

L'analisi della risorsa nevosa della montagna veneta e delle Alpi orientali sul medio periodo (1961-2023) è possibile per la disponibilità dei dati di HS giornaliera di 9 stazioni nivometeorologiche tradizionali, di cui 7 nelle Dolomiti e 2 nelle Prealpi (Tabella 1).

### Elaborazioni effettuate

Mancando le serie storiche di misure dirette di SWE, è stato determinato il valore giornaliero di SWE (in mm o kg m<sup>-2</sup>) utilizzando il modello semi empirico  $\Delta$ SNOW (Winkler et al., 2021) come già avvenuto in “Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps” (Colombo et al., 2022).

Per comprendere l'andamento generale dello SWE alle diverse quote, è stato determinato il valore mediano giornaliero dello SWE del mese di marzo, che di norma ha i valori più elevati della stagione invernale, e successivamente per gli altri mesi invernali.

Per ogni singola stazione è stato valutato il valore di trend (Q) con il metodo delle mediane Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968) e la sua significatività statistica, utilizzando il test non parametrico di Mann-Kendall (Salmi et al., 2022). Infine sono stati determinati i valori caratteristici dei 2 trentenni climatici, 1961-1990 e 1991-2020, per valutare le eventuali tendenze alle diverse quote. Per queste elaborazioni le stazioni sono state suddivise per quote e in 2 grandi raggruppamenti: oltre i 1500 m di quota (alta quota); e al di sotto dei 1500 m (bassa quota) con la stazione a 1440 m appartenente ad ambedue i raggruppamenti. Questa suddivisione è utilizzata da diversi autori in quanto al di sotto dei 1500 m di quota gli scenari futuri di aumento della temperatura dovrebbero avere un impatto importante, determinando condizioni di cambiamento del regime della precipitazione da nevosa a piovosa; mentre al di sopra l'innalzamento delle temperature non dovrebbe essere tale da instaurare un deciso cambiamento di regime (sarà più caldo ma sempre nel range della precipitazione nevosa, forse anche più abbondante).

## Risultati sull'andamento dello SWE

La disponibilità della risorsa idrica nevosa del mese di marzo, per le diverse stazioni, evidenzia un trend negativo a tutte le quote con diversi gradi di significatività, più elevato per la stazione di Auronzo, ma importante anche per le altre stazioni in quota (Tabella 2).

Raggruppando le stazioni per fasce altimetriche, si ottiene un trend di  $-2.0 \text{ mm y}^{-1}$  oltre i 2000 m, di  $-2.3 \text{ mm y}^{-1}$  fra i 1500 e i 2000 m, di  $-1.4 \text{ mm y}^{-1}$  fra i 1000 e i 1500 m e di  $-0.2 \text{ mm y}^{-1}$  alle basse quote, mentre per i raggruppamenti "alta quota" e "bassa quota" il trend è rispettivamente di  $-1.04$  e  $-0.96 \text{ mm y}^{-1}$ . Per le Prealpi il trend è di  $-0.2 \text{ mm y}^{-1}$ .

Analizzando i trend, tutti negativi, per singoli mesi da gennaio ad aprile, i valori aumentano con il passare dei mesi, con il massimo nei mesi di marzo e aprile per le stazioni oltre i 2000 m di quota. Questo denota un progressivo calo del carico di neve, specie da febbraio in poi (Figura 1), con una minor disponibilità di SWE per l'ablazione primaverile.

L'andamento nel tempo della risorsa nevosa è evidenziato, per le stazioni di "alta quota" e "bassa quota", dalla curva della media mobile decennale dell'equivalente in acqua della neve (Figura 2). La scarsità di neve degli anni '90 condiziona l'andamento generale con una importante flessione nel periodo centrale. A seguire, al termine degli anni '90, l'andamento del quantitativo di risorsa nevosa è in ripresa e si porta su valori prossimi a quelli degli anni 1960-1980 per le stazioni di "alta quota", con una oscillazione della curva anche oltre i 300 mm. Il quantitativo a "bassa quota", invece, ha una prima ripresa dopo gli anni '90, più lenta rispetto a quella della fascia superiore, per poi tendere a diminuire.

Gli andamenti negli anni recenti (2000-2020) evidenziano in "alta quota" una grande variabilità interannuale che alterna stagioni con poco e tanto SWE (oscillazione della media mobile), mentre nella fascia di "bassa quota" evidenziano una generale diminuzione della risorsa, caratterizzata comunque da oscillazioni.

Per comprendere meglio l'andamento della risorsa, nella Tabella 3 sono riportati i valori medi in mm dei mesi di

gennaio, febbraio, marzo e aprile per le 4 fasce altimetriche.

Le differenze fra i due periodi climatici sono importanti ed evidenziano una netta diminuzione della disponibilità della risorsa nevosa pari ad oltre il 60% al di sotto dei 2000 m nel mese di marzo, per arrivare ad essere quasi nulla ad aprile al di sotto dei 1000 m di quota. Nel mese di gennaio il deficit nella fascia più alta, oltre i 1500 m di quota, è contenuto ( $-6\%$  e  $-18\%$ ); aumenta al 30% scendendo fra i 1000 e i 1500 m di quota, per poi aumentare sempre più e interessare le quote superiori nei mesi successivi.

In sintesi, da gennaio in poi, si assiste ad una progressiva diminuzione della disponibilità della risorsa nevosa che interessa progressivamente le varie quote, non tanto per la mancanza di apporti nevosi (Valt, 2022) ma per altre cause che devono essere indagate: quali ad esempio processi accelerati di ablazione a parità di precipitazioni; o per un regime pioggia/neve che, rispetto al trentennio 1961-1990 si innalza di quota.

Colombo et al. (2022) hanno riscontrato che la NAO-North Atlantic Oscillation, la AMO-Atlantic Multi-decadal Oscillation e la AO-Artic Oscillation e le precipitazioni sono interconnesse con le oscillazioni dello SWE su lunga scala temporale (1950-2020) sull'arco Alpino italiano, anche se questa interconnessione si è degradata proprio nel trentennio recente (1991-2020) in corrispondenza di anomalie altamente positive della temperatura dell'aria. Inoltre, sempre in Colombo et al. (2022) è stato riscontrato che l'aumento della temperatura è il principale responsabile della perdita di massa nevosa e delle persistenti condizioni di siccità.

Dal punto di vista della disponibilità della risorsa nevosa nel bacino del Piave - Cordevole (area di riferimento di 2110 km<sup>2</sup> oltre gli 800 m di quota), la perdita di milioni di metri cubi di acqua equivalente nel mese di marzo è del 48% rispetto al periodo 1961-1990, pari a 240 Mm<sup>3</sup> di acqua.

### *L'inverno 2021-2022*

La stagione invernale 2021-2022 è stata scarsa di precipitazione nevose e con temperature miti che hanno favorito la fusione della neve lungo molti versanti, anche nel periodo dicembre-febbraio, contribuendo a ridurre

anticipatamente la disponibilità della risorsa nevosa. La scarsità di neve si è manifestata soprattutto nel settore occidentale delle Alpi italiane, mentre in quelle orientali le nevicate di metà febbraio, dei primi di aprile e a cavallo del mese di maggio, hanno contribuito a mantenere lo spessore medio del manto nevoso ( $HS_{imed}$ ) su valori più alti (Figura 3), dando la sensazione di una maggior nevosità, specie in quota.

Infatti, i valori dello SWE del mese di marzo, elaborati per le stazioni venete, evidenziano che il marzo 2022 si è collocato fra il 20° e 40° percentile per le stazioni oltre i 2000 m di quota rispetto al periodo 1991-2020, mentre per tutte le stazioni alle quote inferiori è rimasto al di sotto del 2° percentile, rappresentando i valori di siccità e di ripetibilità rara.

Rispetto al trentennio recente, l'innevamento dell'ultimo inverno in alta quota non risulta troppo dissimile, come valore del percentile, rispetto a quello degli ultimi anni. Invece, se valutato rispetto al trentennio precedente, il 1961-1990, l'innevamento del 2021-2022 si posiziona su valori inferiori al 10° percentile, ad indicare un evento raro. Questo conferma la minor quantità della risorsa nevosa disponibile attualmente, come confermato da altri parametri elaborati come l' $HS_{imed}$  (spessore medio del manto nevoso) in altri lavori (Valt, 2022; Bertoldi et al., 2023). La siccità dell'inverno 2021-2022, per le portate dei fiumi, è stata anche accentuata dalle minori precipitazioni piovose, già riscontrabili dal febbraio 2021.

Tabella 1: Lista delle stazioni utilizzate nel presente lavoro.

| Nome              | Quota (m slm) | Longitudine (WGS84) | Latitudine (WGS84) |
|-------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Ghirlo            | 750           | 11°58'E             | 46°20'N            |
| Auronzo           | 864           | 12°26'E             | 46°33'N            |
| Cortina d'Ampezzo | 1250          | 12°08'E             | 46°32'N            |
| Andraz            | 1520          | 11°57'E             | 46°28'N            |
| Arabba            | 1630          | 11°52'E             | 46°29'N            |
| Lago di Cavia     | 2100          | 11°48'E             | 46°21'N            |
| Lago di Fedaia    | 2050          | 11°52'E             | 46°28'N            |
| Asiago            | 1000          | 11°30'E             | 45°42'N            |
| Tonezza           | 935           | 11°20'E             | 45°51'N            |

Tabella 2: Risultati Test Kendall-Mann.

| Time series | First year | Last Year | N  | Mann-Kendall trend test | Sen-Theil slope estimate |
|-------------|------------|-----------|----|-------------------------|--------------------------|
|             |            |           |    | significativity         | (Q)                      |
| Fedaia      | 1966       | 2020      | 54 |                         | -0,384                   |
| Cavia       | 1968       | 2020      | 56 | *                       | -3,584                   |
| Arabba      | 1961       | 2020      | 60 | **                      | -2,717                   |
| Andraz      | 1961       | 2020      | 60 | **                      | -1,827                   |
| Cortina     | 1961       | 2020      | 59 | *                       | -1,023                   |
| Auronzo     | 1968       | 2020      | 53 | ***                     | -0,348                   |
| Ghirlo      | 1966       | 2020      | 55 |                         | -0,149                   |
| Asiago      | 1961       | 2020      | 60 | +                       | -0,180                   |
| Tonezza     | 1961       | 2020      | 60 |                         | -0,167                   |

\*\*\* if trend at  $\alpha = 0.001$  level of significance

\*\* if trend at  $\alpha = 0.01$  level of significance

\* if trend at  $\alpha = 0.05$  level of significance

+ if trend at  $\alpha = 0.1$  level of significance

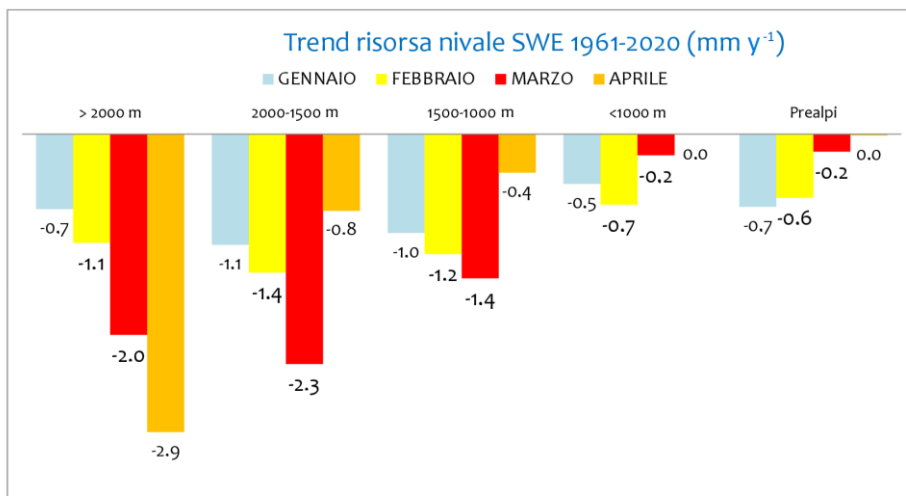


Figura 1: Trend del mese di marzo dello SWE medio mensile per fascia altimetrica.



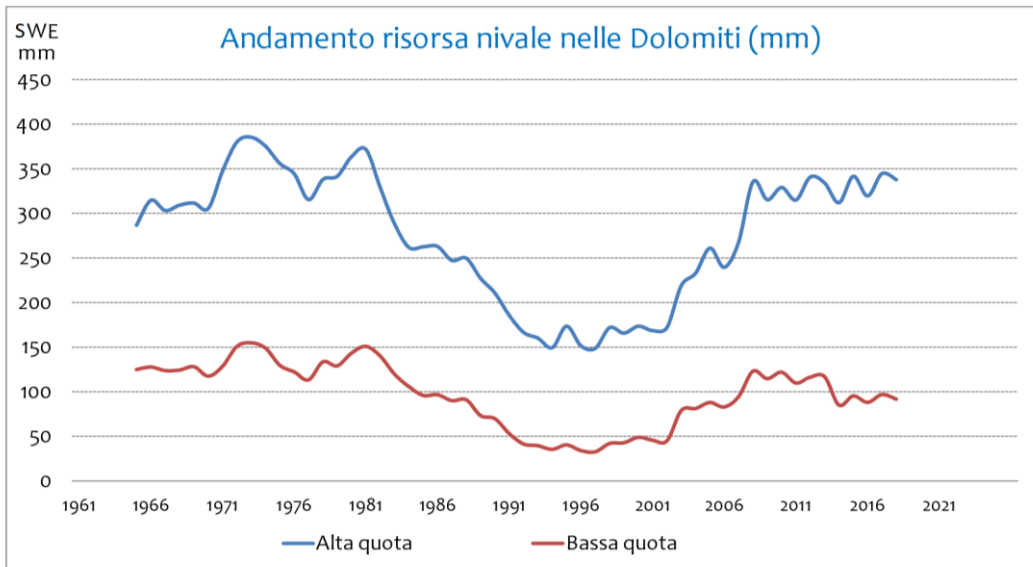


Figura 2: Andamento della risorsa nivale dal 1961 al 2020. Media mobile di decennale centrata per il raggruppamento di stazioni di "alta quota" e di "bassa quota".

Tabella 3: Valori caratteristici per fascia altimetrica per i 2 periodi climatici e scarto percentuale.

|                 | Alpi     |             |             |          | Prealpi |
|-----------------|----------|-------------|-------------|----------|---------|
|                 | > 2000 m | 2000-1500 m | 1500-1000 m | < 1000 m |         |
| <b>Gennaio</b>  |          |             |             |          |         |
| 1961-1990       | 201      | 112         | 89          | 42       | 46      |
| 1991-2020       | 189      | 92          | 63          | 18       | 22      |
| Scarto %        | -6%      | -18%        | -30%        | -56%     | -53%    |
| <b>Febbraio</b> |          |             |             |          |         |
| 1961-1990       | 291      | 165         | 140         | 71       | 72      |
| 1991-2020       | 244      | 120         | 91          | 27       | 25      |
| Scarto %        | -16%     | -27%        | -35%        | -61%     | -66%    |
| <b>Marzo</b>    |          |             |             |          |         |
| 1961-1990       | 407      | 212         | 158         | 25       | 29      |
| 1991-2020       | 284      | 84          | 65          | 4.9      | 9.4     |
| Scarto %        | -30%     | -60%        | -59%        | -81%     | -68%    |
| <b>Aprile</b>   |          |             |             |          |         |
| 1961-1990       | 447      | 71          | 38.5        | 0.1      | 3.6     |
| 1991-2020       | 273      | 11          | 7.0         | 0.0      | 0.3     |
| Scarto %        | -39%     | -85%        | -82%        | -100%    | -92%    |

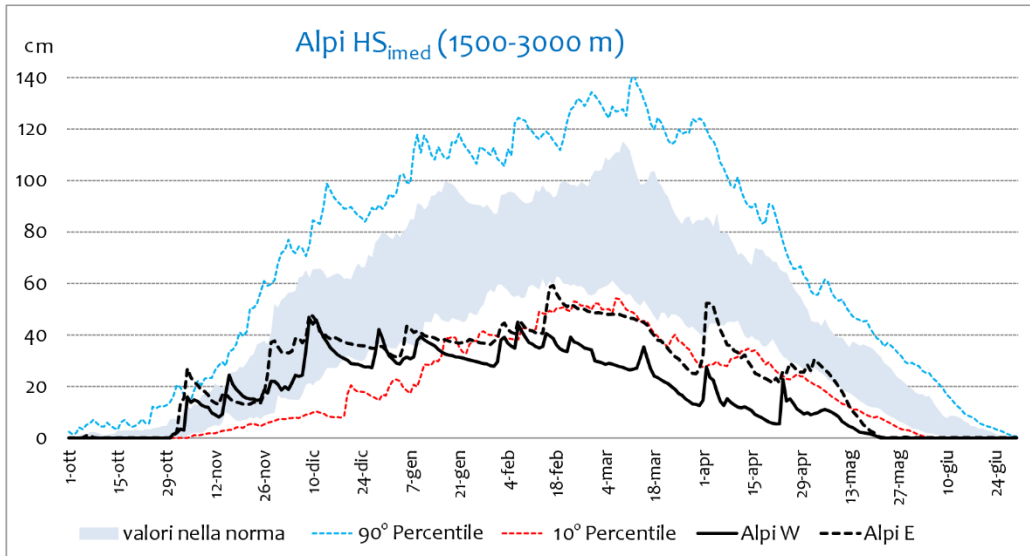


Figura 3: Andamento dello  $HS_{imed}$  per le Alpi italiane nel trentennio 1991-2020, e per i settori W ed E delle Alpi italiane nella stagione invernale 2021-2022.

## Collaborazioni

Il presente lavoro è stato elaborato con la collaborazione di Nicola Colombo (Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Roma, Italia), Paola Cianfarra (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università di Genova, Genova, Italia), Nicolas Guyennon (Istituto di Ricerca Sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Montelibretti, Roma, Italia).

## Bibliografia

- Avanzi, F., Gabellani, S., Delogu, F., Silvestro, F., Pignone, F., Bruno, G., Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Rossi, L., Puca, S., Toniazio, A., Giordano, P., Falzacappa, M., Ratto, S., Stevenin, H., Cardillo, A., Fioletti, M., Cazzuli, O., Cremonese, E., Morra di Cella, U., and Ferraris, L., 2023. IT-SNOW: a snow reanalysis for Italy blending modeling, in situ data, and satellite observations (2010–2021), *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 639–660, <https://doi.org/10.5194/essd-15-639-2023>.
- Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A. Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., Majone, B., 2023. Diverging snowfall trends across months and elevation in the northeastern Italian Alps. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.8002>
- Bocchiola, D., Diolaiuti, G., 2010. Evidence of climate change within the Adamello Glacier of Italy. *Theor. Appl. Climatol.* 100, 351–369.

- <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0186-x>.
- Colombo, N., Valt, M., Romano, E., Salerno, F., Godone, G., Cianfarra, P., Freppaz, M., Maugeri, M., Guyennon, N., 2022. Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps. *Journal of Hydrology* . Volume 614, Part A, November 2022, 128532  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128532>
  - Fierz, C.R., Armstrong, R.L., Durand, Y., et al., 2009. The international classification for seasonal snow on the ground. International Hydrological Programme of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-IHP), Paris, IHP Technical Documents in Hydrology No. 83, IACS Contribution No. 1. <https://cryosphericsscience.org/publications/snow-classification/>.
  - Jonas, T., Marty, C., Magnusson, J., 2009. Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *J. Hydrol.* 378 (1–2), 161–167.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.021>.
  - Marty, C., Tilg, A.-M., Jonas, T., 2017. Recent evidence of large-scale receding snow water equivalents in the European Alps. *J. Hydrometeorol.* 18, 1021–1031.  
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0188.1>.
  - Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Carmagnola, C. M., Marty, C., Morin, S., Schöner, W., Cat Berro, D., Chiogna, G., De Gregorio, L., Kotlarski, S., Majone, B., Resch, G., Terzago, S., Valt, M., Beozzo, W., Cianfarra, P., Gouttevin, I., Marcolini, G., Notarnicola, C., Petitta, M., Scherrer, S. C., Strasser, U., Winkler, M., Zebisch, M., Cicogna, A., Cremonini, R., Debernardi, A., Falletto, M., Gaddo, M., Giovannini, L., Mercalli, L., Soubeyroux, J.-M., Sušnik, A., Trenti, A., Urbani, S., and Weilguni, V., 2021. Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019, *The Cryosphere*, 15, 1343–1382. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021>
  - Rohrer, M.B., Braun, L.N., Lang, H., 1994. Long-term records of the snow cover water equivalent in the Swiss Alps: 1. Analysis. *Nord. Hydrol.* 25 (1–2), 53–64.  
<https://doi.org/10.2166/nh.1994.0019>
  - Schöber, J., Achleitner, S., Bellingner, J., 2016. Analysis and modelling of snow bulk density in the Tyrolean Alps. *Hydrol. Res.* 47 (2), 419–441.  
<https://doi.org/10.2166/nh.2015.132>.
  - Sturm, M., Holmgren, J., Liston, G.E., 1995. A Seasonal Snow Cover Classification System for Local to Global Applications. *Journal of climate*, Volume 8, Issue 5, 1261–1283,  
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2)
  - Winkler, M., Schellander, H., Gruber, S., 2021. Snow water equivalents exclusively from snow depths and their temporal changes: the  $\Delta$ SNOW model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25, 1165–1187.  
<https://doi.org/10.5194/hess-25-1165-2021>.
  - Salmi T., Määttä A., Pia Anttila, Tuija Ruoho-Airola, 2002. Detecting Trends of Annual values of atmospheric Pollutant the Mann-Kendall Test and Sen'Slope estimates the excel template application Makesens. Publications on air quality No. 31 Finnish Meteorological Institute, Helsinki 2002. Pag. 35.  
[https://www.researchgate.net/publication/259357030\\_MAKESENS\\_10xls](https://www.researchgate.net/publication/259357030_MAKESENS_10xls)
  - Sen, P. K., 1968. "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau." *JASA*, 1379-1389.
  - Theil, H., 1950. "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis." Reprinted in 1992 in Henri Theil's contributions to economics and econometrics, Springer, 345-381.
  - Valt, M., Cianfarra P., 2010. Recent snow cover variability in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 64, 146-157.
  - Valt, M., 2022. Neve e clima sulle Alpi italiane. *Neve e Valanghe* n. 97, 2-14.

## RUOLO DELLA NEVE E DEI GHIACCIAI AL DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE NELL'ANNO IDROLOGICO 2021/2022 IN VALLE D'AOSTA

### Introduzione

La Valle d'Aosta è una regione montuosa con oltre il 60% del territorio sopra i 2000 m di quota e dove la neve, da sempre, rappresenta un elemento importante della cultura locale. Per gli abitanti del posto la neve può assumere significati diversi ma due, in particolare, sono trasversali e riguardano in un modo o nell'altro l'intera popolazione: lavoro (ovvero turismo) e risorsa (idrica ed economica).

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

In Valle d'Aosta esistono attualmente diverse attività di studio e monitoraggio della neve volte, in particolare, alla quantificazione dello Snow Water Equivalent (SWE) ovvero l'equivalente in acqua stoccato nella copertura nevosa. Tale parametro, espresso in mm di acqua (come la pioggia) o in milioni di metri cubi ( $Mm^3$ ), è dato dal prodotto tra altezza e densità del manto nevoso ed è molto importante per diverse finalità. Sul territorio regionale, le principali attività di monitoraggio comprendono: (i) la misura in continuo dell'altezza della neve mediante nivometri automatici in oltre 30 stazioni gestite dal Centro Funzionale regionale; (ii) la misura manuale di altezza e densità della neve in oltre 50 punti fissi con frequenza 15/20gg da parte del Corpo Forestale, guardiani delle dighe della Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), operatori aineva e operatori ARPA Valle d'Aosta; (iii) il monitoraggio satellitare dell'estensione della copertura nevosa (SCA-Snow Covered Area).

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

Nel presente contributo verranno presentati gli impatti che l'andamento meteo-climatico dell'anno idrologico 2021/2022 ha avuto sulle principali componenti del deflusso idrico superficiale, ponendo particolare attenzione al ruolo giocato dalla neve e dai ghiacciai. I dati utilizzati derivano da rilievi in campo e attività modellistiche condotte in alcuni bacini montani utilizzati per la produzione di energia idroelettrica e scelti perché rappresentativi dei diversi settori della Valle d'Aosta. Tali attività sono condotte da ARPA Valle d'Aosta in collaborazione con CVA, Centro Funzionale Regionale e Fondazione CIMA.

### Andamento meteo-climatico 2021/2022 in Valle d'Aosta

L'anno idrologico 2021/2022 in Valle d'Aosta è stato, come nel resto delle Alpi e in Europa in generale, un anno caratterizzato da precipitazioni molto scarse e temperature decisamente sopra le medie climatologiche. Il protrarsi, estremamente raro, di questa combinazione nel corso dell'anno ha generato le condizioni di forte siccità ben analizzate e descritte nei vari contributi del presente volume.

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

Per quanto riguarda le precipitazioni nevose dell'inverno 2021/2022 (Figura 1) si può notare che il settore occidentale (zona Monte Bianco - Courmayeur) è stato quello che ha ricevuto nel complesso qualche evento nevoso in più rispetto al resto della regione, con alcuni eventi rilevanti nel corso dei mesi di novembre e

dicembre 2021 e tardivi in aprile, maggio 2022. Negli altri settori invece, media e soprattutto in bassa Valle d'Aosta, a parte qualche modesta nevicata iniziale, gli apporti sono stati molto scarsi da gennaio in avanti, in diverse occasioni è stato raggiunto il minimo storico dall'inizio delle misurazioni e in generale si è verificata una scomparsa totale del manto nevoso estremamente anticipata.

Andando a vedere i dati relativi alle piogge, la Figura 2 mostra le curve delle precipitazioni cumulate in 3 località dove le serie storiche contano oltre un secolo di misurazioni. Come è evidente, le curve sono tutte ampiamente sotto i valori normali (area grigia) ed in particolare nel settore orientale (bassa Valle d'Aosta, settore Monte Rosa – Gressoney) la curva coincide, verso fine stagione, con il minimo assoluto. La pendenza delle curve relative al 2022 ci dice inoltre che nel settore occidentale e in misura minore nel settore centrale, le precipitazioni estive/autunnali non sono state così scarse e che il gap di fine anno è stato quasi interamente determinato dal deficit invernale.

Tuttavia, come abbiamo detto, le alte temperature che hanno caratterizzato la primavera e l'estate sono andate a sovrapporsi a questa condizione iniziale di scarso accumulo nevoso e scarse piogge invernali determinando l'emergenza idrica in numerosi comuni della Valle d'Aosta. Osservando la Figura 3, che riporta l'andamento delle temperature medie giornaliere nella piana di Aosta per l'anno 2022, si nota come ad esclusione di marzo, aprile e settembre, tutti gli altri mesi siano stati caratterizzati da valori giornalieri di temperatura sopra la norma (area grigia). I mesi di maggio, giugno e luglio in particolare, hanno fatto registrare temperature estremamente elevate e persistenti per numerosi giorni in cui lo zero termico regionale ha stazionato oltre i 5000 m di quota.

### **Conseguenze sui ghiacciai.**

Tale condizione di scarso innevamento e alte temperature anche in quota ha determinato pesanti conseguenze sui ghiacciai della regione i quali si sono ritrovati in gran parte scoperti da neve già a partire dai primi giorni di giugno.

La Figura 4 riporta, a titolo di esempio molto efficace, una sequenza fotografica del ghiacciaio del Plateau Rosà a 3500 m di quota nei mesi di giugno, luglio e agosto 2022. Si nota che il 14 giugno alcune porzioni di ghiaccio erano già affiorate dalla neve. Il persistere dello zero termico sopra i 4000 metri per le settimane successive ha portato ad una totale fusione del manto nella seconda metà di luglio e nel mese di agosto il ghiacciaio si presentava totalmente scoperto da neve e di colore molto scuro, fattore che certamente ha contribuito ad accelerare la fusione glaciale.

Al fine di quantificare l'entità della fusione che hanno subito i ghiacciai, si riportano in Figura 5 i grafici del bilancio di massa dei ghiacciai Timorion (settore Gran Paradiso) e Rutor (settore occidentale).

Le barre blu rappresentano gli accumuli invernali, le barre gialle la fusione estiva e le barre rosse il bilancio tra le due componenti. Limitandosi alle sole barre rosse possiamo affermare che a fronte di un bilancio medio annuale che per entrambi i ghiacciai si attesta intorno a -1 m di acqua equivalente all'anno, sul Timorion il bilancio 2022 è stato di -4m e sul ghiacciaio del Rutor di -3.4 m. In parole semplici, la fusione glaciale 2022 nel settore nord-occidentale delle Alpi è stata quattro volte più intensa rispetto alla media degli ultimi 20 anni.

### **Impatti sulle componenti del deflusso superficiale.**

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

Le simulazioni in oggetto sono realizzate con un modello matematico (Endrizzi et al., 2014) che utilizza in ingresso il modello digitale del terreno (DEM) ed i dati delle stazioni meteo più vicine e significative per il bacino di interesse, in particolare: temperatura e umidità dell'aria, precipitazione, radiazione solare, vento, pressione barometrica.

Il modello è in grado di risolvere le equazioni matematiche che governano il bilancio energetico della superficie terrestre e quindi di calcolare, per ogni pixel del DEM, una serie di parametri di interesse come ad

esempio l'altezza della neve (accumulo e fusione), la temperatura dell'aria, la quantità di pioggia, la radiazione solare, ecc.

Le corse del modello, che gira ogni giorno simulando le 24 h precedenti con frequenza oraria, vengono controllate e validate mediante il confronto con dati indipendenti misurati a terra e da satellite.

Di seguito si riportano i dati relativi a due bacini particolarmente significativi ed emblematici dell'anno idrologico 2021/2022: il bacino idrografico che alimenta la diga di Place Moulin in alta Valpelline nel settore centro settentrionale della regione con un'estensione di circa 140 km<sup>2</sup>; e il bacino idrografico che alimenta la diga del Gabiet in alta valle di Gressoney nel settore sud-orientale della regione nel massiccio del Monte Rosa, con un'estensione di circa 10 km<sup>2</sup>.

Entrambi i bacini sono di alta quota ed hanno, in proporzione, un'importante componente glaciale. Nel caso in esame, il bacino di Place Moulin rappresenta i settori dove il deficit nivale è stato meno forte, il bacino del Gabiet invece è esattamente nel settore dove i deficit sono stati maggiori.

La Figura 6 mostra i risultati delle simulazioni per il bacino di Place Moulin. Il grafico di sinistra riporta l'andamento dell'SWE a partire dal 2012 e si nota come la curva relativa al 2022 (linea nera) presenti accumuli tra i più scarsi dall'inizio delle attività. Nel settore in esame solo il 2017 (linea verde continua) era stato più secco in termini di accumuli nevosi invernali; tuttavia, quell'anno l'estate era stata fresca e piovosa recuperando parzialmente il deficit invernale. In fase di fusione (maggio-luglio) anche nel 2015 (tratteggiato arancione) a fronte di un accumulo massimo nella media (circa 70 Mm<sup>3</sup>) si era assistito ad una fusione molto rapida ed intensa.

Se andiamo ad analizzare le varie componenti (Figura 6, destra) notiamo come la curva di fusione nivale (verde) presenti un picco molto alto a metà maggio, nettamente in anticipo rispetto alla media, seguito da una riduzione molto forte. Da fine maggio in poi il deflusso di origine nivale è molto basso ad indicare proprio la carenza di neve da fondere.

Anche le piogge (arancione) a parte due eventi a fine maggio e fine giugno presentano un andamento

nettamente sotto la media. La componente di origine glaciale (violetto) presenta invece un netto anticipo rispetto alla media, con contributi già presenti nella seconda metà di giugno.

Infine se andiamo ad analizzare i rapporti percentuali tra le 3 componenti (barplot in basso) è possibile notare due cose interessanti. La prima sono le piogge nella seconda e nell'ultima settimana di gennaio che hanno costituito il 70-80% dei deflussi di quelle settimane ad indicare una quota del limite pioggia/neve estremamente elevata quindi zero termico molto in alto in pieno inverno. La seconda cosa da notare è la percentuale veramente importante di contributo raggiunta dalla componente glaciale nei mesi di luglio e agosto che si è attestata intorno al 60-70%.

Ora, se riportiamo le stesse considerazioni nel bacino del Gabiet (Figura 7) notiamo quanto le condizioni che si sono verificate in questo settore siano state più severe rispetto al resto della regione. Nella Figura di sinistra, l'andamento della curva dell'SWE evidenzia, oltre ad un volume totale molto scarso, che da gennaio ad aprile non ci sono state variazioni ad indicare che la neve era stoccata solo alle alte quote (poca fusione) e che non ci sono stati significativi eventi di accumulo. A parte qualche apporto ad aprile e maggio la quantità di neve nel bacino è stata al minimo storico per tutto l'inverno.

La fase di fusione è stata estremamente rapida a causa delle temperature elevate e nella seconda metà di maggio la neve era di fatto esaurita. Osservando gli andamenti sulle componenti risulta ancora più evidente il picco di fusione nivale a metà maggio (verde), il successivo crollo e l'azzeramento del contributo nivale a partire da inizio giugno.

Anche in questo settore le piogge (arancione) presentano solamente due eventi significativi, uno a fine maggio e uno a fine giugno che normalmente avrebbero portato un po' di neve in quota. In questo caso invece non vi sono evidenze di nevicate ad indicare una quota dello zero termico oltre la quota massima del bacino (4000 m). Per il resto della stagione, l'andamento delle precipitazioni resta nettamente sotto la media.

La componente glaciale (violetto) parte con circa 1 mese di anticipo rispetto al suo storico e raggiunge volumi mai simulati negli anni precedenti. Osservando infine i

rapporti percentuali tra le componenti (barplot) è impressionante notare la presenza di contributo da fusione glaciale a gennaio e marzo sintomo che dal punto di vista modellistico il ghiacciaio aveva qualche pixel scoperto da neve in pieno inverno e che le temperature fossero sufficientemente elevate da fondere il ghiaccio. Inoltre il contributo glaciale al deflusso nei mesi estivi, soprattutto a giugno e luglio ha raggiunto percentuali anche del 100%.

## Conclusioni

In Valle d'Aosta, l'anno idrologico 2021/2022 è stato caratterizzato da accumuli nevosi molto scarsi, precipitazioni ampiamente sotto la media e temperature molto elevate. La concomitanza di tutti questi fattori ha generato un significativo deficit di risorsa idrica a livello

regionale, condizioni di forti stress per gli apparati glaciali ed importanti variazioni nei regimi di deflusso.

Le simulazioni condotte sui bacini idrografici presi in esame confermano che: (i) gli accumuli nevosi invernali costituiscono la componente principale del bilancio idrico annuale e un loro deficit ha pesanti ripercussioni su tutta la stagione estiva; (ii) durante i mesi estivi i ghiacciai hanno contribuito in modo determinante al deflusso superficiale.

L'anno idrologico 2021/2022 è stata una prova generale delle condizioni meteo-climatiche che sempre più frequentemente interesseranno le nostre regioni negli anni a venire. I dati raccolti e gli impatti registrati sono informazioni preziose su cui basare le azioni e le strategie che ci permetteranno di adattarci con successo alle nuove condizioni climatiche.

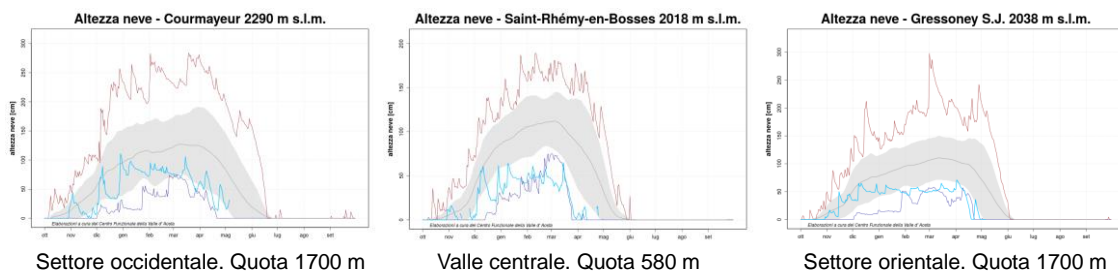


Figura 1: Andamento della precipitazione nevosa dell'inverno 2021/2022 in tre località della Valle d'Aosta. Linea blu: altezza neve 2022; linea grigia: media 2001-2011; area grigia: valori nella norma; linea rossa e blu scuro: rispettivamente massimo e minimo assoluto dal 2001. Dati: Centro Funzionale Regione Autonoma Valle d'Aosta.



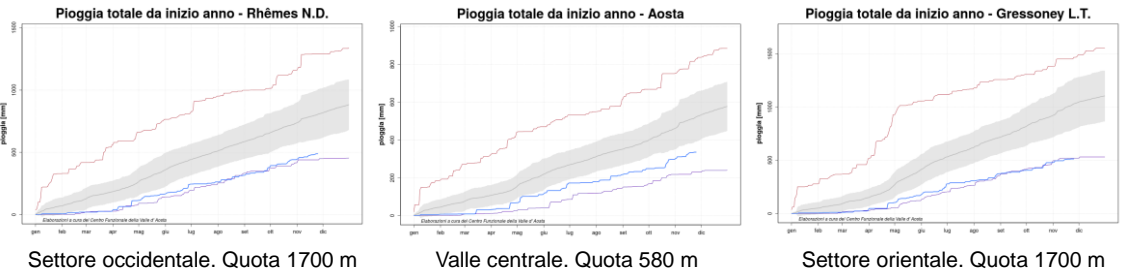


Figura 2: Precipitazione cumulata in 3 stazioni della Valle d'Aosta. Linea blu: pioggia 2022; linea grigia: media 1991-2020; area grigia: valori nella norma; linea rossa e blu scuro: rispettivamente massimo e minimo assoluto dall'inizio delle misurazioni in ciascuna stazione (1917 per Gressoney, 1891 per Aosta, 1916 per Rhemes N.D.). Dati: Centro Funzionale Regione Autonoma Valle d'Aosta.

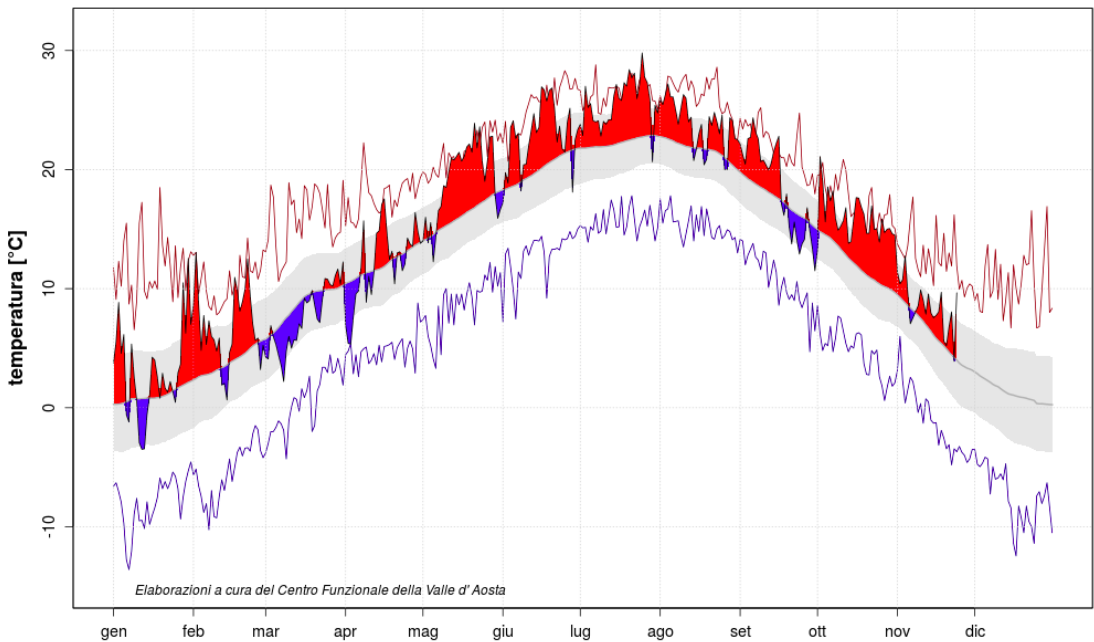


Figura 3: Andamento della temperatura media giornaliera nella piana di Aosta (Saint Christophe, a quota 550 m).

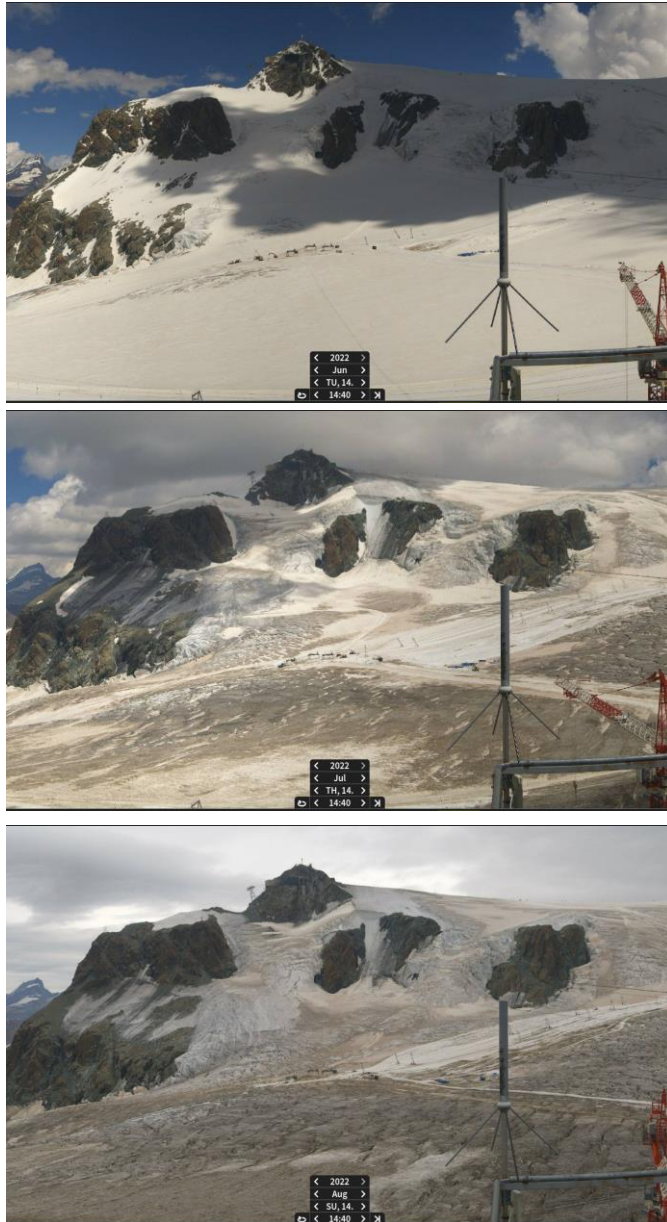


Figura 4: Condizioni del ghiacciaio di Plateau Rosà nei mesi di giugno, luglio e agosto 2022.  
Fonte: <https://cervinia.panomax.com/plateau-rosa>.

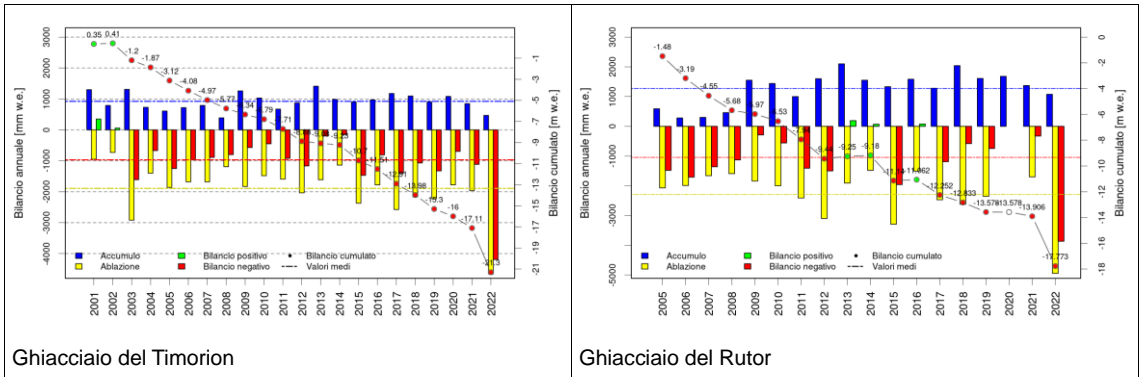


Figura 5: Bilancio di massa dei ghiacciai Timorion e Rutor. Dati ARPA Valle d'Aosta.

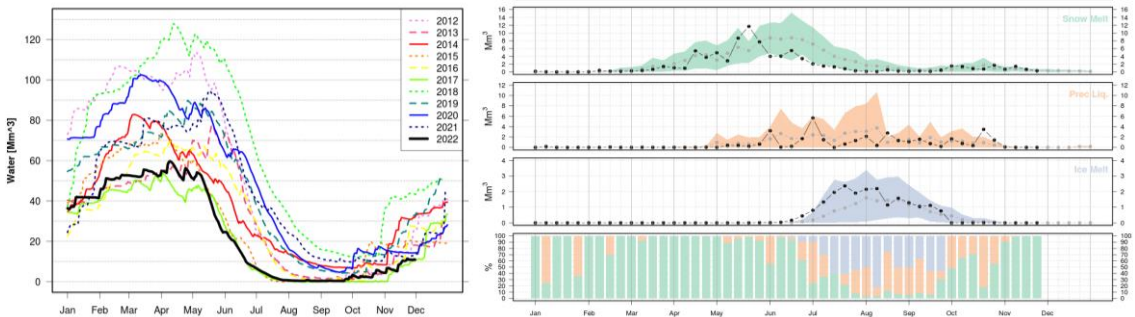


Figura 6: Risultati delle simulazioni sul bacino di Placé Moulin. Sinistra: evoluzione giornaliera dello swe per gli anni 2012-2022. Destra: andamento settimanale delle componenti del deflusso per l'anno 2022 in rapporto allo storico (2012-2021) delle simulazioni, dall'alto verso il basso: fusione nivale, pioggia, fusione glaciale, contributo percentuale di ciascuna componente al deflusso totale.

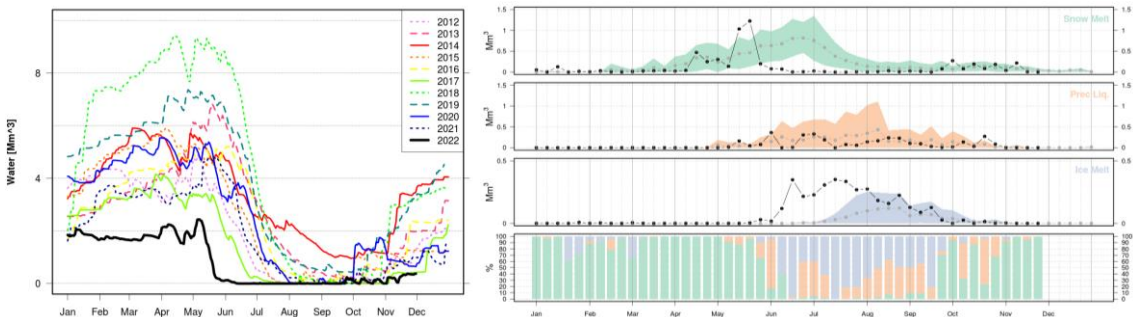


Figura 7: Risultati delle simulazioni sul bacino del Gabet. Sinistra: evoluzione giornaliera dello swe per gli anni 2012-2022. Destra: andamento settimanale delle componenti del deflusso per l'anno 2022 in rapporto allo storico (2012-2021) delle simulazioni, dall'alto verso il basso: fusione nivale, pioggia, fusione glaciale, contributo percentuale di ciascuna componente al deflusso totale.

**Bibliografia**

- Endrizzi, S., Gruber, S., Dall'Amico, M., & Rigon, R. (2014). GEOtop 2.0: simulating the combined

energy and water balance at and below the land surface accounting for soil freezing, snow cover and terrain effects. *Geoscientific Model Development*, 7(6), 2831-2857.

## 2 ELEVATE TEMPERATURE E ONDATE DI CALORE

### LE ONDATE DI CALORE E IL DISCOMFORT INDEX (INDICE DI THOM) IN FRIULI VENEZIA GIULIA NEL 2022

#### Premessa

Il termine “ondata di calore” è entrato a far parte del vocabolario, non solo specialistico, ad indicare un periodo di giorni prolungato caratterizzato da temperature elevate, al di sopra dei valori usuali, spesso associate ad alti valori di umidità.

Per affrontare il rischio derivato da questa avversità e prevenirne gli effetti sulla salute della popolazione in Italia esistono diversi sistemi a livello nazionale o regionale deputati alla sorveglianza, alla previsione e all'allarme.

Anche in Friuli-Venezia Giulia durante il periodo estivo l'Agenzia Regionale della Sanità attua il “Programma regionale di contrasto agli effetti dannosi sulla salute delle ondate di calore” assegnando ad ARPA Friuli Venezia Giulia le attività connesse alla segnalazione di situazioni di “allarme caldo”.

#### L'allarme caldo in Friuli-Venezia Giulia

A partire dal 2013 (Cicogna et al. 2015), seguendo esempi italiani e stranieri (Pirretti et al. 2007), ARPA-Friuli Venezia Giulia elabora come variabile guida nella attivazione dell'“allarme caldo” il “Discomfort Index” (DI - Thom e Bosen, 1959), che è considerato un buon indice di stima della temperatura effettivamente percepita. Quest'ultima è definita come “un indice arbitrario” che combina in un singolo valore l'effetto della temperatura e dell'umidità, per descrivere le condizioni di disagio fisiologico dovute a questa interazione. Il DI è propriamente definito in un intervallo compreso tra 21 e 47; al di fuori di tale intervallo, anche al variare dell'umidità relativa, l'indice attribuisce sempre la

condizione fisiologica alle classi estreme, cioè “benessere” per valori inferiori a 21 e “stato di emergenza medica” per valori superiori a 47.

L'indice è calcolato mediante la seguente equazione lineare:

$$DI = 0.4 \times (Ta + Tw) + 4.8$$

dove

Ta= temperatura di bulbo asciutto (°C);

Tw= temperatura di bulbo umido (°C).

Il valore di DI può essere calcolato con riferimento alla temperatura e all'umidità media giornaliera (DI medio), oppure si può fare riferimento alla temperatura massima giornaliera e al relativo valore di umidità (DI max).

Considerando il DI max, sono definite giornate con disagio bioclimatico lieve quelle in cui si supera la soglia di 26, disagio bioclimatico medio quelle in cui si supera la soglia di 28, disagio bioclimatico grave quelle in cui si supera la soglia di 29 o di 28 per tre giorni consecutivi.

Con riferimento al DI medio le rispettive soglie sono più basse: 23, 25, 26 (o 25 per tre giorni consecutivi).

Dal punto di vista operativo ARPA Friuli Venezia Giulia nel periodo giugno-settembre effettua la previsione del DI massimo e medio giornaliero per tre giorni: il giorno in corso (+0 gg), l'indomani (+1 gg) e tra due giorni (+2 gg). Tale previsione è effettuata grazie ai valori previsti dal modello ECMWF-IFS (run 00 UTC) per 27 località regionali ove è sita una stazione sinottica della rete meteorologica regionale. Le previsioni così calcolate vengono diffuse via web e, al superamento delle soglie prefissate, determinano l'attivazione dell'“allarme caldo”.

#### L'afa nel 2022

Il 2022 in Friuli-Venezia Giulia, come in gran parte della penisola italiana, ha fatto registrare temperature di circa 1°C più alte rispetto al periodo di riferimento 1991-2020.

A questo aumento della temperatura ha molto contribuito la particolare circolazione atmosferica estiva caratterizzata dalla quasi costante presenza dell'anticiclone africano. Si è avuta una prevalenza di tempo soleggiato e temperature massime costantemente molto alte: da metà maggio a metà settembre la media delle temperature massime in pianura si è attestata intorno ai 31°C.

Durante l'estate del 2022 sulla pianura regionale sono state oltre 40 le giornate in cui la sensazione di afa si è fatta sentire a livelli più o meno intensi.

È però interessante notare che, nonostante le temperature dell'estate del 2022 siano state molto alte, i livelli di umidità sono risultati invece spesso piuttosto contenuti: ciò in molti casi ha limitato la sensazione di afa percepita dalla popolazione.

Infatti, confrontando il numero di giornate con disagio bioclimatico calcolate con DI max dal 1991 a Udine (Figura 1), si vede come nell'estate 2022 il numero di giornate con livello di disagio elevato (o anche medio) sia risultato più contenuto del 2015 e del 2003.

Inoltre dall'analisi dell'intero trentennio emerge che il numero di giornate con disagio più o meno accentuato sembra aumentare.

Nelle località di costa, dove l'azione del mare smorza le temperature massime, è più utile analizzare il DI medio perché il DI max tende a sottostimare la sensazione di afa. Utilizzando il DI medio si può vedere come durante l'estate 2022 a Trieste (Figura 2) si sono contati 50 giorni in cui la sensazione di afa si è fatta sentire a livelli più o meno intensi; solo nel 2003 si erano registrate più giornate di afa. Quest'anno per Trieste è risultato analogo al 2019 e al 2012.

Il confronto tra le due località, però, evidenzia come nel 2022 per Udine le giornate con disagio medio siano state 7 e disagio elevato 2, mentre per Trieste siano state rispettivamente 5 e 1.

I valori più bassi di DI per Trieste mostrano come l'influenza del mare (seppur eccezionalmente caldo nel 2022) sia risultata fondamentale per smorzare la sensazione di disagio per la popolazione costiera.

### **Indice di Thom nel cambiamento climatico**

Le proiezioni di cambiamento climatico in Friuli Venezia Giulia per il XXI secolo (ARPA Friuli Venezia Giulia, 2018), prospettano in generale un ulteriore riscaldamento, modulato però dai diversi scenari di sviluppo.

Se le emissioni di gas climalteranti continueranno a crescere secondo l'attuale andamento (scenario cosiddetto "business as usual", indicato con la sigla RCP8.5), in regione potremmo aspettarci a fine secolo un aumento di temperatura fino a 5°C in inverno e fino a 6°C in estate, con un forte aumento di ondate di calore.

Invece nello scenario più virtuoso (RCP2.6), cioè quello che si verificherebbe se le emissioni globali di gas climalteranti venissero rapidamente e drasticamente diminuite, dando attuazione all'Accordo di Parigi, i modelli indicano che in Friuli Venezia Giulia le temperature continueranno a crescere fino a metà secolo, ma poi si stabilizzeranno e l'anomalia termica rimarrà entro 1-2°C in inverno e 2-3°C in estate a fine secolo.

Analogamente all'aumento della temperatura il calcolo del DI a Udine per il futuro, per due scenari emissivi, mostra (Figura 3) un aumento delle giornate di disagio bioclimatico dovuto all'afa soprattutto nell'RCP8.5 e soprattutto a fine secolo (trentennio 2071-2100).

Il trend crescente nel numero di giorni di disagio prospettati negli scenari futuri di cambiamento climatico trova già oggi un riscontro nell'analisi dei dati 1991-2022 per Udine.

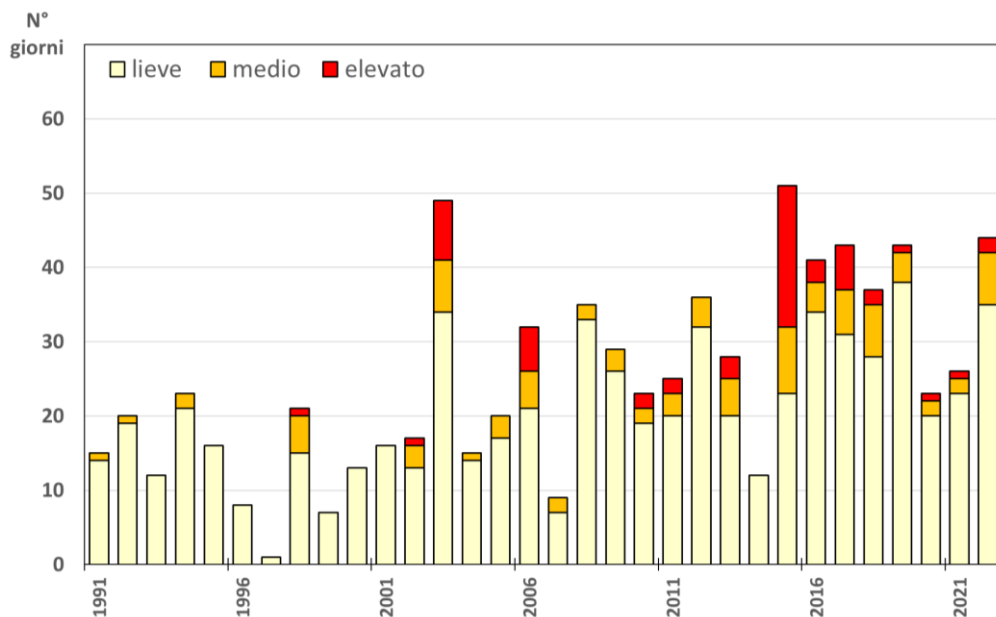


Figura 1: Udine: N° giorni di disagio bioclimatico (calcolato con DI max) da maggio a settembre.

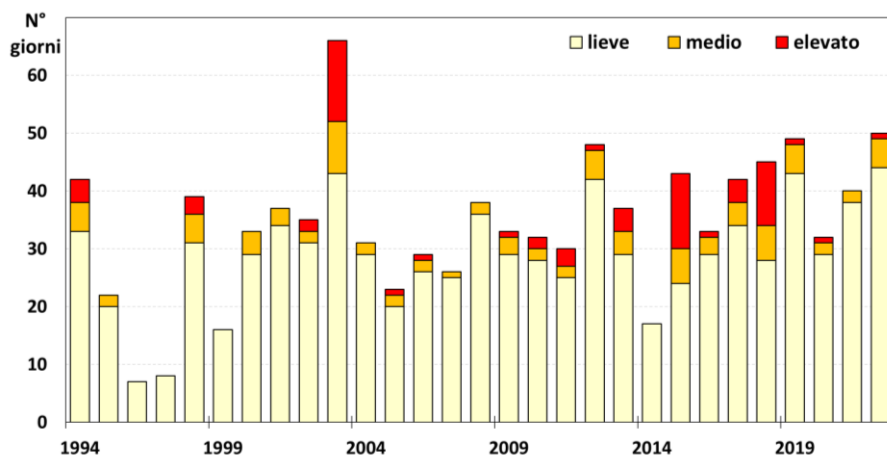


Figura 2: Trieste: N° giorni di disagio bioclimatico (calcolato con DI medio) da maggio a settembre.

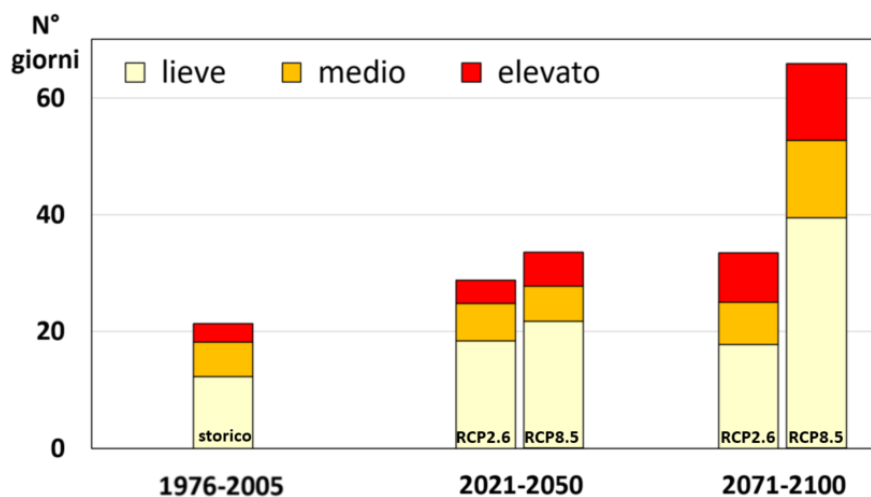


Figura 3: Udine: media trentennale del N° di giorni di disagio bioclimatico (calcolato con DI medio) da maggio a settembre per due scenari futuri di emissioni (RCP2.6 e RCP8.5).

## Bibliografia

- ARPA Friuli Venezia Giulia, 2018. “Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia” pp. 342 [https://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf).
- Cicogna A., Gimona A., Stefanuto L., 2015. Verification of the discomfort index forecast in Friuli Venezia Giulia region - (Verifica Della Previsione Del Discomfort Index In Friuli Venezia Giulia) Atti Del XVIII Convegno Nazionale Di Agrometeorologia (ISBN 978-88-7843-043-3) pp 120-121
- Pirretti G., Scotto F., Selvini A., Zauli Sajani S., 2007. Il sistema di previsione del disagio bioclimatico in Emilia Romagna – Verifica funzionamento servizio- Estate 2005, Rapporto interno, ARPA Emilia Romagna.
- Thom E.C., Bosen J.F., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12:57-60.



## ESTATE 2022: LE ANOMALIE TERMICHE IN EMILIA-ROMAGNA

L'estate 2022 verrà ricordata per l'intensa siccità che ha colpito ampie aree dell'Europa sud-occidentale e del Mediterraneo, in concomitanza con prolungate e intense onde di calore, che si sono estese dalla penisola iberica all'Europa centro-settentrionale, toccando anche le regioni italiane. Nel Nord Italia queste condizioni si sono innescate in un anno iniziato già in condizioni di scarsità di precipitazioni e con temperature superiori alla norma, che hanno causato impatti su diversi settori socio-economici e sui sistemi naturali.

In Emilia-Romagna, dopo un inizio freddo della primavera, a maggio le temperature si sono rapidamente alzate ben al di sopra dell'intervallo di normalità climatologica calcolata per il trentennio 1991-2020, anticipando di qualche settimana l'estate meteorologica, per poi rimanere, fino a metà settembre, quasi sempre su valori superiori alla norma se non addirittura oltre i record precedentemente registrati per il periodo. Nel complesso l'estate 2022 è stata la seconda più calda dal 1961, dopo il 2003, e simile all'estate 2012, con un'anomalia stagionale di temperatura media regionale di +1.8°C rispetto al clima 1991-2020, e di ben +3.4°C rispetto al clima 1961-1990. Come si può vedere dalla Figura 1, il contributo maggiore a queste anomalie estive è da attribuire principalmente ai valori di temperatura massima, la cui anomalia nel 2022 rispetto al clima 1991-2020 è di circa 2.4°C, mentre quella della temperatura minima è stata pari a 1.1°C.

Questo risultato è coerente con il trend lineare di lungo periodo che, come si può notare dalla Figura, presenta un incremento maggiore per le temperature massime rispetto alle minime. In ogni caso, sia il valore dell'indice estivo regionale di temperatura massima sia quello di temperatura minima per il 2022 risultano i secondi più alti dal 1961 dopo il 2003.

L'amplificazione delle anomalie termiche è stata registrata principalmente nelle ore più calde del giorno, sicuramente anche a causa dei bassi valori di umidità del suolo associati alla progressiva riduzione delle precipitazioni estive nel corso degli ultimi decenni. Nel

2022 queste condizioni generali sono state acuite dalle persistenti condizioni di siccità, instauratesi già nel corso degli ultimi mesi dell'anno precedente e che ha raggiunto la sua massima intensità proprio nei mesi estivi. Le precipitazioni cumulate da gennaio a luglio 2022 sono risultate le più basse osservate dal 1961 ad oggi, e nonostante nella seconda metà di agosto le piogge si siano ripresentate in Emilia-Romagna e in generale sul Nord Italia, nella serie regionale delle precipitazioni cumulate da gennaio ad agosto, il valore del 2022 risulta essere comunque il settimo più basso dal 1961. In queste condizioni, l'umidità del suolo ha raggiunto valori estremamente bassi nel corso dell'estate. Ciò ha ridotto la potenzialità della superficie di mitigare le elevate temperature dell'aria mediante il rilascio di calore latente e amplificato le anomalie positive di temperatura massima giornaliera.

In questo contesto, nel corso dell'estate si è osservata, localmente, la persistenza di valori di temperatura massima giornaliera particolarmente alti, con conseguenti impatti sulla salute, gli ecosistemi e le attività produttive. La Figura 2 mostra le serie del numero di giorni estivi caldi e torridi sulle aree di pianura dell'Emilia-Romagna, ovvero quelli in cui la temperatura massima è superiore rispettivamente a 30°C e a 35°C. I giorni caldi presentano un netto incremento, passando da un valore mediano di 31 giorni a stagione nel primo trentennio, a un valore di 52 giorni nel trentennio 1991-2020. Il numero di giorni torridi, invece, nel primo trentennio risulta pressoché nullo; al contrario, negli ultimi trent'anni, condizioni simili sono molto rare e l'ultima estate priva di giorni torridi è stata quella del 1997. Il valore dell'indice per l'estate 2022 è pari a 15 e risulta essere il quarto della serie a pari merito con il 2017 dopo il 2012, il 2003 e il 2015. L'alto numero di giorni torridi si associa a giorni caratterizzati da forte disagio bioclimatico (indice di Thom; Thom, 1959). Tale indice esprime in un singolo valore la sensazione di disagio percepita dal corpo umano per l'effetto combinato di alte temperature e umidità; quando si presentano valori superiori a 25, statisticamente, più di metà della popolazione è in stato di disagio a causa delle condizioni ambientali. Dalla mappa in Figura 3 si nota che, nel 2022, il numero di giorni di disagio bioclimatico è stato più

elevato nella provincia di Ferrara e zone limitrofe, aree particolarmente umide, dove si sono superate anche le 15 occorrenze, e nei principali centri urbani, dove è rimasto tra 5 e 10 giorni.

Condizioni di questo tipo hanno un pesante impatto anche sul benessere degli animali e delle piante. Per quanto riguarda le piante, la scarsità idrica e le temperature elevate hanno effetti negativi direttamente a livello fogliare: la carenza idrica induce il fenomeno della chiusura degli stomi, che a sua volta, da un lato limita l'uscita del vapor d'acqua dalle foglie e quindi diminuisce la capacità delle piante di ridurre la temperatura fogliare mediante la traspirazione, dall'altro limita l'ingresso della CO<sub>2</sub>, composto base per la fotosintesi. In particolare, l'aumento della temperatura oltre una certa soglia, indicativamente intorno a 30°C, riduce l'efficienza della fotosintesi, con conseguente diminuzione della produzione di sostanza organica. Gli effetti diventano progressivamente più intensi per temperature superiori a questa soglia.

Va infine ricordato che le proiezioni climatiche indicano che un'estate come quella del 2022 (oppure 2003, 2012, 2017), con valori termici nettamente superiori alla media climatica, potrebbe verificarsi più spesso nel trentennio 2021-2050. Diventa quindi cruciale un investimento in direzione dell'adattamento della popolazione, e del territorio in generale, al verificarsi di intense onde di calore. Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, sebbene nel clima futuro le condizioni annuali complessive dovrebbero mantenersi simili alla media attuale e quindi non così estreme come quelle del 2022, lo stesso non si può dire per i valori estivi. In questa stagione, infatti, i dati osservati degli ultimi 60 anni e le proiezioni segnalano una riduzione significativa delle precipitazioni, associata a un incremento del numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia. In tali condizioni, in cui a una carenza di precipitazioni si associa un aumento delle temperature estive, si prospettano per il futuro forti criticità nella gestione delle risorse idriche durante l'estate, come quelle già sperimentate nel 2022.

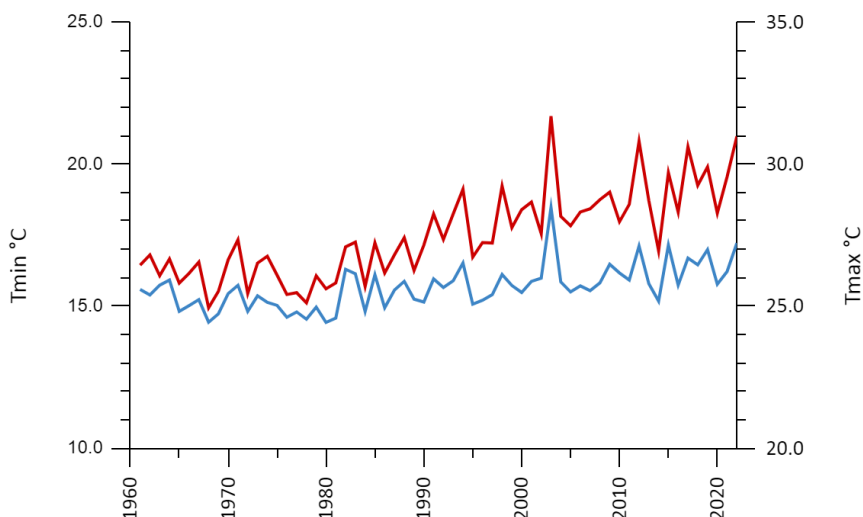


Figura 1: Serie delle temperature minime (blu, asse sinistro) e massime (linea rossa, asse destro) medie estive dal 1961, mediate sull'Emilia-Romagna.

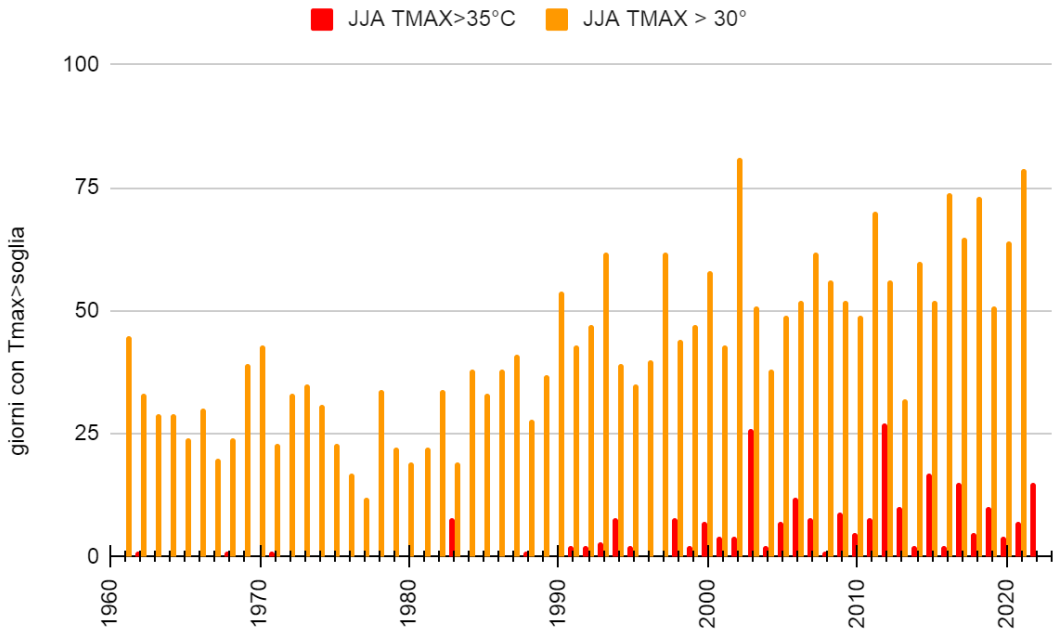


Figura 2: Serie del numero di giorni estivi con temperatura massima mediata sulle aree di pianura dell'Emilia-Romagna superiore a 30°C (arancione) e superiore a 35°C (rosso).

**Indice di Thom (media giornaliera)  
Numero di giorni > 25**

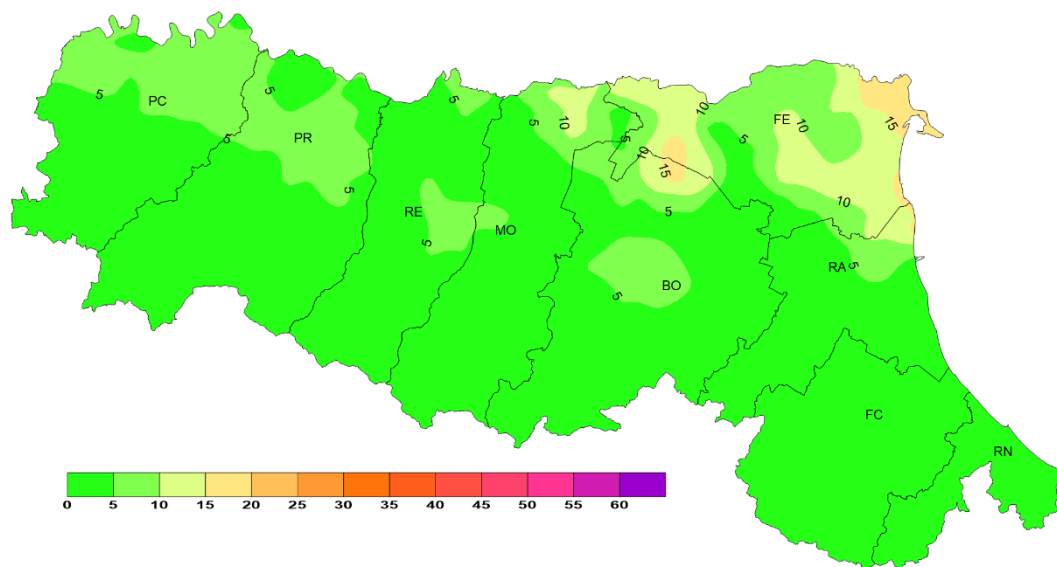


Figura 3: Mappa del numero di giorni dell'estate 2022 in cui l'indice di Thom è superiore a 25.

**Bibliografia**

- Thom EC, 1959: The discomfort index. Weatherwise, 12:59-60.

## VALUTAZIONE DELLE ANOMALIE TERMICHE STAGIONALI IN CALABRIA DELL'ANNO 2022

### Premessa

Il 2022 è stato un anno particolarmente caldo nella nostra penisola. Per valutare l'entità di eventuali anomalie termiche in Calabria è stata condotta un'analisi sulle temperature registrate nel 2022 in relazione ai dati storici. In particolare, è stato effettuato il confronto tra le temperature medie stagionali e le relative temperature normali del trentennio 1991-2020 con riferimento al territorio regionale. Per semplicità di calcolo le stagioni sono state schematizzate nel seguente modo:

- Inverno: gennaio febbraio, marzo
- Primavera: aprile, maggio, giugno
- Estate: luglio, agosto, settembre
- Autunno: ottobre, novembre, dicembre

Per ogni stazione sono state considerate le serie storiche delle temperature medie stagionali e da queste le temperature normali stagionali, intese come media delle temperature medie stagionali del trentennio 1991-2020. I dati normali sono stati calcolati per le stazioni con serie storiche di almeno 14 anni.

L'anomalia termica è stata quindi valutata su scala regionale sia attraverso mappe, sia attraverso un indice sintetico rappresentativo dell'intero territorio calabrese.

Al fine fornire una valutazione più dettagliata per il 2022, le anomalie della temperatura media sono state inoltre calcolate su zone omogenee della Calabria, prendendo come riferimento le zone di allertamento per il rischio meteo – idrogeologico e idraulico.

### Mappe di anomalia termica

Per ogni stagione sono riportate le mappe dell'anomalia termica, valutata come differenza tra la temperatura stagionale del 2022 e la temperatura normale.

### Anomalia della temperatura regionale

È stata determinata, a partire dal 1991 e fino al 2022 la temperatura media stagionale regionale, operando nel seguente modo: a partire dalle serie storiche delle

temperature medie stagionali, è stata effettuata la normalizzazione sulla quota, in modo da potere omogeneizzare temperature registrate a quote diverse, considerando una diminuzione di 0.6°C ogni 100 m di quota. Il valore medio stagionale regionale è stato quindi determinato come media aritmetica dei valori su tutte le stazioni funzionanti nell'anno. In questo modo sono stati calcolati, per ogni anno, i valori rappresentativi delle temperature medie stagionali della regione, ottenendo quattro serie storiche, una per ogni stagione, ognuna di 32 anni. Mediando i dati del trentennio 1991-2020 sono state calcolate le temperature normali stagionali regionali. Per ogni stagione viene riportato il grafico di riferimento.

#### *Inverno*

L'anomalia termica invernale, riportata nella mappa in Figura 1 mostra che non risultano sostanziali anomalie né differenze sul territorio regionale. Dal grafico di Figura 2 si può vedere che la temperatura media invernale del 2022 è leggermente più bassa di quella media.

#### *Primavera*

La mappa delle anomalie (Figura 1) mostra che per zone abbastanza estese le temperature in questa stagione superano quelle medie anche di 3°C.

Dal grafico di Figura 2 si può vedere che la temperatura media primaverile del 2022 supera di 1.7°C il valore medio, confermando l'andamento degli ultimi anni. Questo valore di temperatura rappresenta inoltre il massimo degli ultimi 32 anni.

#### *Estate*

Dalla mappa delle anomalie si può vedere che anche in questo caso l'anomalia è positiva per gran parte del territorio della regione.

Dal grafico di Figura 3 si osserva che la temperatura media estiva del 2022 supera di circa 1°C i valori medi, confermando l'andamento degli ultimi anni.

#### *Autunno*

Dalla mappa delle anomalie si può vedere che per zone molto estese del territorio regionale le temperature superano quelle medie anche di 3°C. La Figura 3 mostra che la temperatura media autunnale del 2022 supera di circa 2°C il valore medio e, così come per la primavera, rappresenta il massimo assoluto.

Le anomalie di temperatura media del 2022 sono state calcolate anche su aree omogenee, facendo riferimento alle zone di allertamento per il rischio meteo – idrogeologico e idraulico, riportate in Figura 4.

I dati di sintesi sono riportati in Tabella 1, da cui si evince che l'inverno è stato leggermente più caldo della media esclusivamente per la zona 1. Sulle altre zone, in particolare su zona 4, che corrisponde al tirreno reggino, la temperatura media invernale del 2022 è stata più bassa di quella normale di mezzo grado. Per le altre tre stagioni e per tutte le zone le temperature sono state più alte nel 2022: in particolare sul tirreno cosentino, zona 1, la temperatura media ha superato di almeno 2 gradi il valore medio primaverile e autunnale.

## Conclusioni

Considerando l'andamento delle temperature medie stagionali del 2022 risulta evidente l'anomalia termica positiva rispetto ai valori normali dell'ultimo trentennio. Infatti, tranne che nella stagione invernale dove le temperature medie sono leggermente inferiori rispetto ai valori normali di riferimento, nelle altre stagioni le temperature hanno superato quelle normali di almeno 1°C. L'analisi su aree omogenee mostra che per tutte le zone le temperature stagionali del 2022 sono state più alte della media, ad eccezione dell'inverno, che è stato più caldo della media solo nella Calabria nord-occidentale (zona 1).

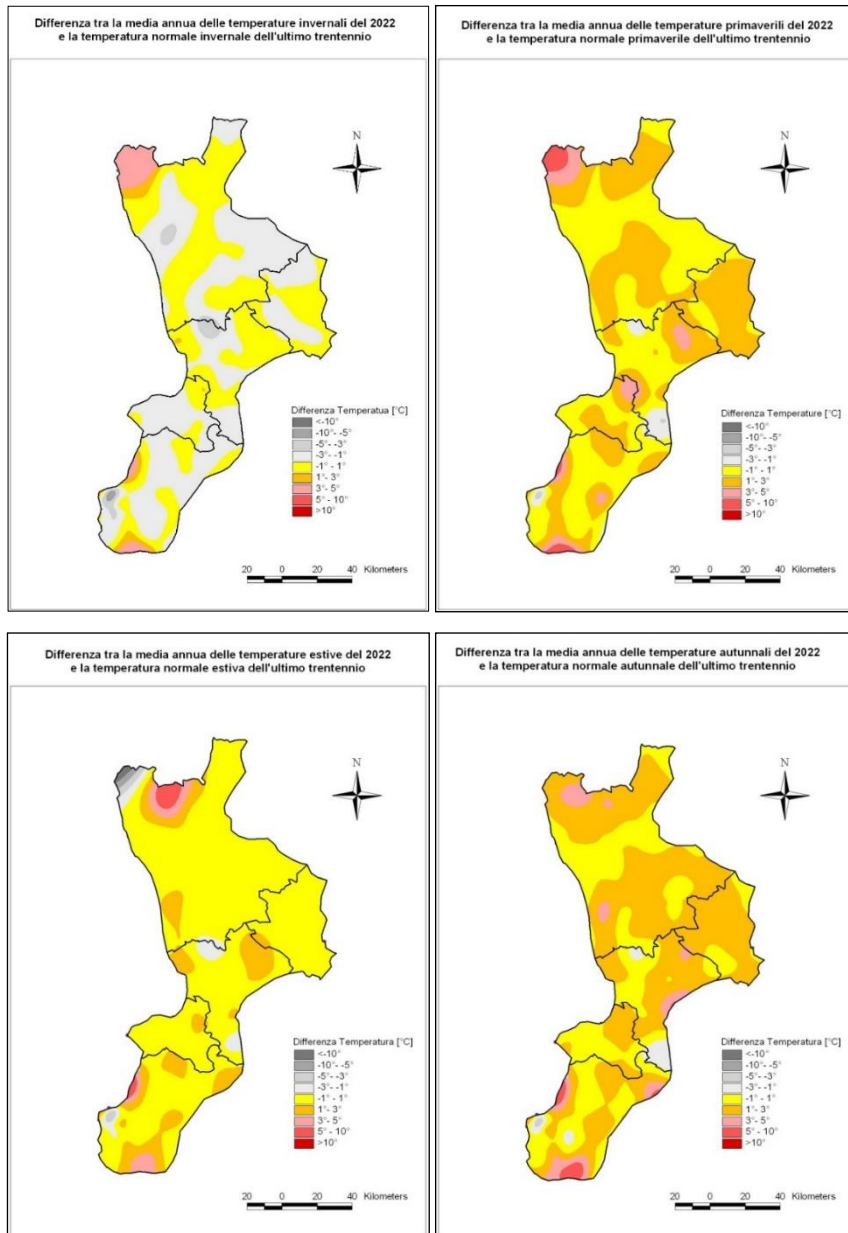


Figura 1: Mappe delle anomalie della temperatura media stagionale nel 2022.

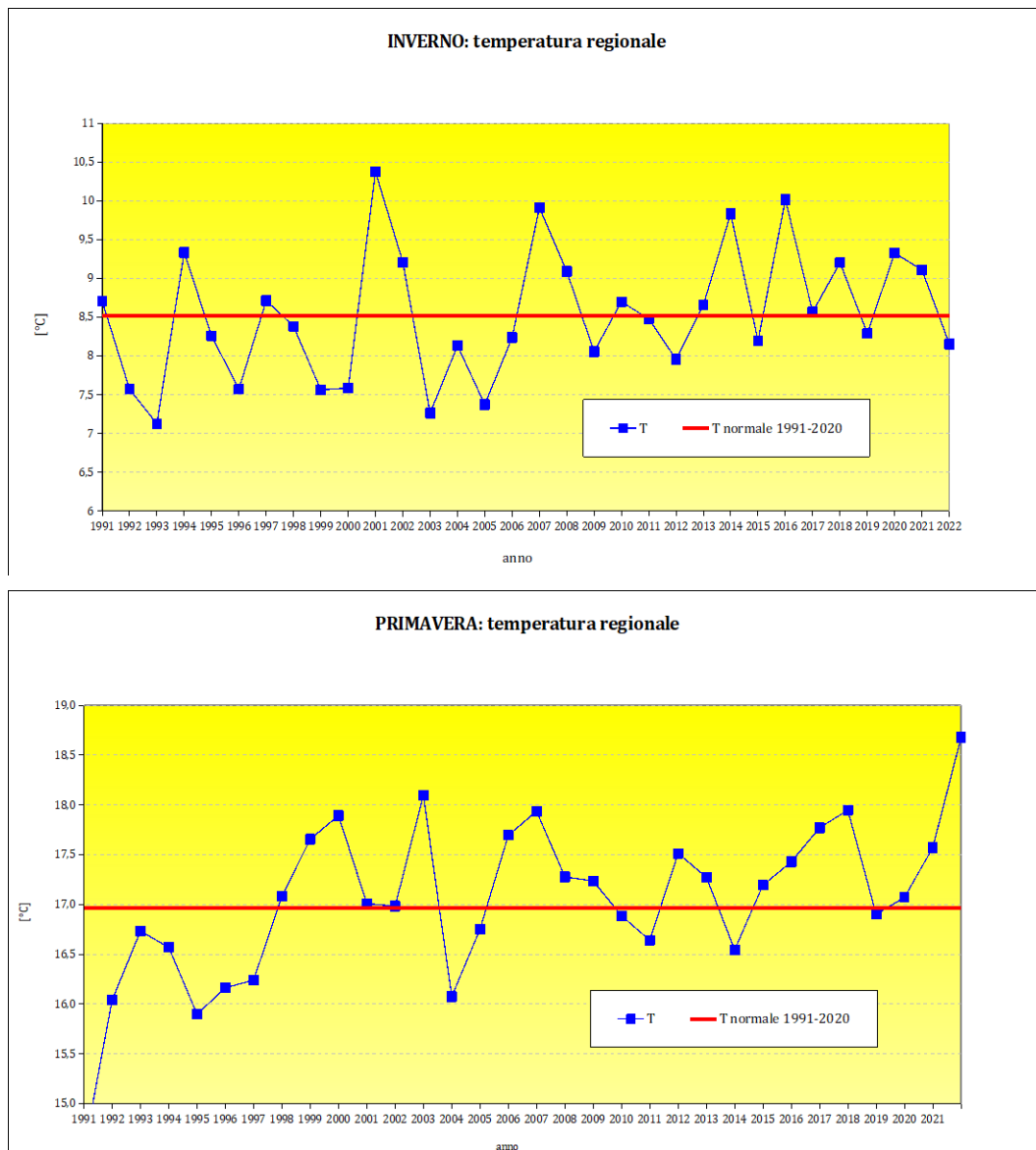


Figura 2: Andamento della temperatura media regionale invernale (in alto) e primaverile (in basso)



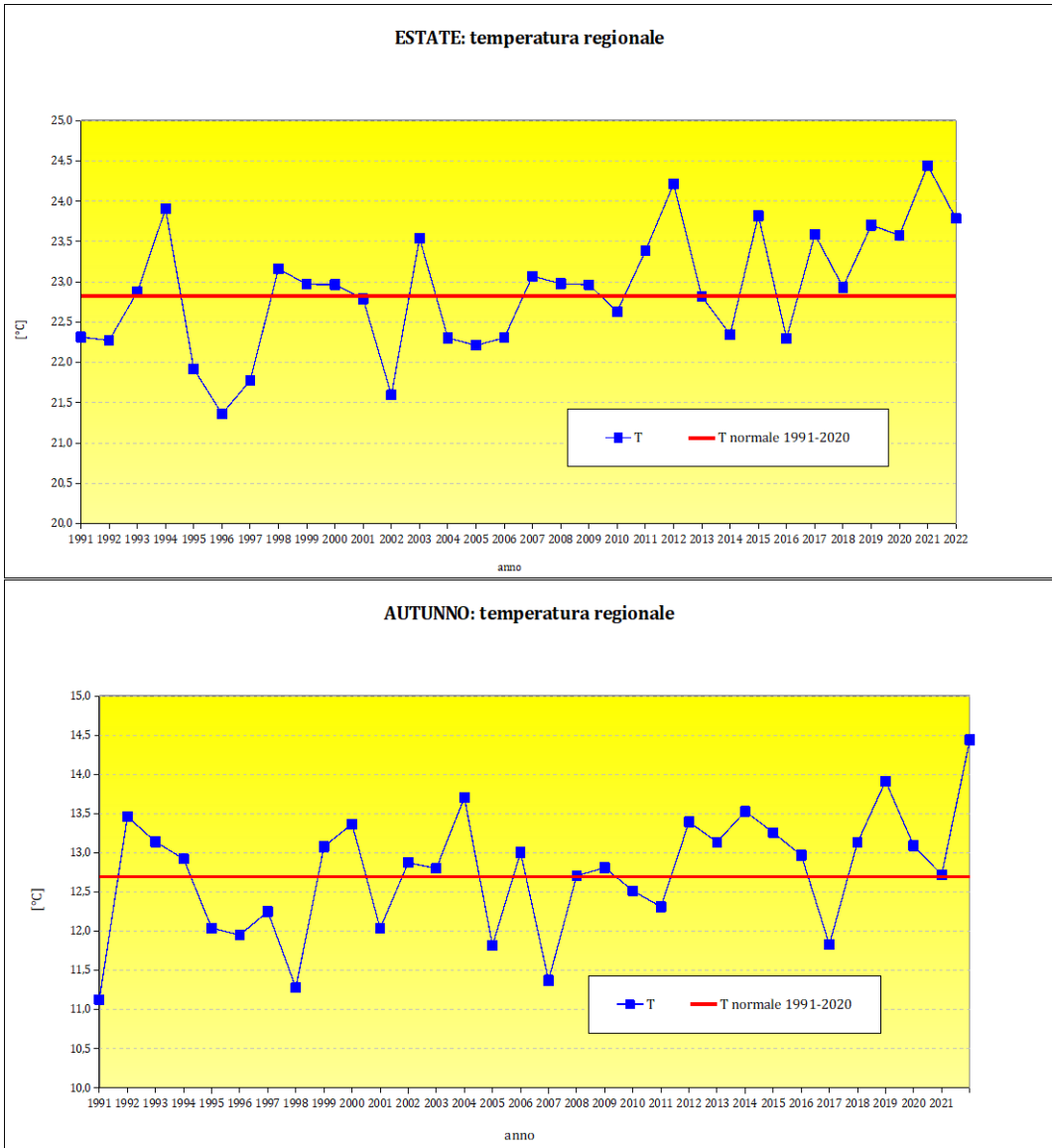


Figura 3: Andamento della temperatura media regionale estiva (in alto) e autunnale (in basso).

Tabella 1: Differenza tra le temperature medie stagionali del 2022 e le temperature normali stagionali calcolate per ogni zona di allertamento

| INVERNO |        |             |            | PRIMAVERA |        |             |            |
|---------|--------|-------------|------------|-----------|--------|-------------|------------|
| Zona    | T 2022 | T 1991-2020 | Differenza | Zona      | T 2022 | T 1991-2020 | Differenza |
| zona 1  | 8,1    | 7,9         | 0,2        | zona 1    | 19,1   | 16,7        | 2,3        |
| zona 2  | 5,8    | 6,2         | -0,4       | zona 2    | 16,8   | 15,2        | 1,6        |
| zona 3  | 7,8    | 8,3         | -0,5       | zona 3    | 18,0   | 16,6        | 1,4        |
| zona 4  | 8,0    | 8,6         | -0,6       | zona 4    | 18,2   | 16,9        | 1,4        |
| zona 5  | 8,3    | 8,5         | -0,3       | zona 5    | 19,4   | 17,8        | 1,6        |
| zona 6  | 8,3    | 8,8         | -0,5       | zona 6    | 19,8   | 18,1        | 1,7        |
| zona 7  | 8,2    | 8,3         | -0,2       | zona 7    | 18,4   | 16,8        | 1,5        |
| zona 8  | 8,0    | 8,2         | -0,2       | zona 8    | 18,5   | 16,8        | 1,7        |
|         |        |             |            |           |        |             |            |
| ESTATE  |        |             |            | AUTUNNO   |        |             |            |
| Zona    | T 2022 | T 1991-2020 | Differenza | Zona      | T 2022 | T 1991-2020 | Differenza |
| zona 1  | 23,7   | 22,5        | 1,2        | zona 1    | 14,5   | 12,3        | 2,2        |
| zona 2  | 21,7   | 20,8        | 0,9        | zona 2    | 12,3   | 10,3        | 2,0        |
| zona 3  | 22,9   | 22,1        | 0,8        | zona 3    | 14,1   | 12,6        | 1,4        |
| zona 4  | 23,6   | 22,5        | 1,1        | zona 4    | 14,5   | 12,9        | 1,5        |
| zona 5  | 24,5   | 23,8        | 0,7        | zona 5    | 14,2   | 12,4        | 1,8        |
| zona 6  | 24,7   | 24,1        | 0,6        | zona 6    | 14,9   | 12,9        | 2,0        |
| zona 7  | 23,7   | 22,6        | 1,1        | zona 7    | 14,4   | 12,6        | 1,8        |
| zona 8  | 24,2   | 22,7        | 1,5        | zona 8    | 14,7   | 12,4        | 2,2        |

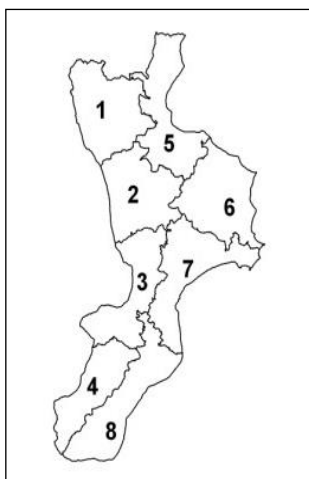


Figura 4: Zone di allertamento

## LE CONDIZIONI TERMICHE IN SARDEGNA NEL 2022

Nell'anno 2022, analogamente ad altre regioni Italiane, la Sardegna ha registrato un lungo periodo con temperature superiori alla norma (periodo di riferimento 1995-2014), in particolare per quanto riguarda i valori massimi (figure 1-2): le anomalie sono state positive per otto mesi per le temperature minime (eccetto il primo quadrimestre) e per ben dieci mesi per le temperature massime (a parte il bimestre marzo-aprile). Ciò che colpisce però è l'entità degli incrementi rispetto alle corrispondenti medie, che nel mese di giugno hanno raggiunto per le massime il picco di +4.3°C come media regionale (Figura 3). L'incremento su base annuale è di circa 2°C per le massime e 0.7°C per le minime, valori che si discostano significativamente dagli anni precedenti, quando si registrarono anomalie generalmente prossime allo zero per le minime e +0.7°C per le massime; gli stessi anni recenti 2016 e 2017, caldi e generalmente secchi, avevano raggiunto picchi di anomalia per le massime di circa +1°C su base annuale. Oltre ai notevoli picchi di anomalia di giugno, i mesi con i maggiori scostamenti rispetto alle medie sono stati luglio, ottobre e dicembre, in questi ultimi 3 le anomalie termiche sono comprese tra +3.3 e +3.6°C. Nel periodo maggio-settembre si sono registrati numerosi giorni con temperature massime superiori ai 35°C, con picchi superiori a 80 giorni in alcune stazioni, sensibilmente superiori rispetto ai tre anni precedenti (dal 50 al 75% in più rispetto alla media del triennio 2019-2021).

Le temperature massime giornaliere nel trimestre caldo hanno superato i 40°C per diversi giorni in alcune località (fino a 18 giorni nella stazione Ozieri c.ra Fraigas), raggiungendo in alcuni casi picchi superiori anche a 44°C, nel mese di giugno.

Condizioni di questo tipo determinano un rilevante impatto sia sulla salute umana che sulle condizioni di benessere degli animali e delle piante.

Riguardo la stima del disagio avvertito dalle persone in condizioni di "caldo afoso" è stato calcolato l'Heat Index (HI) di Steadman (1979). In particolare, in base ai valori assunti dall'indice sono definiti cinque livelli di disagio

(Nessun Disagio, Cautela, Estrema Cautela, Pericolo ed Elevato Pericolo) con associata la corrispondente descrizione del rischio.

Il periodo maggio-settembre 2022 è stato contraddistinto da valori di HI più alti della media pluriennale, e quindi più critici, nei mesi di giugno, luglio e settembre, mentre nel mese di maggio i valori sono stati generalmente più bassi dell'atteso. Nel mese di agosto l'HI è risultato sopra la media soltanto lungo le aree costiere e nelle zone pianeggianti, in particolare del settore meridionale. Il mese più "afoso" del 2022 è stato luglio, in cui l'HI medio mensile ha mostrato in prevalenza valori compresi tra 28 e 30.7, corrispondenti al livello di Cautela. In termini generali, le aree che hanno presentato i valori più critici e le anomalie più elevate, con scostamenti dalla media pluriennale di 1-3 unità, sono localizzate in prevalenza nel settore meridionale dell'Isola. L'analisi della permanenza oraria dell'indice nei vari livelli di rischio per il periodo maggio-settembre evidenzia una sensibile anomalia, con un numero di ore nei livelli di Cautela ed Estrema Cautela notevolmente più elevato nell'estate 2022 rispetto alla media 1995-2014 (Figura 4). La permanenza nei livelli più critici di Pericolo ed Elevato Pericolo è stata invece inferiore alla media.

Per quanto concerne la valutazione della condizione di stress da caldo subita dagli animali di interesse zootecnico è stato elaborato il Temperature Humidity Index (THI) di Kliber (1964). La classificazione prevede 7 diverse condizioni di stress per il bestiame, per valori crescenti dell'indice (Nessun Disagio, Possibile Disagio, Lieve Disagio, Disagio, Elevato Disagio, Allerta, Pericolo ed Emergenza).

L'estate 2022 è stata contraddistinta da valori più critici della media di riferimento (1995-2014) per tutti i mesi (in particolare giugno) per effetto delle alte temperature.

In termini di valori medi mensili il mese di luglio è stato quello più critico mentre gli estremi più elevati sono stati riscontrati ad agosto. I valori di THI medio nel mese di luglio sono stati decisamente sopra la media pluriennale su tutto il territorio regionale, con anomalie mediamente tra 2 e 4 unità, fino a raggiungere le 6 unità nelle aree a più alta quota.

Elaborando i dati orari di THI è stato calcolato un altro indicatore di interesse zootecnico, l'onda di calore o Heat

Waves (HW, Lacetera et al., 2005), che si verifica ogni qualvolta il THI orario risulta uguale o superiore a 72 per oltre 14 ore giornaliere e per tre giorni consecutivi. Il bimestre luglio-agosto 2022 è stato contraddistinto da diverse onde di calore, in numero variabile da una a sei, di intensità da Lieve ad Alta e di persistenza piuttosto differente. La situazione più anomala si è evidenziata nelle stazioni di Villa San Pietro e Cagliari Molentargius, nel sud dell'Isola, in cui è stata registrata un'unica onda di calore della durata di 62 giorni e 61 giorni

rispettivamente, per l'intero bimestre. Nelle stazioni di Cagliari Pirri, Decimomannu e Muravera sono stati totalizzati 60, 59 e 58 giorni di criticità suddivisi in tre onde di calore.

A parte l'eccezionalità di alcune situazioni, il periodo più critico per gran parte dei territori dell'Isola è stato rilevato tra la metà di luglio e la metà di agosto, in cui circa il 70% delle stazioni monitorate (escludendo sostanzialmente quelle di montagna) ha registrato almeno un'onda di calore, anche della durata minima di tre giorni.

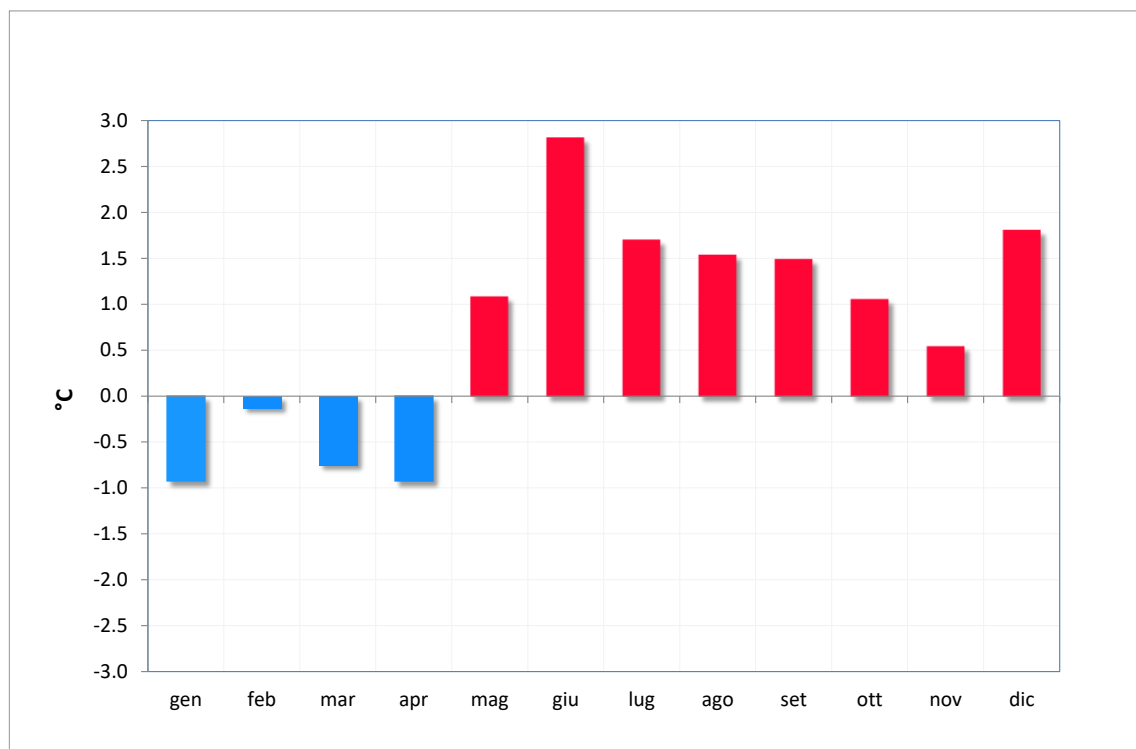


Figura 1: Anomalie climatiche delle Temperature minime 2022.

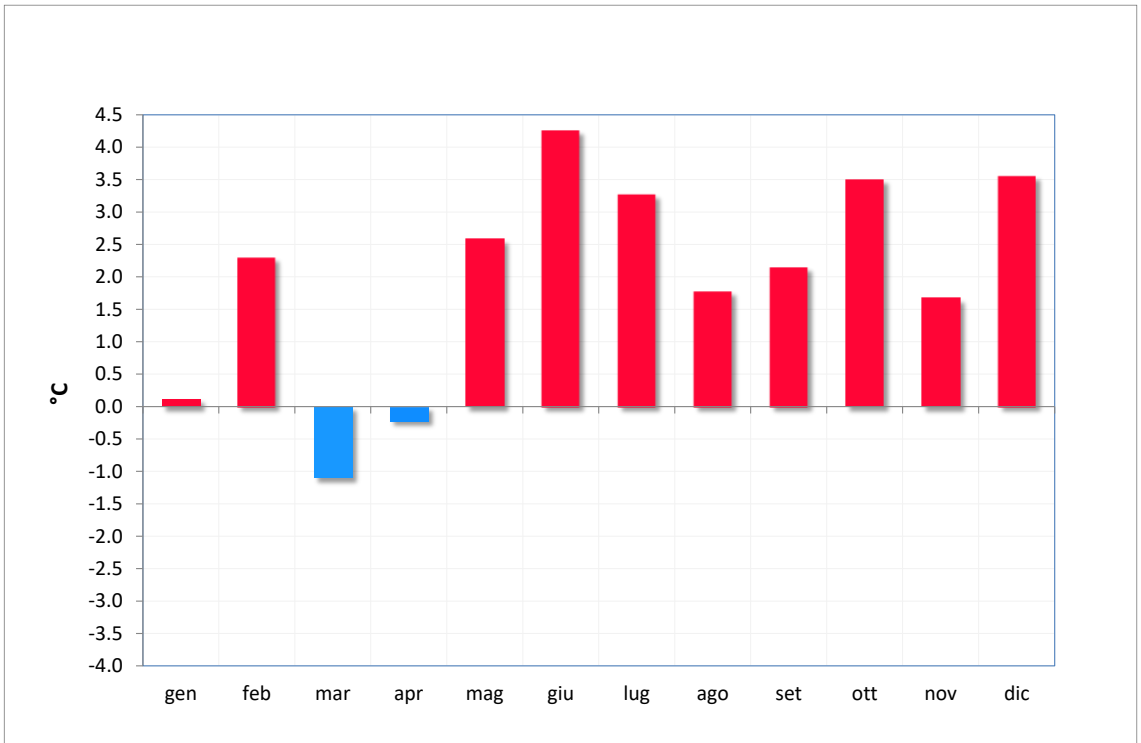
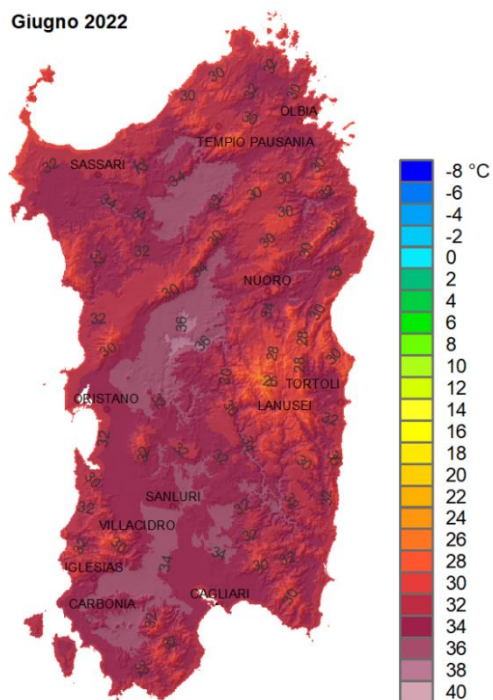


Figura 2: Anomalie climatiche delle Temperature massime 2022.

Giugno 2022



Anomalia

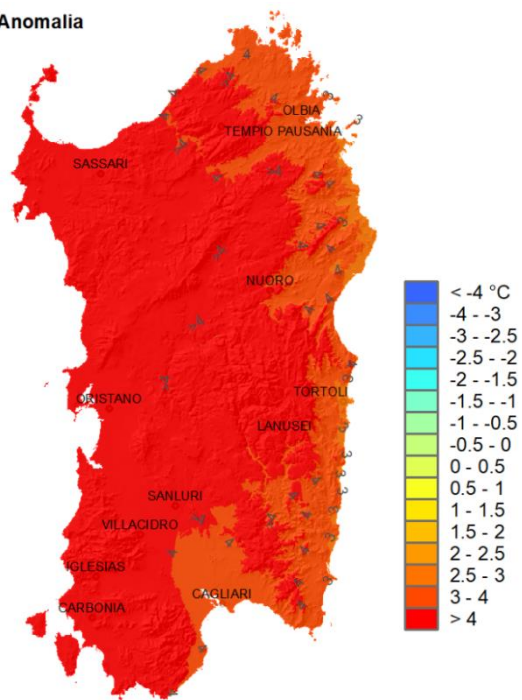


Figura 3: Valori medi mensili e anomalie climatiche delle temperature massime registrate nel mese di giugno 2022.

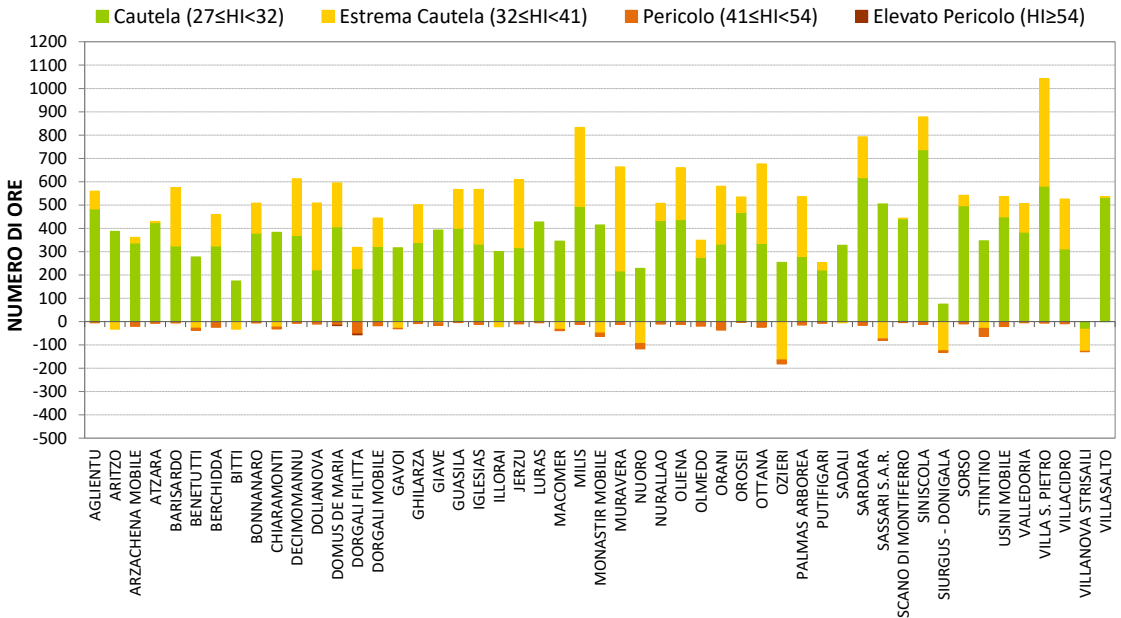


Figura 4: Anomalia ore HI rispetto alla media 1995-2014 - periodo maggio-settembre 2022.

## Bibliografia

- Kliber H. H., 1964. Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by physiological responses. Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station: 862.
- Steadman, R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. J. Appl. Meteor., 18:861-873.
- Lacetera et al., 2005. Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. Int. J. Biometeorol, 50:105-110.

## L'EVOLUZIONE DELLE ONDATE DI CALDO ESTREMO IN SICILIA NEGLI ANNI RECENTI

Ondate di caldo torrido estremo non sono certo eventi eccezionali in Sicilia, stante la sua collocazione geografica al centro del Mediterraneo, di fronte alle coste del Nordafrica, e la relativa facilità con cui masse d'aria di origine sahariana si spostano verso l'Isola, in particolare quando la Sicilia si trova sul bordo occidentale delle configurazioni anticicloniche.

Gli anni più recenti, 2021 e 2022, sono stati tuttavia caratterizzati da ondate di caldo dalle caratteristiche inedite rispetto a quelle conosciute in passato.

L'estate 2021 si è caratterizzata per i valori estremi, tra cui il record europeo di temperatura di 48.8°C in corso di validazione da parte della WMO, mentre l'estate 2022, più che per i valori estremi, si è caratterizzata per un'eccezionale persistenza di caldo torrido, tale da superare i massimi valori precedenti di molti indici.

Le anomalie possono essere messe in evidenza sia mediante il confronto dei valori massimi assoluti, sia mediante l'elaborazione di indici climatici, tra cui primariamente vengono utilizzati gli indici ETCCDI-Expert Team on Climate Change Detection and Indices, a cui però è opportuno affiancare indici complementari analoghi, più adatti a caratterizzare climi estremi.

### Dati utilizzati per l'analisi

Sono stati utilizzati per l'analisi le 96 serie della Rete Agrometeorologica Regionale della Sicilia, gestita dal SIAS-Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano ([www.sias.regione.sicilia.it](http://www.sias.regione.sicilia.it)) del Dipartimento Regionale dell'Agricoltura, distribuita in modo omogeneo sul territorio dell'Isola con una densità media di 1 stazione ogni 267 km<sup>2</sup>. Pur trattandosi di serie relativamente brevi (la rete ha avviato le rilevazioni nel 2002 per la maggior parte delle stazioni), i dati hanno il vantaggio di essere rilevati da stazioni con un ottimo livello di rispondenza agli standard WMO, di essere sottoposti ad una costante attività di controllo e validazione e di avere elevati livelli di continuità e completezza.

### I valori estremi di temperatura

Con riferimento ai valori estremi di temperatura vanno ricordate le condizioni che concorrono all'anomalo riscaldamento dell'atmosfera:

- avvezione di masse d'aria calda: la situazione più classica è quella che vede masse d'aria di origine sahariana risalire sul Mediterraneo centrale, in particolare in presenza di configurazioni bariche di promontorio o di cuneo che vedono la Sicilia posizionata sul bordo occidentale/nord-occidentale delle figure bariche;
  - compressione ad opera delle masse d'aria sovrastanti: il riscaldamento delle masse d'aria è accentuato dalla compressione operata dai moti discendenti, favoriti dalla presenza di aria molto calda in quota;
  - riscaldamento delle masse d'aria nell'entroterra: in presenza di venti che lungo le coste alterano la normale circolazione caratterizzata dalle brezze di mare, le temperature subiscono un innalzamento causato dalle masse d'aria provenienti dall'entroterra; qui il calore, fornito all'atmosfera dalla radiazione infrarossa prodotta dalla superficie terrestre, tende ad accumularsi nelle masse d'aria lungo il tragitto percorso nell'entroterra, raggiungendo i livelli massimi proprio sul versante dell'Isola opposto a quello di provenienza del vento;
  - fenomeni legati all'orografia: le orografie complesse, oltre a generare il classico effetto favonico, favoriscono anche fenomeni di scivolamento di masse d'aria a temperatura potenziale più elevata su masse d'aria a temperatura potenziale più bassa, così che al momento della discesa dai pendii la compressione adiabatica determina lo scivolamento a valle di masse d'aria provenienti da quote più elevate rispetto a quella dei rilievi e pertanto un maggiore riscaldamento.
- In occasione degli eventi registrati nel corso dell'estate 2021, caratterizzata dall'occorrenza di diverse ondate di caldo con valori molto elevati, tali condizioni sono state spesso compresenti e tali da sovrapporsi, esaltando gli innalzamenti termici. In particolare, è risultata fondamentale la dinamica dei venti di terra, sempre



determinanti in occasione delle ondate di caldo più intense.

L'anno 2022 in Sicilia si è caratterizzato non per singoli valori estremi, bensì per la persistenza del quadro torrido. La minore intensità delle avvezioni calde e dei venti associati ha da un lato impedito il raggiungimento di valori analoghi a quelli dell'anno precedente, tuttavia, dall'altro lato la maggiore persistenza del quadro anticiclonico ha mantenuto quasi costantemente valori termici molto elevati.

### L'analisi tramite indici climatici

La circostanza viene messa in evidenza dall'uso degli indici climatici, che in questo specifico caso richiede tuttavia l'adozione non solo delle soglie standard definite all'interno del set ETCCDI, ma anche di soglie più elevate, che riescono meglio a descrivere l'anomalia.

Risulta pertanto utile, oltre all'uso dei tradizionali indici SU25-Summer Days e TR20-Tropical Nights, l'elaborazione degli indici non convenzionali TR25-Hot Nights, SU30-Hot Days e SU35-Desert Days.

L'analisi delle serie SIAS 2003-2022 (il primo anno di acquisizione della rete SIAS, il 2002, non risulta sufficientemente completo ai fini dell'omogeneizzazione dei dati) mette in evidenza le specificità delle due stagioni:

- l'anno 2022 risulta conseguire il numero più elevato di giorni estivi (SU25) e di giorni tropicali (SU30) dell'intera serie, con una media regionale rispettivamente di 144 giorni e 89 giorni, superando anche i valori di 143 giorni e 79 giorni dell'anno 2003, fino ad allora unanimemente valutato come l'anno più caldo della storia meteorologica della Sicilia;
- l'indice SU35 nel 2022, con il valore medio di 26 giorni, risulta inferiore al massimo valore precedente di 28 giorni risalente all'anno 2003.
- l'analisi dell'indice TR20-Tropical nights risulta particolarmente interessante dal momento che evidenzia un numero di notti tropicali che nel 2022 risulta inferiore al numero registrato nel 2003.
- l'analisi dell'indice TR25-Hot nights risulta particolarmente interessante dal momento che

evidenzia un numero di notti tropicali che nel 2022 risulta inferiore al numero registrato nel 2003. L'analisi delle serie mette in evidenza come l'anno 2007 risulti quello con il valore dell'indice più elevato, mettendo in risalto gli altri anni con le più numerose e intense ondate di caldo degli ultimi 20 anni, vale a dire, oltre a 2003, 2021 e 2022, gli anni 2006, 2012 e 2017.

### Conclusioni

Le ondate di caldo del 2022, con le loro spiccate anomalie, appaiono aver esteso il campo di variabilità di alcuni indici climatici, non solo rispetto al periodo esaminato relativo agli ultimi 20 anni, ma anche rispetto alle serie del passato, rispetto alle quali l'anno 2003 aveva segnato una discontinuità rispetto ai valori medi ed estremi del passato. Risulta difficile, al di là del segnale di aumento della temperatura media che trova riscontro per la Sicilia così come per tutto il territorio italiano, individuare tendenze a breve termine, dal momento che le serie mostrano come le annate caratterizzate da ondate di caldo siano spesso intervallate da annate con valori più prossimi ai valori normali, a seconda delle modalità con cui le configurazioni anticicloniche si dispongono sul Mediterraneo durante la stagione estiva.

Sarà pertanto necessario continuare l'osservazione nel medio-lungo periodo per comprendere se le anomalie degli ultimi anni resteranno relativamente poco frequenti oppure se sono la manifestazione di cambiamenti che renderanno quasi ordinarie condizioni così estreme. Sarà determinante a questo proposito la modalità con la quale le circolazioni anticicloniche si svilupperanno sul Mediterraneo.

Resta l'indicazione della necessità di aumentare la capacità di adattamento in tutti i settori per i quali l'aumento delle temperature estreme comporta un rischio climatico, come nel caso dell'agricoltura, della difesa del territorio dagli incendi, nella tutela della salute, nel sistema di produzione e consumo dell'energia.

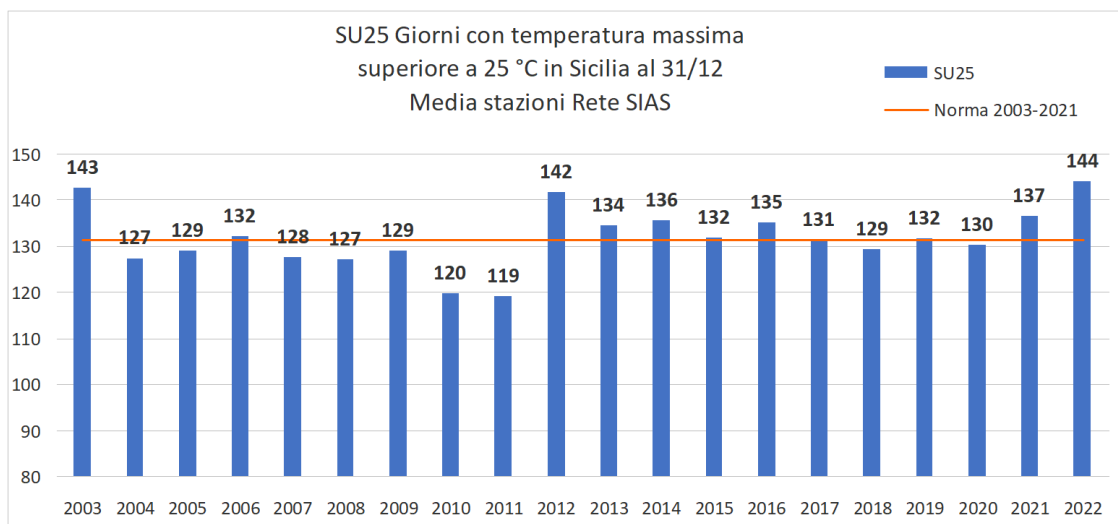


Figura 1: Indice medio regionale SU25-Summer days per il periodo 2003-2022.

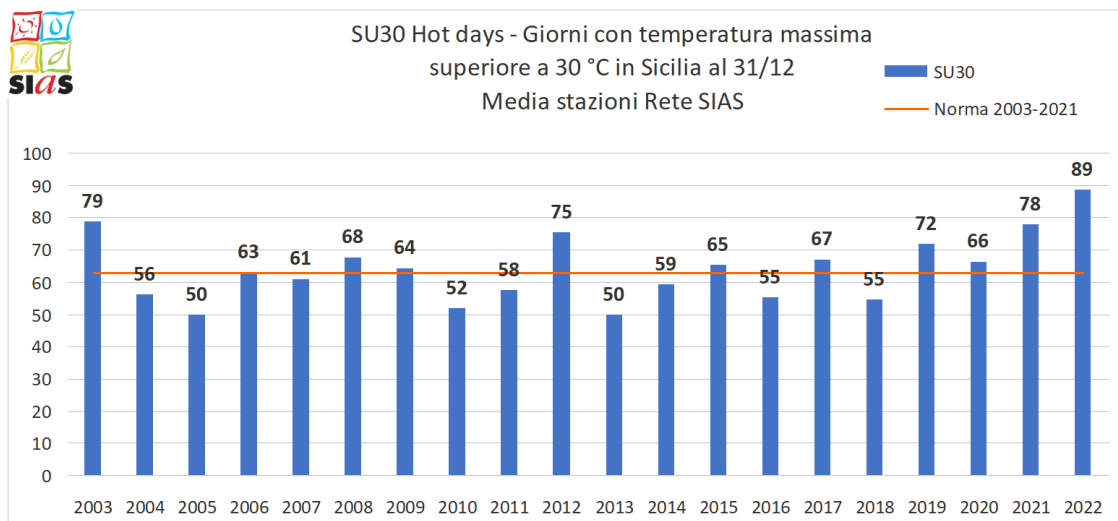


Figura 2: Indice medio regionale SU30-Hot days per il periodo 2003-2022.

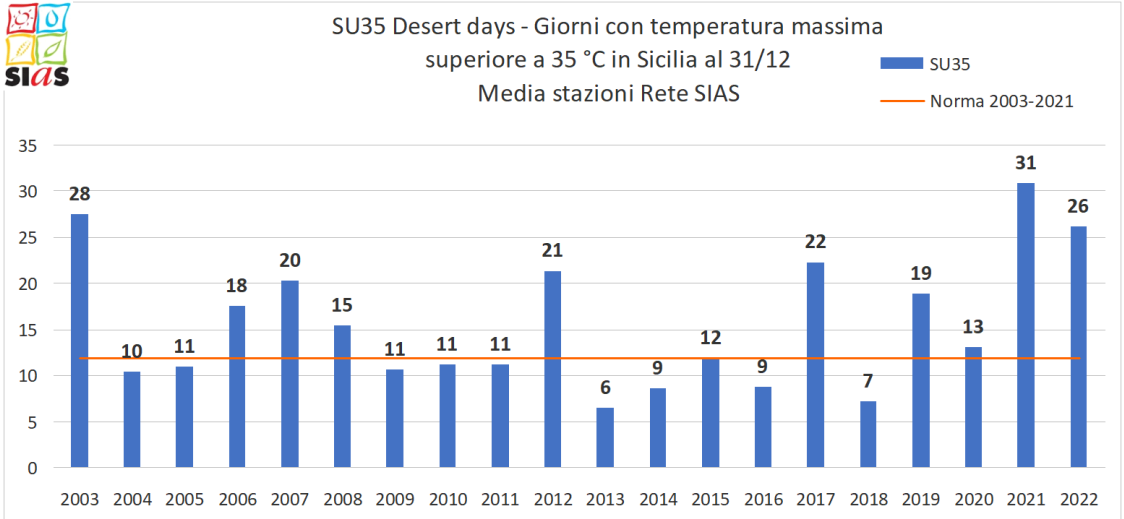


Figura 3: Indice medio regionale SU35-Desert days per il periodo 2003-2022.

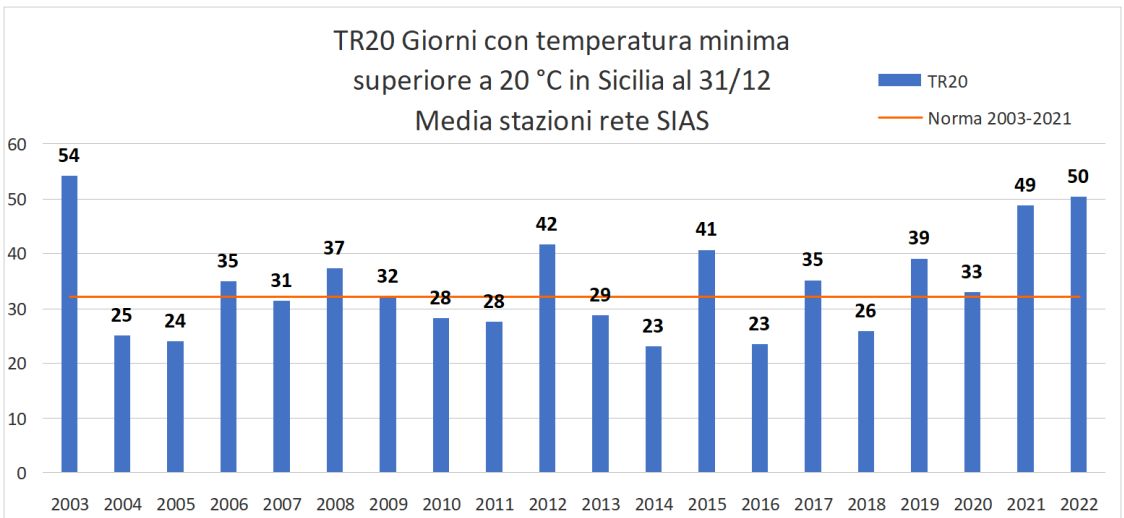


Figura 4: Indice medio regionale TR20-Tropical nights per il periodo 2003-2022.

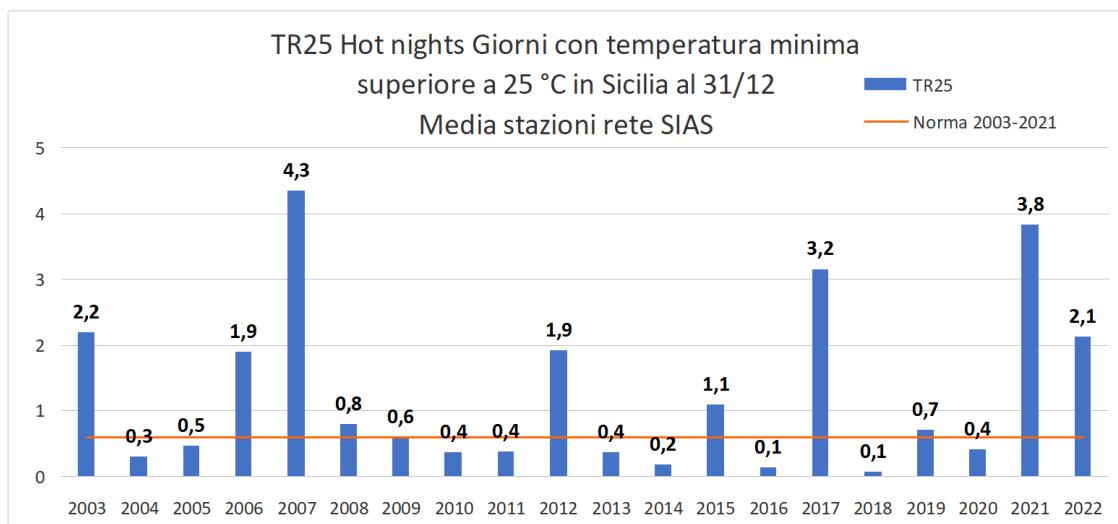


Figura 5: Indice medio regionale TR25-Hot nights per il periodo 2003-2022.

## 3 EVENTI IDRO-METEO-CLIMATICI E METEO-MARINI SIGNIFICATIVI E FOCUS LOCALI

### SISTEMA TEMPORALESICO AUTORIGENERANTE E STAZIONARIO DEL 15 SETTEMBRE 2022

Il giorno 15 settembre le regioni centrali italiane sono state interessate da flussi occidentali pilotati da una profonda depressione sulla Scandinavia, da un minimo secondario sulla penisola Iberica e da un'alta pressione sul nord Africa e Mediterraneo orientale (Centro Funzionale Regione Marche, 2022). Tale situazione ha convogliato aria fresca di origine atlantica che attraverso il Rodano è entrata nelle regioni tirreniche centro-settentrionali e, nello stesso tempo, aria più calda e umida dall'Africa settentrionale verso le regioni tirreniche centro-meridionali. Nella zona di contatto delle suddette masse d'aria (Figura 1) si sono sviluppati alcuni sistemi convettivi sul versante tirrenico, favoriti dal flusso umido proveniente dal mare sottostante, nonché dall'orografia della Sardegna e della Corsica.

Il lento movimento delle strutture bariche ha determinato la stazionarietà del flusso occidentale nel quale si stavano sviluppando queste strutture convettive, che, pertanto, hanno continuato a interessare lo stesso territorio per diverse ore, determinando accumuli di pioggia molto elevati. Nel primo pomeriggio sul versante umbro-toscano dell'Appennino si sono sviluppate delle celle temporalesche che hanno interessato la parte montana ed alto-collinare delle Marche centro settentrionali, generando fenomeni intensi e localizzati. Nel transito verso le zone collinari e costiere questi sistemi si sono smorzati progressivamente perdendo di intensità.

Dalle 17 in poi sul versante tirrenico, il sistema temporalesco ha assunto le caratteristiche di una squall line per estendersi in breve tempo fino alla costa

marchigiana e rimanendo stazionario fino alla tarda nottata (Figura 2).

Le precipitazioni hanno iniziato ad interessare le aree intorno al Monte Catria, nella parte montana del bacino del Candigliano, per poi estendersi alle zone montane dei bacini del Cesano, Misa ed Esino. Nel corso della serata hanno poi interessato la zona del Monte San Vicino nel bacino del Musone. Le precipitazioni si sono concentrate in particolare tra le ore 16 e le 22, con quantitativi sulle 6 ore eccezionali sia in termini di cumulata che intensità per il territorio regionale. I quantitativi giornalieri hanno superato i 400 mm e le cumulate a 3, 6, 12 e 24 ore sono stati di gran lunga superiori dei massimi registrati da quando esistono gli annali idrologici (secondo decennio del 1900), con tempi di ritorno superiori ai 1.000 anni (Fondazione CIIMA, 2016).

Nella Tabella 1 è riportato il confronto fra i massimi di precipitazione ed i precedenti record.

Nella giornata seguente, nel primo pomeriggio del 16 settembre un nuovo intenso sistema temporalesco si è formato sopravvento all'Appennino marchigiano nell'alta vallata del bacino del Potenza, determinando precipitazioni abbondanti nei comuni di Fiuminata, Pioraco, Sefro e Camerino.

L'evento del 15 ha causato effetti al suolo e danni diffusi, numerosissime situazioni di criticità su tutta l'area colpita della porzione centro settentrionale regionale e dodici vittime e un disperso nelle valli del Misa e Nevola.

Il territorio interessato dall'evento veniva da un periodo estivo estremamente caldo e siccitoso, con suoli secchi e un deflusso di base nei principali fiumi sotto la media stagionale.

Le precipitazioni associate all'evento meteorologico in oggetto si sono abbattute sul territorio con intensità molto elevata, a tratti elevatissima, per diverse ore.

Tale situazione ha fatto sì che i terreni siano stati dilavati, con fenomeni di erosione sia diffusa che concentrata, soprattutto nei campi e nei versanti dove l'acqua si è raccolta lungo vie di drenaggio preferenziali.

Ciò ha portato, dal punto di vista del dissesto idrogeologico, alla formazione di colate, sia di fango che detritiche, oltre a numerosissimi smottamenti. I processi erosivi predetti hanno prodotto un'enorme quantità di fango, detriti e piante sradicate che poi si sono riversati nel reticolo idrografico sia minore che maggiore, aumentando i fenomeni di accumulo di materiale tra le pile dei ponti, riducendo sensibilmente la sezione di transito del deflusso di piena.

Gli afflussi concentrati in poche ore hanno determinato rapidissimi incrementi del livello idrometrico e della portata transitante, in particolare sul bacino del Misa (Figura 3).

A fine evento le sezioni fluviali ed in generale il tracciato nelle zone colpite, sono risultate totalmente o parzialmente modificate: si sono verificate significative erosioni spondali, allagamenti estesi e, in generale, incremento della larghezza delle sezioni fluviali in particolare negli affluenti.

Si sono registrate esondazioni diffuse lungo le aste fluviali principali e secondarie dei bacini del Misa, Cesano, Candigliano ed Esino. Le aree allagate sono state mappate dal programma Copernicus- Emergency Management Service.<sup>17</sup>

Da una mera sovrapposizione dei limiti dell'area interessata dall'esondazione con la carta geologica regionale<sup>18</sup> risulta che siano stati interessati oltre ai depositi alluvionali recenti ed attuali anche alcuni lembi di depositi terrazzati pleistocenici (Figura 4).

Innalzamenti significativi del livello idrometrico si sono verificati anche su fiume Musone e Potenza.

Le esondazioni e le frane hanno determinato interruzioni e, nei casi peggiori, dissesti e criticità sulle sedi stradali, con asportazione di parte delle stesse, determinando l'isolamento di frazioni e centri abitati, danneggiamento e distruzione di ponti, rete idrica e linea elettrica e stazioni di monitoraggio fluviale.

<sup>17</sup><https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR634>

<sup>18</sup> Carta Geologica regionale 1:10.000 - <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Repertorio/Cartageologicaregionale10000>

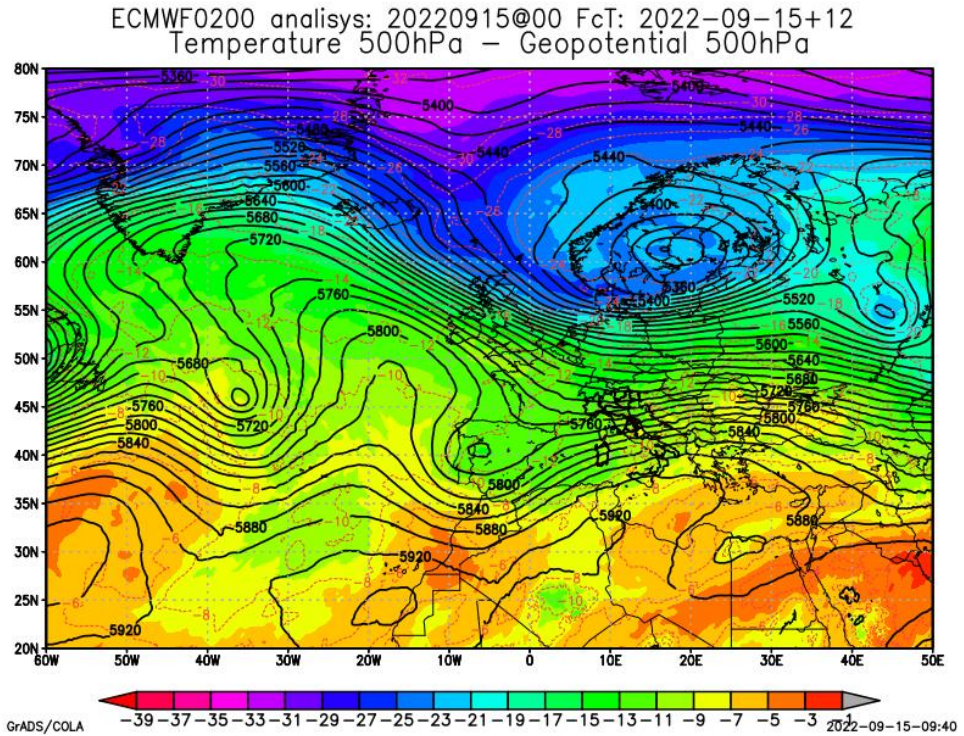


Figura 1: Temperatura e geopotenziale sulla superficie isobarica di 500hPa previste dal modello IFS dell'ECMWF per le ore 12 del 15 settembre. Sull'Italia centrale insiste una circolazione sud occidentale di aria calda e umida.

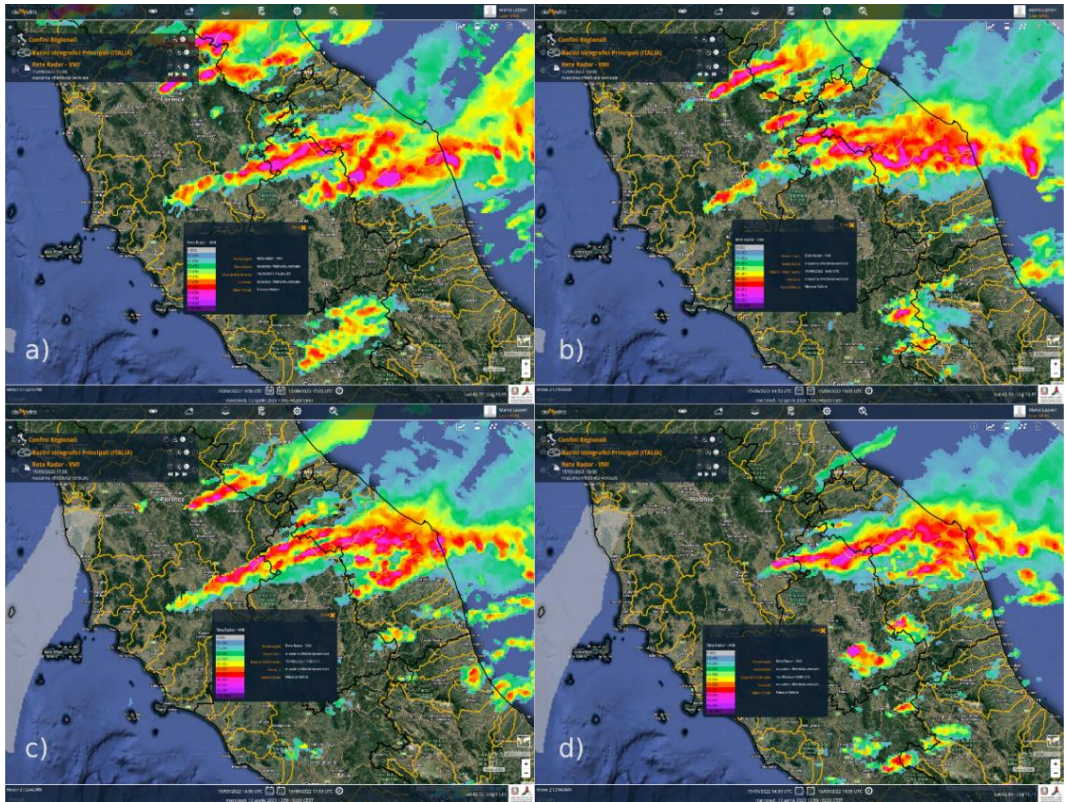


Figura 2: Massima riflettività sulla verticale (dBz) misurata dalla rete radar nazionale del Dipartimento della Protezione Civile - piattaforma Dewetra, per le ore 17, 18, 19 e 20 locali (pannelli a, b, c e d) del 15 settembre. È ben visibile la formazione di temporali multicella che si estendono dal versante tirrenico fino alla costa marchigiana.



Tabella 1: Massimi di precipitazione registrati da un sottoinsieme di pluviometri significativi per l'evento del 15-16 settembre 2022 dalla rete regionale<sup>19</sup> e i precedenti record.

| Intervallo | Stazione | Data di inizio   | Valore (mm) | Massimo precedente (mm)           |
|------------|----------|------------------|-------------|-----------------------------------|
| 1 ora      | Sefro    | 16/09/2022 13:45 | 113.8       | 119.2, Endesa (MC), 16/07/2015    |
| 3 ore      | Cantiano | 15/09/2022 16:00 | 256.6       | 161, Colleponi (AN), 21/07/2008   |
| 6 ore      | Cantiano | 15/09/2022 16:00 | 384.0       | 180, Colleponi (AN), 21/07/2008   |
| 12 ore     | Cantiano | 15/09/2022 16:00 | 419.0       | 258.9, Pedaso (FM), 12/06/1958    |
| 24 ore     | Cantiano | 15/09/2022 16:00 | 419.0       | 315.6, Bolognola (MC), 11/11/2013 |

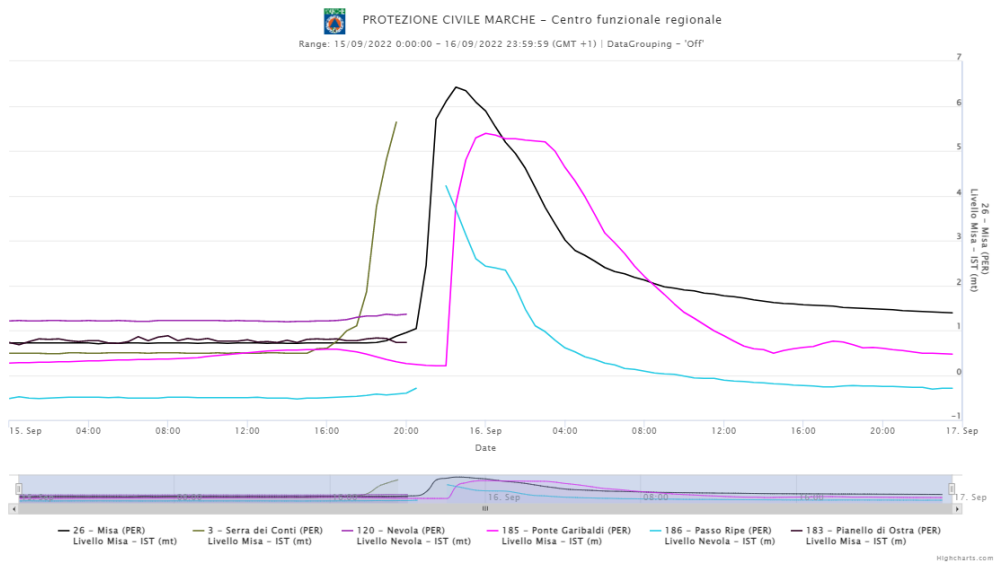


Figura 3: Livelli idrometrici registrati dalle stazioni della rete regionale<sup>19</sup> sul torrente Misa e il suo affluente Nevola. Alcune stazioni non hanno registrato il massimo livello idrometrico perché sradicate e danneggiate dalla piena.

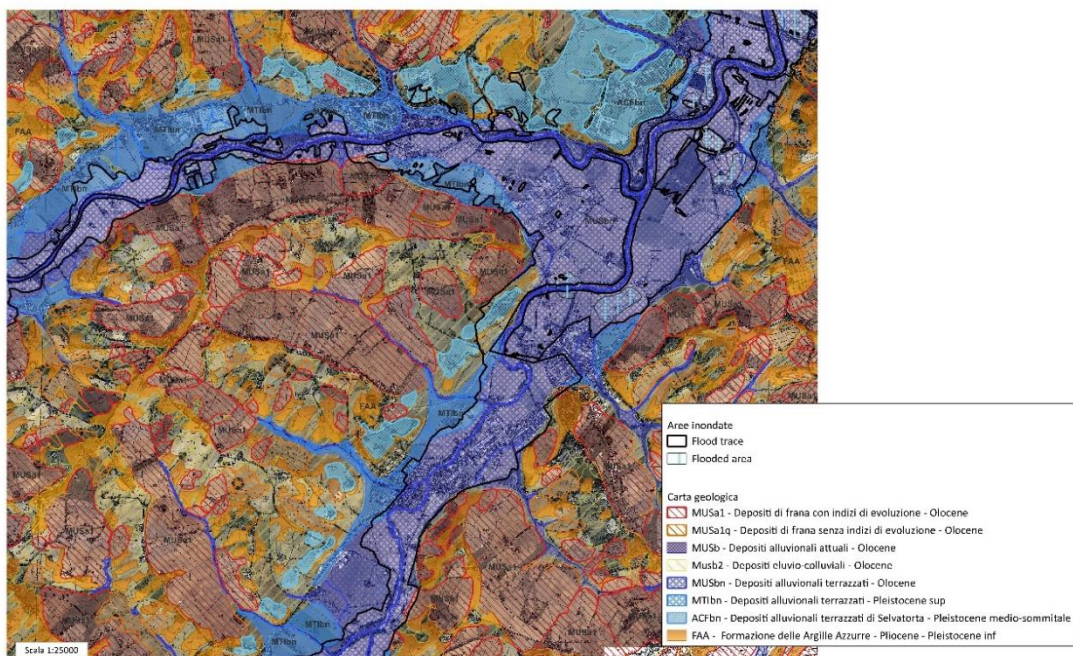


Figura 4: Sovrapposizione dell'area allagata identificata da Copernicus Emergency Management Service [4] con la carta geologica regionale [5] - particolare nella zona di confluenza fluviale tra Misa e Nevola.

## Bibliografia

- Centro Funzionale Regione Marche, 2022: Rapporto di Evento preliminare 15-17 Settembre 2022 — <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Rapporti-di-evento> .
- Fondazione CIMA, 2016: Regionalizzazione delle precipitazioni intense. <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Studi-Meteo-Idro#Studi-Idrologici-e-Idraulici>

## EVENTO METEO-MARINO ECCEZIONALE IN ALTO ADRIATICO: 22 NOVEMBRE

Nella mattinata del 22 novembre 2022 si è verificato un evento meteo-marino eccezionale che ha fatto registrare lungo l'arco costiero Alto Adriatico valori del livello del mare tra i più alti delle serie storiche esistenti. Un evento atteso e previsto da giorni dal Tavolo Tecnico per le Previsioni di marea, composto dal Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (CPSM) del Comune di Venezia, dall'ISPRA e dall'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISMAR-CNR), che si riunisce in occasione di previsioni per Venezia di livelli di marea superiori a 110 cm sullo zero mareografico della stazione di Punta della Salute (ZMPS).

### Inquadramento meteorologico

L'evento del 22 novembre 2022 è connesso al noto fenomeno della ciclogenese alpina, frequente nella stagione autunnale e spesso associato ad alte maree eccezionali nel Nord Adriatico (incluso lo storico evento alluvionale del 1966), e, in questo caso, simultaneo all'instaurarsi di un "blocco euro-atlantico" (la presenza di una coppia ciclone-anticiclone sul Nord Europa che per alcuni giorni rallenta il movimento delle perturbazioni verso est), che ha come effetto l'ulteriore potenziamento dei fenomeni responsabili dell'evento. Nella notte tra lunedì 21 novembre e martedì 22 si è formato un ciclone secondario di grandi dimensioni, il cui minimo barico al suolo è transitato sull'Italia Centrale per raggiungere l'Adriatico alle 9:30 ora locale (Figura 1). Dalla sera del 21 novembre e per tutta la mattinata del 22 novembre, il transito del profondo minimo pressorio (985 hPa) ha innescato venti di Scirocco molto intensi sull'intera lunghezza dell'Adriatico e forti venti di Bora prima nell'entroterra e poi estesi alla porzione nord del bacino (Figura 2), situazione che è in seguito evoluta in un vortice a piccola scala di fronte al Delta del Po. Questa configurazione meteorologica ha generato sulla costa veneta e friulana venti locali molto intensi e con direzione variabile da Bora a Scirocco tra la notte e la mattina del 22 novembre, fenomeno chiaramente osservabile grazie all'integrazione e condivisione dei dati delle diverse reti

di monitoraggio presenti in Alto Adriatico afferenti al Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale (SNPA) e del CPSM (Figura 3). Presso la stazione Piattaforma "Acqua Alta" del CNR, situata a circa 16 km al largo del litorale veneziano, nella tarda mattinata e nel primo pomeriggio del 22 novembre sono stati registrati venti tesi provenienti da NE, con velocità abbondantemente superiori ai 20 m/s, con picchi di raffica prossimi ai 30 m/s attorno alle ore 11.00 circa.

### Livelli registrati di livello del mare e di altezza d'onda

I dati meteo-marini provenienti dalle stazioni di ISPRA, afferenti alla Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'alto Adriatico (RMLV) e alla Rete Mareografica Nazionale (RMN), integrati con i dati di ARPAV, ARPA FVG e CPSM, forniscono un quadro sinottico dei livelli di marea raggiunti lungo l'intero arco costiero Nord Adriatico (Figura 4). Presso la stazione oceanografica di Piattaforma CNR, al largo della costa veneziana, è stato raggiunto un livello massimo di 173 cm (ZMPS) alle ore 9.35 locali e valori massimi di altezza d'onda significativa prossimi ai 4 m. L'effetto congiunto del set up locale e dell'elevata altezza d'onda hanno portato a registrare sotto costa livelli di marea tra i più elevati di sempre, talvolta anche superiori a 200 cm (203 cm presso la stazione di Malamocco Diga Nord). Tutto il litorale è stato interessato da valori di livello molto sostenuti, con i valori minimi misurati nella porzione orientale (Trieste 177 cm e Grado 169 cm) e i picchi estremi registrati nelle lagune del Delta del Po (su tutti Porto Caleri 198 cm e Scardovari 203 cm), dove i picchi di altezza d'onda significativa hanno superato il metro.

Oltre agli intensi venti di Scirocco lungo l'Adriatico e localmente a una combinazione di venti di Scirocco e Bora, a conferire un carattere eccezionale ai picchi di marea registrati hanno contribuito:

- il livello già elevato delle acque in Adriatico, dovuto al precedente, rapido passaggio di due cicloni nei giorni 18 e 19 novembre, con venti di Scirocco sul Canale d'Otranto e conseguente pompaggio di acqua in Adriatico, solo in parte compensato dallo

svuotamento di domenica 20 novembre (condizioni anticicloniche e venti di Bora sull'Adriatico);

- la notevole profondità del minimo di pressione (Figura 1), con conseguente richiamo delle acque marine da sud verso nord per effetto del gradiente barico, e il suo transito proprio sull'alto Adriatico.

All'interno della laguna di Venezia, il livello di marea si è attestato su valori inferiori, per l'effetto dell'entrata in funzione delle barriere mobili alle 3 bocche di porto (Mo.S.E.-Modulo Sperimentale Elettromeccanico), con differenze molto marcate all'interno della laguna stessa per l'intenso vento di Bora che ha soffiato lungo l'asse principale del bacino (NE-SO). Il livello si è attestato su valori compresi tra 50 e 70 cm (ZMPS) a Venezia - Punta della Salute, e su valori ancora inferiori nella porzione più a nord del bacino (30-50 cm a Grassabò e Burano). Viceversa, nella porzione più meridionale della laguna, il sovrizzo è stato molto maggiore per l'effetto locale dovuto alla spinta del vento di Bora: nel centro storico di

Chioggia (Chioggia Vigo) è stato raggiunto il valore di 110 cm alle ore 13:15, evidenziando una differenza istantanea di circa 60 cm con il centro storico di Venezia (Punta della Salute) e di oltre 80 cm con la porzione estrema del bacino settentrionale (Grassabò) (Figura 5). Un evento questo che, per i valori massimi raggiunti a mare risulta essere paragonabile, se non superiore, a quello recente del 12 novembre 2019 e allo storico evento del 1966, anche se il contributo meteorologico è stato inferiore e non perfettamente in fase con il picco elevato di marea astronomica di circa 80 cm. La chiusura delle barriere mobili, che ha preservato Venezia e i centri abitati lagunari dall'allagamento, non rende confrontabili i valori registrati a Punta della Salute il 22 novembre 2022 con la serie storica che si estende fino al 1924. In ogni caso, sulla base dei soli valori osservati a mare, possiamo avere la certezza che l'evento in analisi rappresenti uno dei tre eventi più significativi dell'ultimo secolo.

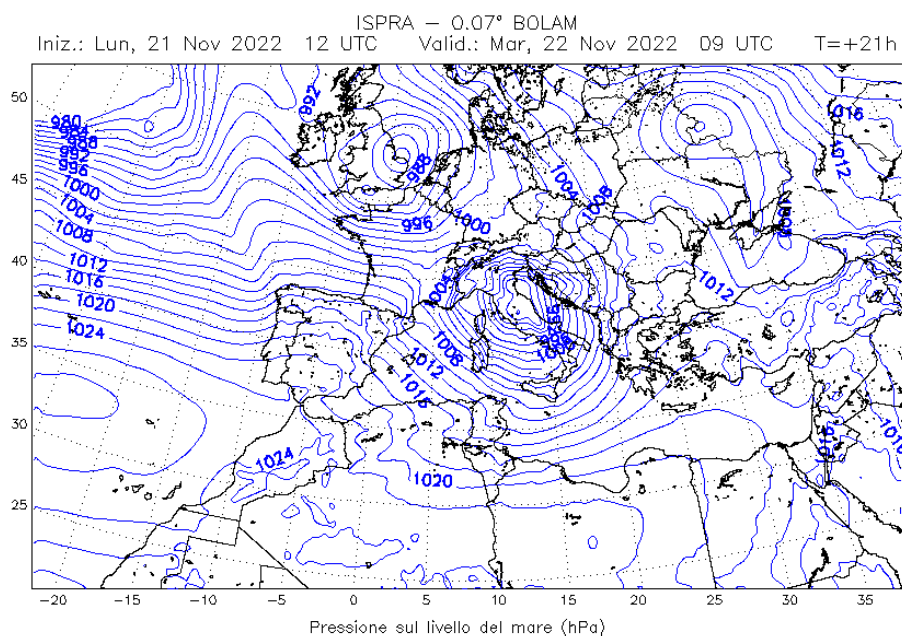


Figura 1: Valori di pressione atmosferica sul livello del mare previsti dal modello BOLAM (SIMM-Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare dell'ISPRA) per le ore 10:00 locali del 22 novembre 2022.

ISPRA – 0.0225° MOLOCH

Iniz.: Lun, 21 Nov 2022 12 UTC Valid.: Mar, 22 Nov 2022 09 UTC T=+21h

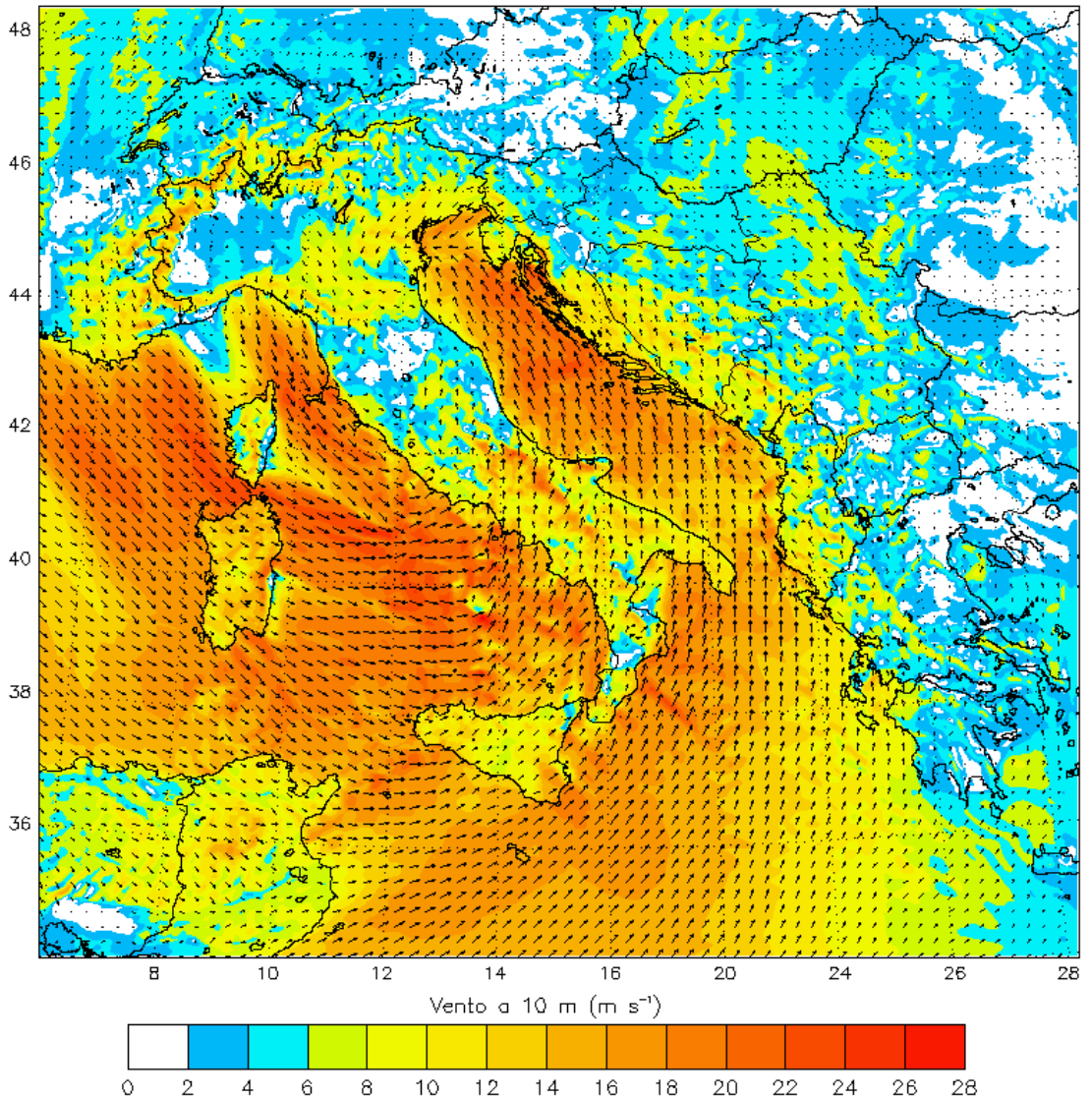


Figura 2: Valori di intensità e direzione del vento previsti dal modello MOLOCH (SIMM-Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare dell'ISPRA) per le ore 10:00 locali del 22 novembre 2022.

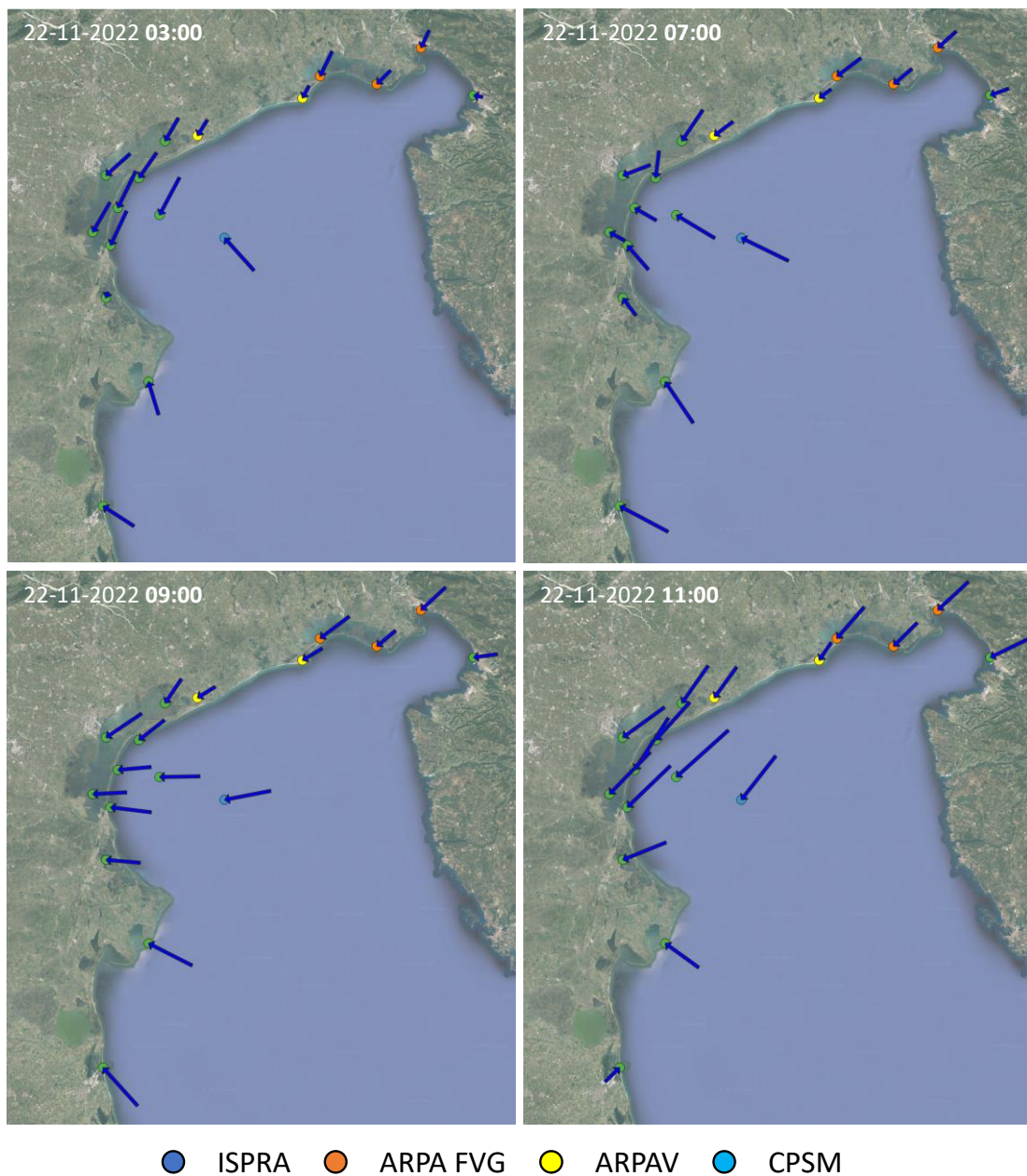


Figura 3: Intensità e direzione del vento a diversi istanti. Dati di ISPRA, ARPA Friuli-Venezia Giulia, ARPA Veneto e CPSM.



Figura 4: Livelli massimi raggiunti nel corso del 22 novembre 2022 presso le stazioni delle reti mareografiche di ISPRA (RMLV, RMN), ARPA FVG, ARPAV e CPSM.

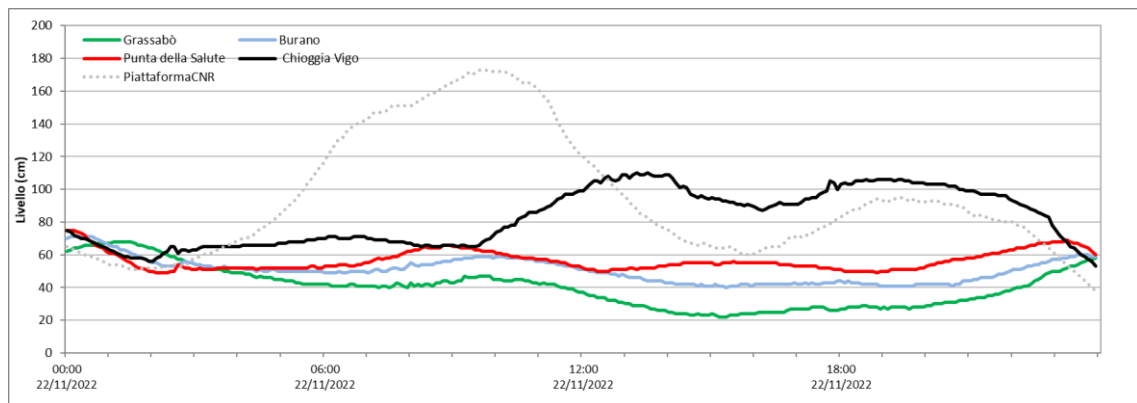


Figura 5: Livelli misurati in alcune stazioni interne alla laguna veneta e al largo della costa veneziana (Piattaforma CNR).



## L'EVENTO ESTREMO OCCORSO IN DATA 26 NOVEMBRE 2022 SUL TERRITORIO DEL COMUNE DI CASAMICCIOLA TERME – ISOLA DI ISCHIA (NA)

### Premessa

Nella giornata del 26 novembre 2022 un evento meteorologico di straordinaria intensità, in termini di precipitazioni osservate al suolo, ha interessato l'isola di Ischia, in provincia di Napoli, determinando effetti al suolo di estrema rilevanza, soprattutto nel territorio del comune di Casamicciola Terme, ove l'innescò di più colate rapide di fango, miste a detriti e massi di grandi dimensioni, ha causato 12 vittime e la totale compromissione degli interessi primari della collettività. Il quadro meteorologico determinatosi dal 25 al 27 novembre 2022, con l'instaurarsi di condizioni avverse, che inizialmente hanno interessato la Sardegna, per poi estendersi alle regioni tirreniche centro-meridionali, è stato caratterizzato da una struttura depressionaria di origine atlantica, con formazione di un minimo barico sul mar Tirreno, che ha generato rovesci e temporali, puntualmente di forte intensità, con la presenza di consistenti forzanti anemologiche e forti mareggiate sulle isole campane e su tutte le zone costiere del settore centro-settentrionale della regione.

Le precipitazioni, misurate, nell'arco temporale che va dalle 00:00 alle 19:00 del 26 novembre 2022, dalle stazioni di monitoraggio in tempo reale della rete fiduciaria di protezione civile del Centro Funzionale Multirischi della Regione Campania, operative nell'isola e rappresentate in Figura 1, hanno raggiunto il valore massimo di 176.8 mm, osservati nel sito di Forio d'Ischia, per mantenersi al di sopra dei 145 mm anche negli altri 3 siti strumentati (rispettivamente, 162.4 mm a Ischia, 149.8 mm a Piano Liguori e 145.4 mm a Monte Epomeo). I dati analizzati per la valutazione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico verificatosi sull'isola sono quelli rilevati dai sensori elettronici installati sulle predette stazioni di monitoraggio in tempo reale, ubicate in ragione di una stazione per ogni quadrante territoriale e appartenenti alla rete fiduciaria di protezione civile, utilizzata dal Centro Funzionale per la conduzione e

gestione del sistema regionale di allertamento per il rischio idrogeologico, idraulico e da fenomeni meteo avversi; in Tabella 1 sono riportati i principali elementi informativi di tali stazioni.

### Analisi dati pluviometrici ed elaborazioni

Per ogni stazione di monitoraggio sono stati elaborati, previa opportuna validazione, i dati campionati dal sensore con frequenza temporale pari a 10 min, estratti dal database della centrale della rete, ove sono archiviati tutti i dati acquisiti dalle stazioni periferiche e trasmessi in tempo reale, via ponte radio, al front-end della centrale.

In Tabella 2 sono riportati i valori massimi di precipitazione, osservati nelle 4 stazioni, per le differenti durate considerate, con evidenziati, in corsivo, quelli del massimo assoluto per ogni durata, mentre in Tabella 3 sono riportati gli analoghi valori osservati nell'evento del 08÷10 novembre 2009, che costituisce l'ultimo evento avverso storico, precedente a quello qui analizzato, caratterizzato da ingenti danni causati alla popolazione (con perdita anche di una vita umana) e criticità idrogeologiche verificatesi al suolo, in termini di colate rapide di fango.

Dal confronto fra i due dataset (Centro Funzionale Multirischi Regione Campania, 2022; 2009), pur nella differente durata complessiva degli eventi considerati (circa 19 ore per l'evento del novembre 2022 e circa 55 ore per quello del 2009, dalle ore 05:00 del 08 novembre alle ore 15:00 del 10 novembre), si vince come nel sito di Forio, per l'evento del 2022, risultino essere intervenute precipitazioni di intensità più elevata, rispetto a quelle del 2009, per le durate da 1 a 24h, mentre per quello di Monte Epomeo, tutti i valori di precipitazione, osservati nel 2022 per tutte le durate considerate, ivi comprese quelle sub-orarie, sono superiori ai corrispettivi, osservati nel 2009; di particolare significatività, anche in relazione alla diversa entità degli effetti al suolo indotti dalle precipitazioni nei due eventi comparati, può essere la considerazione che, per le durate di 3 e 6 ore, l'intensità registrata a Monte Epomeo per l'evento del 2022 è risultata ben più di 3 volte superiore a quella dell'evento 2009.

In relazione alle peculiarità climatiche dell'evento in esame, soprattutto in termini di confronto fra i dati di precipitazione osservati e quelli statistici ricavabili dalle serie storiche omogenee e consistenti, disponibili nei 4 siti strumentati, di durata pari a 22 anni per la stazione denominata "Monte Epomeo", ubicata nel Comune di Serrara Fontana e pari a 16 anni per le altre 3 stazioni, l'elaborazione dei massimi annuali, per ogni sito di monitoraggio e per le diverse durate considerate e il confronto con quelli dell'evento in esame (Centro Funzionale Multirischi Regione Campania, 2022), ha consentito di pervenire alle seguenti, ulteriori constatazioni:

- i valori delle precipitazioni misurate sull'isola dalle stazioni pluviometriche della rete di monitoraggio, installate presso i siti di Forio, Piano Liguori e Monte Epomeo, hanno superato, per quasi tutte le durate da 1 a 24 ore, i valori massimi storici registrati, nelle stesse stazioni, nel periodo 2007÷2021 per le stazioni di Forio e Piano Liguori e nel periodo 2001÷2021 per la stazione di Monte Epomeo, mentre, per la stazione di Ischia, hanno superato i valori medi dello stesso periodo;
- le massime precipitazioni orarie sono state registrate presso la stazione di Forio, e precisamente: 57.6 mm (1h), 97.6 mm (3h), 131.4 mm (6h) e 168.0 mm (12h);
- per le durate sub-orarie, le massime precipitazioni sono state di 13.4 mm in 10 min (Monte Epomeo), 20.6 mm in 20 min e 31.6 mm in 30 min (Forio).

## Conclusioni

L'evento pluviometrico del 26 novembre 2022 verificatosi nell'isola di Ischia, con effetti al suolo di estrema rilevanza, in termini di criticità idrogeologiche manifestatisi attraverso varie e volumetricamente consistenti colate rapide di fango, miste a detriti e massi di grandi dimensioni, che hanno interessato, in particolare, il territorio comunale di Casamicciola Terme, è stato caratterizzato da valori delle precipitazioni di particolare intensità e consistenza, osservati in un intervallo temporale di circa 19 ore.

Nelle 4 stazioni di monitoraggio pluviometrico presenti sull'isola i valori osservati della precipitazione sono risultati di elevata intensità, con superamento dei massimi storici per quasi tutte le durate considerate, da 1 a 24 ore, nelle 3 stazioni di Forio, Piano Liguori e Monte Epomeo, con valori che, a Forio, hanno raggiunto 57.6 mm in 1 h, 97.6 mm in 3h, 131.4 mm in 6h e 168.0 mm in 12h.

In relazione alle criticità idrogeologiche verificatesi sul territorio del Comune di Casamicciola Terme, v'è da rilevare la particolare significatività causale, sia delle cumulate complessive d'evento, di durata pari a 24h, sia delle cumulate per le durate inferiori, che hanno superato, in tutte le stazioni pluviometriche della rete di monitoraggio, i valori soglia prefissati per l'attivazione delle fasi operative di risposta del sistema regionale di protezione civile nel vigente sistema di allertamento regionale, previste per le precipitazioni osservate realmente riscontrate sul territorio, con riferimento ai territori comunali associati al precursore superato.



Figura 1: Siti di ubicazione delle stazioni di monitoraggio pluviometrico in tempo reale presenti nell'isola di Ischia

Tabella 1: Elementi informativi delle stazioni di monitoraggio in tempo reale, presenti nell'isola di Ischia.

| Denominazione        | Latitudine     | Longitudine  | Prov. | Quota (m) | Stato         | Anni funz. Completo |
|----------------------|----------------|--------------|-------|-----------|---------------|---------------------|
| <b>Forio</b>         | 40° 43' 55''   | 13° 52' 45'' | NA    | 340       | <b>attiva</b> | 16                  |
| <b>Ischia</b>        | 40° 44' 25''   | 13° 56' 50'' | NA    | 25        | <b>attiva</b> | 16                  |
| <b>Monte Epomeo</b>  | 40° 43' 18,0'' | 13° 53' 56'' | NA    | 390       | <b>attiva</b> | 22                  |
| <b>Piano Liguori</b> | 40° 42' 39''   | 13° 56' 60'' | NA    | 320       | <b>attiva</b> | 16                  |

Tabella 2: Valori massimi delle precipitazioni di varia durata per l'evento del 26 novembre 2022

| Stazione      | 10'         | 20'         | 30'         | 1h          | 3h          | 6h           | 12h          | 24h          | Totale       |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Forio         | 11.2        | <b>20.6</b> | <b>31.6</b> | <b>57.6</b> | <b>97.6</b> | <b>131.4</b> | <b>168.0</b> | <b>176.8</b> | <b>176.8</b> |
| Ischia        | 12.0        | 19.4        | 26.8        | 40.6        | 62.8        | 118.6        | 156.0        | 162.4        | 162.4        |
| Piano Liguori | 9.8         | 18.4        | 27.4        | 43.6        | 63.4        | 93.4         | 142.8        | 149.8        | 149.8        |
| Monte Epomeo  | <b>13.4</b> | 19.6        | 30.0        | 50.4        | 82.6        | 109.4        | 137.8        | 145.4        | 145.4        |

Tabella 3: Valori massimi delle precipitazioni di varia durata per l'evento del 08+10 novembre 2009

| Stazione      | 10'         | 20'         | 30''        | 1h          | 3h          | 6h           | 12h          | 24h          | Totale       |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Forio         | 14.8        | <b>26.8</b> | <b>33.8</b> | 37.4        | <b>70.4</b> | 86.8         | 107.0        | 119.2        | 157.8        |
| Ischia        | <b>19.4</b> | 24.8        | 31.8        | <b>50.4</b> | 69.4        | <b>130.6</b> | <b>175.0</b> | <b>185.2</b> | <b>235.2</b> |
| Piano Liguori | 7.4         | 9.4         | 15.8        | 21.4        | 30.0        | 37.0         | 64.6         | 72.6         | 111.4        |
| Monte Epomeo  | 5.6         | 8.8         | 9.2         | 12.0        | 24.4        | 30.4         | 41.2         | 49.8         | 85.6         |

### Bibliografia

- Centro Funzionale Multirischi Regione Campania, 2022: Rapporto dell'evento idrometeorologico occorso il 26 novembre 2022 sul territorio dell'isola di Ischia - Comune di Casamicciola.  
<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/documenti/rapporti>
- Centro Funzionale Multirischi Regione Campania, 2009: Rapporto d'evento 8 ÷ 10 novembre 2009 nel territorio dell'isola di Ischia.  
<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/documenti/rapporti>

## ANALISI PRECIPITAZIONI E TEMPERATURE DAL 2013 AL 2022 NELLA STAZIONE METEO "VAJANA" DI PALERMO

Il lavoro che si presenta è stato elaborato al fine di analizzare le serie climatiche di temperatura (T) e precipitazione (P) registrate nell'ultimo decennio dalla stazione meteo installata presso l'Osservatorio Astronomico (INAF) "Vajana" di Palermo (38°6'67"N 13°21'14"E), ubicato al cordone del centro storico cittadino, all'interno del complesso monumentale "Palazzo Reale".

### Materiali e metodi

Sulla sommità dello storico Palazzo Reale di Palermo sorge, a partire dal 1790, l'Osservatorio Astronomico "Vajana". Esso è il primo Osservatorio costruito nel meridione d'Italia, e vi si trova installata la stazione meteorologica di riferimento per il presente studio, la quale è stata acquistata con il contributo dell'Osservatorio, dell'Università degli Studi di Palermo e della Società Meteorologica Italiana.

La serie storica esaminata è apparsa robusta sia rispetto alla completezza dei dati, sia rispetto alla qualità offerta dalla strumentazione utilizzata la quale, secondo quanto dichiarato dall'Osservatorio è composta da un Acquisitore e Data logger Campbell Scientific CR1000 e dai seguenti sensori: Piranometro EKO Instruments Co. Ltd MS-410, Anemometro Wind Sentry Model 03002, Pluviometro EML Ltd ARG100, Termoigrometro TTU 600 Hygroclip HC2 S3.

Dal dataset delle temperature sono stati estrapolati i valori di temperatura minima (Tmin), massima (Tmax) dei mesi di agosto e dicembre dal 2013 al 2022. Per tenere conto dell'altezza a cui è installato il sensore termico (75 m) è stata applicata una correzione ai dati della serie storica di T, considerando una diminuzione di 0.6°C ogni 100 m di quota.

In entrambi gli scatterplot di Figura 1 i dati si distribuiscono seguendo una relazione positiva. Quelli relativi ai mesi di agosto presentano una dispersione leggermente superiore rispetto a dicembre e meno variabilità in corrispondenza delle Tmin più basse.

Sono stati analizzati due periodi di riferimento:

- Periodo primaverile/estivo: *aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre;*
- Periodo invernale/autunnale: *gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre.*

In Figura 2a, la distribuzione presenta una skewness negativa e un andamento non continuo. L'88% dei dati è distribuito tra 17.8°C e 20.3°C, mentre il restante 12% tra 22.7°C e 24°C.

Nei mesi invernali/autunnali la distribuzione della temperatura presenta una skewness positiva. Circa l'88% dei dati si distribuisce tra 17.7 e 19.6°C, e il rimanente 12% tra 15.8 e 16.4°C.

Complessivamente, il 40% delle giornate primaverili/estive di Palermo negli ultimi 10 anni ha fatto registrare una temperatura media giornaliera compresa tra 18 e 27°C; nei restanti giorni le temperature si distribuiscono tra 9°C (minima invernale) e 25°C, massima autunnale (cfr. Figura 3). In inverno/autunno, nell'80% dei giorni si registra una temperatura superiore ai 17°C circa.

In Figura 4 sono riportati i cicli di temperatura e precipitazione e i relativi andamenti percentili. Le curve in Figura 4a presentano i valori più elevati tra luglio e agosto, attingendo a medie massime nell'ordine dei 31°C. L'andamento di Figura 4b rappresenta le T minime, con riferimento al 10° ed al 90° percentile. A gennaio il 90% dei valori di T minima si trovano al di sotto di 13°C, ma solo il 10% è al di sotto di sei gradi, a conferma che gli inverni a Palermo non sono mai particolarmente rigidi. Ad agosto le T minime, nell'80% dei casi sono comprese tra 22 e 26°C. La curva in Figura 5c indica che l'80% delle T massime risulta compreso tra 30 e 35°C e che tra giugno e settembre, al più, solo il 25% dei giorni scende al di sotto di 25°C. La Figura 4d riporta l'andamento dei percentili di precipitazione.

Le curve in Figura 5 presentano un minimo nelle stagioni estive, mentre le massime mensili durante l'anno presentano un andamento oscillante.

### Discussione e confronto con il 2022

L'analisi degli scatterplot indica che i dati in agosto sono affetti da una maggiore dispersione rispetto a dicembre, ma anche da una minore variabilità. Gli andamenti delle

T registrate nelle due stagioni (Figura 2) indicano che le asimmetrie osservate, come pure le discontinuità nelle classi di dati invernali ed estivi può ricondursi alla transizione tra le due stagioni. Nell'ultimo decennio le temperature medie giornaliere di gennaio e febbraio sono apparse lievemente aumentate. Il range di elevata temperatura che nel passato era confinato al periodo luglio-agosto si estende fino a settembre, incrementando il periodo più caldo della stagione estiva.

È stato posto, altresì, a confronto il ventennio 2002-2021 con il 2022. Per evidenziare le caratteristiche del 2022 rispetto al dato medio si sono costruiti i grafici relativi all'intero periodo e all'ultimo quinquennio di osservazione (Figura 6). Sono stati trascurati i dati sugli eventi eccezionali ed isolati, come ad esempio il livello di precipitazione raggiunto il 15 luglio 2020, allo scopo di non influenzare le medie.

L'insieme dei dati di precipitazione è rappresentato, nella media, al netto del 2022 in quanto caratterizzato da valori anomali. Temperatura e precipitazione del ventennio 2002-2021 sono stati estratti dall'archivio meteorologico Vajana di Palermo.

Come mostrato in Figura 7, nell'anno 2022 la temperatura media dei mesi estivi è superiore rispetto agli altri anni. Le precipitazioni del 2022 appaiono più basse rispetto all'ultimo quinquennio, ad eccezione dei valori di precipitazione oraria.

## Conclusioni

Sono state esaminate le caratteristiche di temperatura e precipitazione su base decennale. Nell'ultimo decennio la T media giornaliera di gennaio e febbraio è apparsa lievemente crescente. Rispetto all'ultimo ventennio l'anno 2022 ha avuto precipitazioni meno intense e temperature più alte, sia nei mesi caldi (aprile-settembre) sia in quelli freddi (gennaio-marzo, ottobre-dicembre). Sebbene nel 2022 gli episodi di avvezione di masse d'aria calda, provenienti perlopiù dall'area centrale nord-africana siano apparsi di minore intensità, la frequente e intensa azione anticiclonica che ha agito sulla Sicilia ha determinato un innalzamento dei livelli di geopotenziale, contribuendo a mantenere le condizioni per uno schiacciamento delle masse d'aria calda ed il mantenimento di valori termici elevati

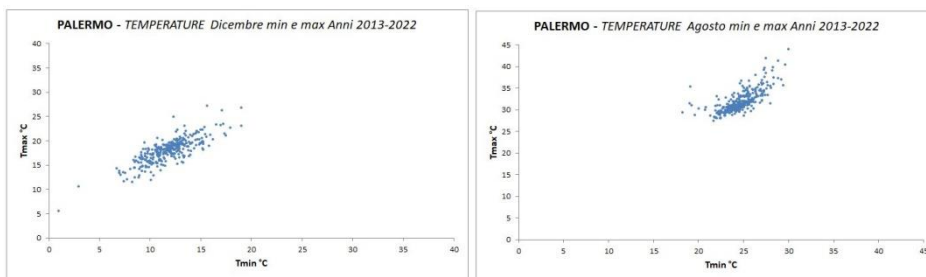


Figura 1: Confronto tra le coppie di valori  $T_{min}$  e  $T_{max}$  - dicembre e agosto

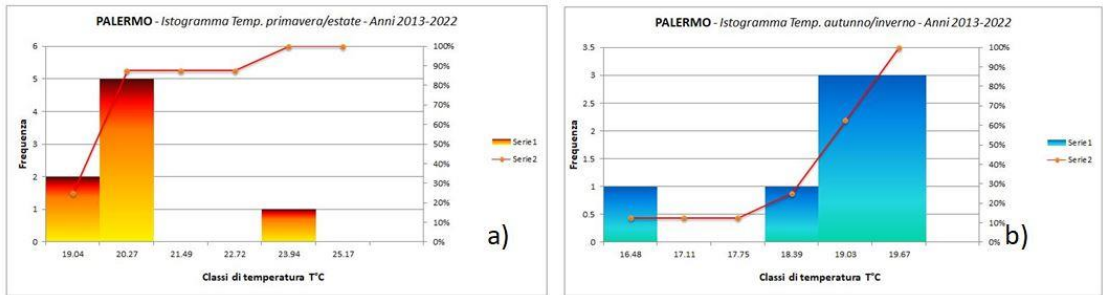


Figura 2: Istogrammi delle temperature e curve frequenze cumulate - a) primavera/estate b) autunno/inverno.

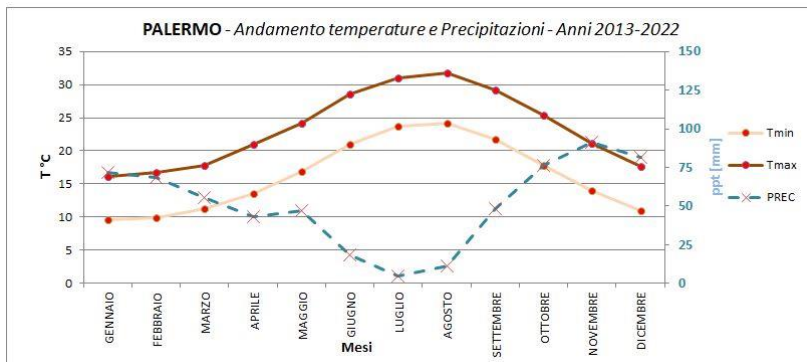


Figura 3: Confronto tra l'andamento delle temperature e delle precipitazioni registrate a Palermo.

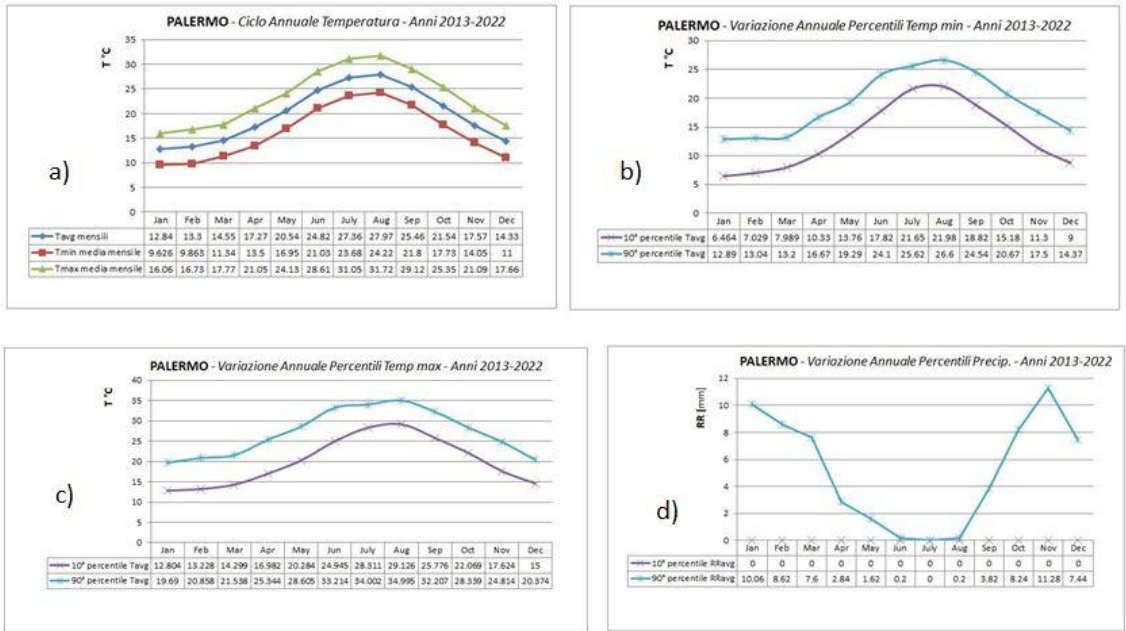


Figura 4: a) ciclo annuale di T; b) Variazione annuale percentili T minima; c) Variazione annuale percentili T massima; d) Variazione Annuale percentili precipitazione.

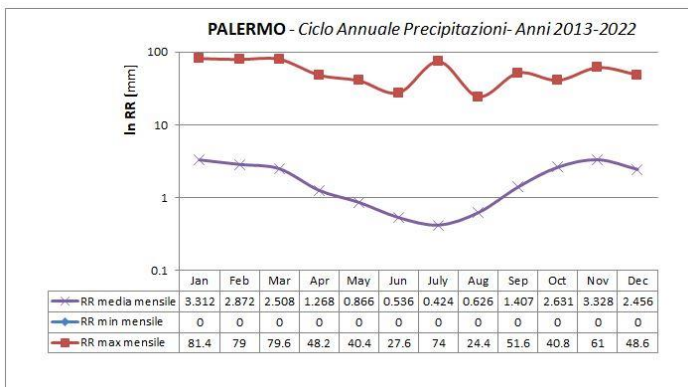


Figura 5: Ciclo annuale di precipitazioni (2013-2022).



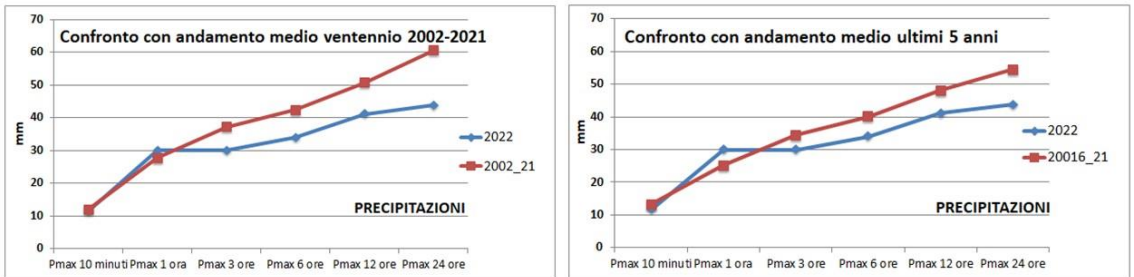


Figura 6: Confronto andamenti precipitazione.

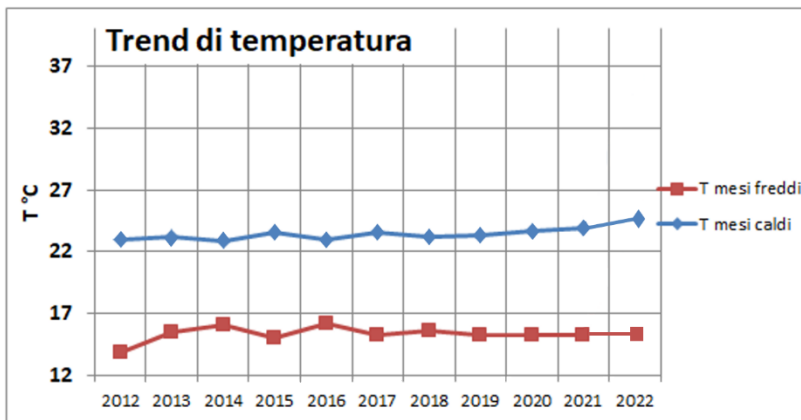


Figura 7: Andamento temperatura 2012-2022.

## Bibliografia

- Lionello P, Scarascia L (2018): The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. Reg Environ Change 18:1481-1493. doi:10.1007/s10113-018-1290-1.
- DOW, Kirstin, Thomas E. Downing. – Atlante dei cambiamenti climatici. – Rozzano: Legenda, 2008. – 112 p: ill. – (Le grandi sfide del mondo contemporaneo). – ISBN: 978-88-539-0088-3.

