



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2016

ANNO XII





ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2016

ANNO XII

Informazioni legali

L'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

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

ISPRA, Stato dell'Ambiente 72/2017

ISBN 978-88-448-0838-9

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Walter Perconti, Franco Desiato

Coordinamento editoriale:

Daria Mazzella

ISPRA - Settore Editoria

Luglio 2017

Autori

Franco Desiato, Guido Fioravanti, Piero Frascchetti, Walter Perconti, Emanuela Piervitali (ISPRA);
Valentina Pavan (ARPA Emilia-Romagna).

Contributi e ringraziamenti

La pubblicazione rientra tra le attività del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), nell'adempimento dei compiti che le assegna la legge istitutiva in materia di diffusione di dati e informazioni sulle condizioni oggettive e tendenziali dell'ambiente. Essa 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 dei seguenti organismi (tra parentesi, i referenti per il sistema SCIA):

Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare;
CREA-CMA (Carmen Beltrano);
ARPA: Piemonte (Barbara Cagnazzi, Chiara De Luigi), Valle d'Aosta (Tiziana Magri), Lombardia (Orietta Cazzuli, Erica Brambilla), Friuli Venezia Giulia (Andrea Cicogna), Veneto (Francesco Rech), Liguria (Elisabetta Trovatore, Veronica Bonati), Emilia-Romagna (Valentina Pavan), Sardegna (Alessandro Delitala, Michele Fiori);
Regione Campania, ARPA (Giuseppe Onorati, Antonio D'Ambrosio) e Centro Funzionale di Protezione Civile;
Regione Sicilia, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano – SIAS (Luigi Neri, Giuseppe Puleo);
Regione Sicilia, Osservatorio delle Acque (Luigi Pasotti);
Regione Marche, Agenzia Servizi Settore Agroalimentare delle Marche – ASSAM (Daniele Sparvoli);
Regione Puglia, Servizio Agrometeorologico Regionale – ASSOCODIPUGLIA (Gennaro Laera);
Regione Basilicata, Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura - ALSIA (Emanuele Scalcione);
Regione Lazio, Servizio Integrato Agrometeorologico - ARSIAL (Paolo Onorati).

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

Dipartimento di Protezione Civile Nazionale;
Centro Funzionale Regione Autonoma Valle d'Aosta;
Centro Funzionale Regione Lazio;
Centro Funzionale Regione Marche;
Centro Funzionale Regione Molise;
Centro Funzionale Regione Umbria;
Centro Funzionale Regione Basilicata;
Centro Funzionale Decentrato Regione Puglia;
Centro Funzionale Multirischi Regione Calabria;
ARPA Sardegna e Protezione Civile Regione Sardegna;
ARPAE-SIMC Emilia-Romagna;
ARPA Liguria e Centro Funzionale Regione Liguria ARPAL;
ARPA Piemonte - Dipartimento Servizi Previsionali;
ARPA Lombardia - Servizio Meteorologico Regionale;
ARPA Veneto Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio;
Province Autonome di Trento e di Bolzano;
SIAS Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano;
Osservatorio Meteorologico Regionale OSMER ARPA Friuli Venezia Giulia;
Regione Abruzzo – Servizio Idrografico e Mareografico
Consorzio LaMMA e Servizio Idrologico del Centro Funzionale Regione Toscana.

Indice generale

SINTESI.....	6
1. INTRODUZIONE.....	8
2. IL CLIMA NEL 2016.....	10
2.1 Il clima 2016 a grande scala.....	10
2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia.....	16
3. TEMPERATURA.....	26
4. TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE.....	47
5. PRECIPITAZIONE.....	50
6. UMIDITÀ RELATIVA.....	71
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	75

SINTESI

Il XII rapporto del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente "Gli indicatori del clima in Italia" illustra l'andamento del clima nel corso del 2016 e aggiorna la stima delle variazioni climatiche negli ultimi decenni in Italia. Il rapporto si basa in gran parte su dati, statistiche, indici e indicatori climatici derivati dal Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA, www.scia.isprambiente.it), realizzato dall'ISPRA in collaborazione e con i dati degli organismi titolari delle principali reti osservative presenti sul territorio nazionale. Le statistiche e gli indici climatici del 2016 sono derivati complessivamente dalle osservazioni di circa 1100 stazioni di monitoraggio meteorologico. La base di dati utili alla stima e all'aggiornamento delle variazioni e delle tendenze climatiche di medio e lungo periodo è più ridotta e sconta le difficoltà e i ritardi nell'armonizzare, integrare e organizzare in modo omogeneo le diverse fonti di dati, virtualmente uno dei compiti e degli obiettivi di un servizio meteorologico e climatologico nazionale tuttora mancante.

Come le precedenti, anche questa edizione del rapporto riporta le stime delle tendenze climatiche nell'ultimo mezzo secolo, attraverso indicatori rappresentativi dell'andamento sia dei valori medi che degli estremi di temperatura e precipitazione. Tali elementi di conoscenza della variabilità climatica presente e passata sono di importanza fondamentale per valutare gli impatti e definire le strategie e i piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

Temperatura

Anche nel 2016, per il terzo anno consecutivo, la temperatura media annua globale ha segnato il nuovo record; sulla terraferma l'anomalia rispetto al valore normale 1961-1990 è stata di +1.31 °C. I primi otto mesi dell'anno sono stati tutti i più caldi delle rispettive serie mensili, mentre gli altri 4 si collocano tra i 5 mesi più caldi delle rispettive serie.

In Italia, dopo il record dello scorso anno, il 2016 è stato il sesto anno più caldo dall'inizio delle osservazioni, con un'anomalia media rispetto al trentennio 1961-1990 di +1.35°C.

Dall'analisi della serie storica dell'ultimo mezzo secolo, all'inizio degli anni '80 prende avvio il periodo con rateo di riscaldamento più elevato. La stima aggiornata del rateo di variazione della temperatura media dal 1981 al 2016 è $+0.36 \pm 0.06^\circ\text{C} / 10$ anni; quello della temperatura minima $+0.35 \pm 0.05^\circ\text{C} / 10$ anni e quello della temperatura massima di $+0.36 \pm 0.08^\circ\text{C} / 10$ anni. Su base stagionale, i trend della temperatura media sono più forti in primavera ($+0.45 \pm 0.11^\circ\text{C} / 10$ anni) e in estate ($+0.42 \pm 0.11^\circ\text{C} / 10$ anni).

La stagione invernale è stata quella con anomalia termica più marcata, con un valore medio nazionale di +2.15°C. Tutti i mesi del 2016 sono stati più caldi della norma, ad eccezione di ottobre al Nord. Il mese più caldo rispetto alla norma è stato dicembre al Nord (+2.76°C), febbraio al Centro (+3.02°C) e aprile al Sud e sulle Isole (+2.99°C). Come per gli anni precedenti, anche per il 2016 l'anomalia della temperatura media annuale del 2016 è dovuta leggermente di più alle temperature massime che alle temperature minime.

Nonostante le anomalie termiche medie siano state intense e positive su molte regioni, nel corso dei mesi più caldi le onde di calore non sono state particolarmente intense e durature. Per quanto riguarda i mesi invernali, invece, le temperature sono state piuttosto miti e sia all'inizio che alla fine dell'anno, come negli anni precedenti, la quota neve è stata generalmente più alta rispetto alla media di lungo periodo.

Come almeno gli ultimi 10 anni che lo hanno preceduto, il 2016 è stato un anno più caldo della norma anche per quanto riguarda gli indici degli estremi di temperatura. Tuttavia, nessun indice ha segnato valori record. In particolare, l'indice rappresentativo delle onde di calore (*Warm Spell Duration Index*, WSDI), con un'anomalia di circa +10 giorni nell'anno rispetto alla media climatologica, è stato inferiore a quello dei 5 anni che hanno preceduto il 2016 e colloca il 2016 solo al 19° posto della serie dal 1961. D'altra parte, il 2016 ha fatto registrare il secondo valore più basso di giorni freddi (TX10p,

percentuale di giorni con temperatura massima inferiore al 10° percentile della distribuzione normale) e il terzo valore più basso di notti fredde (TN10p, percentuale di giorni con temperatura minima inferiore al 10° percentile della distribuzione normale) dell'intera serie.

Per quanto riguarda la temperatura superficiale dei mari italiani, con un'anomalia media di +0.99°C rispetto al periodo di riferimento 1961-1990, il 2016 si colloca al 4° posto della serie, dopo il 2015, il 2012 e il 2014. Come per la temperatura dell'aria, i mesi invernali e aprile hanno avuto un peso importante nel determinare il valore dell'anomalia media annuale.

Precipitazione

Nel 2016 non sono mancati eventi di forte intensità, anche prolungati, come quelli che hanno colpito la Liguria e il Piemonte nella terza decade di novembre. Tuttavia, la caratteristica più rilevante del 2016 è stata forse la persistenza di condizioni siccitose, parzialmente alleviate dalle piogge primaverili che hanno agevolato la gestione delle risorse idriche. La seconda parte del 2016 è stata caratterizzata da periodi prolungati di carenza o addirittura assenza di piogge su diverse aree del territorio nazionale, che a fine anno hanno riportato le risorse idriche generalmente su livelli molto bassi.

Le precipitazioni cumulate annuali del 2016 in Italia sono state complessivamente inferiori alla media climatologica del 6% circa. Le anomalie rispetto ai valori climatologici normali sono molto differenziate sia dal punto di vista dell'andamento temporale nel corso dell'anno, che dal punto di vista geografico. Un elemento comune praticamente a tutta la Penisola è stato il carattere siccitoso del mese di dicembre; anche a gennaio e aprile le precipitazioni sono state sensibilmente inferiori alla norma; viceversa, maggio e giugno sono stati più piovosi della norma quasi ovunque. Il settore centro-occidentale del Nord, l'Italia centrale e le isole maggiori sono le aree con anomalia di precipitazione annuale negativa più marcata.

Il valore più elevato del numero di giorni asciutti, cioè con precipitazione inferiore o uguale a 1 mm, è stato registrato a Capo Bellavista (NU) con 334 giorni; il valore più basso è stato registrato dalla stazione di Passo Brocon (TN, 214 giorni). Per le regioni nord-orientali, la Lombardia, le Marche e diverse aree del Centro, del Sud e delle Isole, tutto il mese di dicembre è stato praticamente asciutto.

L'indice di siccità (numero massimo di giorni asciutti consecutivi) presenta nel 2016 valori distribuiti tra il minimo di 6 giorni della stazione di Passo di Giovi (GE) ed Aviano (PN) e i massimi di 125 giorni di Castellari (SV) e di 114 giorni di Capo Bellavista (NU).

Il carattere prevalentemente secco del 2016 è confermato dal valore medio nazionale di umidità relativa, che con un'anomalia media di -2.4% rappresenta il quarto valore più basso dal 1961. Considerando il territorio nazionale nel suo complesso, nell'intervallo 1951-2016 i valori medi delle precipitazioni cumulate annuali risultano in leggera diminuzione ma non risultano tendenze statisticamente significative su base annuale, né su base stagionale. Dall'analisi per macroaree risulta un trend statisticamente significativo solo al Centro Italia, con una diminuzione di $2.0 \pm 0.9\%$ ogni 10 anni.

Alcuni eventi estremi occorsi soprattutto in Liguria e Piemonte hanno determinato valori di intensità di precipitazione molto elevati. I massimi sono stati registrati dalla stazione di Fiorino (GE, 236 m s.l.m.) della rete regionale della Liguria, in occasione dell'evento estremo del 22 novembre: 583 mm di precipitazione cumulata giornaliera e 100.8 mm di precipitazione cumulata in un'ora.

Per quanto riguarda le tendenze nel medio e lungo periodo, gli indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione non mostrano segnali netti di variazioni significative.

Va però considerato che l'insieme di stazioni di monitoraggio utilizzabile per il calcolo di questi indici è ancora abbastanza limitato e che per valutare in modo approfondito l'eventuale trend delle precipitazioni intense, sarebbe necessario disporre anche di serie di dati orari di lunga durata, complete e di qualità controllata.

1. INTRODUZIONE

Per favorire l'elaborazione, la rappresentazione e la disponibilità di indicatori sul clima italiano, l'ISPRA ha realizzato e gestisce da tempo il Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA) [1, 2, 3, 4]; il sistema SCIA è stato alimentato nel corso del tempo con i dati e grazie alla collaborazione del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, dell'Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CREA-CMA), di numerose Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) e dei Servizi Agrometeorologici Regionali della Sicilia, delle Marche, della Puglia, della Basilicata e del Lazio.

Attraverso l'elaborazione delle serie temporali di dati misurati da diverse reti di osservazione, il sistema SCIA rende disponibili i valori decadali, mensili e annuali e i valori climatologici normali di diverse variabili meteo climatiche.

Gli indici e indicatori climatici sono calcolati, aggiornati annualmente e sottoposti a controlli di validità con metodologie omogenee e condivise con gli organismi titolari dei dati. Le informazioni prodotte da SCIA sono accessibili attraverso un sito web dedicato, all'indirizzo: www.scia.isprambiente.it. I criteri generali adottati per il calcolo e la rappresentazione degli indicatori climatici sono dettati dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) [5], 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 [6, 7].

Le statistiche e gli indici climatici dell'anno 2016 sono derivati complessivamente dalle osservazioni di circa 1100 stazioni distribuite sull'intero territorio nazionale. Viceversa, per la stima delle variazioni e delle tendenze climatiche, ci sono ancora difficoltà per l'integrazione e l'aggiornamento regolare di buona parte delle serie temporali di temperatura e precipitazione delle reti regionali che afferiscono ai centri funzionali di protezione civile e ai servizi idrografici o idrologici. L'organizzazione, i flussi e la disponibilità di questi dati, che per densità e copertura spaziale del territorio costituiscono ormai da diversi anni il nucleo principale delle osservazioni di temperatura e precipitazione a scala nazionale, rispondono infatti molto bene alle necessità e alle applicazioni del monitoraggio in tempo reale, ma non ancora a quelli di monitoraggio del clima in tempo differito. Dal punto di vista delle attività e dei prodotti di climatologia operativa, questo ritardo rappresenta una delle criticità connesse alla perdurante assenza di un servizio meteorologico e climatologico nazionale, che includa tra i suoi compiti e obiettivi l'armonizzazione delle reti di monitoraggio e il pieno utilizzo di tutte le sorgenti di dati meteo climatici a livello nazionale.

I dati e le informazioni disponibili attraverso il sistema SCIA consentono di continuare, con questa XII edizione, la pubblicazione regolare del rapporto annuale sul clima in Italia, promossa e avviata dal sistema delle agenzie ambientali nel 2006. In esso sono raccolti e presentati i principali elementi che hanno caratterizzato il clima nell'ultimo anno, confrontandoli anche, laddove possibile, con i valori climatologici normali [8] e con il loro andamento negli ultimi decenni. Nel rapporto vengono utilizzati prevalentemente i valori climatologici normali riferiti all'ultimo trentennio "principale": 1961-1990; questa scelta deriva sia dall'indicazione dell'OMM relativa alla stima delle variazioni climatiche nel medio e lungo periodo, sia dalla maggiore disponibilità di dati rispetto ai trentenni di riferimento più recenti. Sono state confermate e aggiornate le parti che riguardano la stima e la rappresentazione delle variazioni climatiche, basate sulla selezione di stazioni con serie temporali sufficientemente lunghe e omogenee. Tali indicatori rispondono anche all'esigenza crescente di aggiornare con continuità la stima delle tendenze climatiche in corso, che riveste un'importanza prioritaria per la definizione della strategia e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

Il calcolo e la diffusione di indici e indicatori climatici potranno progressivamente giovare di un insieme più vasto di serie temporali controllate di temperatura e precipitazione con passo giornaliero [9]. In questa, come nell'edizione dello scorso anno, la base di dati utili al calcolo e all'aggiornamento degli indici di estremi di precipitazione è stata significativamente allargata. Viene rappresentata anche la precipitazione massima oraria, sebbene ancora con l'esclusione di 5 regioni di cui non sono disponibili dati orari.

Il rapporto è articolato in 6 capitoli. Il capitolo 2 descrive sinteticamente gli aspetti salienti del clima nel 2016, 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 del tempo in Italia mese per mese e in particolare gli eventi meteorologici di rilievo, per i quali viene fornita una breve descrizione dei fenomeni e di eventuali impatti locali. I capitoli successivi sono dedicati ciascuno ad una variabile climatica. La prima parte di ogni capitolo illustra sinteticamente gli indicatori dell'anno 2016, anche in termini di scostamenti dai valori climatologici normali; la seconda, per quanto possibile in base al popolamento delle serie storiche, riporta e aggiorna con i valori del 2016 gli indicatori attraverso i quali è possibile stimare la variabilità e le tendenze del clima nell'ultimo mezzo secolo. 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" [10, 11].

2. IL CLIMA NEL 2016

2.1 IL CLIMA NEL 2016 A GRANDE SCALA

Il 2016 a livello globale è stato l'anno più caldo sia della serie di temperature medie annuali sulla terraferma (con uno scarto di 0.10°C dal precedente record del 2015) che della serie comprensiva di continenti e oceani (con uno scarto di 0.04°C dal precedente record 2015). L'anomalia della temperatura media globale sulla terraferma, rispetto al trentennio climatologico 1961-1990, è stata di +1.31°C (http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/land_ocean/ytd).

I 18 anni più caldi dell'intera serie storica sono il 1998 e tutti gli anni successivi al 2000.

Con il 2016, la temperatura media annuale globale segna un nuovo record della serie per il terzo anno consecutivo. I primi otto mesi dell'anno sono stati i più caldi delle rispettive serie, mentre gli altri 4 si collocano tra i 5 mesi più caldi delle rispettive serie. Ciò è probabilmente connesso alla presenza di intense anomalie di temperatura superficiale dell'oceano di tipo El Niño nel Pacifico tropicale. La presenza di tali anomalie riduce considerevolmente i flussi di calore tra atmosfera e oceano ai tropici, diminuendo la quantità di calore che gli oceani riescono ad assorbire dall'atmosfera a quelle latitudini e determinando così un aumento della temperatura atmosferica globale.

Il confronto tra l'andamento della temperatura media globale e in Italia è rappresentato nella **figura 2.1**. In Italia, il 2016 è stato il sesto anno più caldo dall'inizio delle osservazioni, con un'anomalia media rispetto al trentennio 1961-1990 di +1.35°C.

Nella **figura 2.2** è riportata una sintesi dei principali eventi che hanno caratterizzato il clima a scala globale nel corso del 2016.

In generale, gran parte delle aree continentali ha presentato valori positivi di anomalia termica annuale, con valori particolarmente intensi nell'emisfero boreale e massimi nelle aree vicine al Polo Nord. In particolare, il 2016 è stato nuovamente l'anno in cui la calotta artica ha registrato la più ridotta estensione massima annuale.

Le uniche aree dell'emisfero boreale in cui si sono registrati valori negativi di anomalia termica superficiale sono quelle delle coste nord-orientali dei continenti, che hanno risentito delle anomalie di temperatura superficiale al centro degli oceani.

Nel Nord America il 2016 è stato l'anno più caldo dall'inizio delle osservazioni (1910); all'inizio di maggio, le intense anomalie termiche hanno contribuito allo sviluppo di un incendio di vasta estensione nello stato di Alberta in Canada, che ad oggi rappresenta il disastro naturale con maggior danno economico nella storia del Canada. In Asia il 2016 è stato il terzo anno più caldo; i mesi di aprile, agosto e settembre sono stati i più caldi delle rispettive serie, mentre sono state registrate anomalie termiche mensili negative in ottobre e novembre. In Medio Oriente il 21 luglio a Mitribah (Kuwait) è stata rilevata la più alta temperatura mai registrata in Asia: 54°C. In Europa il 2016 è stato il terzo anno più caldo della serie di osservazioni e l'inverno (da dicembre 2015 a febbraio 2016) è stato il più caldo mai osservato. In India il 19 maggio è stato registrato il nuovo record di temperatura: 51.1°C. Al contrario, a causa dell'ondata di freddo che ha investito l'Asia orientale a fine gennaio, presso l'Osservatorio di Hong Kong è stata registrata la temperatura di 3.1°C, la sesta più bassa mai registrata in questa località.

La stagione degli uragani atlantici è stata caratterizzata da attività superiore alla media. Tra settembre e ottobre sulle regioni dell'Atlantico tropicale si è sviluppato l'uragano Matthew, classificato di categoria 5, che ha colpito principalmente Haiti, Cuba, le Bahamas e, in minor misura, il settore sud-orientale degli Stati Uniti, provocando più di 1000 vittime e danni ingenti.

Anche la stagione degli uragani del Pacifico nord-orientale è stata caratterizzata da un'attività superiore alla media, mentre quella dei tifoni del Pacifico occidentale è stata nella media.

Nell'emisfero australe le anomalie termiche sono state invece più contenute e sono stati registrati anche valori negativi di anomalia in prossimità del Mare Antartico.

La mappa dell'anomalia media annuale del geopotenziale a 500 hPa (**figura 2.3**) mostra che nel 2016 le massime anomalie di geopotenziale dell'area Euro-Atlantica sono state localizzate vicino ai Poli, in coerenza con le intense anomalie positive della temperatura media annuale. Tutta l'Europa è stata

comunque interessata da anomalie positive di geopotenziale a 500 hPa che hanno raggiunto valori massimi sul Mediterraneo orientale e sull'Atlantico centrale. Il *pattern* di anomalia di questo campo indica un generale spostamento a nord del jet Atlantico sull'Europa, coerente con le anomalie pluviometriche positive osservate nel nord Europa.

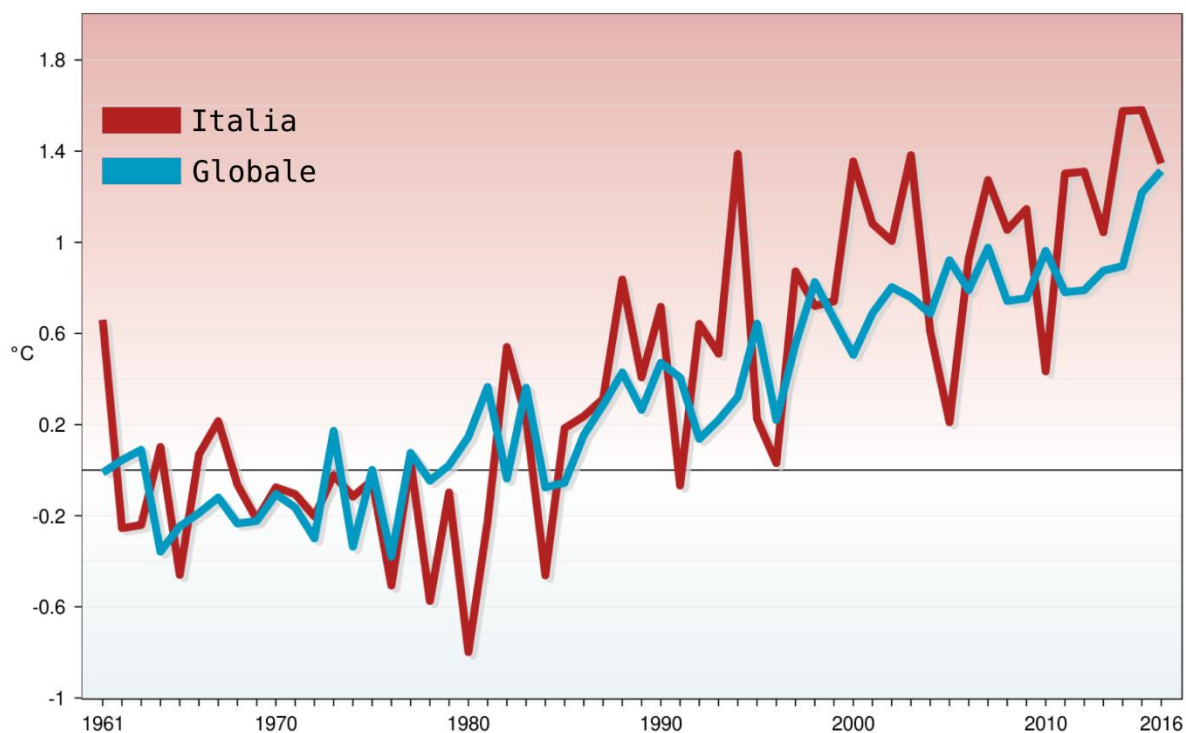


Figura 2.1: Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990. Fonti: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.



Figura 2.2: Sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2016. Fonte: NOAA. Elaborazione: ISPRA.

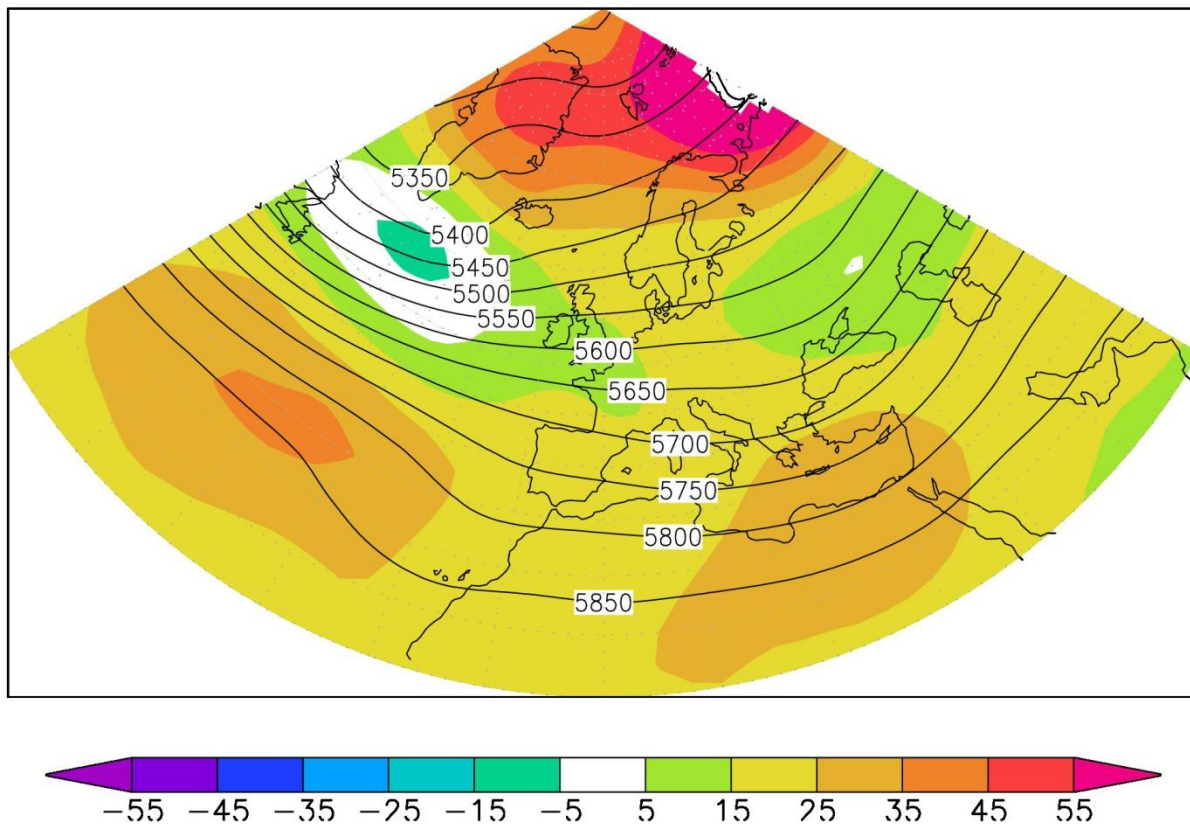


Figura 2.3: *Mappa del geopotenziale medio annuale 2016 a 500 hPa. L'intervallo tra le isolinee è 50 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2016 rispetto al valore normale 1981-2010. Fonte: NCEP/NCAR.*

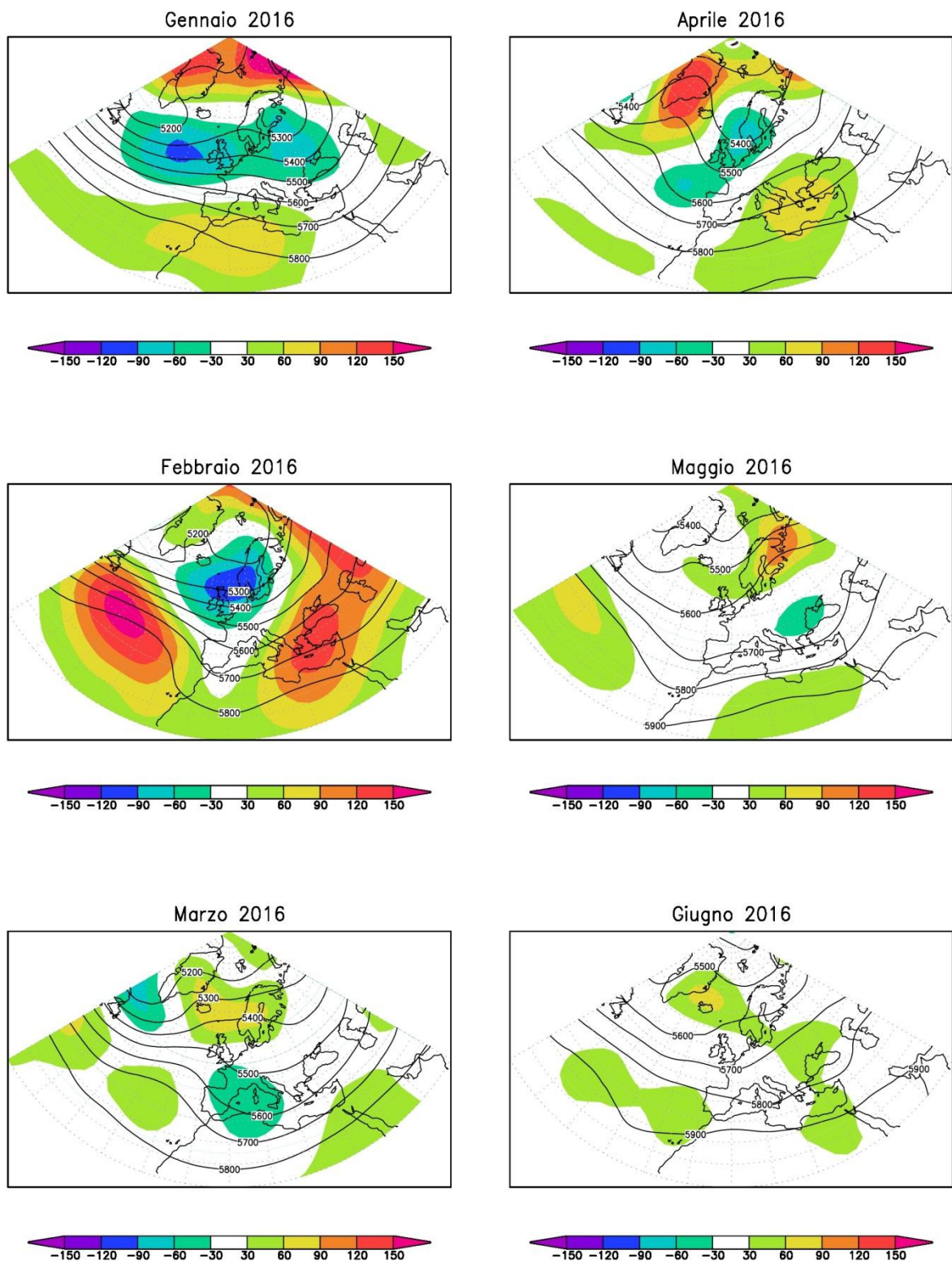


Figura 2.4a: Mappa del geopotenziale medio mensile a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2016 rispetto al valore normale 1981-2010. Fonte: NCEP/NCAR.

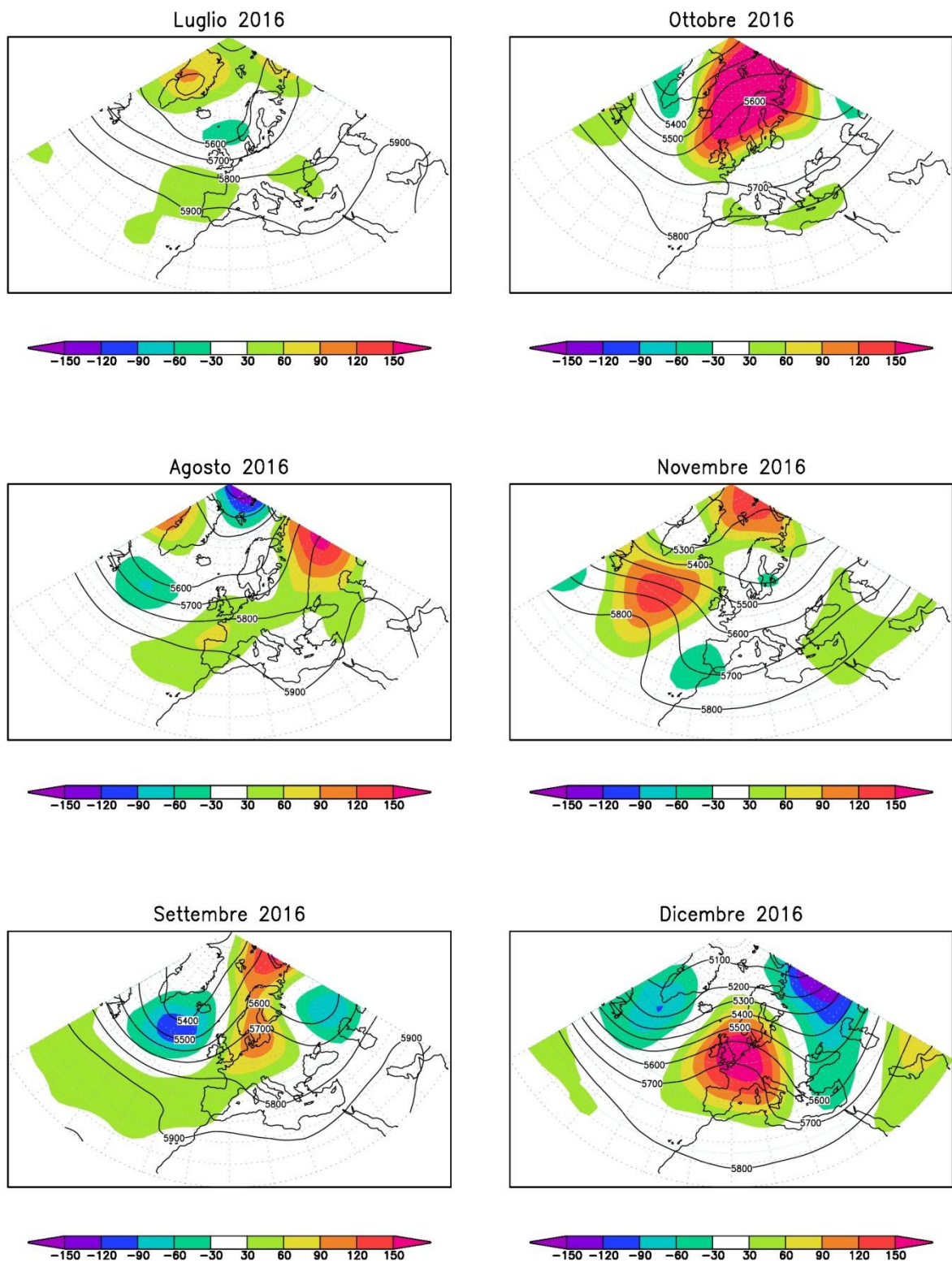


Figura 2.4b: Mappa del geopotenziale medio mensile a 500hPa. L'intervallo fra le isolinee è 100 mgp. Le aree colorate rappresentano l'anomalia 2016 rispetto al valore normale 1981-2010. Fonte: NCEP/NCAR.

2.2 Circolazione e fenomeni significativi sull'Italia

Inverno

L'anno 2016 è iniziato in sostanziale continuità climatica con gli ultimi mesi del 2015, sia dal punto di vista termico che pluviometrico: la perdurante siccità e le temperature miti hanno portato ad un forte ritardo dell'inverno, ad una netta riduzione del manto nevoso e a problemi di gestione degli impianti sciistici delle località alpine. Le anomalie termiche sono state superiori a $+1.5^{\circ}\text{C}$ su tutte le regioni e i deficit pluviometrici hanno sfiorato il 100% dei valori attesi nelle regioni nord-occidentali e nella parte meridionale della Sardegna.

Le ragioni di queste anomalie climatiche sono individuabili nella mappa delle anomalie di geopotenziale a 500 hPa del mese di gennaio (**figura 2.4a**): il jet Atlantico è stato leggermente più esteso a nord-est, con un indice Est-Atlantico pari a 1.01 e le nostre regioni si sono trovate mediamente a sud dell'asse principale del jet.

Ciononostante, nel corso di gennaio sono comparse le prime precipitazioni nevose sull'arco alpino a seguito di irruzioni di aria fredda da nord, che hanno fatto registrare le temperature più basse dell'anno. In alcuni casi l'irruzione di aria fredda, in contrasto con la massa d'aria più mite presente in superficie, ha innescato fenomeni temporaleschi sulle Alpi, piuttosto rari in questa stagione. In occasione del temporale del 11 gennaio 2016, sulla provincia di Bolzano sono stati registrati 54 fulmini. Altrove, come nel Carso in Friuli Venezia Giulia, si sono verificati episodi di gelicidio (**figura 2.5**) che hanno reso difficile la circolazione stradale.

Con la fine di gennaio le piogge sono riapparse in maniera più consistente a partire dai settori occidentali, mitigando la forte carenza idrica accumulata nel corso dei mesi precedenti in molte regioni italiane. La circolazione a grande scala sul settore Euro-Atlantico è stata caratterizzata da un jet Atlantico particolarmente intenso, con un indice NAO pari a 1.35 e un indice Est-Atlantico pari a 1.85. Le temperature sono rimaste nettamente superiori alla media e le anomalie termiche hanno superato un po' ovunque quelle del mese precedente, fino a quasi $+3.0^{\circ}\text{C}$ al Centro e al Sud; tuttavia, la maggiore variabilità delle condizioni meteorologiche ha permesso un ritorno della neve sull'arco alpino, anche se con uno spessore contenuto del manto nevoso. Il mese di febbraio è stato caratterizzato da piogge abbondanti su gran parte delle regioni centro-settentrionali, con picchi di piovosità in Toscana, Emilia-Romagna, Veneto e Friuli-Venezia Giulia. La persistenza di piogge intense ha determinato situazioni critiche di molti corsi d'acqua nelle provincie centro-occidentali dell'Emilia-Romagna, con piene fluviali, rotture degli argini ed erosione delle sponde.

Nella notte tra il 16 e il 17 febbraio sul Friuli Venezia Giulia sono cadute precipitazioni intense e abbondanti e la neve è caduta anche a bassa quota. Lo strato di neve caduta ha raggiunto 50 cm oltre i 1000 m e altezze variabili, ma comunque importanti (20-30 cm) fino a 500 m. A Trieste la Bora ha soffiato con notevole intensità, con raffiche fino a 122 km/h durante la notte.

Primavera

Nel mese di marzo hanno prevalso correnti da nord e nord-est che hanno portato le piogge sul versante adriatico, mentre il versante tirrenico, la Sardegna e le regioni a nord-occidentali sono state meno esposte alle precipitazioni.

Tra il 12 e il 13 e tra il 17 e il 18 marzo le piogge hanno colpito in particolare la Puglia e la Basilicata; nel corso del primo evento a Monticchio Bagni (PZ) sono state misurate intensità massime di 81.2 mm in 12 ore, 134.2 mm in 24 ore e 164.4 mm in 48 ore; a Melfi (PZ) 103.8 mm in 24 ore e 123.6 mm in 48 ore; i tempi di ritorno in entrambe le località sono superiori a 20 anni. Nel corso del secondo evento, a Valsinni (MT) sono state rilevate intensità massime di 52 mm in 3 ore e 107.8 mm in 12 ore (tempi di ritorno tra 5 e 20 anni). Le piogge hanno causato un innalzamento anomalo del livello dei fiumi e diversi allagamenti (**figura 2.6**), dovuti anche alla mancata rimozione dall'alveo dei fiumi non solo del materiale vegetale e arboreo, ma anche dei depositi di fango e limo accumulati negli anni.

Tra il 22 e il 23 marzo le piogge sono state particolarmente intense sulle Marche, dove i totali pluviometrici areali non sono stati eccezionali, ma le intensità sono state caratterizzate da tempi di ritorno tra 10 e 50 anni a Fermo (105.2 mm in 24 ore), Ripatransone (92.2 mm in 24 ore) e Amandola (89.0 mm in 24 ore). Le precipitazioni intense hanno causato allagamenti e frane (**figura 2.7**). Nel

corso dell'evento la quota neve è passata da 1300 a 700-800 m. Gli spessori sono stati in generale limitati, ma il vento ha causato accumuli anche superiori a 1 m e si sono determinate condizioni favorevoli al distacco spontaneo di valanghe. I venti forti di grecale in mare aperto e in prossimità della costa hanno determinato intense mareggiate, con danni lungo tutto il litorale.

Ad aprile sono tornate temperature elevate per la stagione, connesse anche alla persistenza di un promontorio di alta pressione sul Mediterraneo centro-orientale; le anomalie di temperatura si sono assestate su valori superiori a +2.0°C su tutte le regioni. Le precipitazioni sono state ovunque inferiori alla media, ad eccezione delle aree alpine a ridosso del confine.

L'unico evento di rilievo è stato quello del 23-24 aprile in Toscana, con intensità di precipitazione che corrispondono a tempi di ritorno superiori a 30-40 anni e localmente eccezionali; a Capannoli e nella frazione Legoli del comune di Peccioli (PI) sono state raggiunte intensità di cumulata su 3 ore di 110.8 e 99.2 mm rispettivamente, corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni, mentre a Casalfiorentino e a Montopoli in Val d'Arno sono state registrate cumulate su 24 ore di 148.0 e 169.8 mm rispettivamente, corrispondenti a tempi di ritorno di circa 100 anni.

Nella serata tra il 26 e il 27 aprile e poi nel pomeriggio del 27, sul Friuli Venezia Giulia i temporali sono stati accompagnati da un'attività di fulmini particolarmente intensa e da una copiosa grandinata a nord di Udine, eventi piuttosto rari per la stagione.

Il mese di maggio è stato caratterizzato da una spiccata variabilità, dovuta allo spostamento verso sud del jet Atlantico. Quasi ovunque le precipitazioni cumulate mensili sono state superiori alla media, determinando, insieme alla neve caduta sull'arco alpino nel corso di febbraio e marzo, la conclusione del periodo di siccità iniziato con l'autunno precedente. Il bilancio pluviometrico al termine del mese è risultato praticamente nella norma e i principali invasi italiani si sono ricaricati raggiungendo volumi di riempimento tra l'80 ed il 90%. Un lieve deficit pluviometrico, dell'ordine del 20-30%, si è invece registrato sui totali cumulati da settembre a maggio su Sardegna e Sicilia meridionale. Nel corso del mese di maggio anche le temperature si sono mantenute vicine alla media climatologica.

Estate

Le condizioni di tempo perturbato dell'ultima parte della primavera hanno caratterizzato anche l'inizio dell'estate. A giugno, le temperature hanno superato di media più di 1.0°C i valori normali su quasi tutte regioni; anche le precipitazioni sono state superiori alla media quasi ovunque, ad eccezione della Sardegna, delle regioni nord-occidentali, della Puglia e della Calabria.

Nelle giornate di cielo sereno sulle Alpi sono state registrate temperature elevate grazie alla forte insolazione. Tra l'8 e il 30 giugno la Lombardia è stata colpita da una serie di ondate di maltempo che hanno interessato in particolare le provincie di Bergamo e Sondrio, con cumulate totali sull'intero periodo comprese tra 200 e 400 mm a quote superiori a 1000 m s.l.m.

Il 9 giugno la città di Grosseto è stata interessata da un intenso evento temporalesco che ha scaricato 80 mm in un'ora e 95.8 mm in 24 ore.

Nel mese di luglio il persistere di condizioni di bel tempo associate allo spostamento verso nord dei flussi zonal, ha portato all'intensificarsi delle anomalie termiche positive in tutte le regioni, mentre le precipitazioni sono state principalmente concentrate sull'arco alpino, sulle coste adriatiche del Centro e sulla Campania.

Sull'arco alpino si sono verificati frequenti temporali; nella sola giornata del 30 luglio nella provincia di Bolzano sono stati osservati 7500 fulmini. In generale, il 2016 è risultato l'anno con il maggior numero di fulmini registrati sull'arco alpino dell'ultimo decennio; 68000 nella sola provincia di Bolzano.

Il 13 luglio una singola cella temporalesca ha scaricato su Arezzo 10 mm in 15 minuti, di cui 9 in 5 minuti, provocando cadute di alberi e altri danni, anche a causa delle raffiche di vento che hanno superato i 100 km/h. In Abruzzo tra il 15 e il 16 luglio precipitazioni con intensità fino a 90 mm in 12 ore, hanno causato allagamenti sulla costa teramana e a Pescara. Negli stessi giorni anche la Puglia è stata colpita da piogge intense che hanno raggiunto intensità caratterizzate da tempi di ritorno tra 50 e 200 anni a Vico del Gargano (69.0 mm in 1 ora, 134.0 in 12 ore e 156.0 in 24 ore) e a Ruvo di Puglia (95.0 mm in 6 ore). Il torrente Romandato è esondato, ha danneggiato diverse aziende e ha allagato alcuni campeggi, da cui sono stati evacuati 225 turisti.

Ad agosto le piogge sono state in generale piuttosto scarse (praticamente nulle in bassa Toscana e nel Lazio), ad eccezione delle regioni meridionali, dell'arco alpino e di alcune località costiere, interessate da qualche evento convettivo locale intenso. Gli scarti termici si sono mantenuti superiori alla media

nelle regioni centro-settentrionali e confrontabili con la media climatologica nelle regioni meridionali. Tra gli eventi del mese, nel corso del temporale del 5 agosto a San Martino in Passiria sono caduti 120 mm di pioggia in 5 ore, con intensità massima di precipitazione di 8.9 mm in 5 minuti. Il 9 agosto a Sinopoli (RC) sono state rilevate intensità pluviometriche di 51 mm in un'ora, 101 mm in 3 ore e 141 mm in 6 ore; quest'ultima con un tempo di ritorno stimato tra 50 e 100 anni.

Anche in Liguria il mese di agosto è stato caratterizzato da temporali intensi come quello abbattutosi su Genova il 13 agosto, nel corso del quale è stato registrato un calo termico di 13°C. Nonostante il cessato allarme per la siccità e le richieste irrigue ridotte nella fase conclusiva delle principali attività agricole, i fiumi del Nord non hanno mostrato abbondanza di risorse idriche. Dal punto di vista termico l'estate 2016 non ha presentato particolari criticità: è stata calda ma non sono state registrate ondate di calore particolarmente intense o di lunga durata, a differenza di quanto avvenuto nel 2015.

Autunno e Dicembre

A settembre l'Italia si è trovata ai margini delle principali anomalie di circolazione a grande scala, che hanno avuto ampiezza massima sull'Europa settentrionale e sulla Russia, come mostrato dalla mappa dell'anomalia mensile di geopotenziale a 500 hPa (**figura 2.4b**). In particolare, si può notare la presenza di un treno d'onda quasi stazionario con un minimo sull'Atlantico settentrionale e un massimo sulla penisola scandinava, associato ad un valore molto intenso del *pattern* Est-Atlantico pari a 3.5. Queste condizioni hanno determinato anomalie termiche abbastanza intense al Nord, dell'ordine di +2°C e valori più vicini alla norma nelle regioni centro-meridionali. Le precipitazioni sono state confrontabili se non superiori alla media climatologica nelle regioni centro-meridionali, ma nettamente inferiori alle attese nelle regioni settentrionali.

In Friuli Venezia Giulia, ad esempio, non si è osservata la graduale diminuzione delle temperature che tipicamente inizia dopo Ferragosto, ma il caldo intenso si è prolungato fino a metà settembre con temperature massime sopra i 30°C.

Gli eventi meteorologici più significativi si sono verificati in Puglia e in Sicilia. Tra il 9 e il 12 settembre le piogge hanno interessato la Puglia, con intensità massime a Bari (66 mm in un'ora, 111 mm in 3 ore, 118 mm in 6 ore, 121 mm in 12 ore e 134 mm in 24 ore) e a Ostuni (BR) (54 mm in un'ora e 80 mm in 2 ore; tempi di ritorno prossimi o superiori a 50 anni); nel corso dell'evento si sono verificati allagamenti nell'area di Ostuni e di Rosa Marina, con danni ad infrastrutture idrauliche, strade e proprietà private. Già il 9 settembre le piogge hanno causato un'ondata di piena del fiume Candelaro, che a S. Severo ha causato una vittima, travolta in auto sulla strada provinciale 35.

Il 25 settembre le piogge hanno interessato la Sicilia, con massima intensità a Siracusa (rilevati 98 mm in 3 ore e 169 mm in 24 ore), causando allagamenti; si stima che il tempo di ritorno dell'evento sia compreso tra 100 e 200 anni.

Ad ottobre, l'anomalia di geopotenziale tra la Penisola Scandinava e la Groenlandia si è intensificata, portando sulle nostre regioni frequenti venti da NNE, che hanno abbassato le temperature sulle regioni centro-settentrionali. Sulle regioni meridionali, invece, le temperature si sono mantenute mediamente più di 1°C sopra la media. Le precipitazioni sono state vicine alla media tranne che in Sardegna, dove sono perdurate condizioni di siccità.

La circolazione a grande scala è cambiata radicalmente a novembre, quando sull'Europa sud-occidentale, inclusa la nostra penisola, hanno prevalso condizioni perturbate, associate ad una saccatura centrata tra la penisola iberica e la costa nord-africana. Nel corso di novembre le temperature sono state mediamente più di 1.0°C superiori alla media climatologica. La prevalenza di flussi da ovest sud-ovest ha favorito l'occorrenza di eventi meteorologici caratterizzati da vento e pioggia intensi.

Tra il 5 e il 7 novembre precipitazioni intense e persistenti hanno interessato la Toscana, in particolare le provincie di Arezzo, Firenze e Siena, Lucca, Pisa e Pistoia (**figura 2.8**). Alcuni pluviometri ubicati nei bacini idrografici dei fiumi Serchio e Magra (zone di allerta S1 e L sulle mappe), dove le cumulate di precipitazione sull'intero evento hanno abbondantemente superato i 250 mm, nella sola giornata di sabato 5 novembre hanno registrato cumulate di pioggia superiori a 200 mm in 24 ore, come a Melo (PT, 263 mm) e Boscolungo (PT, 236 mm). Le piogge hanno provocato piene fluviali ma nessun danno di rilievo.

Negli stessi giorni è piovuto abbondantemente anche nel Friuli Venezia Giulia. Sulle Prealpi Giulie sono caduti oltre 300 mm di pioggia, con picchi di 391 a Ucea e 382 mm a Musi, e sulle Alpi Giulie, da 100 a 200 mm; oltre 100 mm di pioggia sono caduti a nord e a est di Udine sulla fascia collinare.

Le forti piogge hanno determinato l'ingrossamento dei fiumi, in particolare l'Isonzo: già nelle prime ore del 6 novembre l'altezza idrometrica aveva superato i livelli di guardia raggiungendo, in tarda mattinata, il picco di piena. A Gradisca l'altezza idrometrica massima è risultata superiore al livello di guardia di circa 1 metro.

Il 6 novembre una tromba d'aria ha colpito la provincia di Roma; il vento ha causato la caduta di parti di edifici e di alberi, che ha provocato due vittime.

Il 19 novembre un intenso temporale ha scaricato su Licata (AG), sulla costa sud occidentale della Sicilia, 40 mm di pioggia in 30 minuti, 80 mm in un'ora, 141mm in 3 ore, 157 mm in 6 ore e 168 mm in 24 ore; per tutte le intensità sono stati stimati tempi di ritorno superiori a 100 anni.

Nello stesso giorno ha cominciato a piovere in Sardegna; nel pomeriggio del 19 sono stati raggiunti massimi di precipitazione cumulata su 12 ore di 252.8 mm presso la stazione di Diga Cedrino (NU). I totali sull'intero evento dal 19 al 21 novembre presso la stessa stazione sono stati di 408.4 mm e molte stazioni hanno rilevato totali pluviometrici superiori a 100 mm. Le cumulate orarie nell'area della Baronia hanno superato 40 mm in un'ora in diverse località. Valori di precipitazione cumulata giornaliera superiori a 250 mm si possono considerare eventi rari anche per la Sardegna orientale. Nell'ultima decade di novembre le piogge hanno interessato diverse regioni italiane, causando diversi eventi alluvionali, con una configurazione meteorologica caratteristica di eventi analoghi occorsi in passato: una vasta area di bassa pressione nord-atlantica ed un robusto campo di alta pressione sul Mediterraneo orientale. Questi due elementi favoriscono l'insacco di precipitazioni persistenti ed abbondanti sulle regioni occidentali e in particolare nord-occidentali, in quanto l'alta pressione costituisce un blocco allo spostamento verso est della perturbazione atlantica, che è costretta a scendere verso latitudini inferiori, raccogliendo aria più calda e umida in risalita sul Tirreno.

In Liguria l'evento si è sviluppato tra il 22 e il 24 novembre ed è stato caratterizzato da due fasi: nella prima fase le precipitazioni sono state rilevate principalmente al centro della regione, a causa di una convergenza di venti in direzione nord-sud sul Savonese, mentre nella fase successiva, tra il 24 e il 25 novembre, un generale rinforzo dei venti sciroccali su tutta la regione ha comportato un'intensificazione delle precipitazioni su un'area estesa del centro-ponente ligure. Nella prima fase i massimi di intensità pluviometrica sono stati misurati presso la stazione meteorologica di Fiorino (GE) e hanno raggiunto valori di 126.2 mm in un'ora, 269 mm in 3 ore, 332 mm in 6 ore, 418 mm in 12 ore e 583 mm in 24 ore, che rappresenta il valore massimo di precipitazione giornaliera in Italia del 2016. L'intensità oraria corrisponde a tempi di ritorno dell'ordine di 50 anni, quella giornaliera a tempi di ritorno dell'ordine di 500 anni. L'innalzamento del livello dei fiumi ha provocato una vittima, travolta dalle acque del fiume Roja.

Nella seconda fase dell'evento le intensità pluviometriche più elevate sono state rilevate a Calizzano (SV) con valori di 50 mm in un'ora, 123.8 mm in 3 ore, 178 mm in 6 ore, 269.4 mm in 12 ore e 394.2 mm in 24 ore. Con il persistere delle piogge intense, lungo la riviera di ponente sono stati registrati numerosi allagamenti; nel pomeriggio del 24 novembre le cumulate di precipitazione hanno raggiunto i valori massimi sull'imperiese e sul savonese, dove sono esondati diversi corsi d'acqua. La situazione è divenuta drammatica soprattutto in montagna, in particolare nella Valle Arroscia attorno a Pieve di Teco, dove si sono verificate numerose frane.

Anche il Piemonte è stato interessato da precipitazioni forti e persistenti tra il 21 e il 25 novembre. Le precipitazioni più intense sono state registrate il 24 sul settore occidentale e al confine con la Liguria nell'alta val Tanaro (**figura 2.9**). Nel corso del 25 le precipitazioni hanno coinvolto il torinese e l'alta provincia di Cuneo; i massimi di precipitazione cumulata nell'evento sono stati registrati a Piaggia (CN), con 632.6 mm complessivi, e a Ponte di Nava Tanaro (CN), con 620.6 mm. Nel bacino di Stura di Lanzo la stazione di Niquidetto, ubicata nel Comune di Viù (TO), ha registrato il quantitativo maggiore di pioggia con 609.6 mm, mentre nell'alto Po il pluviometro di Barge (CN) ha registrato 593.4 mm. Tali valori rappresentano più del 50% della precipitazione media annua. A livello del bacino del Po, chiuso alla confluenza con il Ticino, il contributo medio dell'evento (circa 210 mm), rappresenta il 20% circa della precipitazione totale annua. Per quanto riguarda le intensità su periodi più brevi, la massima intensità oraria è stata registrata presso la stazione meteorologica di Cairo Montenotte Inferiore, nell'alta valle del Tanaro (54.8 mm), ma su vaste aree sono state rilevate intensità orarie superiori a 30 mm. Le cumulate massime su 24 ore sono invece state rilevate a Barge (CN) nell'alto Po, 433.8 mm, e presso la stazione di Niquidetto a Viù (TO), 403 mm. Le precipitazioni hanno causato il forte innalzamento del livello di molti fiumi e le portate al colmo sono state caratterizzate da tempi di ritorno anche superiori a 50 anni. La piena del Tanaro e dei suoi affluenti nella parte alta del bacino (a monte della confluenza con lo Stura di Demonte) è stata caratterizzata da

un tempo di ritorno di 200 anni ed è confrontabile con quella dell'alluvione del novembre 1994. A valle, invece, la piena è transitata con valori inferiori a quelli del 1994 ma comunque significativi, collocandosi come la maggiore piena osservata negli ultimi 22 anni, con un tempo di ritorno di circa 100 anni. La piena lungo il Po ha avuto un colmo molto lungo dovuto sostanzialmente allo sfasamento dei contributi dei suoi tributari ed una portata con un tempo di ritorno di 50 anni fino a Valenza (AL) e 100 anni ad Isola S. Antonio (AL) a causa del contributo del Tanaro. Nel tratto fino a Torino i valori registrati sono simili a quelli osservati in occasione dell'alluvione dell'ottobre 2000.

La **figura 2.10** mostra il confronto tra i totali di precipitazione dell'evento del 2016 e delle due alluvioni più rilevanti degli ultimi 25 anni che hanno colpito il Piemonte. Le stime sono ottenute dall'interpolazione dei dati puntuali delle stazioni pluviometriche disponibili per ogni evento, il cui numero ha subito una forte variazione: 96 stazioni per la stima del 1994, 222 stazioni nel 2000 e 386 stazioni nel 2016. I dati del passato, in particolare quelli del 1994, risultano pertanto probabilmente sottostimati. Complessivamente sull'intero bacino idrografico del Po chiuso alla sezione di Ponte Becca (PV), le precipitazioni dell'intero evento dell'ottobre 2000 risultano più elevate. Prendendo in considerazione i singoli bacini idrografici si può notare che le precipitazioni dell'ultimo evento risultano più significative sul Piemonte meridionale e occidentale. Nonostante i livelli del 2016 siano confrontabili, se non superiori, a quelli dell'alluvione del 1994, i danni in questo caso sono stati più contenuti. La piena del fiume Tanaro è correlata ad esondazioni di molti torrenti secondari che hanno causato l'allagamento della città di Moncalieri, oltre che di vaste aree lungo il corso dei fiumi Stura di Lanzo, Dora Riparia e Bormida. L'alluvione ha causato una vittima il 24 novembre.

Il 24 e il 25 novembre le piogge hanno colpito anche le provincie di Messina, Agrigento e Palermo. Le intensità pluviometriche massime sono state rilevate a Ribera (AG) (76 mm in un'ora, 159 mm in 3 ore, 192 mm in 6 ore) e a Francavilla (ME) (120 mm in 3 ore, 192 mm in 6 e in 12 ore e 320 mm in 24 ore), con tempi di ritorno stimati superiori a 200 anni. Le piogge hanno causato esondazioni di torrenti, allagamenti e frane, una vittima a Letojanni (ME), e un disperso a Sciacca (AG).

Negli stessi giorni le piogge sono state molto intense anche in Calabria: il pluviometro di Sant'Agata del Bianco (RC) ha misurato un totale di 410.2 mm in 24 ore e un totale sull'evento di 439.2 mm, con tempi di ritorno superiori a 100 anni. Diverse stazioni hanno registrato intensità orarie superiori a 70 mm in un'ora, con massimi ad Ardore Superiore (RC), sulla costa sud-orientale, di 98.6 mm in un'ora e di 161 mm in 3 ore, con tempo di ritorno superiore a 80 anni.

L'anno si è concluso con un mese di dicembre anomalo, caratterizzato da quasi totale assenza di precipitazioni, ad eccezione di alcune aree della Sardegna, della Sicilia orientale, del Piemonte occidentale e della Valle d'Aosta. Le condizioni meteorologiche, simili a quelle del dicembre 2015, sono state caratterizzate anche da sensibili anomalie termiche al Nord, con valori mensili della temperatura media più di +2°C sopra la norma. Ciò è stato favorito dalla prevalenza di un promontorio di alta pressione centrato sull'Europa centro-settentrionale e associato ad un indice Est Atlantico - Russia Occidentale pari a 1.5.

In generale, dal punto di vista climatico il 2016 è stato meno anomalo degli anni precedenti, anche grazie al fatto che l'Italia si è trovata solo sul bordo di aree caratterizzate da forti anomalie climatiche. Nonostante le anomalie termiche medie siano state intense e positive su molte regioni, nel corso dei mesi più caldi le onde di calore non sono state particolarmente intense e durature. Per quanto riguarda i mesi invernali, invece, le temperature sono state piuttosto miti e sia all'inizio che alla fine dell'anno, come negli anni precedenti, la quota neve è stata generalmente più alta rispetto alla media di lungo periodo.

Al di là dei singoli eventi meteorologici, che non sono mancati e localmente sono stati di forte intensità, l'aspetto climatico più rilevante è stato il persistere di condizioni siccitose, parzialmente alleviate dalle piogge primaverili che hanno agevolato la gestione delle risorse idriche. La seconda parte del 2016 è stata caratterizzata da periodi prolungati di carenza o addirittura assenza di piogge su diverse aree del territorio nazionale, che a fine anno hanno riportato le risorse idriche generalmente su livelli molto bassi. L'assenza di precipitazioni nel mese di dicembre ha determinato difficoltà nelle zone turistiche alpine dove, alle quote più alte, è stato comunque possibile stendere un manto nevoso artificiale grazie al valore più contenuto delle anomalie termiche rispetto al 2015. Per molte regioni il 2016 è stato il secondo anno consecutivo con assenza di precipitazioni significative a dicembre, circostanza che in molti casi non si verificava dal 1915. Il carattere prevalentemente secco del 2016 è confermato dal valore medio nazionale di umidità relativa, che rappresenta il quarto valore più basso dal 1961.



Figura 2.5: *Gelicidio sul Carso il 3 gennaio 2016. Fonte: Furio Peri, ARPA Friuli Venezia Giulia.*



Figura 2.6: *Allagamento lungo il corso del fiume Basento a seguito degli eventi del 17-18 marzo 2016. Fonte: Centro Funzionale Regione Basilicata.*



Figura 2.7: *Piena sul fiume Ete Morto, 23 marzo 2016. Fonte: Centro Funzionale Multirischi Regione Marche.*

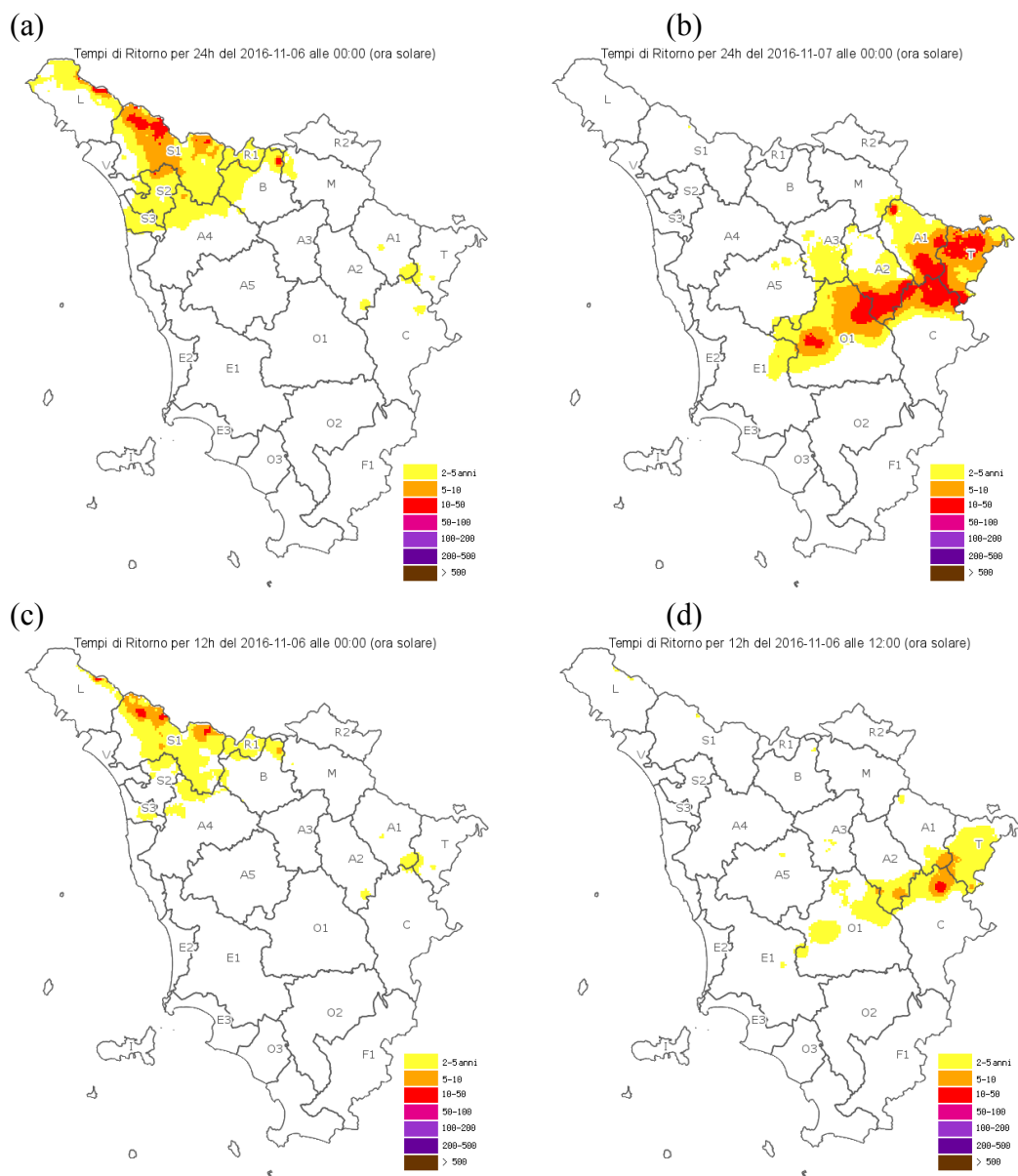
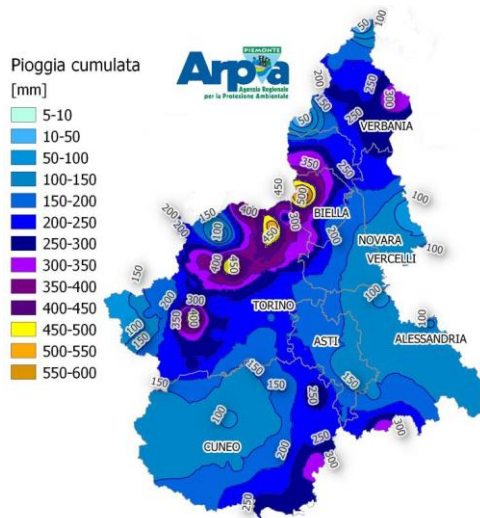


Figura 2.8: Mappe della distribuzione dei tempi di ritorno: (a) per piogge di durata di 24 ore registrate dalle ore 00:00 alle ore 24:00 del 05/11/2016; (b) per piogge di durata di 24 ore registrate dalle ore 00:00 alle ore 24:00 del 06/11/2016; (c) per piogge di durata pari a 12 ore registrate dalle ore 12:00 alle ore 24:00 del 05/11/2016; (d) per piogge di durata pari a 12 ore registrate dalle ore 00:00 alle ore 12:00 del 06/11/2016. Fonte: Centro Funzionale - Settore Idrologico Regionale della Regione Toscana.

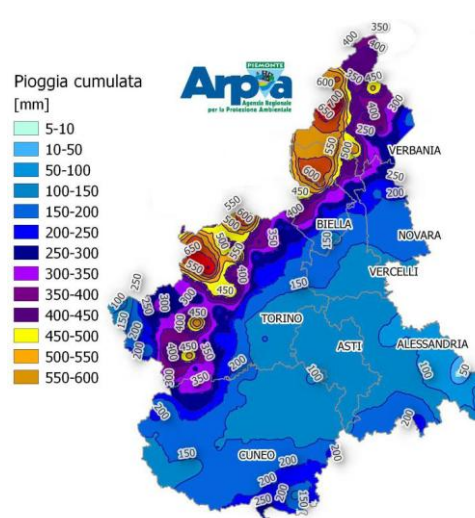


Figura 2.9: *Il fiume Tanaro nel corso dell'alluvione di novembre 2016. Fonte: ARPA Piemonte.*

1994



2000



2016

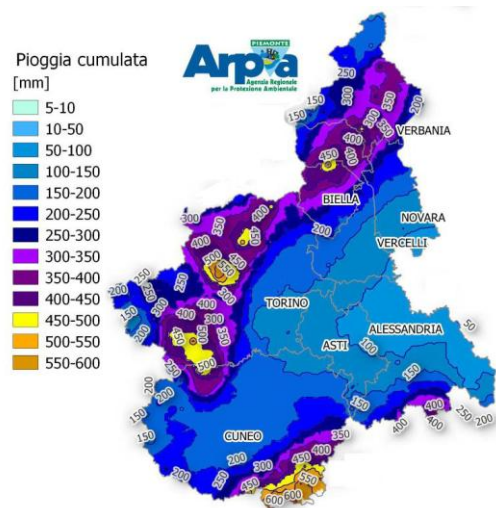


Figura 2.10: Precipitazioni cumulate nei 3 eventi alluvionali avvenuti del 1994, 2000 e 2016. Fonte: ARPA Piemonte.

3. TEMPERATURA

Anno 2016

Nelle **figure 3.1-3.5** sono rappresentati i valori annuali di temperatura media, minima (media annuale), massima (media annuale), minima assoluta e massima assoluta, calcolati sulle serie di dati disponibili per il 2016. Le stazioni di misura sono rappresentate da simboli diversi a seconda della rete di appartenenza.

Le temperature medie sono comprese tra il valore più basso di -5.0°C registrato a Pian Rosà (AO, 3488 m s.l.m.) e il valore più alto pari a 21.1°C registrato a Lampedusa (dalla stazione della rete mareografica; 20.2°C dalla stazione della rete sinottica) e a Capo Spartivento (RC, rete sinottica).

I valori medi di temperatura minima giornaliera sono compresi tra -7.7°C di Pian Rosà e 19.1°C di Lampedusa (rete mareografica; 18.5°C rete sinottica). I valori medi di temperatura massima giornaliera sono compresi tra -2.4°C di Pian Rosà e 25.8°C di Libertinia (CT, rete RAN).

Le temperature minime assolute sono comprese tra -25.0°C di Diga di Gioveretto (BZ, rete Provincia autonoma di Bolzano) e 8.5°C di Lampedusa (rete mareografica; 8.0°C rete sinottica). Le temperature massime assolute sono comprese tra 12.0°C di Pian Rosà e 43.5°C di Libertinia (CT, rete RAN), seguita da 42.8°C di Aliano (MT, rete RAN).

L'andamento della temperatura in Italia nel corso del 2016 è illustrato dalla **figura 3.6**. I valori di anomalia rappresentano le differenze tra le temperature medie del 2016 e quelle normali riferite al periodo climatologico 1961-1990. L'anomalia della temperatura media annuale è stata in media di $+1.54^{\circ}\text{C}$ al Nord, $+1.44^{\circ}\text{C}$ al Centro e $+1.15^{\circ}\text{C}$ al Sud e sulle Isole. Tutti i mesi del 2016 sono stati più caldi della norma, ad eccezione di ottobre al Nord. La stagione invernale è stata quella con anomalia termica, con un valore medio nazionale di $+2.15^{\circ}\text{C}$. Il mese più caldo rispetto alla norma è stato dicembre al Nord ($+2.76^{\circ}\text{C}$), febbraio al Centro ($+3.02^{\circ}\text{C}$) e aprile al Sud e sulle Isole ($+2.99^{\circ}\text{C}$). Il mese con anomalia più bassa è stato ottobre al Nord (-0.39°C) ed al Centro ($+0.24^{\circ}\text{C}$) e settembre al Sud e sulle Isole ($+0.10^{\circ}\text{C}$).

Le anomalie della temperatura media nel 2016 sono illustrate anche dalle mappe nella **figura 3.7** (anomalia annuale) e nelle **figure 3.8a e 3.8b** (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 3.9** mette a confronto le anomalie della temperatura minima e della temperatura massima. Come nel 2015, anche nel 2016 gli scostamenti dalla norma 1961-1990 della temperatura massima sono stati, in media, superiori a quelli della temperatura minima.

Variazioni e tendenze

La variabilità interannuale della temperatura in Italia è illustrata dalle serie di anomalie annuali di temperatura media, minima e massima a partire dal 1961 (**figure 3.10, 3.11 e 3.12**). Le anomalie medie annuali derivano dai dati di un gruppo di stazioni distribuite in modo abbastanza uniforme sul territorio nazionale e selezionate in base a criteri di completezza e omogeneità delle serie [10, 11].

Il valore dell'anomalia media annuale ($+1.35^{\circ}\text{C}$) colloca il 2016 al 6° posto nell'intera serie dal 1961 al 2016 e rappresenta il 25° valore annuale positivo consecutivo. Gli anni più caldi dell'ultimo mezzo secolo sono stati, nell'ordine, il 2015, il 2014, il 1994, il 2003 ed il 2000, con anomalie della temperatura media comprese tra $+1.35$ e $+1.58^{\circ}\text{C}$. L'anomalia della temperatura media annuale del 2016 si può attribuire in maniera più marcata all'inverno, con un valore di $+2.39^{\circ}\text{C}$, e in maniera meno marcata alle altre stagioni (primavera $+1.34^{\circ}\text{C}$, estate $+1.23^{\circ}\text{C}$, autunno $+0.94^{\circ}\text{C}$). Anche nel 2016, come in generale in tutta la serie, l'anomalia della temperatura massima è più elevata di quella della temperatura minima.

Nella tabella 1 vengono riassunti i trend di temperatura a partire dal 1981 e aggiornati al 2016, calcolati con un modello di regressione lineare; all'inizio degli anni '80 viene infatti identificato un cambiamento del trend di temperatura in Italia e ha inizio il periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell'ultimo secolo [12]. Il valore stimato del rateo di variazione della temperatura media in Italia dal 1981 al 2016 è $+0.36 \pm 0.06^{\circ}\text{C} / 10$ anni; quello della temperatura

minima $+0.35 \pm 0.05^{\circ}\text{C} / 10$ anni, quello della temperatura massima di $+0.36 \pm 0.06^{\circ}\text{C} / 10$ anni. Su base stagionale, i trend della temperatura media sono più forti in primavera ($+0.45 \pm 0.11^{\circ}\text{C} / 10$ anni) e in estate ($+0.42 \pm 0.11^{\circ}\text{C} / 10$ anni).

Estremi

Per l'analisi degli estremi di temperatura (**figure 3.13-3.20**), sono stati presi in considerazione alcuni indici definiti da uno specifico Gruppo di Lavoro della Commissione per la Climatologia dell'OMM [13, 14]. 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 [15,16], sono descritti in dettaglio in [11]. 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.

Per un'analisi dettagliata dei dati e dei metodi di stima degli estremi di temperatura in Italia v. [17].

Anche nel 2016 l'indice relativo al numero di giorni con gelo, cioè il numero medio di giorni con temperatura minima minore o uguale a 0°C , ha registrato un valore negativo; in media, esso è stato inferiore al valore normale 1961-1990 di circa 15 giorni in un anno (**figura 3.13**). Negli ultimi 21 anni i giorni con gelo sono stati sempre inferiori alla norma, ad eccezione del 2005.

Il numero medio di notti tropicali, cioè con temperatura minima maggiore di 20°C , ha registrato nel 2016 una anomalia di circa +10 notti rispetto al valore normale (**figura 3.14**). Il 2016 è il 17° anno consecutivo con numero di notti tropicali superiore alla media climatologica.

Anche il numero medio di giorni estivi, cioè con temperatura massima maggiore di 25°C , è stato nettamente superiore alla media climatologica: in media, circa 12 giorni in più nell'anno; il 2016 è il 17° anno consecutivo con valore superiore alla norma 1961-1990 (**figura 3.15**).

L'indice rappresentativo delle onde di calore è il *Warm Spell Duration Index* (WSDI). Ai fini del calcolo di questo indice, un'onda di calore è un evento della durata di almeno 6 giorni consecutivi nei quali la temperatura massima è superiore al 90° percentile della distribuzione delle temperature massime giornaliere nello stesso periodo dell'anno sul trentennio climatologico. L'indice WSDI conta il numero dei giorni caratterizzati da un'onda di calore, così definita, in un anno. Come sempre negli ultimi 30 anni, nel 2016 il WSDI è stato superiore alla media 1961-1990, con un'anomalia di circa +10 giorni nell'anno; tuttavia, esso è stato più basso di quello dei 5 anni che hanno preceduto il 2016 (**figura 3.16**).

Altri indici di estremi di temperatura che si basano sul confronto con la distribuzione statistica dei valori normali sono le notti fredde (TN10p), cioè la percentuale di giorni in un anno con temperatura minima inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione sul periodo climatologico, i giorni freddi (TX10p), cioè la percentuale di giorni con temperatura massima inferiore al 10° percentile, le notti calde (TN90p), cioè la percentuale di giorni con temperatura minima superiore al 90° percentile e i giorni caldi (TX90p), cioè la percentuale di giorni con temperatura massima superiore al 90° percentile. Come illustrato dalle **figure 3.17-3.20** negli ultimi 50 anni le notti e i giorni freddi mostrano una chiara tendenza in diminuzione mentre i giorni e le notti calde mostrano una chiara tendenza in aumento; il 2016 ha fatto registrare il secondo valore più basso di giorni freddi (TX10p) il terzo valore più basso di notti fredde (TN10p) dell'intera serie, dopo i record registrati nel 2014 e nel 2015). Sia le notti calde (TN90p) che i giorni caldi (TX90p) negli ultimi 30 anni sono stati sempre più numerosi rispetto alla media climatologica.

INDICATORE	TREND (°C/10 anni)
Temperatura media	+0.36 ± 0.06
Temperatura minima	+0.35 ± 0.05
Temperatura massima	+0.36 ± 0.06
Temperatura media inverno	+0.35 ± 0.14
Temperatura media primavera	+0.45 ± 0.11
Temperatura media estate	+0.42 ± 0.11
Temperatura media autunno	+0.26 ± 0.10

Tabella 1: *Trend stimati (e relative deviazioni standard) della temperatura in Italia dal 1981 al 2016. Tutti i trend sono statisticamente significativi al livello del 5%.*

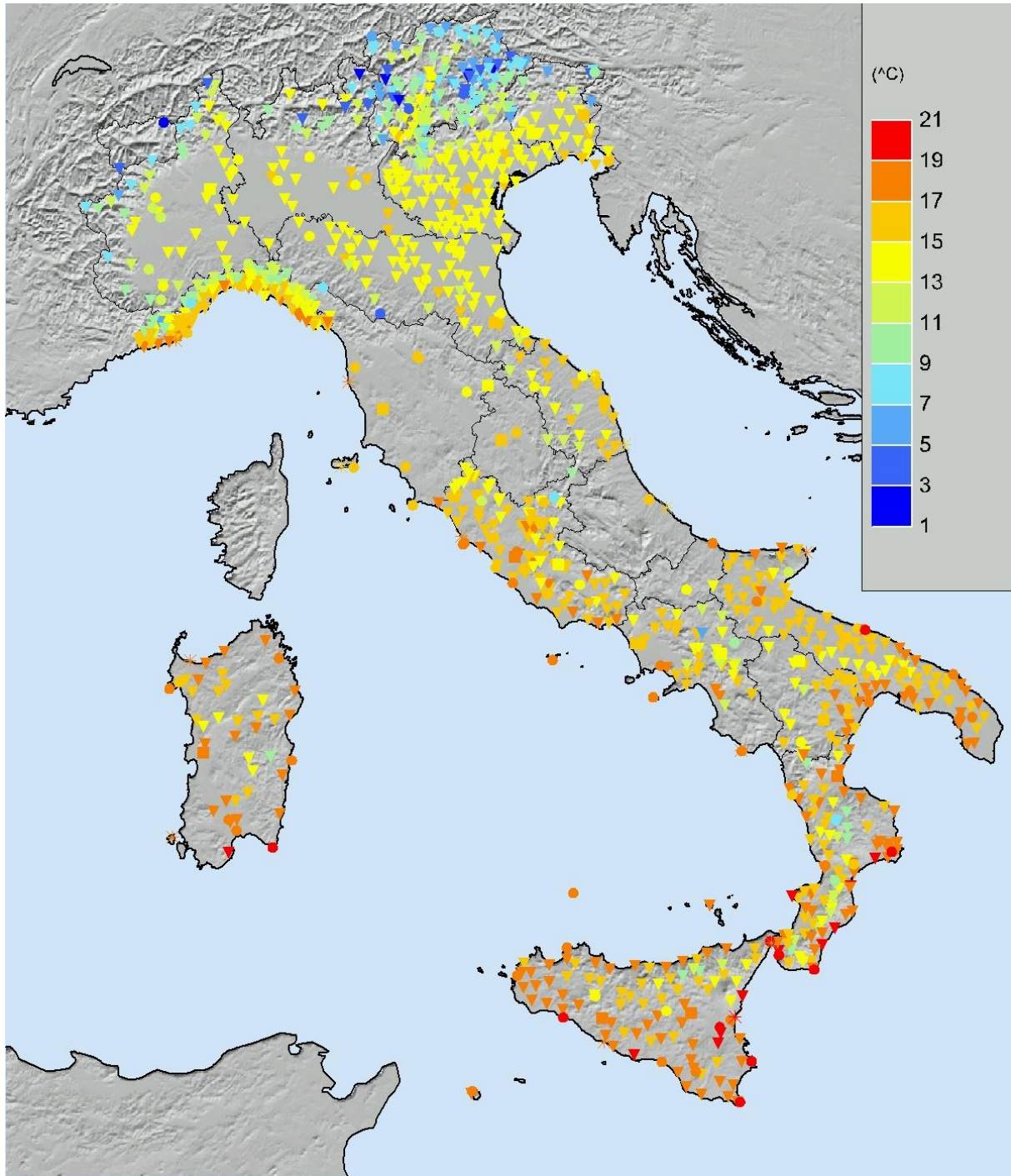


Figura 3.1: *Temperatura media 2016.*

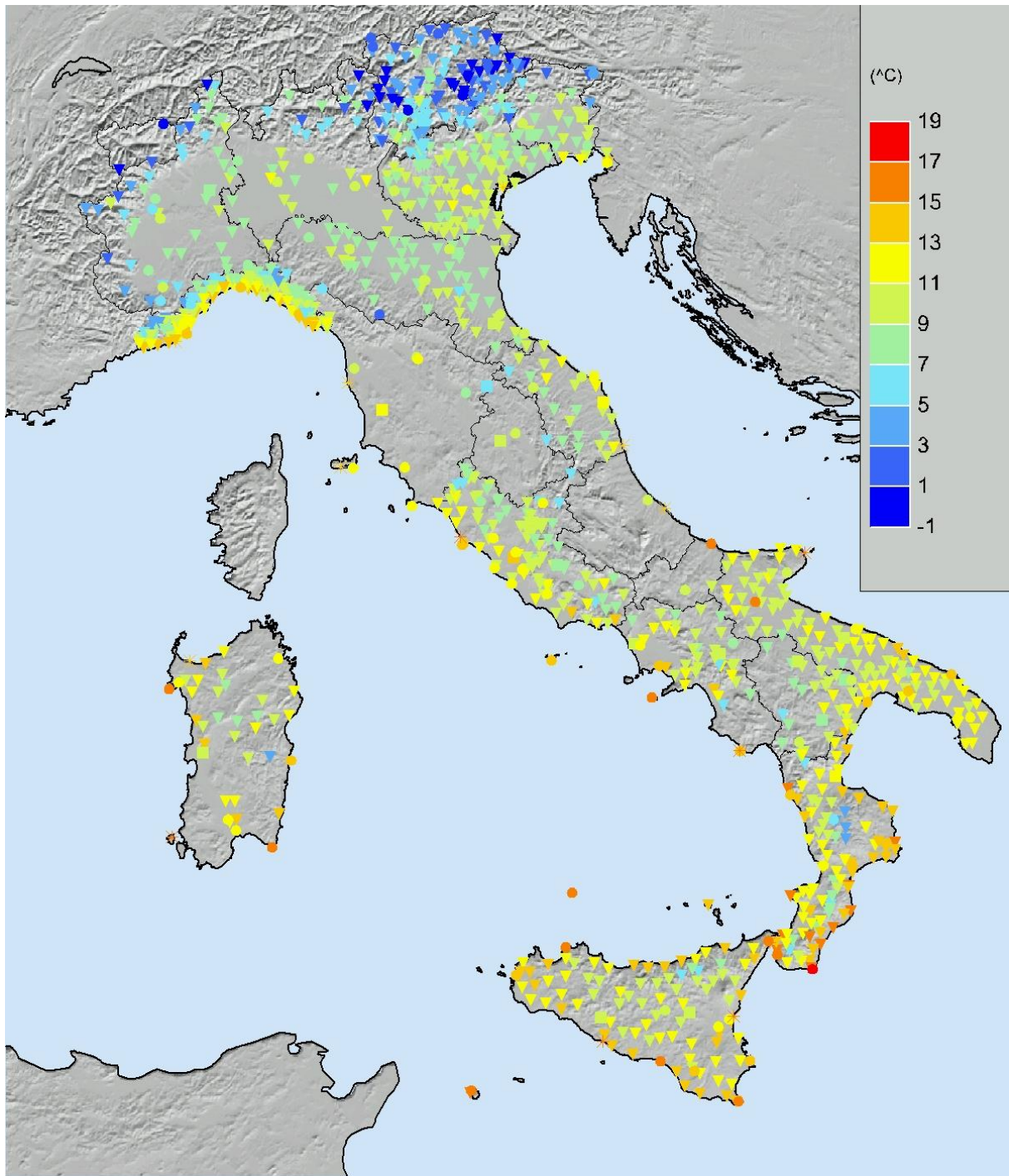


Figura 3.2: *Media della temperatura minima 2016.*

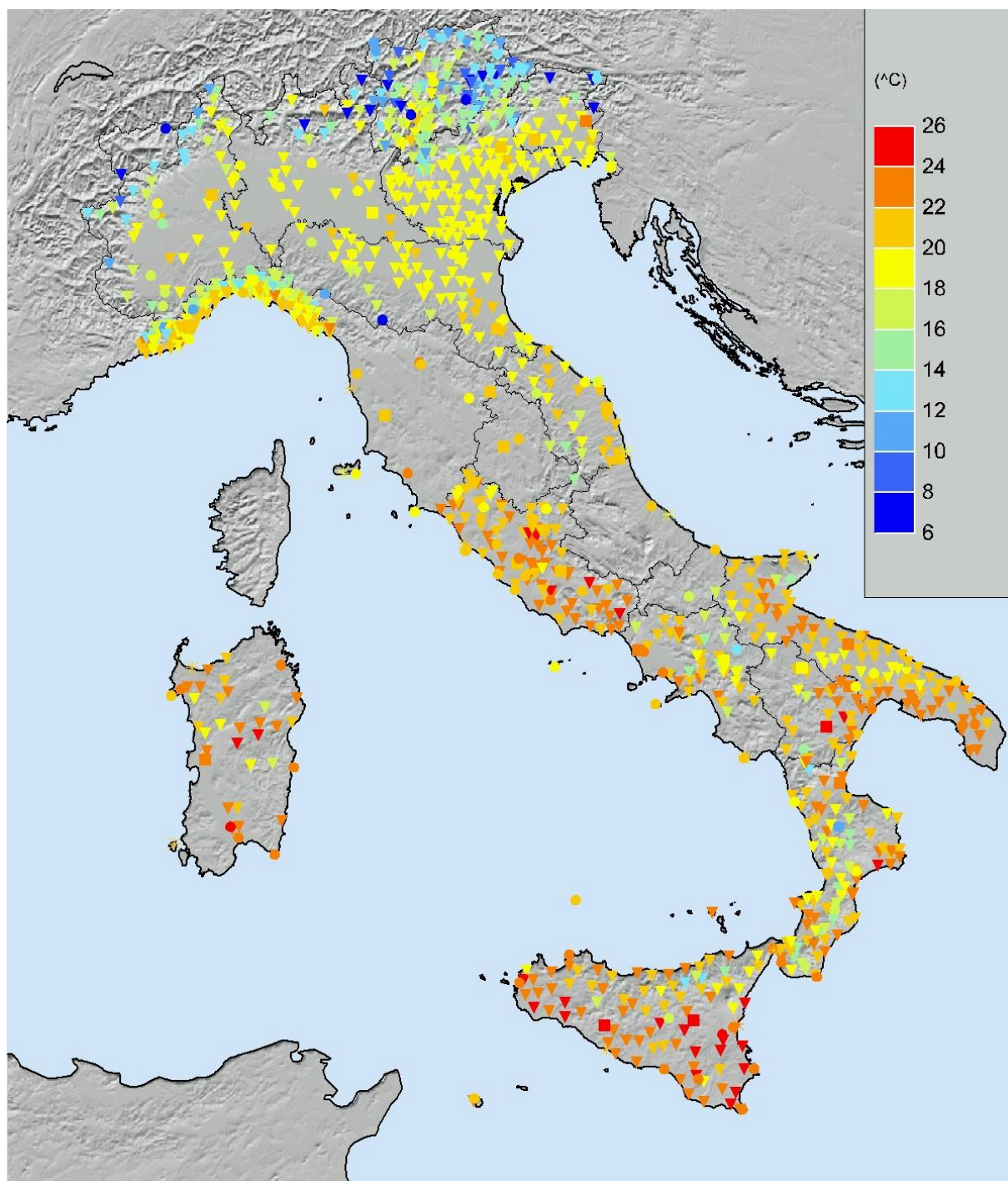


Figura 3.3: *Media della temperatura massima 2016.*

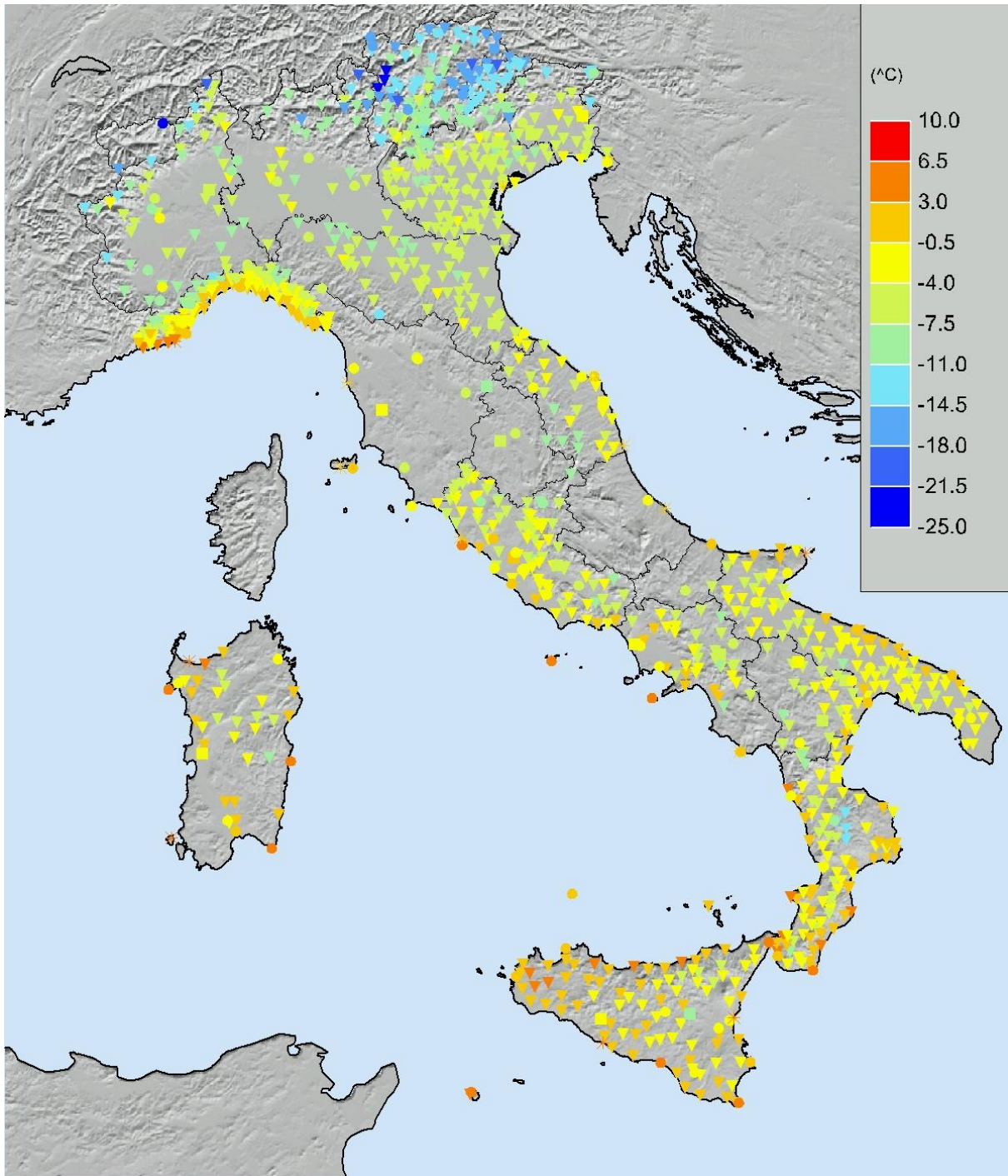


Figura 3.4: *Temperatura minima assoluta 2016.*

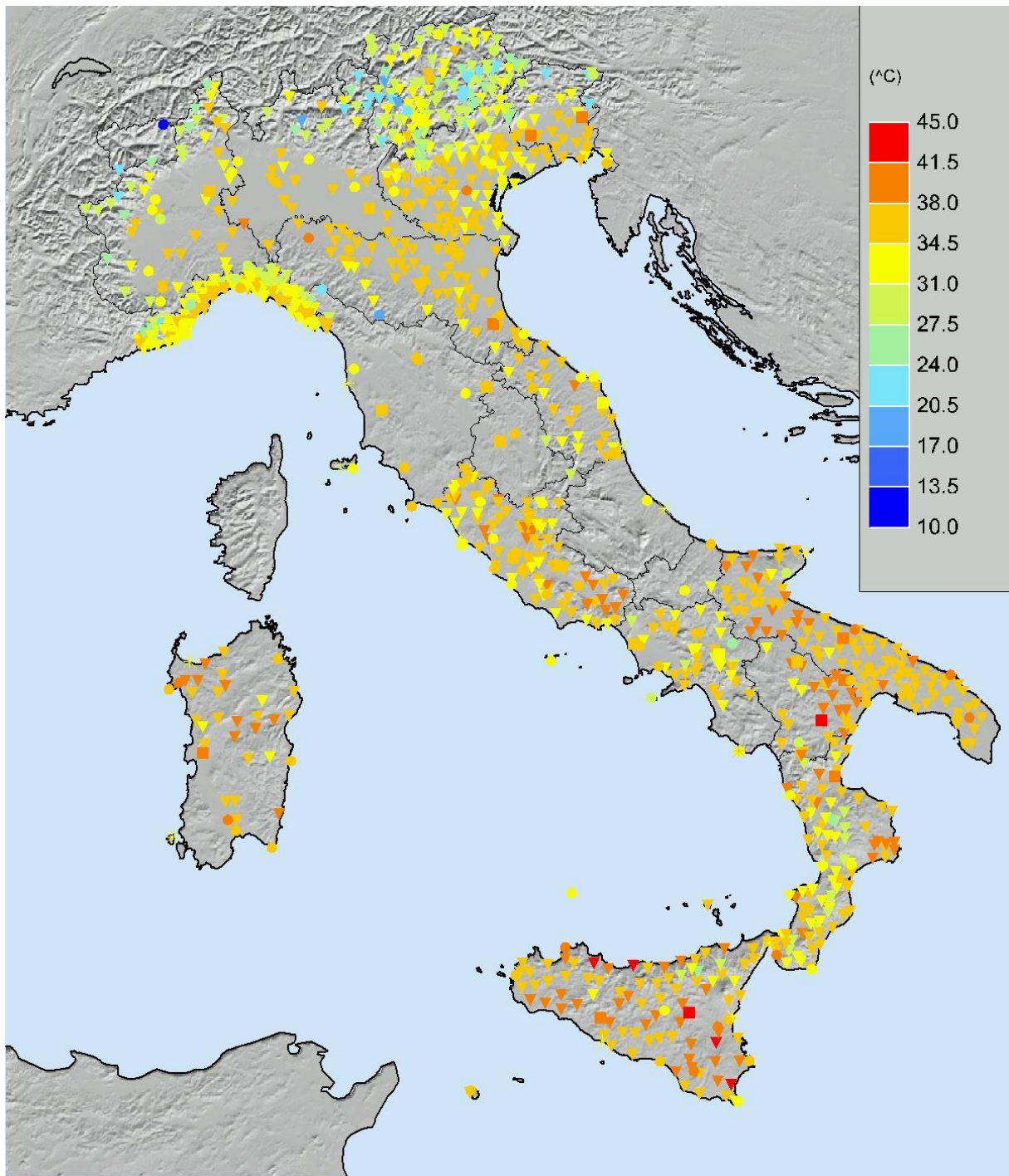


Figura 3.5: *Temperatura massima assoluta 2016.*

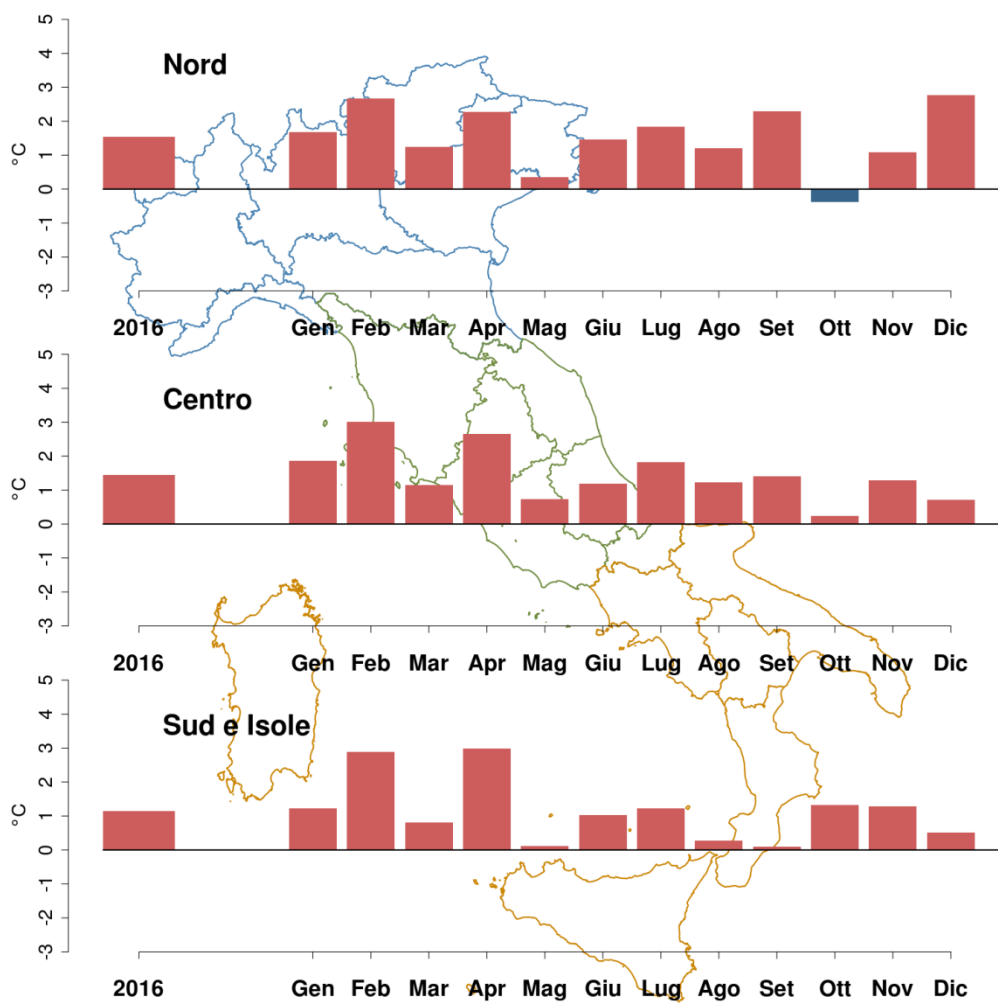


Figura 3.6: Anomalia media 2016 (annuale e mensile) della temperatura media rispetto al valore normale 1961-1990.

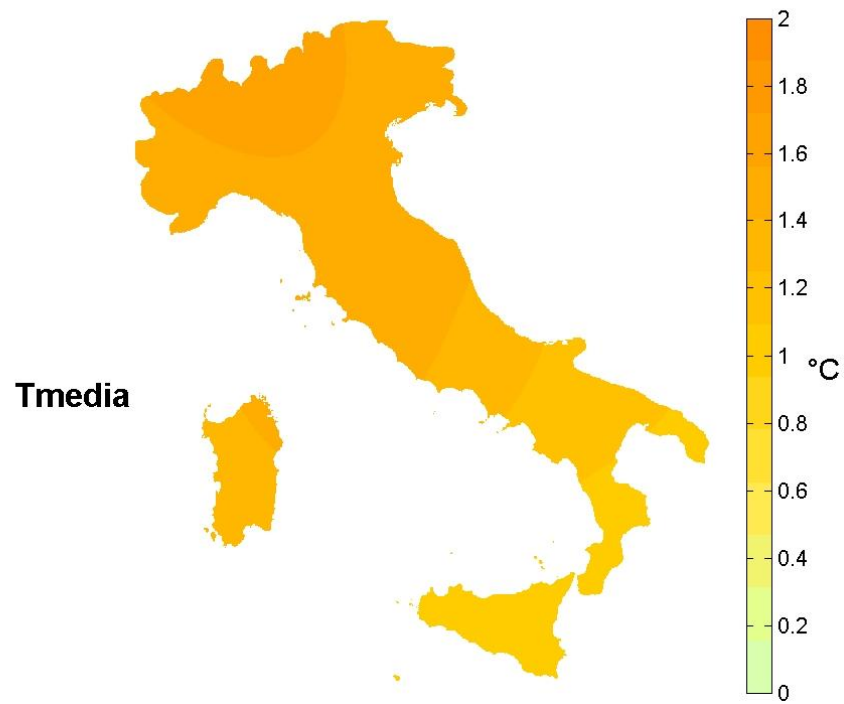


Figura 3.7: *Anomalia della temperatura media annuale 2016 rispetto al valore normale 1961-1990.*

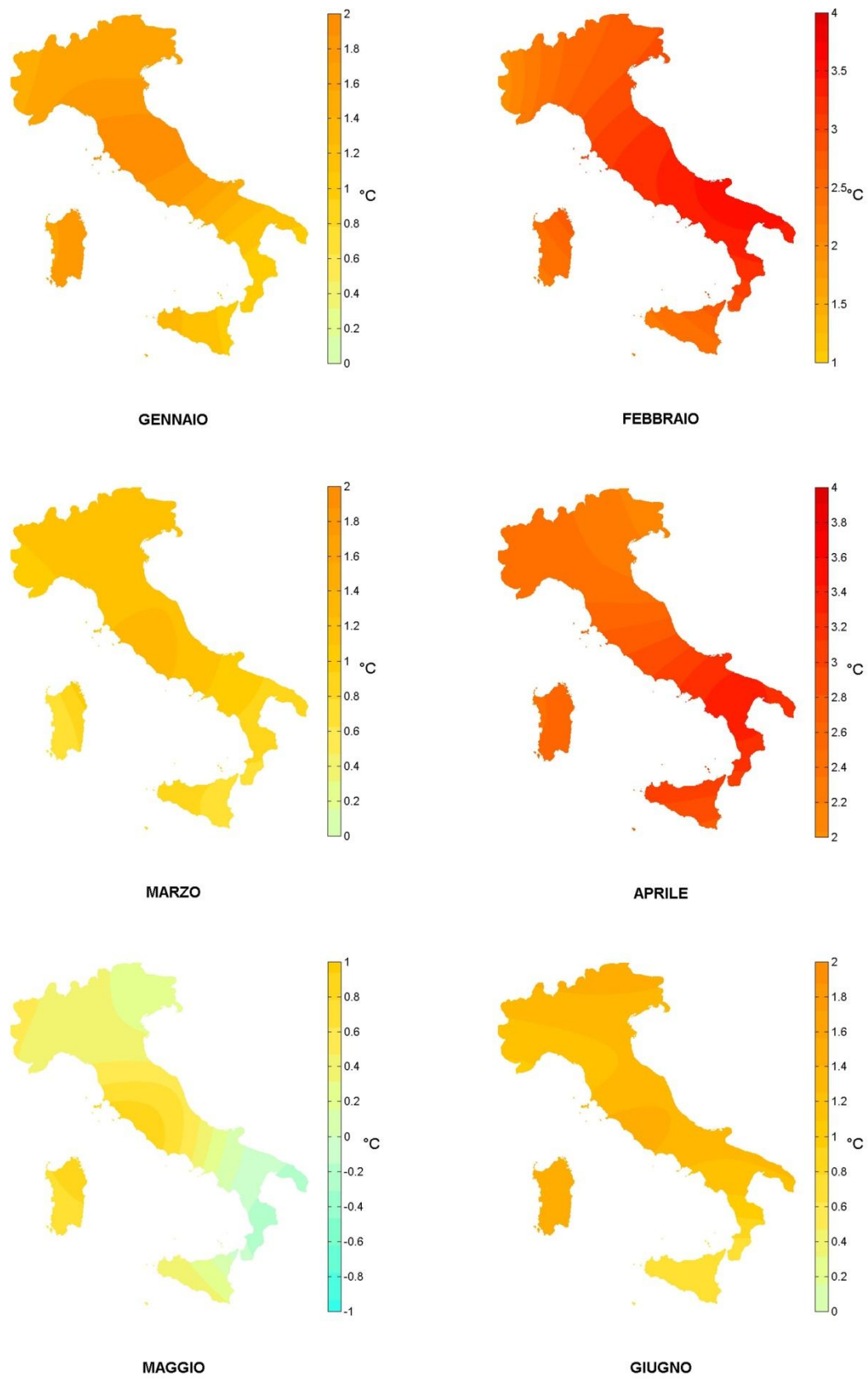


Figura 3.8a: Anomalie della temperatura media mensile 2016 rispetto ai valori normali 1961-1990 (gennaio-giugno). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

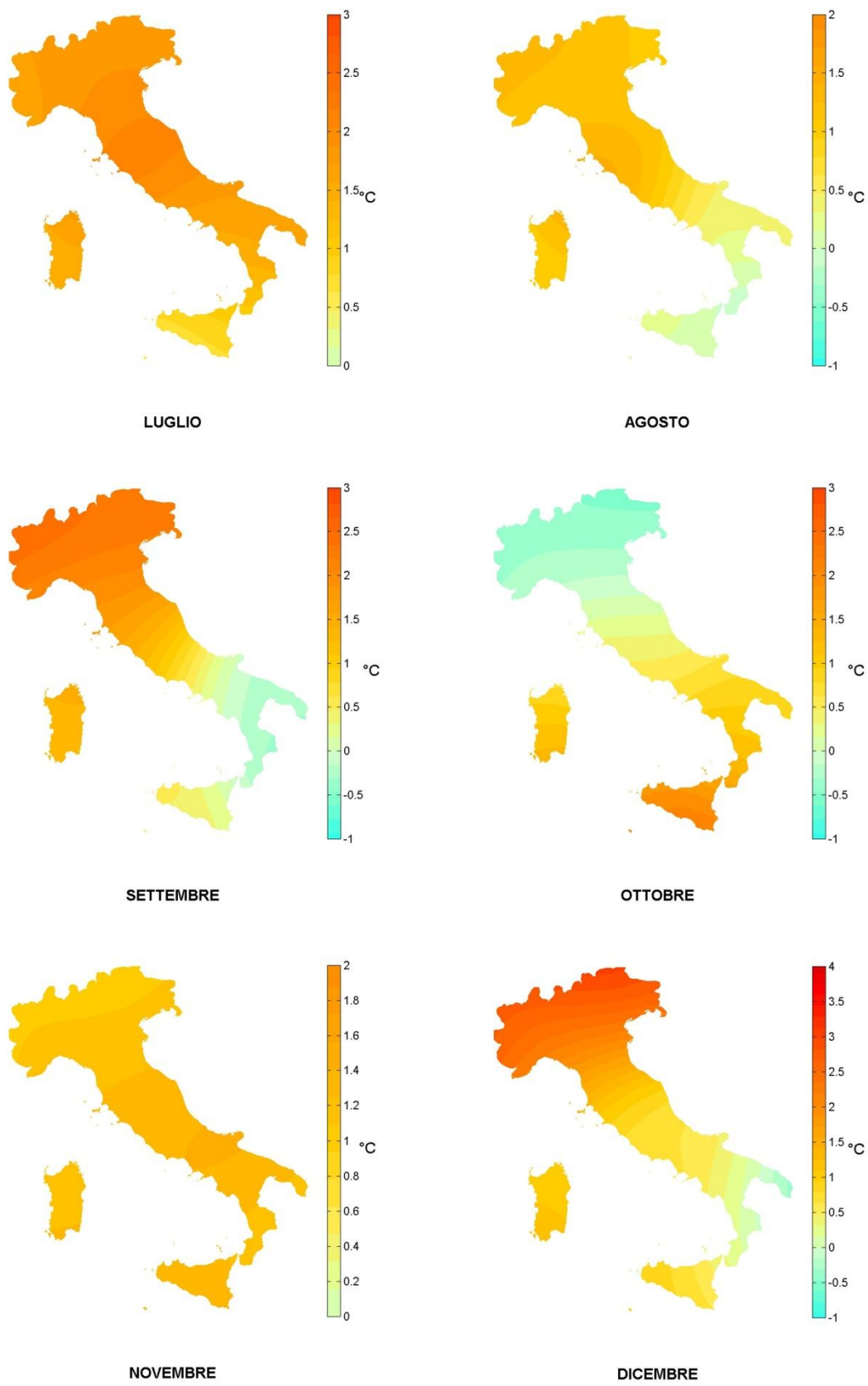


Figura 3.8b: Anomalie della temperatura media mensile 2016 rispetto ai valori normali 1961-1990 (luglio-dicembre). Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

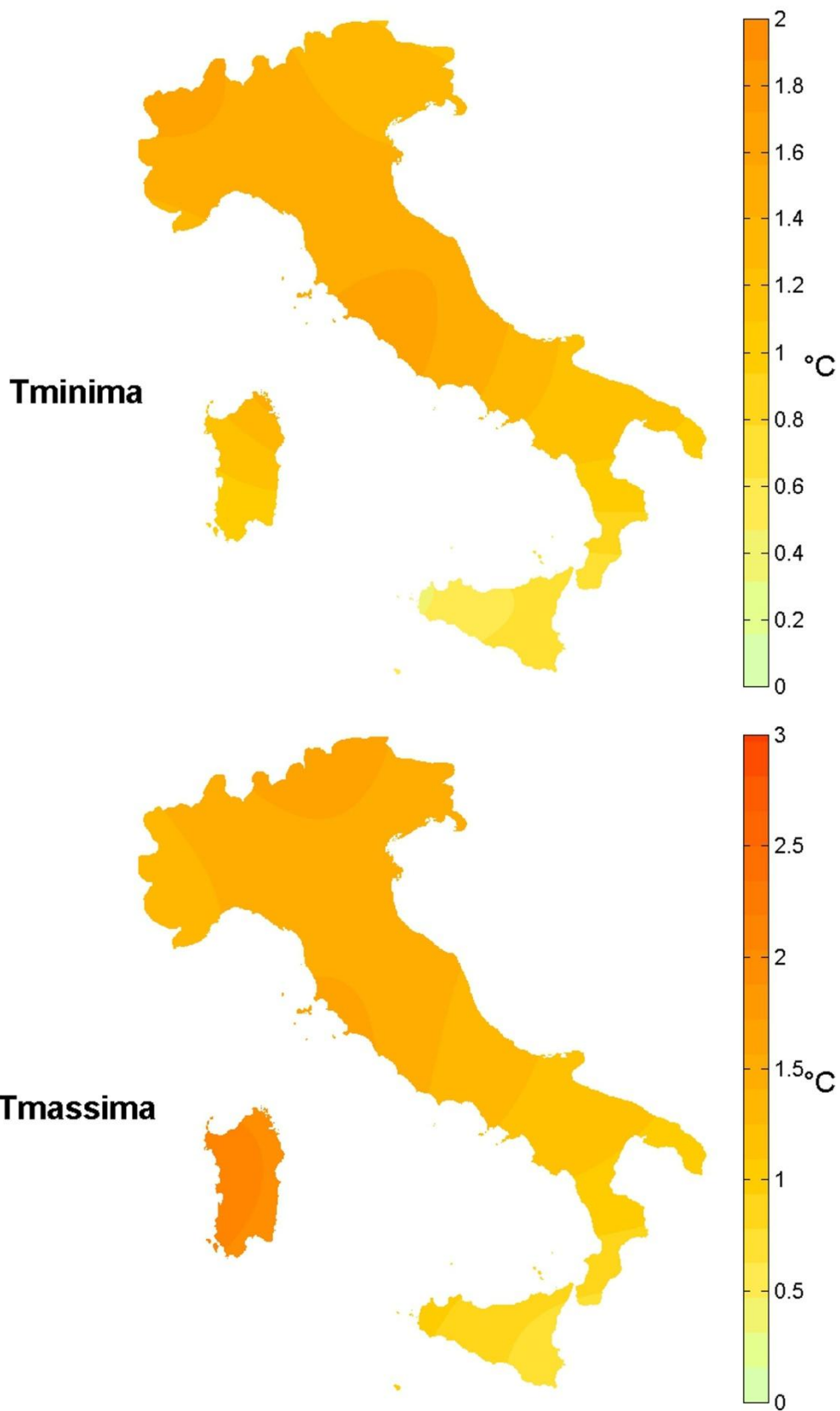


Figura 3.9: Anomalie della temperatura minima e massima annuali 2016 rispetto al valore normale 1961-1990.

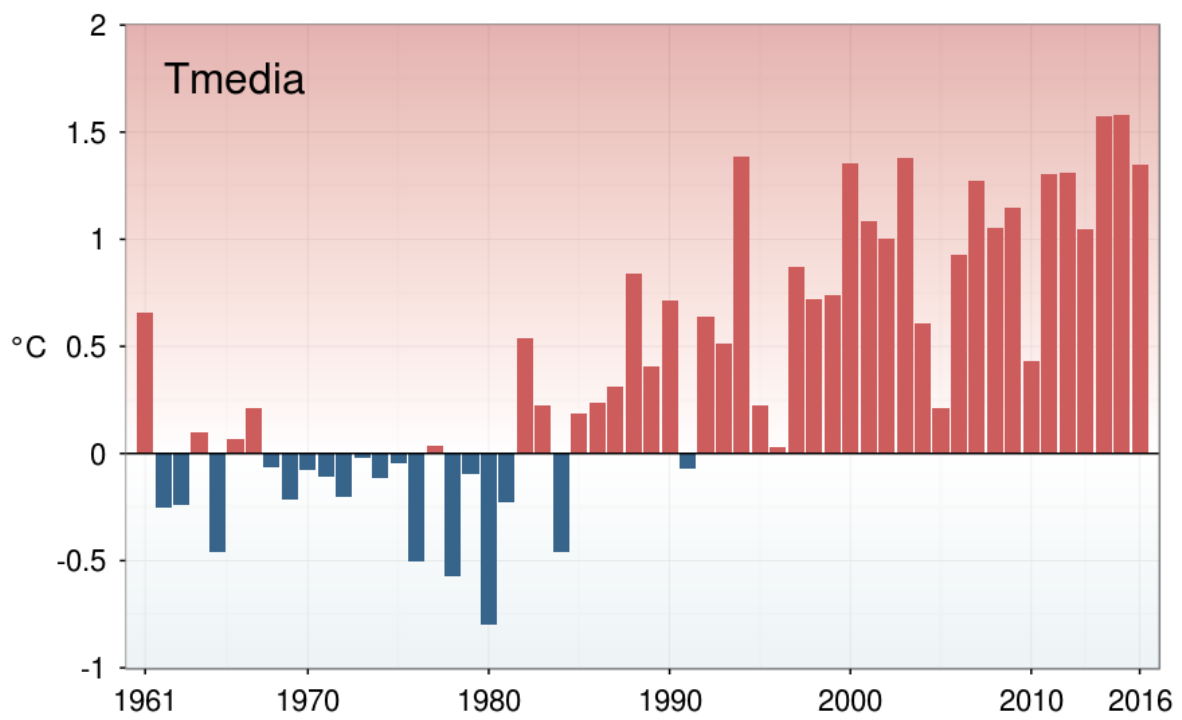


Figura 3.10: Serie delle anomalie medie in Italia della temperatura media rispetto al valore normale 1961-1990.

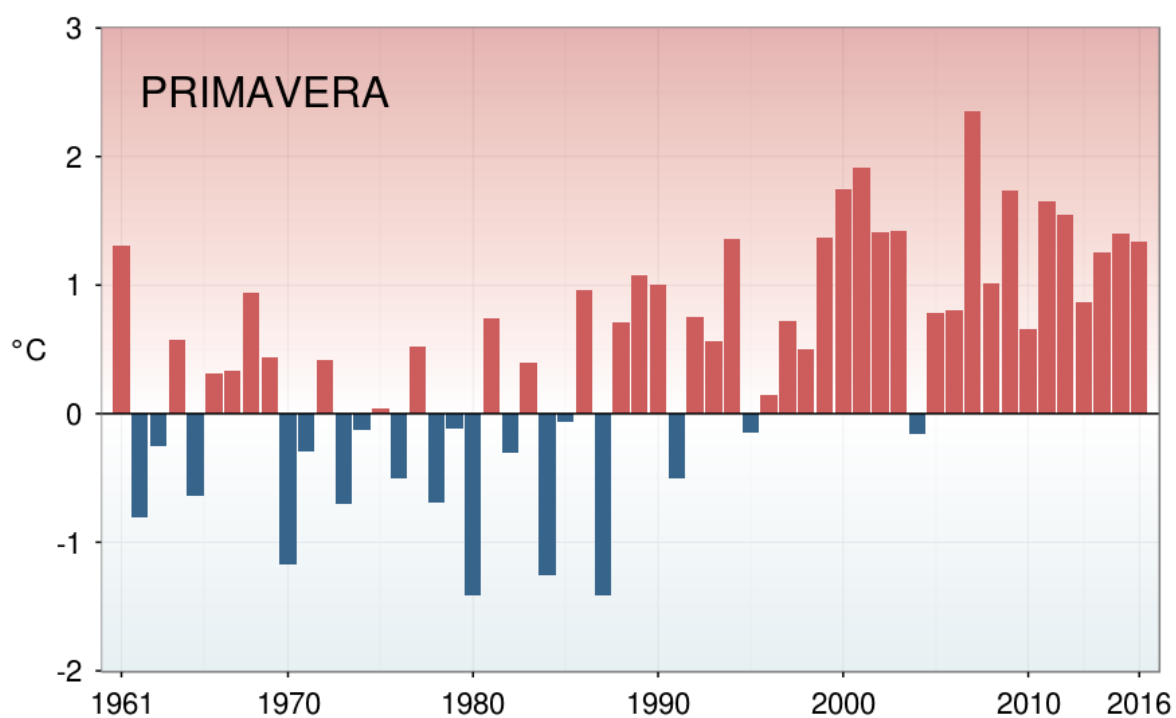
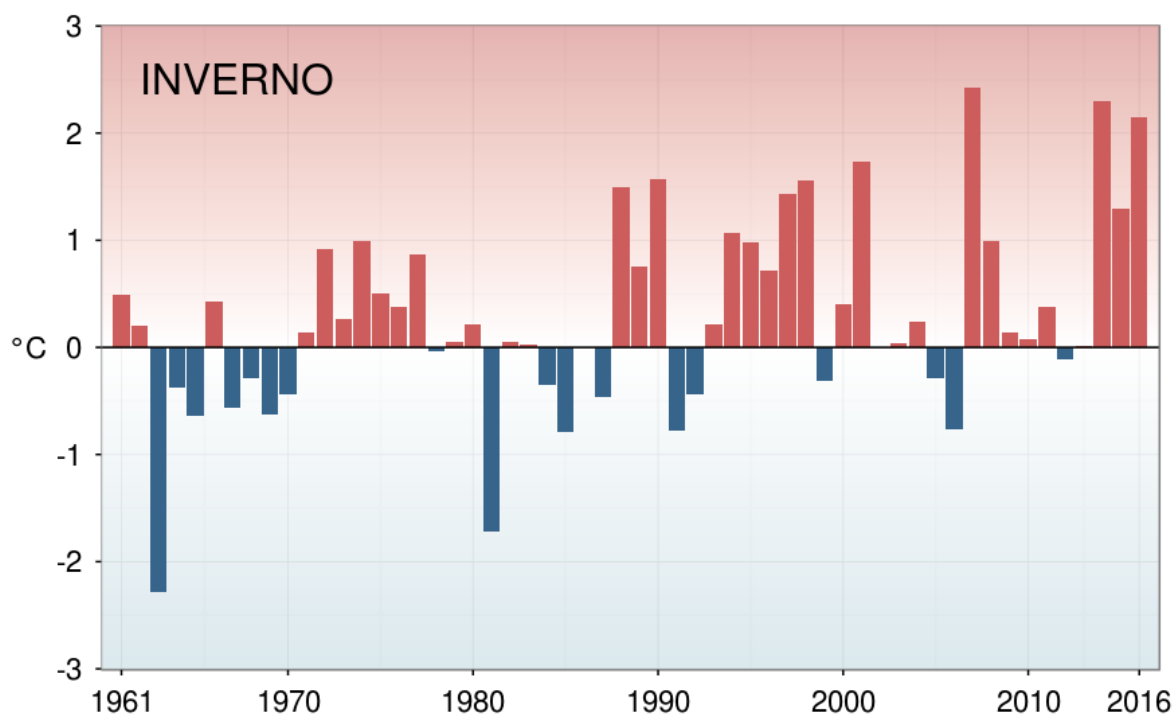


Figura 3.11a: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1961-1990 (inverno e primavera).

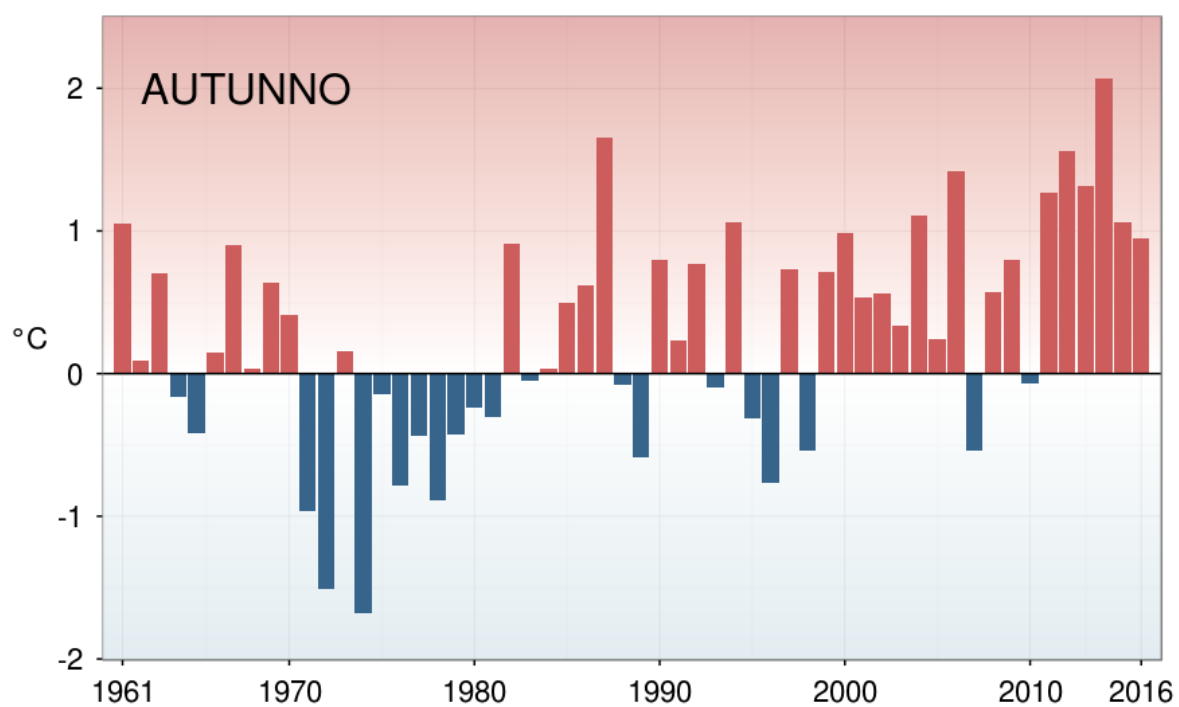
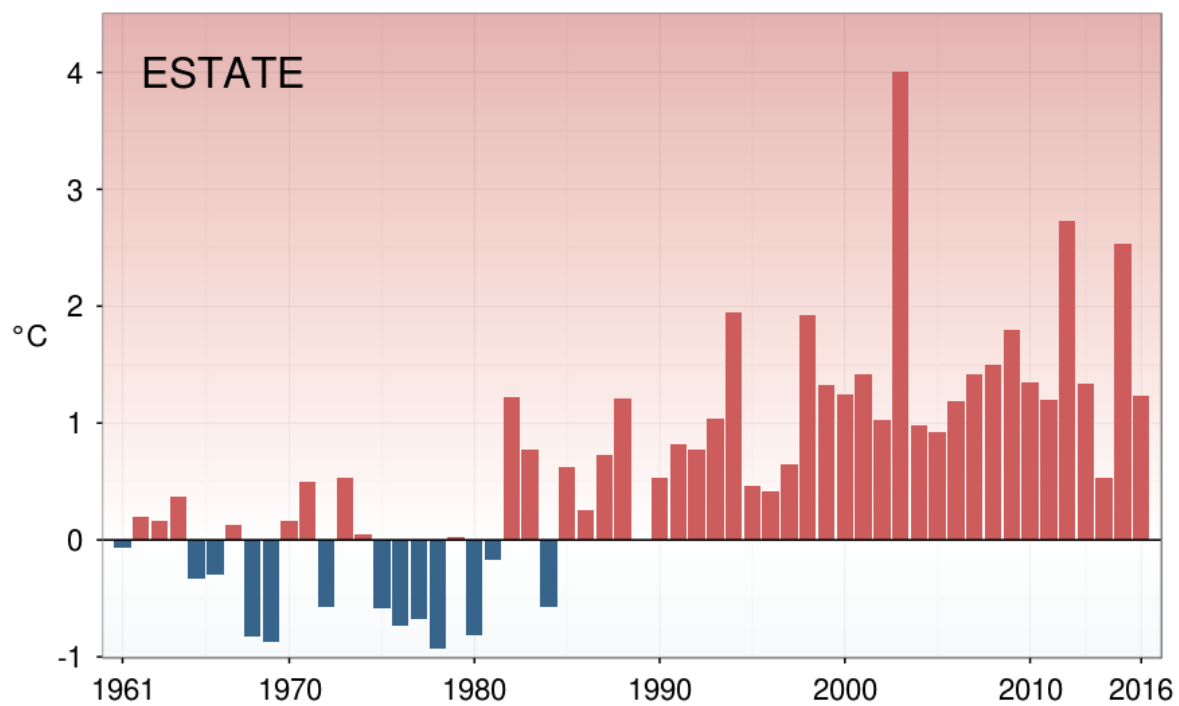


Figura 3.11b: Serie delle anomalie medie stagionali della temperatura media in Italia rispetto al valore normale 1961-1990 (estate e autunno).

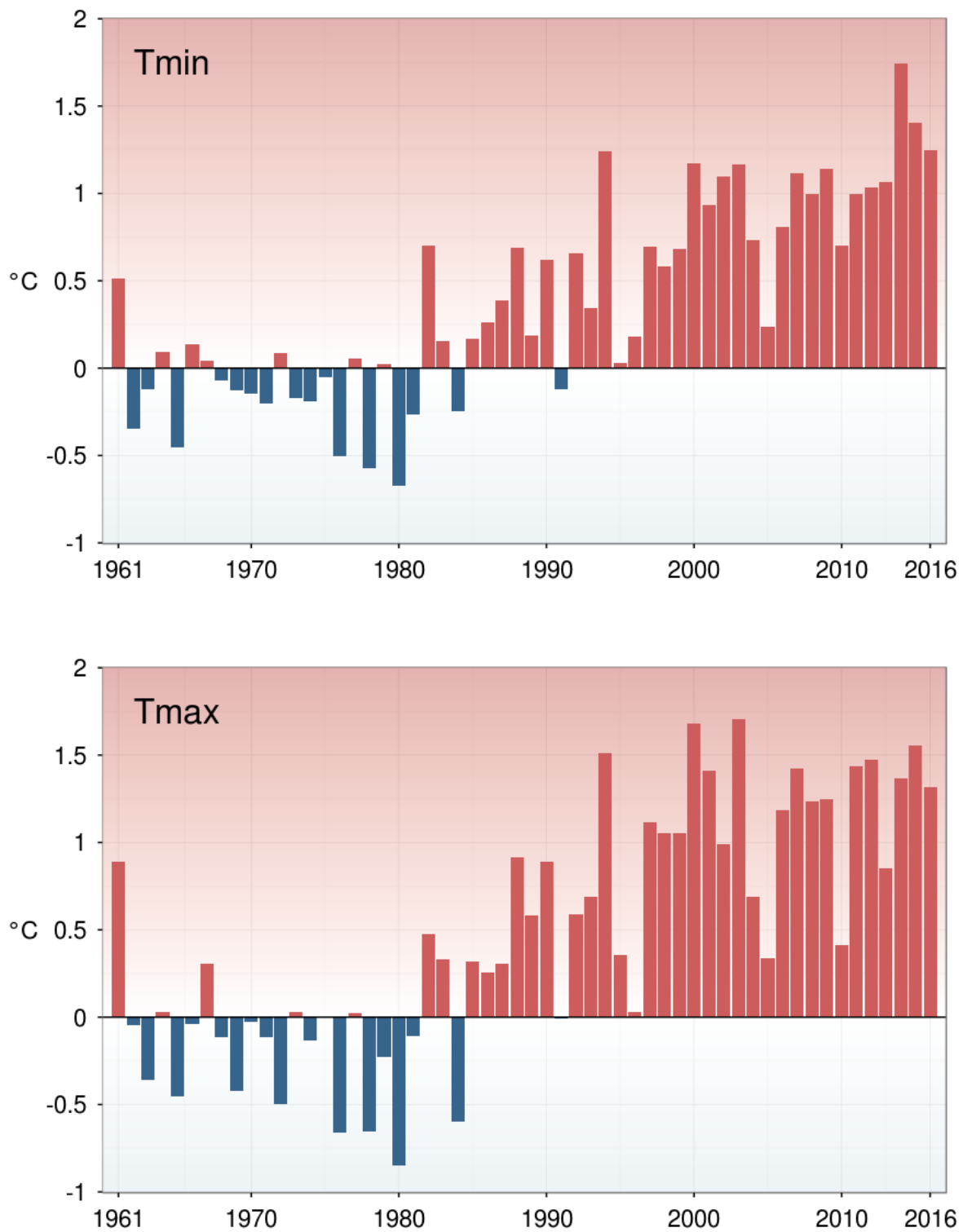


Figura 3.12: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura minima e massima in Italia rispetto al valore normale 1961-1990.

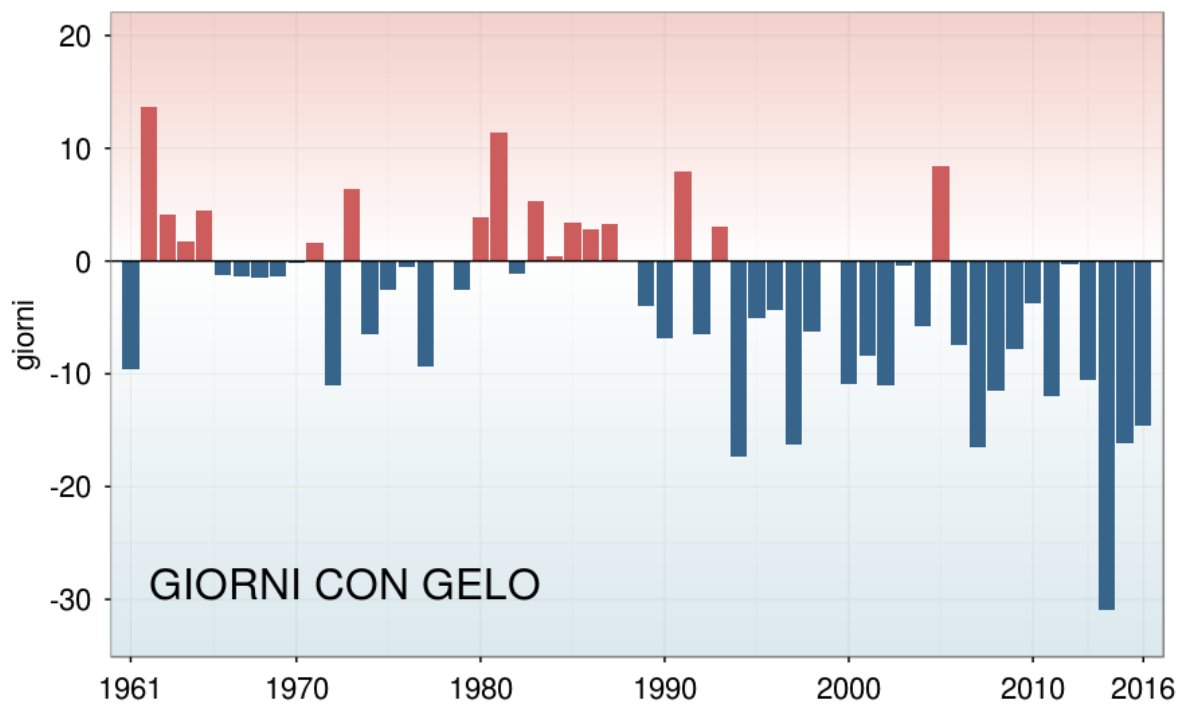


Figura 3.13: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con gelo in Italia rispetto al valore normale 1961-1990.

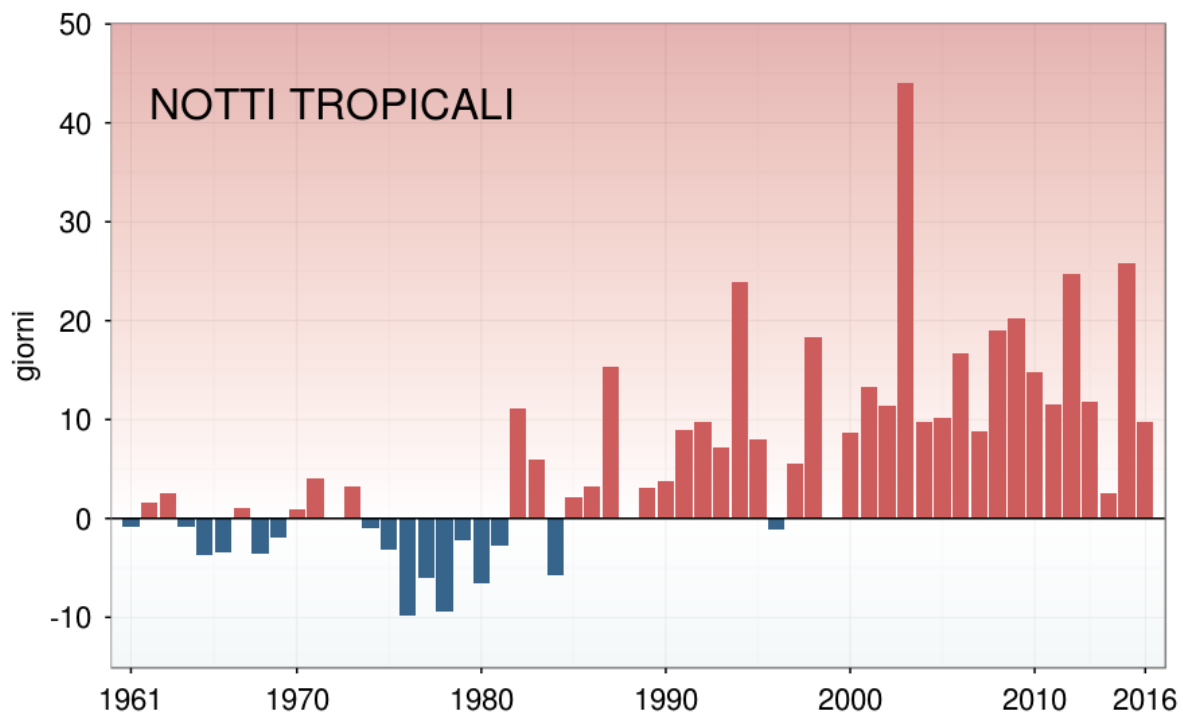


Figura 3.14: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti tropicali in Italia rispetto al valore normale 1961-1990.

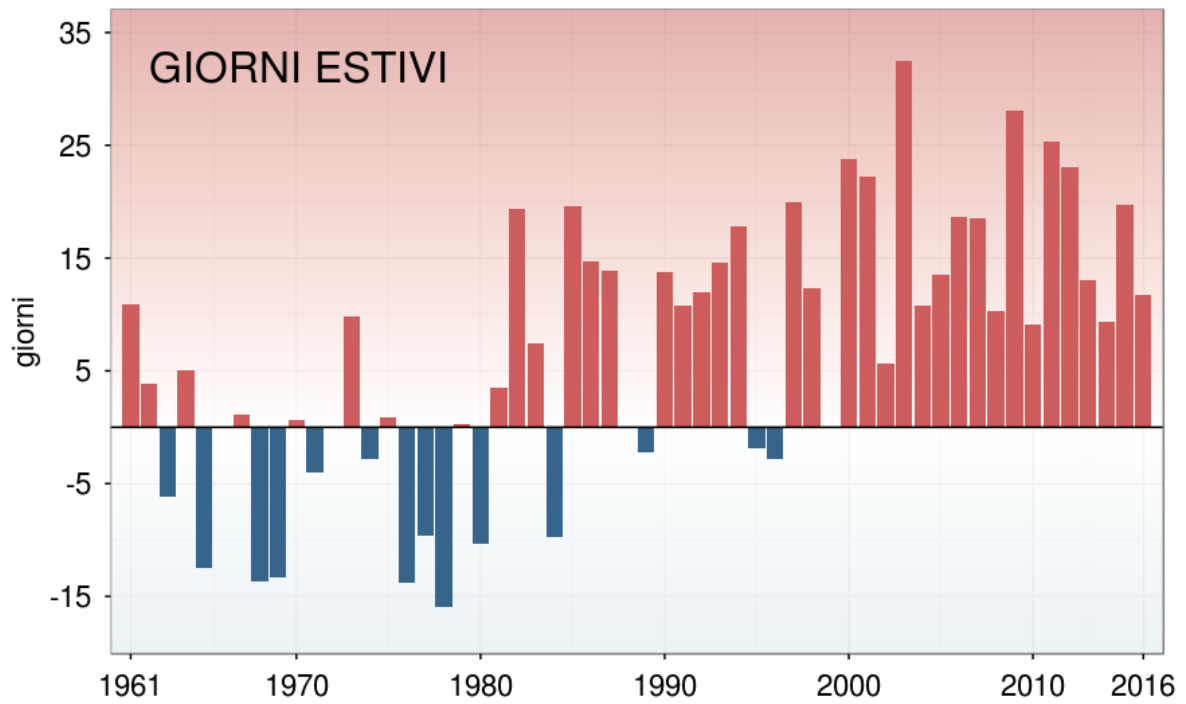


Figura 3.15: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni estivi in Italia rispetto al valore normale 1961-1990.

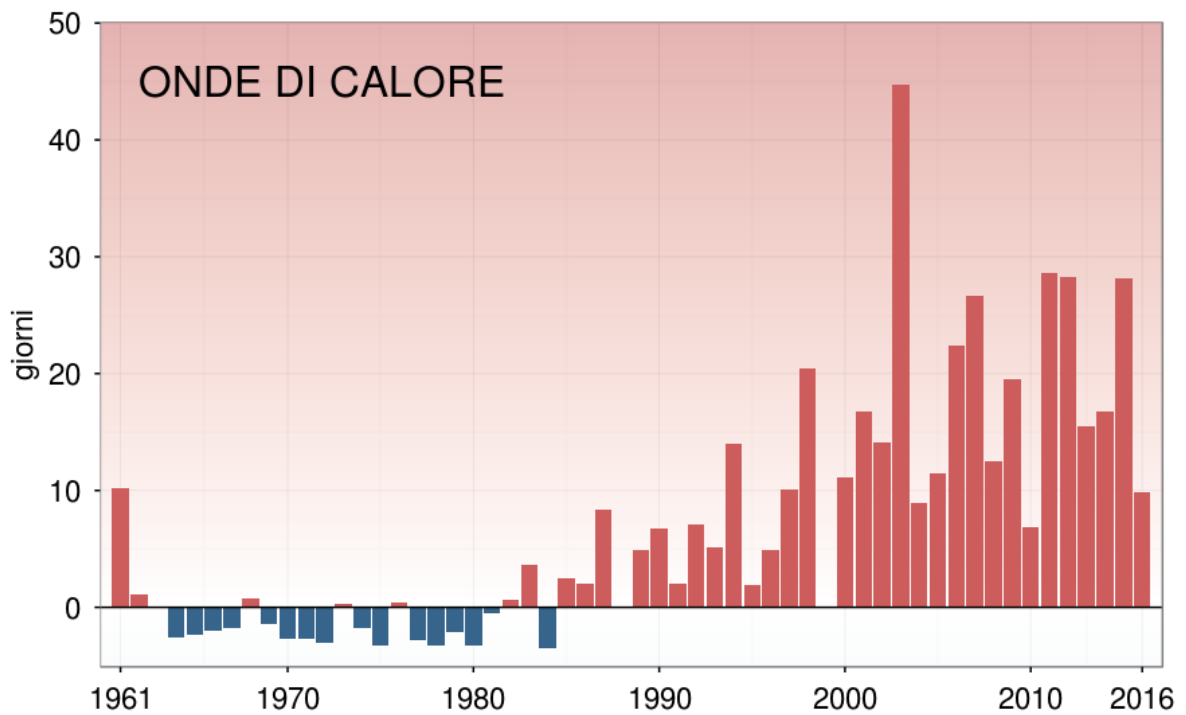


Figura 3.16: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni con onde di calore (WSDI) in Italia rispetto al valore normale 1961-1990.

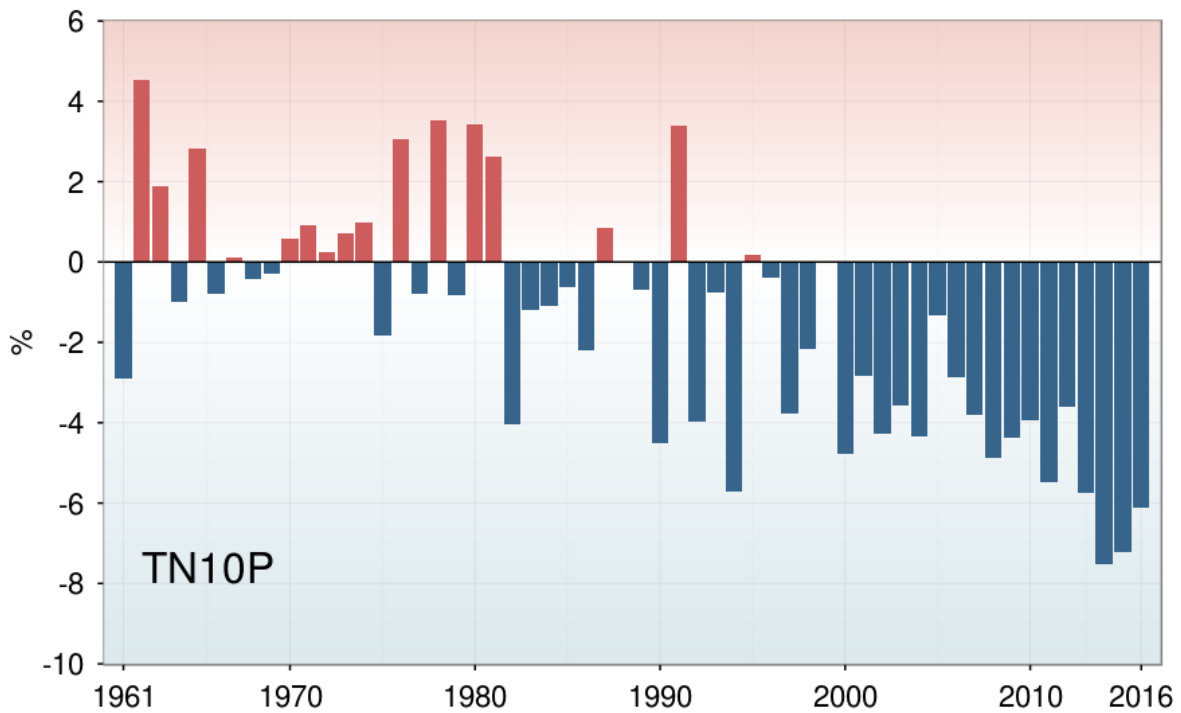


Figura 3.17: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti fredde in Italia (TN10p), espresso in % di giorni/anno rispetto al valore normale 1961-1990.

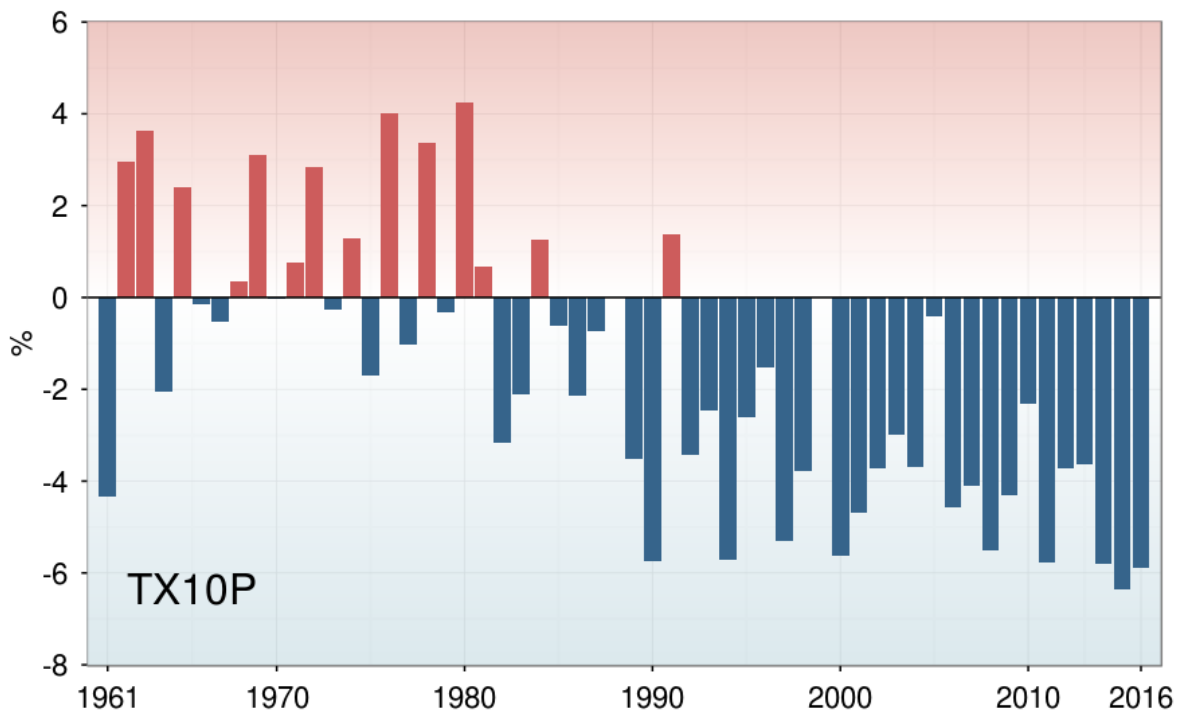


Figura 3.18: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni freddi in Italia (TX10p), espresso in % di giorni/anno rispetto al valore normale 1961-1990.

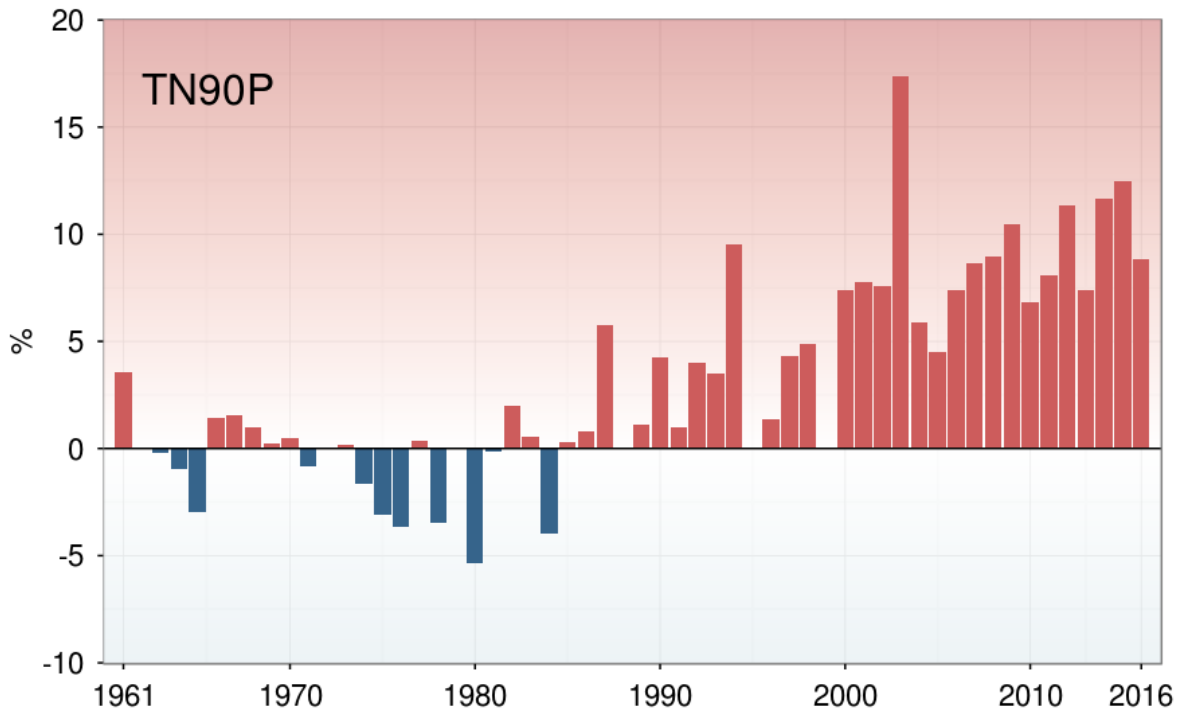


Figura 3.19: Serie delle anomalie medie annuali del numero di notti calde in Italia (TN90p), espresso in % di giorni/anno rispetto al valore normale 1961-1990.

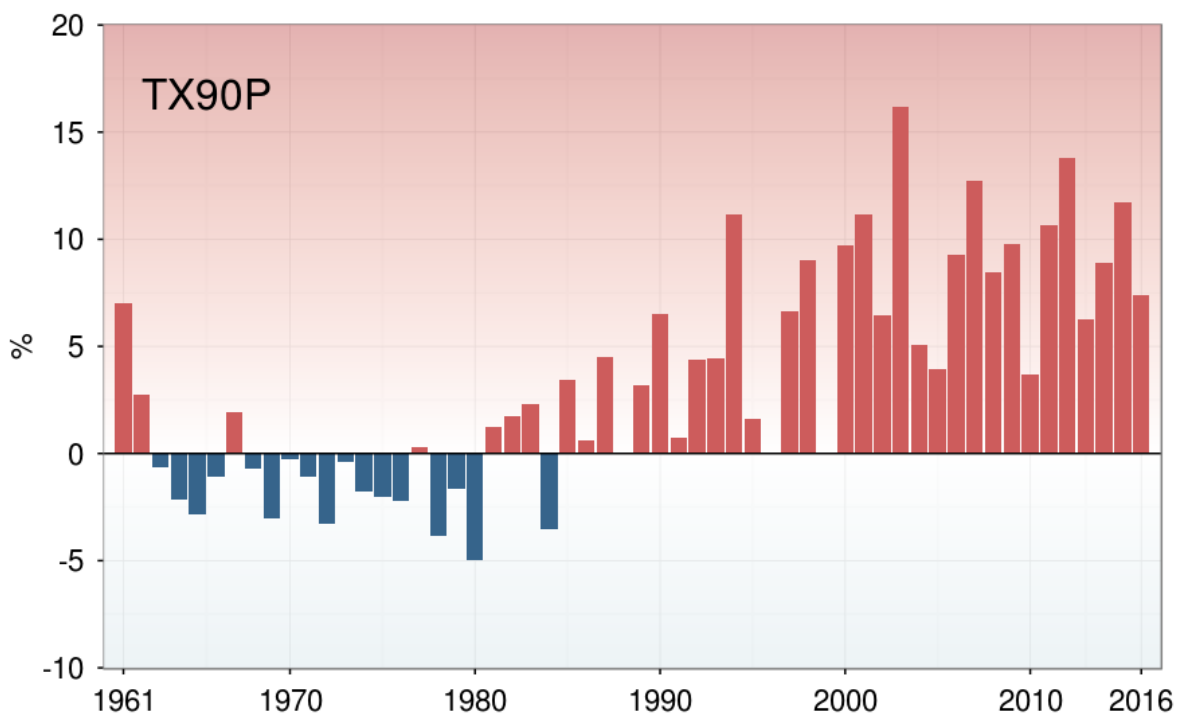


Figura 3.20: Serie delle anomalie medie annuali del numero di giorni caldi in Italia (TX90p), espresso in % di giorni/anno rispetto al valore normale 1961-1990.

4. TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

Gli indicatori 2016 della temperatura superficiale dei mari italiani sono stati calcolati a partire dai dati elaborati dalla *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Essi rappresentano le stime dei valori medi mensili su un grigliato regolare alla risoluzione spaziale di $2^\circ \times 2^\circ$, ottenute dal lavoro di ricostruzione spaziale stabile della temperatura superficiale del mare a scala globale [18,19]. Le stime sono basate sull'integrazione di misure da satellite e di dati dell'*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set SST* (ICOADS, <http://icoads.noaa.gov/>), che si riferiscono a misure effettuate da navi, boe ed altri tipi di piattaforma.

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

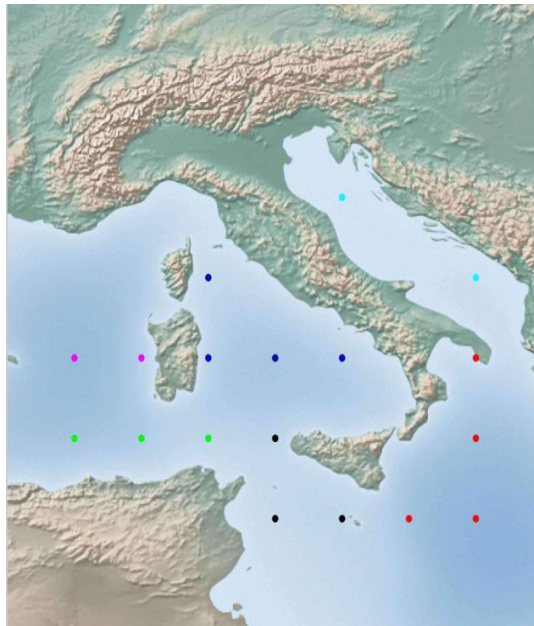


Figura 4.1: Punti di griglia selezionati per la temperatura media dei mari italiani. Colori: blu, Tirreno; celeste, Adriatico; rosso, Ionio; nero, Canale di Sicilia; verde, Canale di Sardegna; viola, Mare di Sardegna.

I valori medi annui della temperatura media superficiale dei mari italiani nel 2016, così ottenuti, sono compresi tra 18.8°C (Adriatico) e 20.8°C (Canale di Sicilia) (**figura 4.2**).

Per tutti i mari i valori mensili più bassi si registrano nel mese di marzo, e i valori massimi nel mese di agosto, tranne che per il Canale di Sardegna in cui il valore massimo si registra nel mese di settembre. Il valore minimo è stato registrato nel mare Adriatico (13.6°C), quello massimo nello Ionio (26.6°C). Analogamente alla temperatura dell'aria, la temperatura superficiale dei mari italiani nel 2016 (**figura 4.3**) è stata ben superiore alla media climatologica 1961-1990. L'anomalia media è stata positiva in tutti i mesi dell'anno e con massimi a gennaio e dicembre ($+1.3^\circ\text{C}$).

Esaminando la serie delle anomalie medie annuali rispetto al trentennio climatologico di riferimento 1961-1990, il 2016, con un'anomalia media di $+0.99^\circ\text{C}$, si colloca al 4° posto dell'intera serie, dopo il 2015, il 2012 e il 2014 (**figura 4.4**). La minore durata e intensità delle onde di calore ha determinato un'anomalia media annuale della temperatura superficiale dei mari italiani inferiore rispetto a quella del 2015, che continua ad essere l'anno più caldo della serie. Negli ultimi 20 anni l'anomalia media è stata sempre positiva.

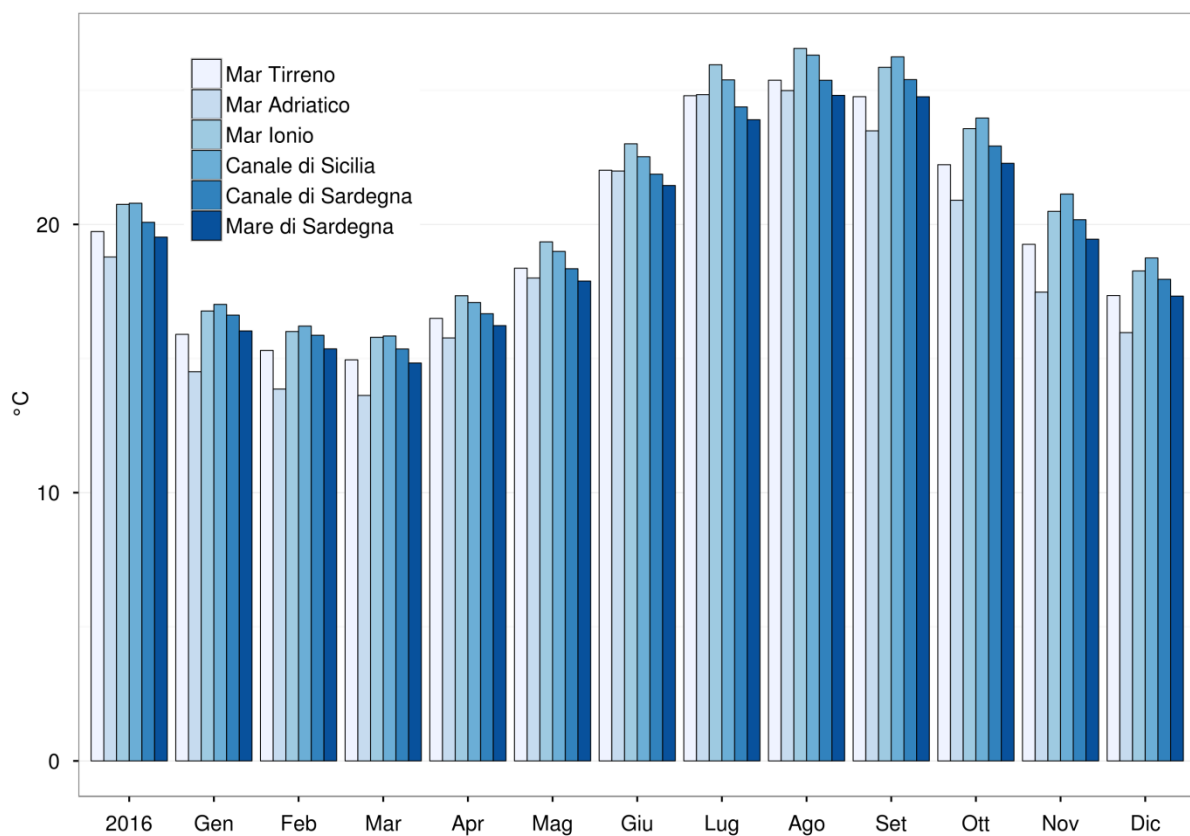


Figura 4.2: *Temperatura media superficiale del mare 2016 in Italia (annuale e mensile). Elaborazione ISPRA su dati NOAA.*

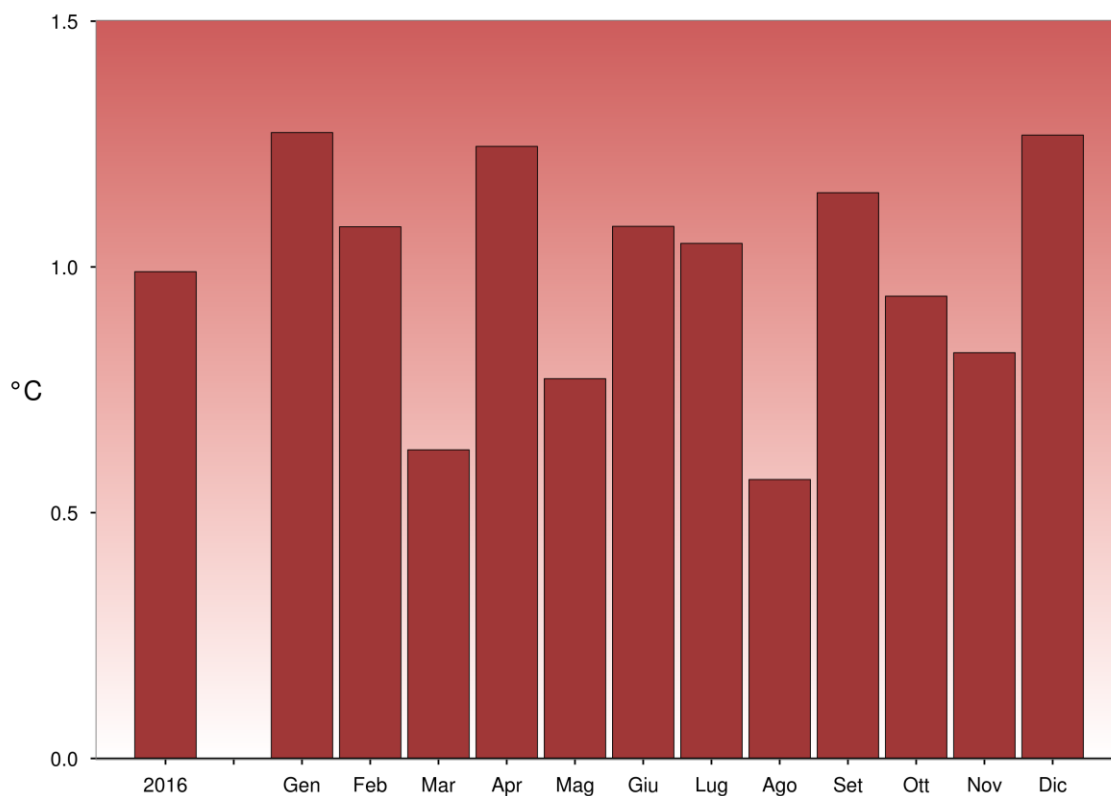


Figura 4.3: Anomalia media 2016 (annuale e mensile) della temperatura media superficiale dei mari italiani rispetto al valore normale 1961-1990. Elaborazione ISPRA su dati NOAA.

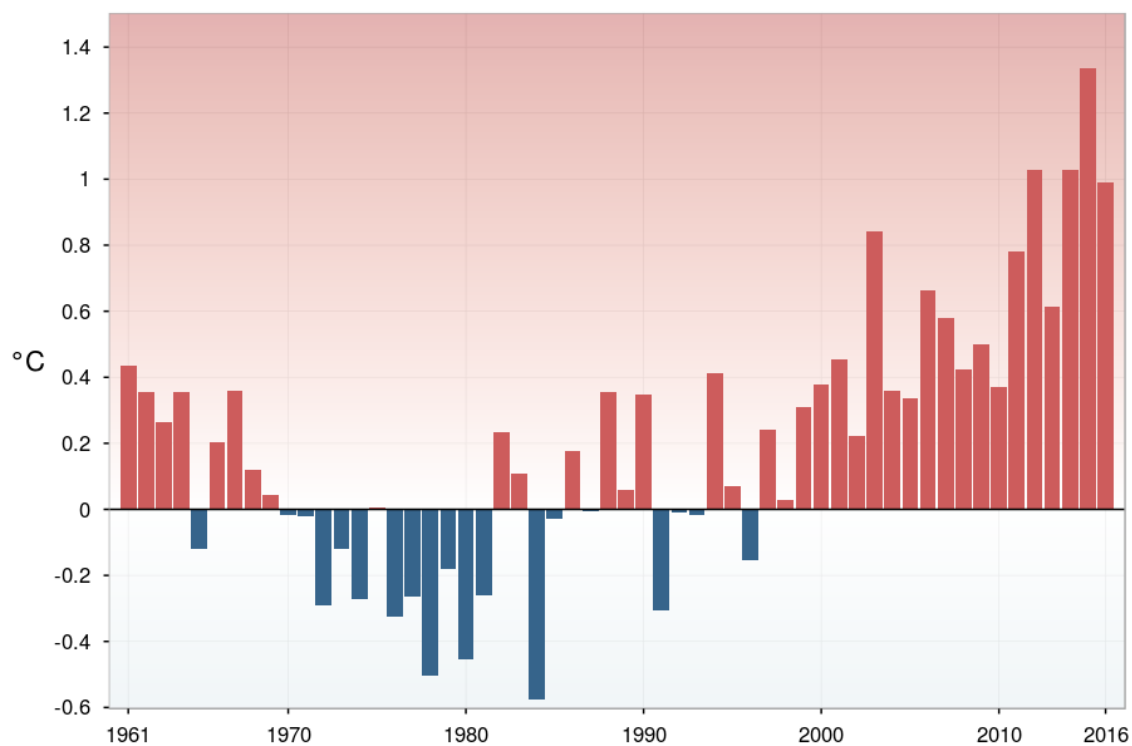


Figura 4.4: Serie delle anomalie medie annuali della temperatura media superficiale dei mari italiani, rispetto al valore normale 1961-1990. Elaborazione ISPRA su dati NOAA.

5. PRECIPITAZIONE

Anno 2016

Nella **figura 5.1** sono rappresentate le precipitazioni cumulate annuali calcolate sulle serie di dati disponibili per il 2016. Le stazioni di misura sono rappresentate da simboli diversi a seconda della rete di appartenenza.

I valori di precipitazione cumulata più elevati del 2016 sono stati registrati da Musi (UD, 620 m s.l.m.), con 3324 mm, e da Chievolis (PN, 350 m s.l.m.), con 2509 mm, entrambe stazioni della rete regionale del Friuli Venezia Giulia.

L'andamento delle precipitazioni in Italia nel corso del 2016 è illustrato dal grafico di **figura 5.2** e dalle mappe delle **figure 5.3–5.5**. I valori di anomalia della precipitazione cumulata sono stati calcolati rispetto al valore climatologico 1951-1980, trentennio che garantisce una migliore copertura spaziale delle stazioni con dati utili.

Le precipitazioni cumulate annuali del 2016 in Italia sono state complessivamente inferiori alla media climatologica del 6% circa. L'anomalia presenta differenze anche sensibili tra diverse aree del territorio italiano. Suddividendo il territorio nazionale in tre macroaree per gruppi di regioni, al Centro (-8%) ed al Sud e sulle Isole (-11%) il 2016 è stato meno piovoso della norma, al Nord pressoché nella norma (-1%).

Per quanto riguarda l'andamento nel corso dell'anno, il mese più piovoso rispetto alla norma è stato febbraio al Nord e al Centro e settembre al Sud e sulle Isole, mentre il mese più secco della norma è stato dicembre ovunque ad eccezione di parte della Sicilia e della Sardegna. Per molte regioni il 2016 è stato il secondo anno consecutivo con assenza di precipitazioni significative a dicembre. Viceversa, i mesi di maggio e giugno sono stati più piovosi della norma quasi ovunque.

Le **figure 5.3** e **5.4** mostrano la distribuzione spaziale dell'anomalia di precipitazione cumulata annuale del 2016, espressa rispettivamente come differenza percentuale e come differenza in mm di precipitazione rispetto al valore climatologico 1951-1980. I settori occidentale e centrale del Nord, l'Italia centrale e le isole maggiori risultano le aree con anomalia di precipitazione annuale negativa più evidente. Le mappe delle **figure 5.5a** e **5.5b** mostrano l'andamento delle precipitazioni sul territorio nazionale mese per mese: sono evidenti le forti ed estese anomalie negative nei mesi di gennaio, aprile e soprattutto di dicembre.

La realizzazione delle mappe comporta uno *smoothing* dei valori di anomalia, per cui le anomalie positive o negative di singole stazioni possono superare significativamente gli estremi della scala riportata sulla destra di ogni mappa. Inoltre, per quanto riguarda la Sardegna, le mappe sono rappresentative solo di un numero limitato di stazioni costiere, in quanto il sistema SCIA non dispone, ad oggi, di valori normali mensili ad alta risoluzione spaziale per questa regione. Come per le temperature, stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia su tutte le figure, in modo da renderne più facile e immediato il confronto.

Variazioni e tendenze

L'andamento delle precipitazioni in Italia negli ultimi decenni è illustrato dalle serie di anomalie di precipitazione cumulata annuale nel periodo 1951-2016, rispetto al valore climatologico 1951-1980 (**figura 5.6**). In considerazione sia della notevole variabilità spaziale e temporale delle precipitazioni che della disomogeneità dei dati disponibili, le tre serie (Nord, Centro, Sud e Isole) sono state calcolate aggregando spazialmente i dati con il metodo dei poligoni di Thiessen (o tassellatura di Voronoi) [20]. I criteri di selezione delle serie e il procedimento adottato per il calcolo delle anomalie annuali nelle tre macro-aree è descritto in [10].

Nella tabella 2 vengono riassunti i trend della precipitazione cumulata nel periodo 1951-2016, calcolati con un modello di regressione lineare. Le stime sono sostanzialmente confermate anche applicando un modello non parametrico (stimatore di Theil - Sen e test di Mann - Kendall, [21]).

Su base annuale le tre serie rappresentative di Nord, Centro, Sud e isole (**figura 5.6**) mostrano un trend significativo solo per il Centro (con una diminuzione di $2.0 \pm 0.9\%$ su 10 anni); su base stagionale (serie aggregata rappresentativa dell'intero territorio nazionale, **figura 5.7**), non risultano tendenze statisticamente significative. Per l'inverno, la precipitazione cumulata stagionale di un certo anno

viene determinata aggregando i mesi di gennaio e febbraio di quell'anno con il mese di dicembre dell'anno precedente.

PRECIPITAZIONE CUMULATA	TREND (%/10 anni)
ANNUALE	
Nord	(-0.8 ± 1.0)
Centro	-2.0 ± 0.9
Sud e Isole	(-1.7 ± 0.9)
STAGIONALE (Italia)	
Inverno	(-3.1 ± 1.8)
Primavera	(-0.3 ± 1.3)
Estate	(-0.3 ± 1.9)
Autunno	(-0.6 ± 1.5)

Tabella 2: Trend stimati (e relative deviazioni standard) delle precipitazioni cumulate dal 1951 al 2016. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi al livello del 5%.

Frequenza, intensità, estremi

Nella **figura 5.8** sono rappresentate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2016. 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.

Il valore più elevato è stato registrato dalla stazione di Fiorino (GE, 236 m s.l.m.) della rete regionale della Liguria, in occasione dell'evento estremo del 22 novembre 2016: 583 mm di precipitazione cumulata giornaliera. Lo stesso giorno altre stazioni della rete regionale della Liguria hanno registrato valori molto elevati di precipitazione cumulata giornaliera, tra cui: Mele (GE, 278 m s.l.m.) 403 mm, Passo del Turchino (GE, 590 m s.l.m.) 373 mm, Campo Ligure (GE, 335 m s.l.m.) 329 mm (fig. 5.8b).

Nella **figura 5.9a e 5.9b** (zoom sulla Liguria) sono rappresentate le precipitazioni massime orarie registrate nel 2016. Tra le stazioni con serie di dati orari disponibili (5 regioni non sono rappresentate), i valori più elevati sono stati registrati in Liguria a Fiorino (100.8 mm), seguito da Madonna delle Grazie (GE, 76.4 mm).

Le precipitazioni massime giornaliere di circa 60 stazioni con i necessari requisiti di continuità e completezza delle serie e distribuite in modo abbastanza uniforme sul territorio nazionale, sono state elaborate e aggregate spazialmente per ricavare 3 serie di anomalie annuali rispetto al periodo climatologico 1961-1990 (**figura 5.10**). Dall'analisi di queste serie non emergono segnali statisticamente significativi di variazioni; tuttavia, dalla serie relativa al Nord si nota come negli ultimi 31 anni, solo 7 hanno registrato un valore inferiore alla media climatologica e negli ultimi 9 anni solo il 2015 ed il 2013 hanno registrato un valore inferiore alla media climatologica.

Nella **figura 5.14** sono rappresentati i valori del numero di giorni asciutti, cioè con precipitazione inferiore o uguale a 1 mm. Il valore più elevato si registra a Capo Bellavista (NU) con 334 giorni. Il valore più basso è stato registrato dalla stazione di Passo Brocon (TN, 214 giorni), seguito da Passo Cereda (TN, 216 giorni). Per tutte le regioni nord-orientali, la Lombardia, le Marche e molte aree delle regioni centrali e meridionali e delle Isole, tutto il mese di dicembre è stato praticamente asciutto.

Nella **figura 5.15** sono rappresentati i valori di un indice di siccità, il *Consecutive Dry Days* (CDD), che rappresenta il numero massimo di giorni consecutivi nell'anno, con precipitazione giornaliera inferiore o uguale a 1 mm. I valori più alti sono rappresentati dalla stazione di Castellari (SV, rete regionale Liguria) con 125 giorni, seguita dalla stazione di Capo Bellavista (NU, rete sinottica nazionale) con 114 giorni e da Montenotte Inferiore (SV) e Sabaudia (LT) con 108 giorni; i valori più bassi sono rappresentati da due stazioni della rete sinottica nazionale: Passo dei Giovi (GE) ed Aviano (PN), con 6 giorni.

Come per la temperatura, per valutare l'andamento della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi

di precipitazione, sono stati presi in considerazione alcuni indici definiti dal Gruppo di Lavoro della Commissione per la Climatologia dell'OMM [13]. 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 macro-area. 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 [15,16], sono descritti in [11]. Per favorire l'ingresso di un maggior numero di serie, è stato considerato come periodo di riferimento il trentennio climatologico 1971-2000 e i risultati sono presentati sotto forma di serie di anomalie degli indici dal 1971 al 2016.

L'indice R10 rappresenta il numero di giorni nell'anno con precipitazione ≥ 10 mm (**figura 5.11**). 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 1971-2000 (**figura 5.12**). L'intensità di pioggia giornaliera (SDII, *Simple Daily Intensity Index*) rappresenta la precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno, considerando piovosi i giorni con precipitazione ≥ 1 mm (**figura 5.13**). Tutte le serie temporali di questi indici, sottoposte ad analisi delle tendenze con modelli di regressione lineari o non parametrici [21], non mostrano trend statisticamente significativi (al livello del 5%) dal 1971 al 2016. Complessivamente, dall'analisi delle serie temporali di questi indici non emergono segnali netti di variazioni significative della frequenza e della intensità delle precipitazioni nel medio-lungo periodo.

Va tenuto presente che i risultati sono stati ottenuti su un insieme ancora abbastanza limitato di stazioni di misura. Inoltre, per valutare in modo più approfondito l'esistenza di trend degli eventi di precipitazione intensa, sarebbe necessario elaborare lunghe serie osservative con frequenza oraria.

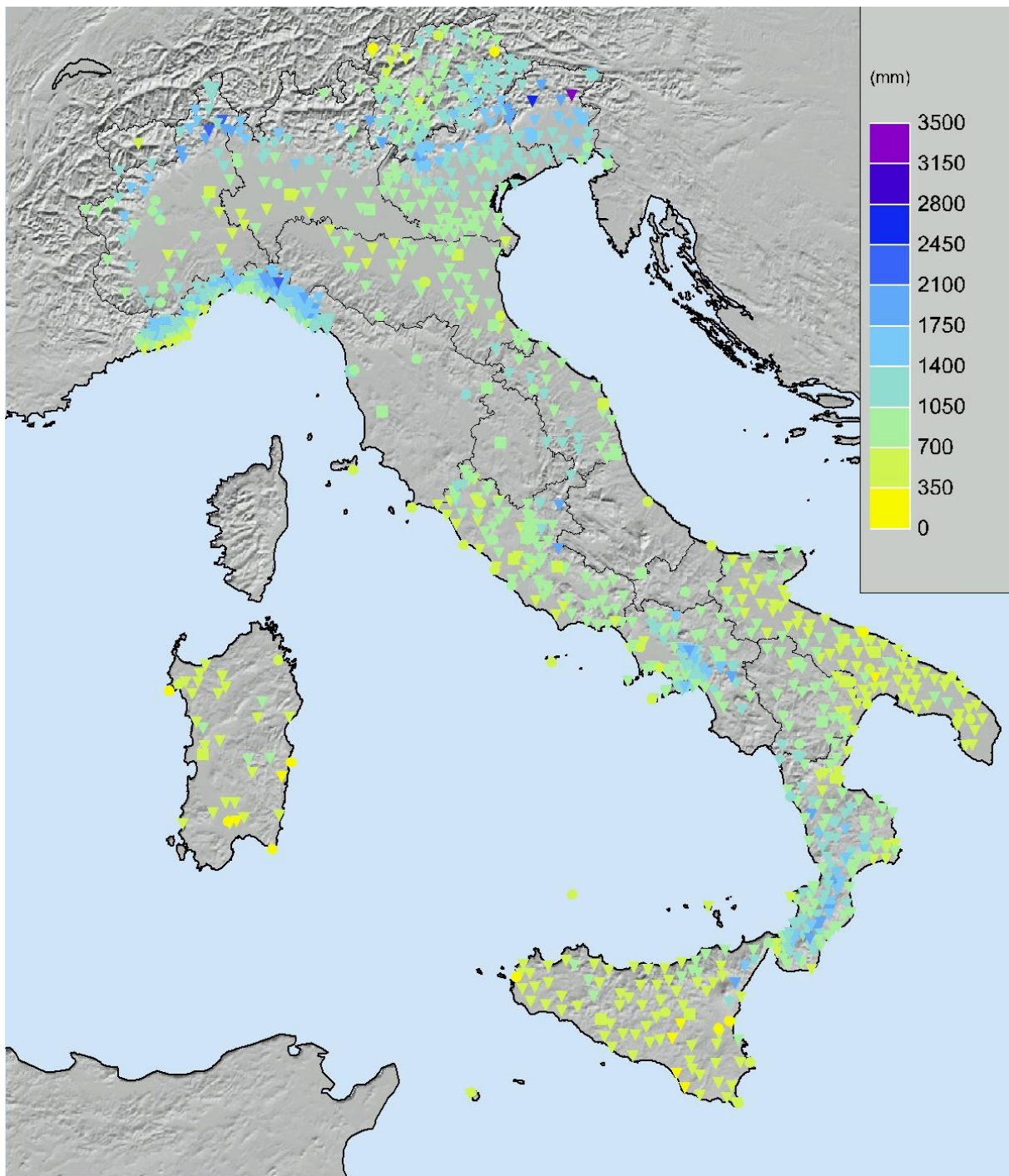


Figura 5.1: *Precipitazione cumulata 2016.*

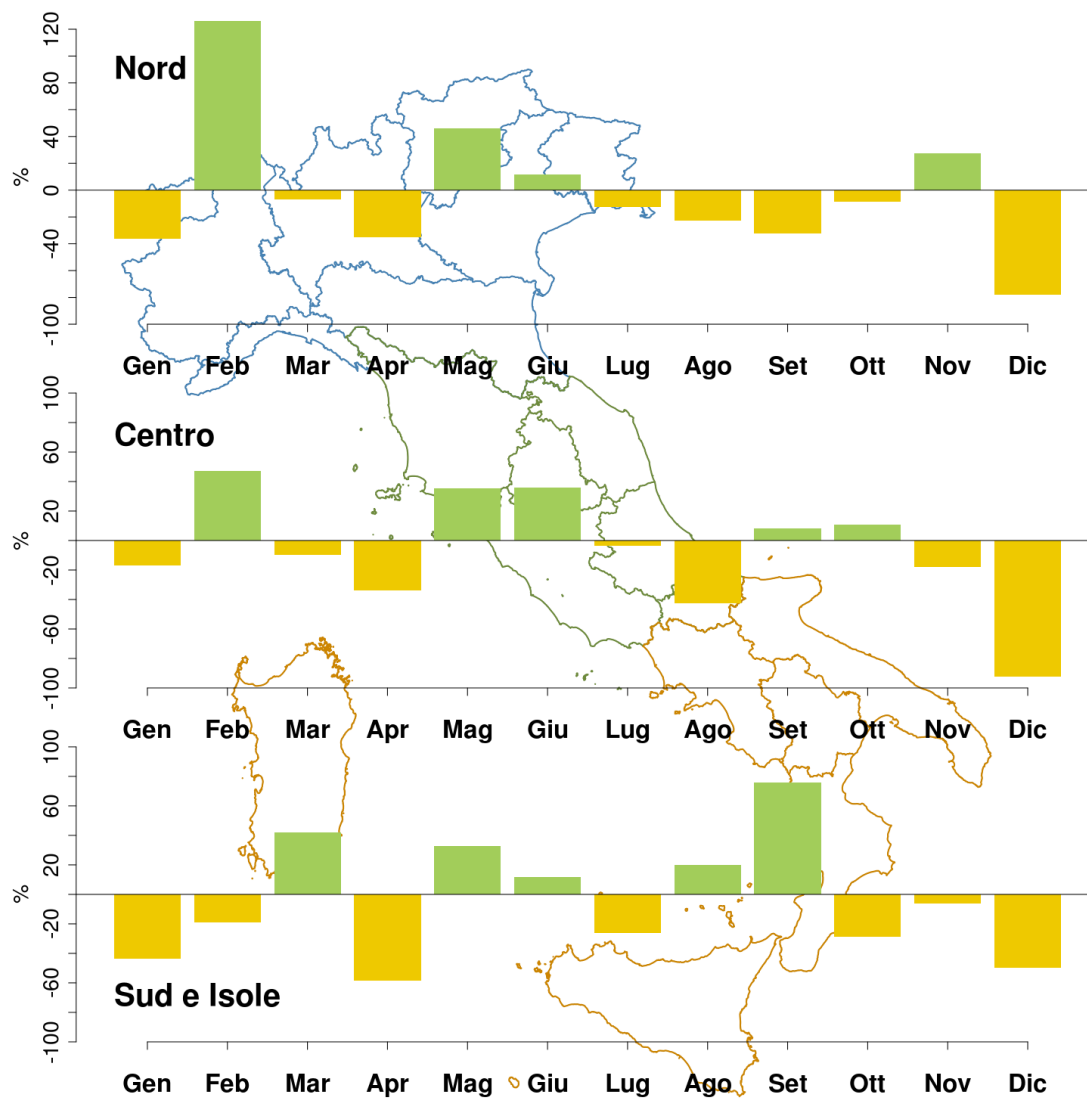


Figura 5.2: Anomalia media mensile 2016, espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata rispetto al valore normale 1951-1980.

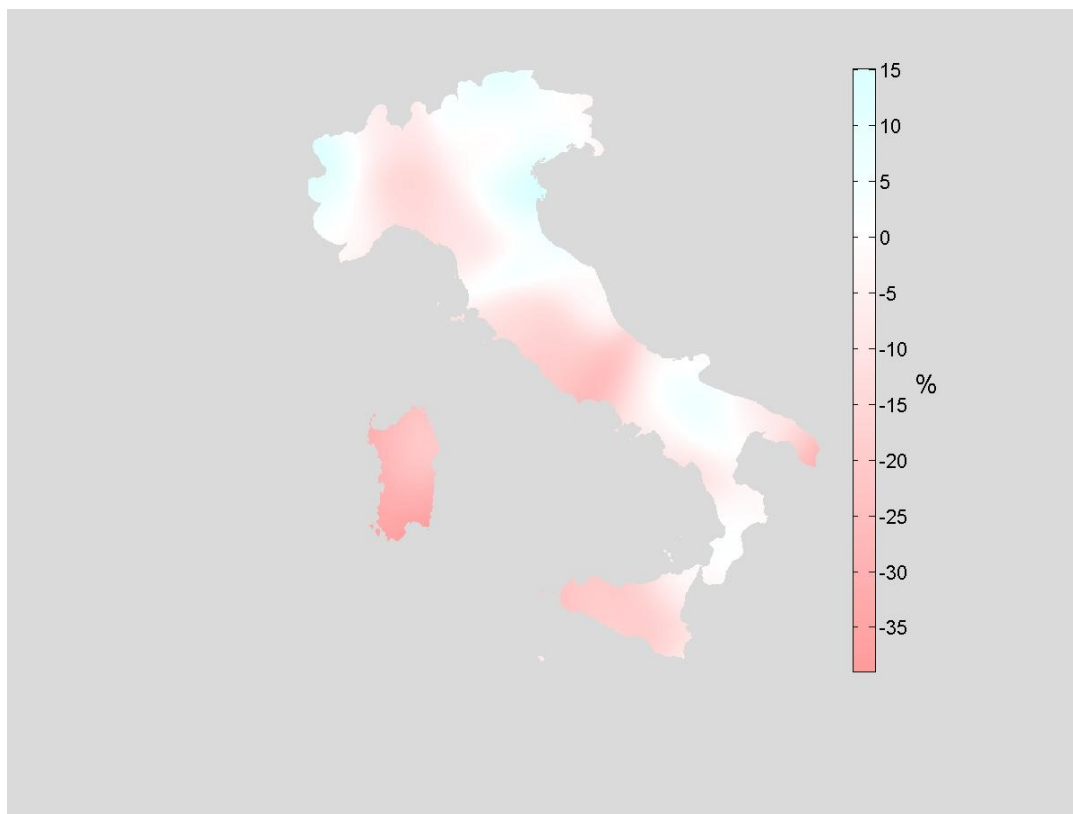


Figura 5.3: *Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2016, espressa in valori percentuali, rispetto al valore normale 1951-1980.*

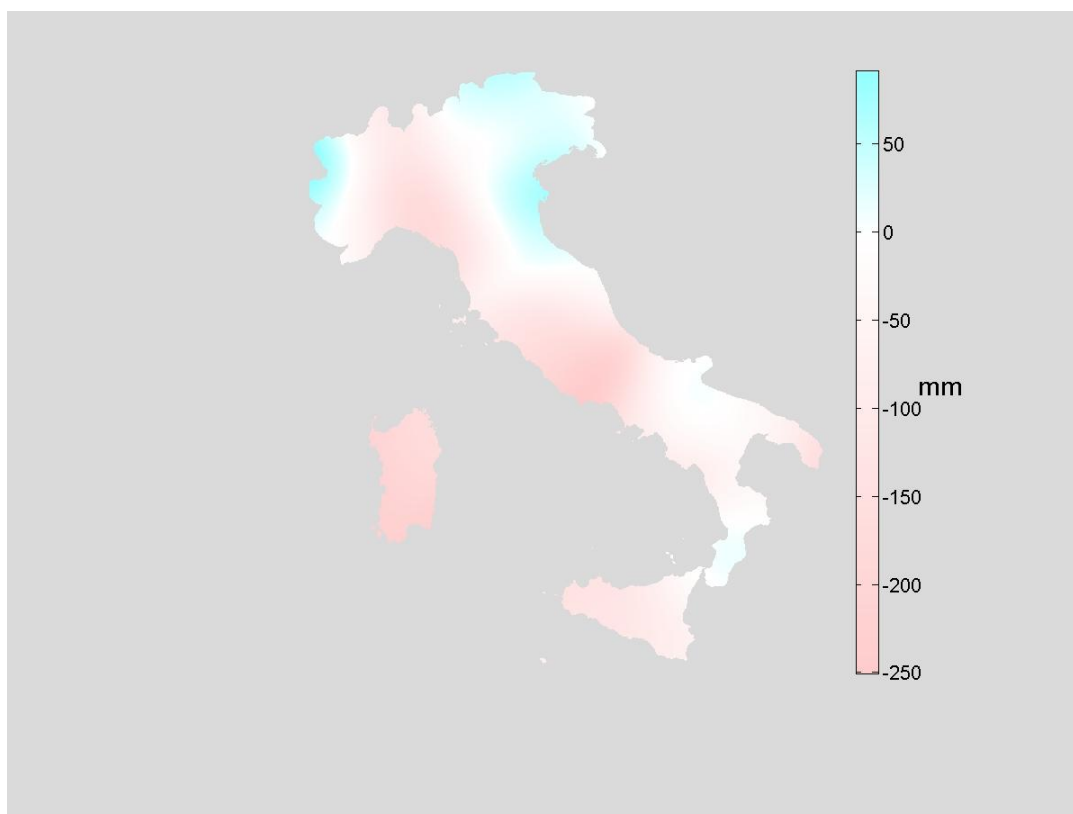


Figura 5.4: *Anomalia della precipitazione cumulata annuale 2016, espressa in mm, rispetto al valore normale 1951-1980.*

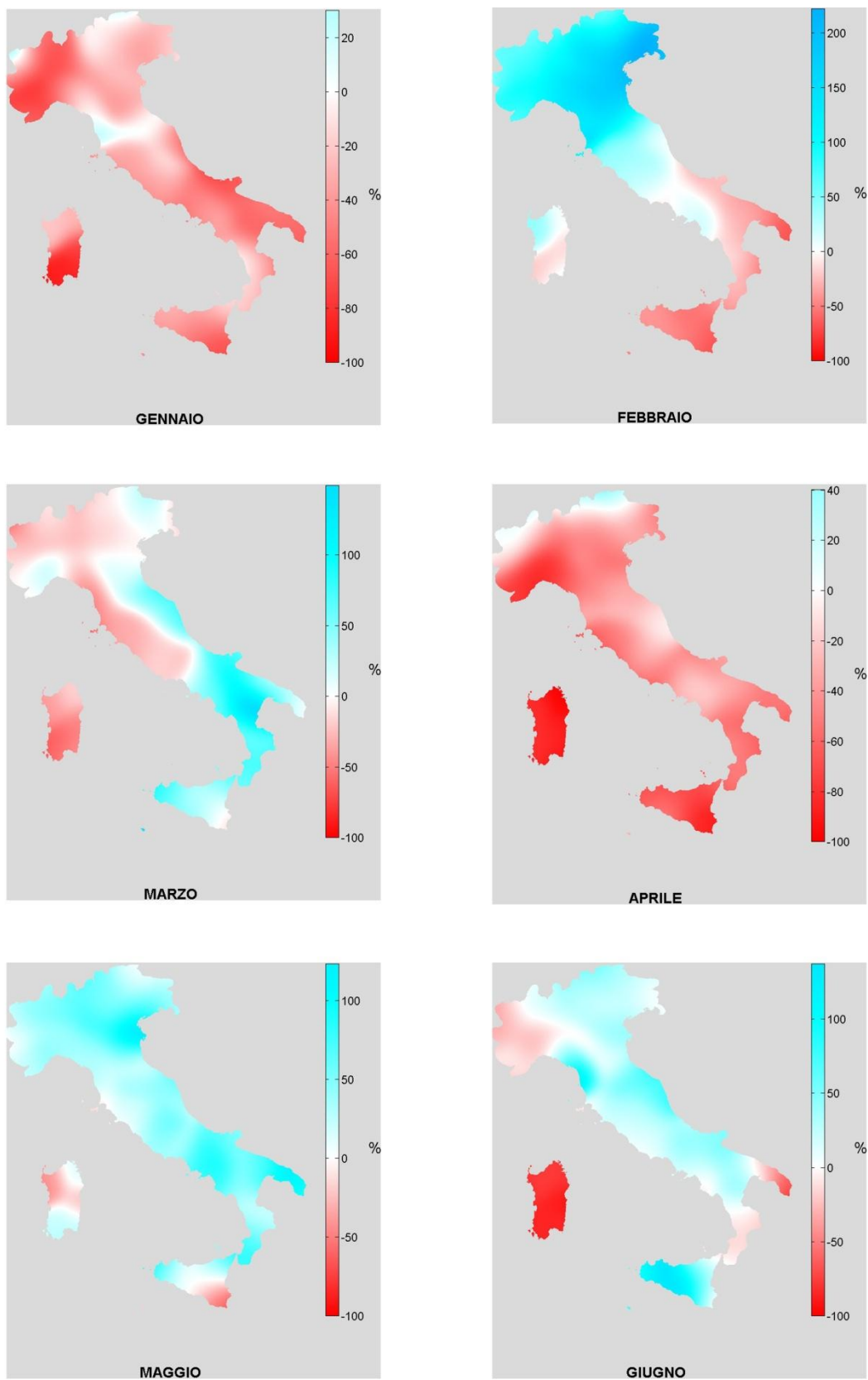


Figura 5.5a: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (gennaio-giugno) 2016, espresse in %, rispetto al valore normale 1951-1980. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

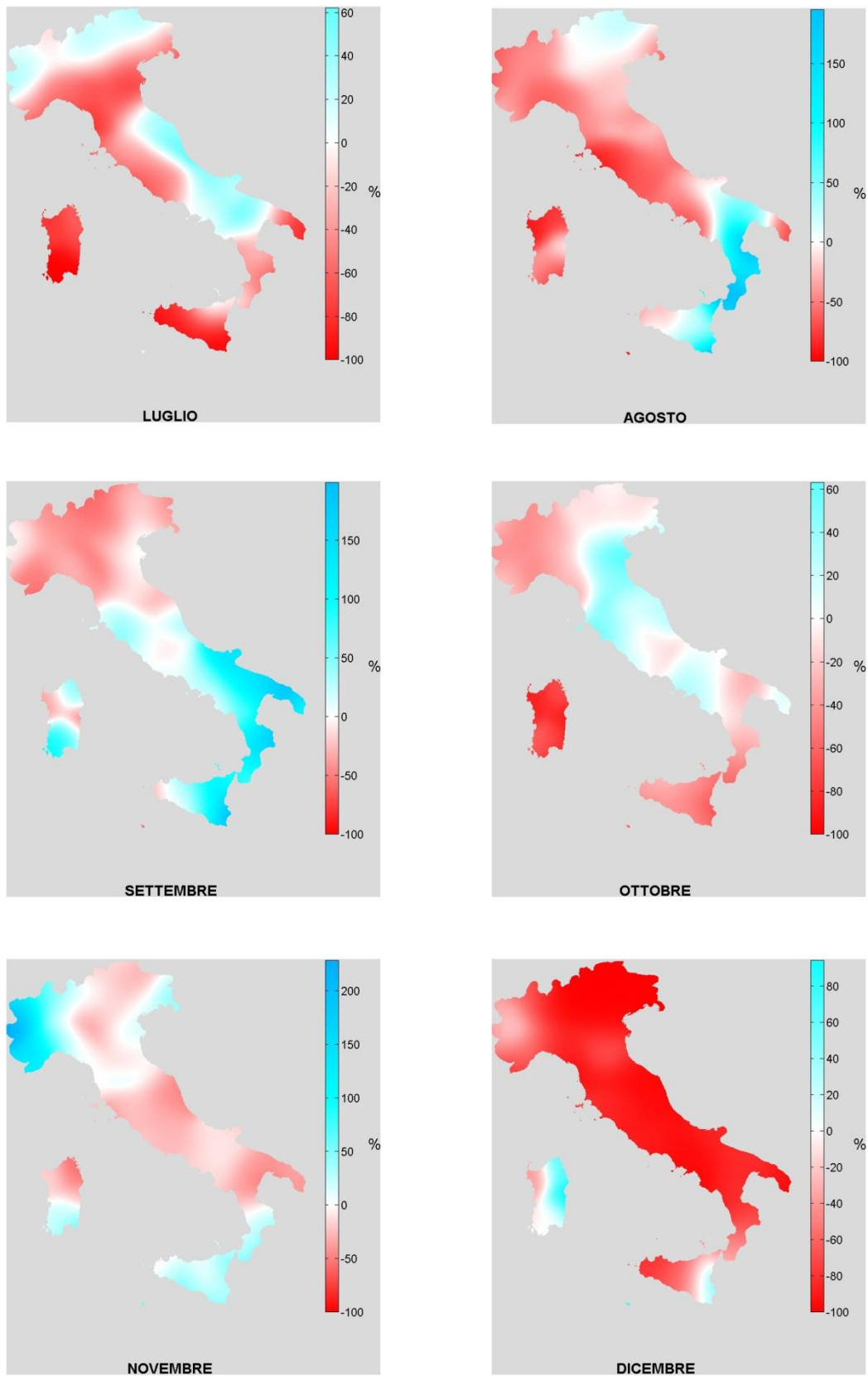


Figura 5.5b: Anomalie della precipitazione cumulata mensile (luglio-dicembre) 2016, espresse in %, rispetto al valore normale 1951-1980. Stessi colori rappresentano stessi valori di anomalia in tutte le mappe.

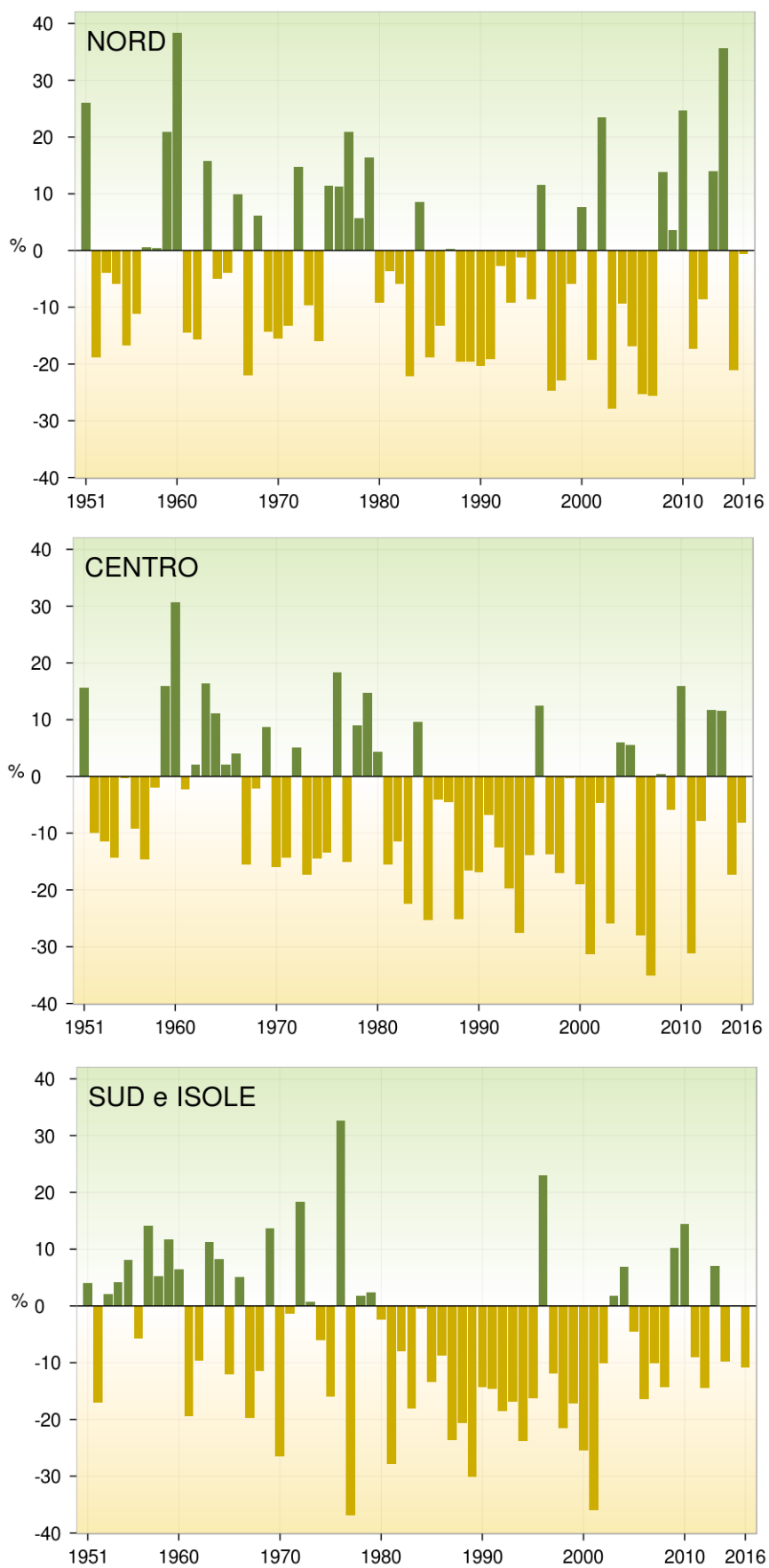


Figura 5.6: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, espresse in %, della precipitazione cumulata annuale rispetto al valore normale 1951-1980.

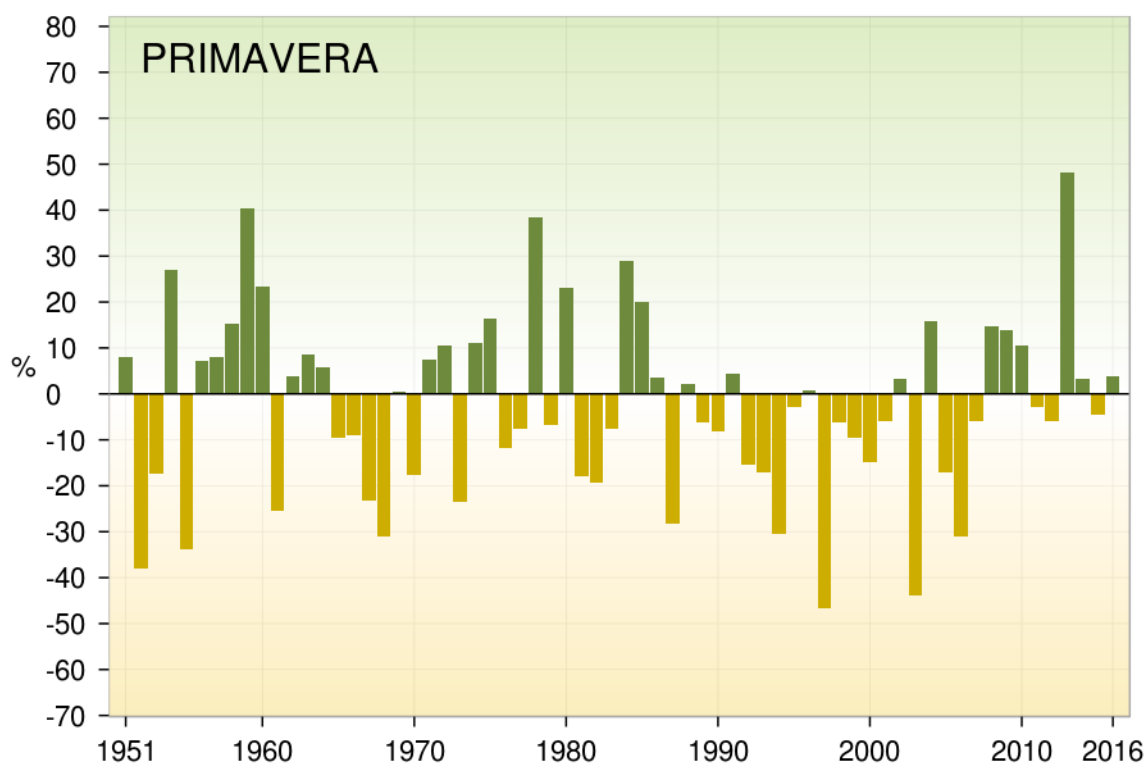
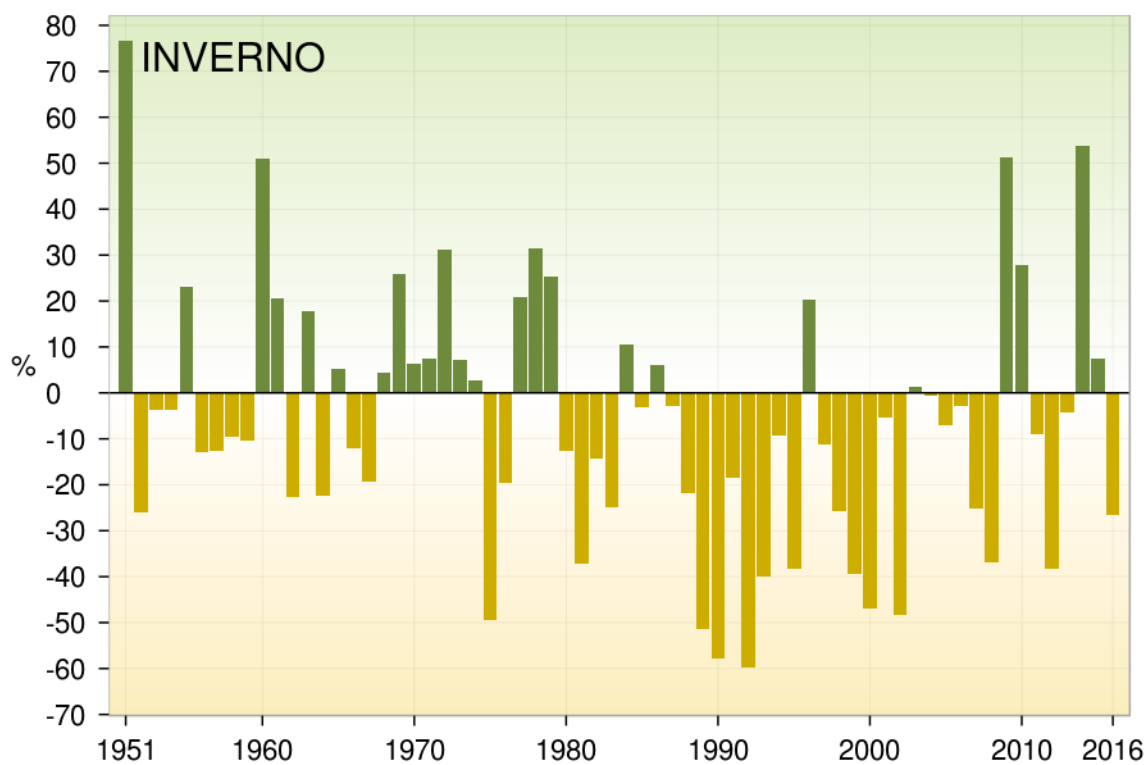


Figura 5.7a: Serie delle anomalie medie, espresse in %, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1951-1980 (inverno e primavera). Per l'inverno, sono stati aggregati i mesi di gennaio e febbraio 2016 con il mese di dicembre del 2015.

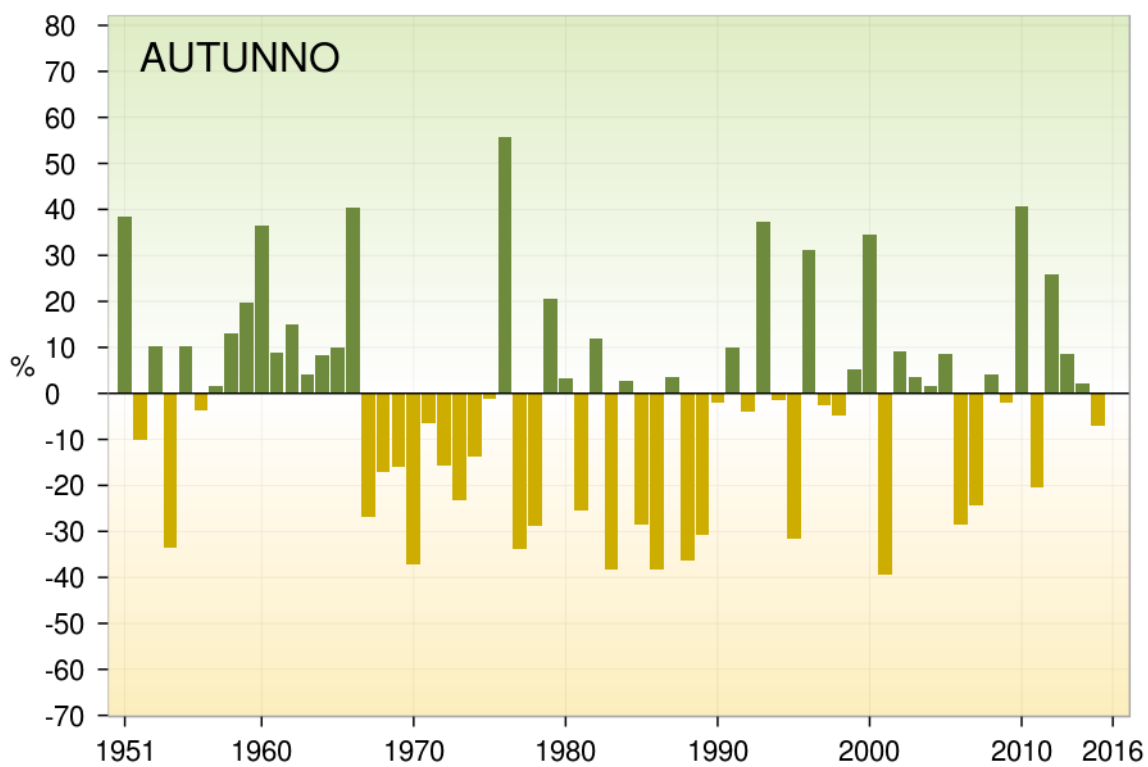
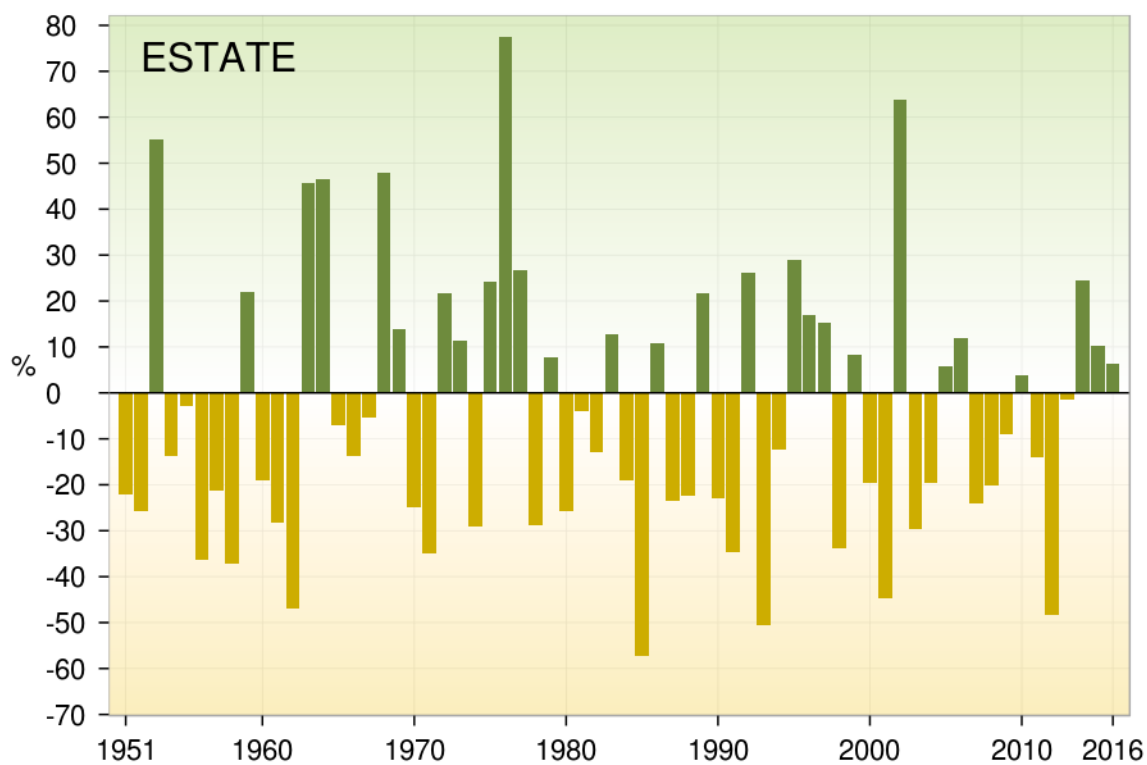


Figura 5.7b: Serie delle anomalie medie, espresse in %, delle precipitazioni cumulate stagionali in Italia rispetto al valore normale 1951-1980 (estate e autunno).

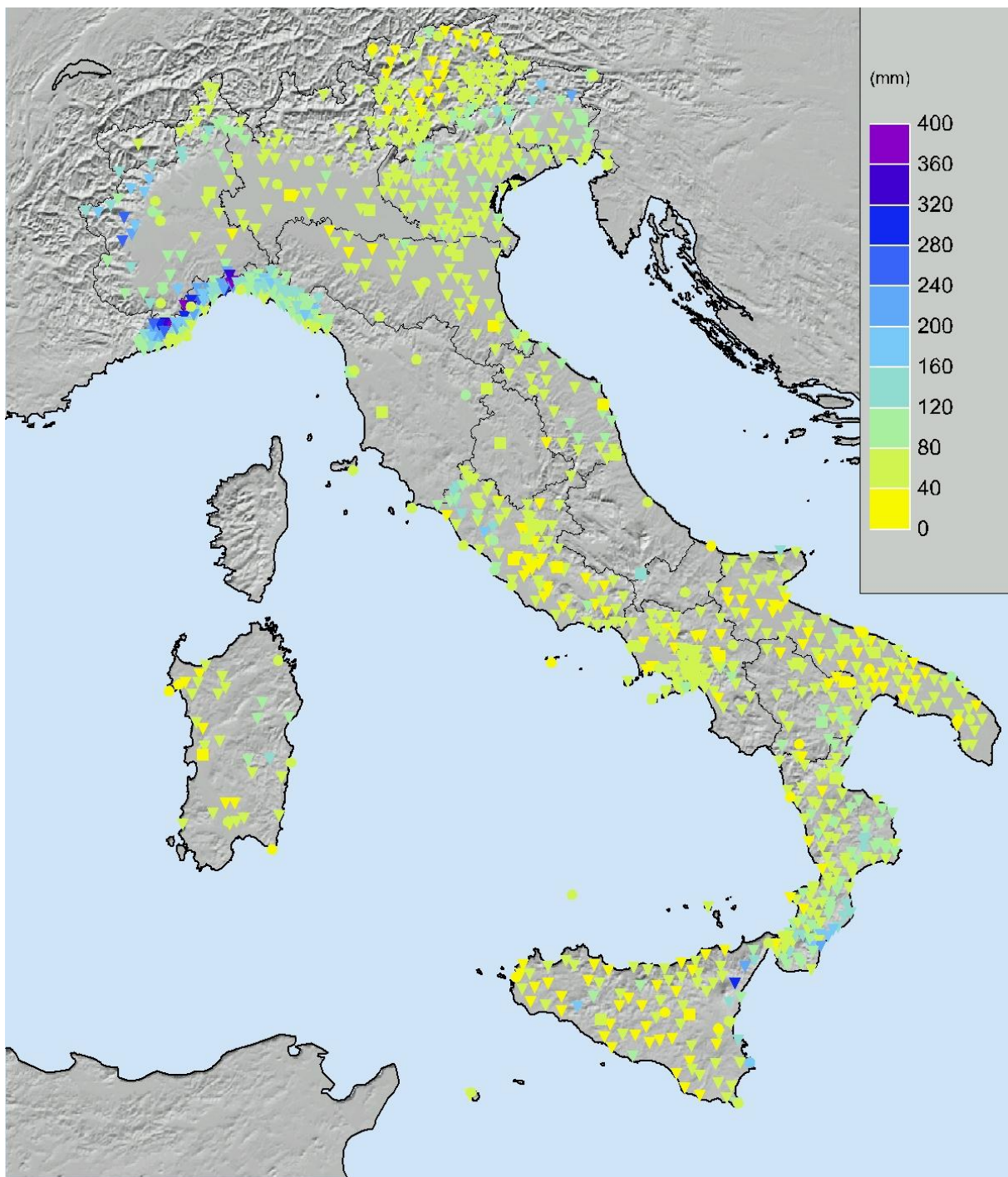


Figura 5.8a: *Precipitazione massima giornaliera 2016.*

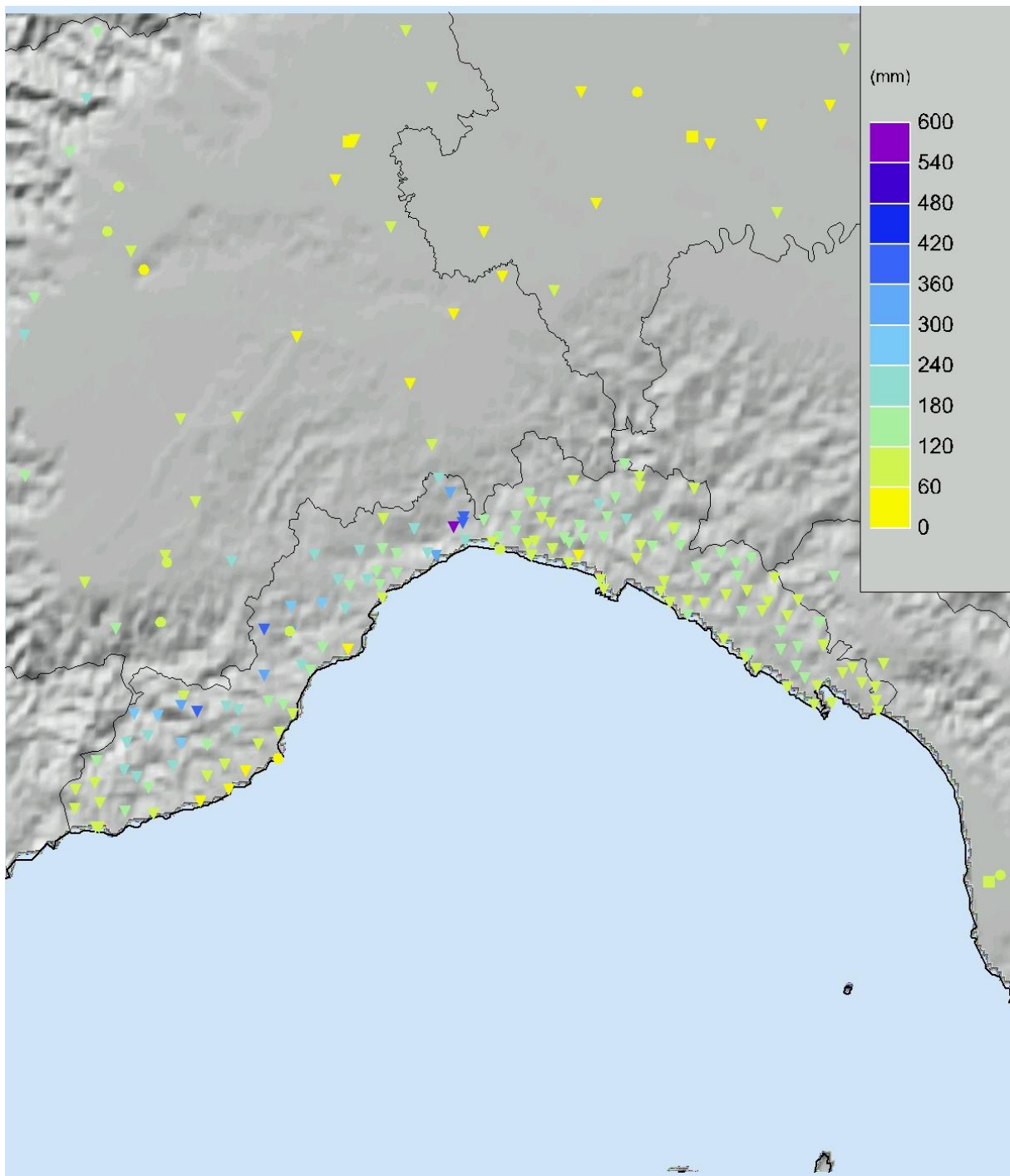


Figura 5.8b: *Precipitazione massima giornaliera 2016 – Zoom sulla Liguria.*

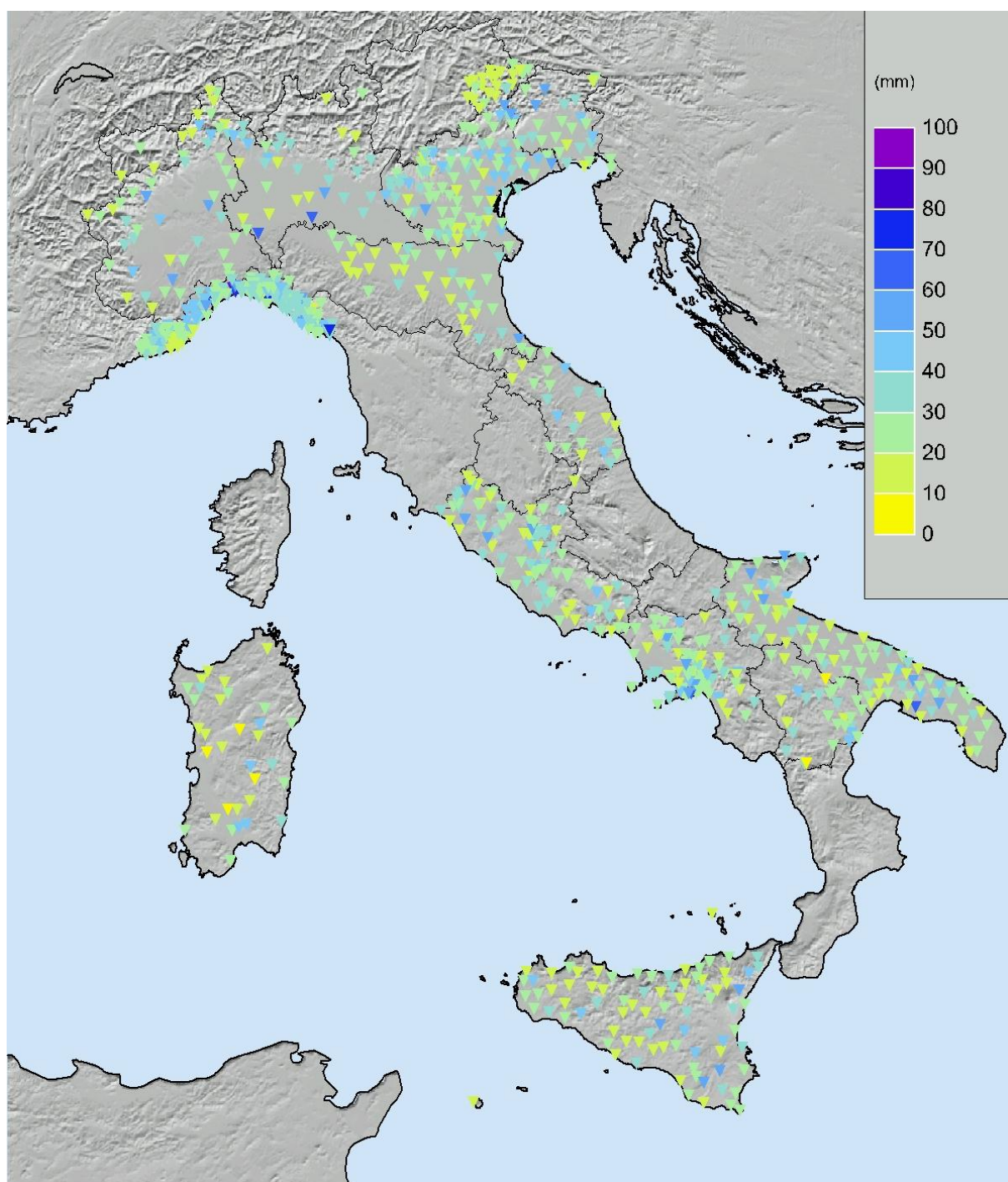


Figura 5.9a: *Precipitazione massima oraria 2016.*

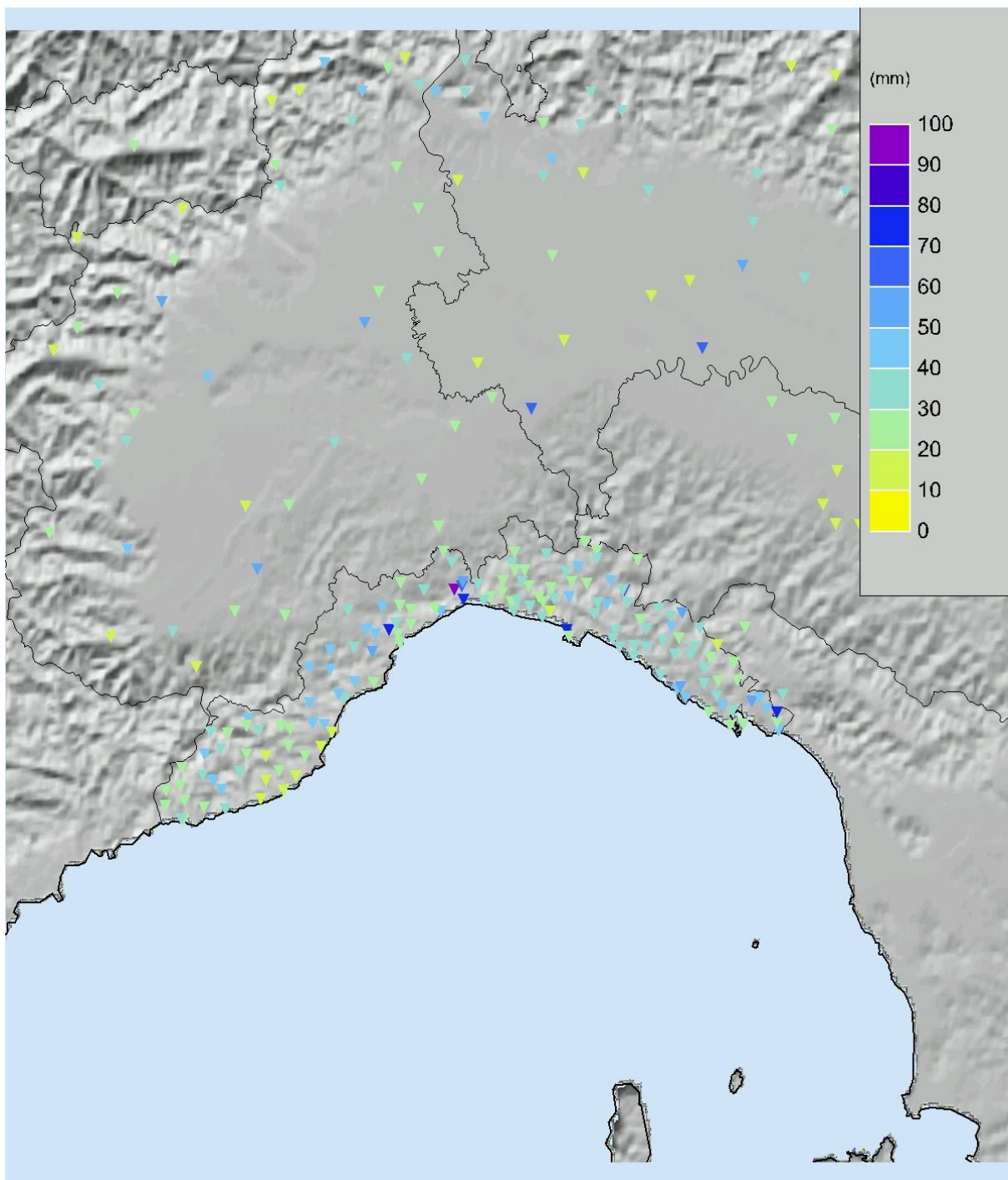


Figura 5.9b: *Precipitazione massima oraria 2016 – Zoom su Liguria.*

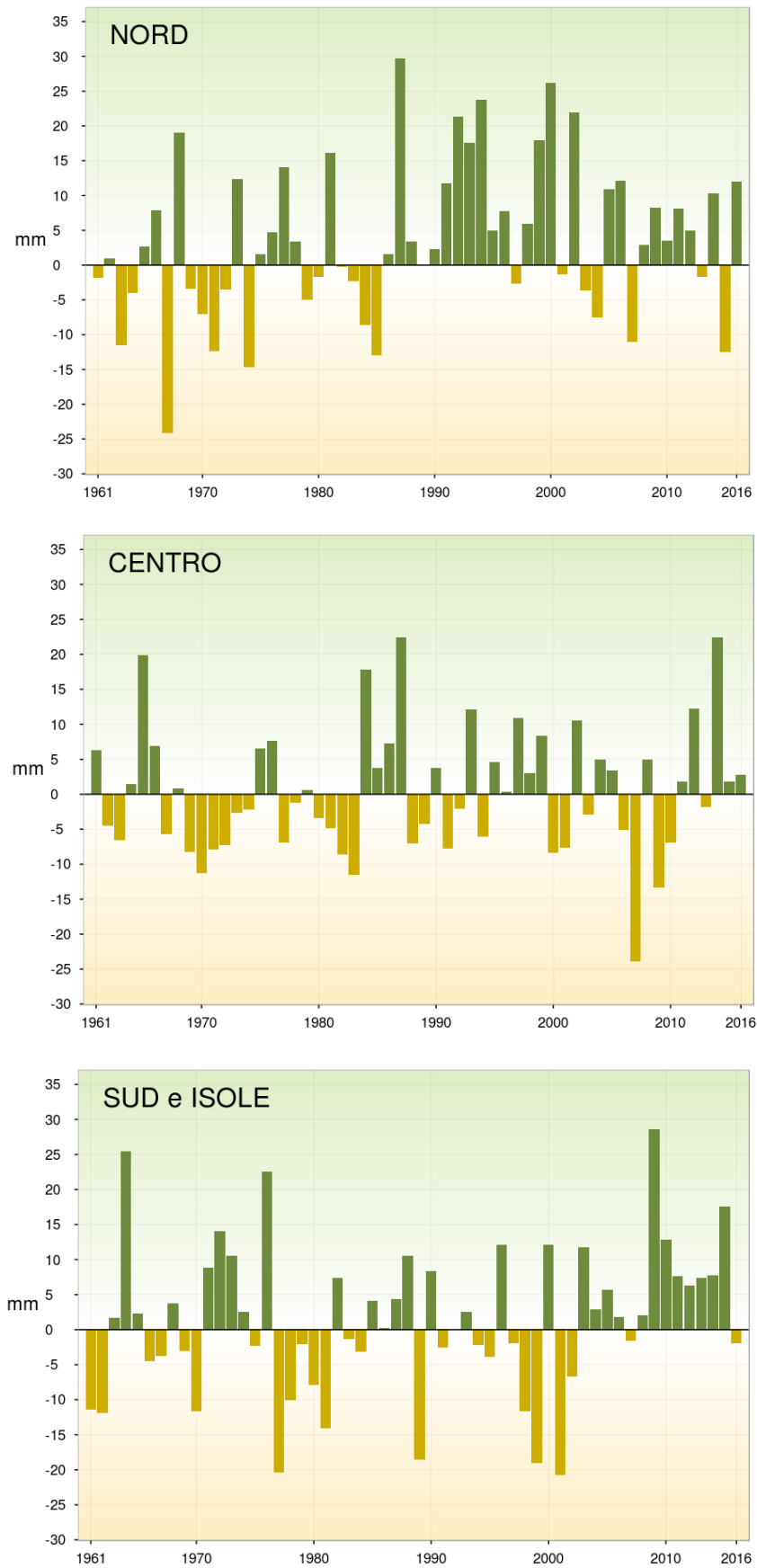


Figura 5.10: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni massime giornaliere rispetto al valore normale 1961-1990.

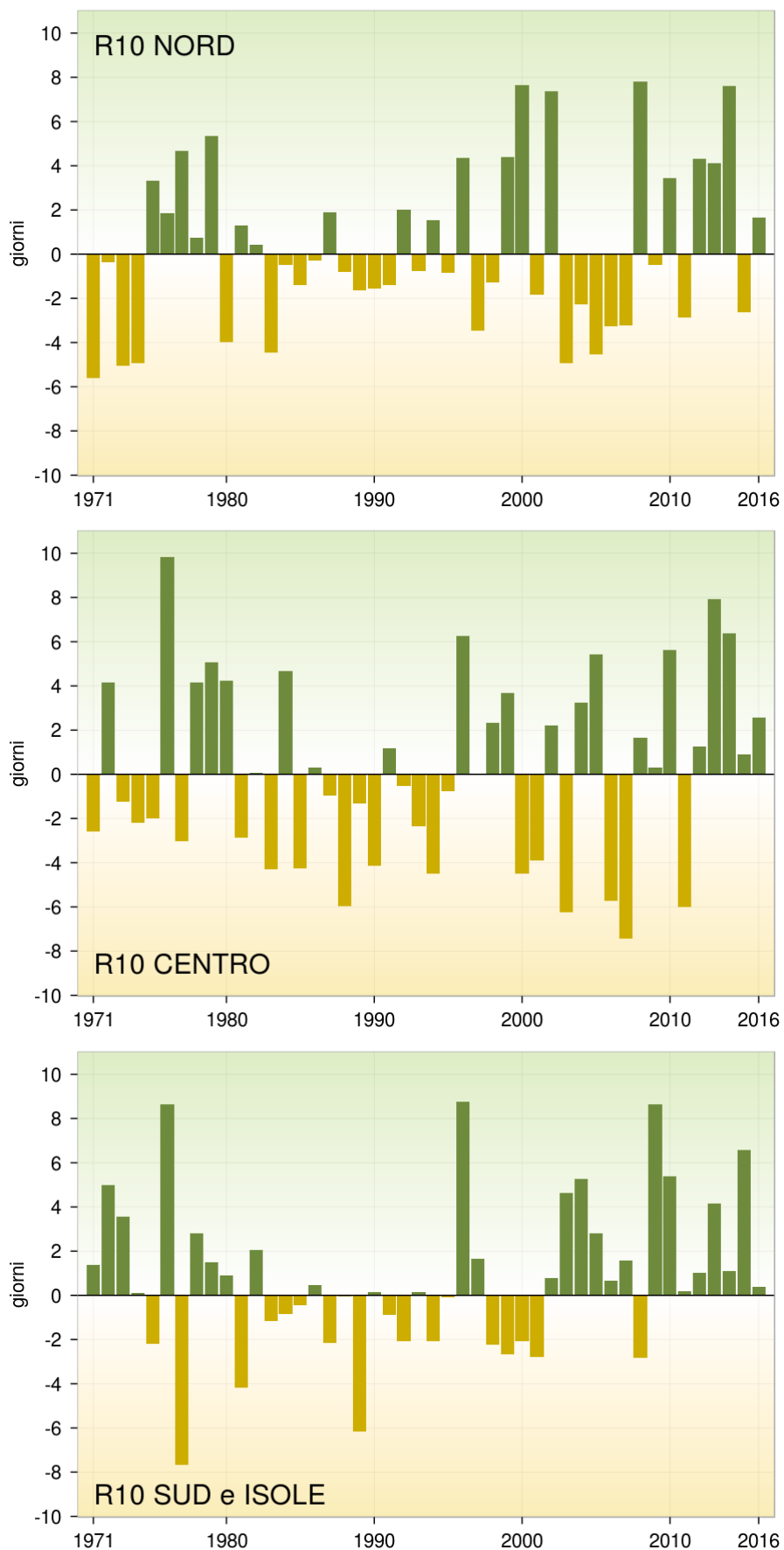


Figura 5.11: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, del numero di giorni nell'anno con precipitazione superiore od uguale a 10 mm (R10), rispetto al valore normale 1971-2000.

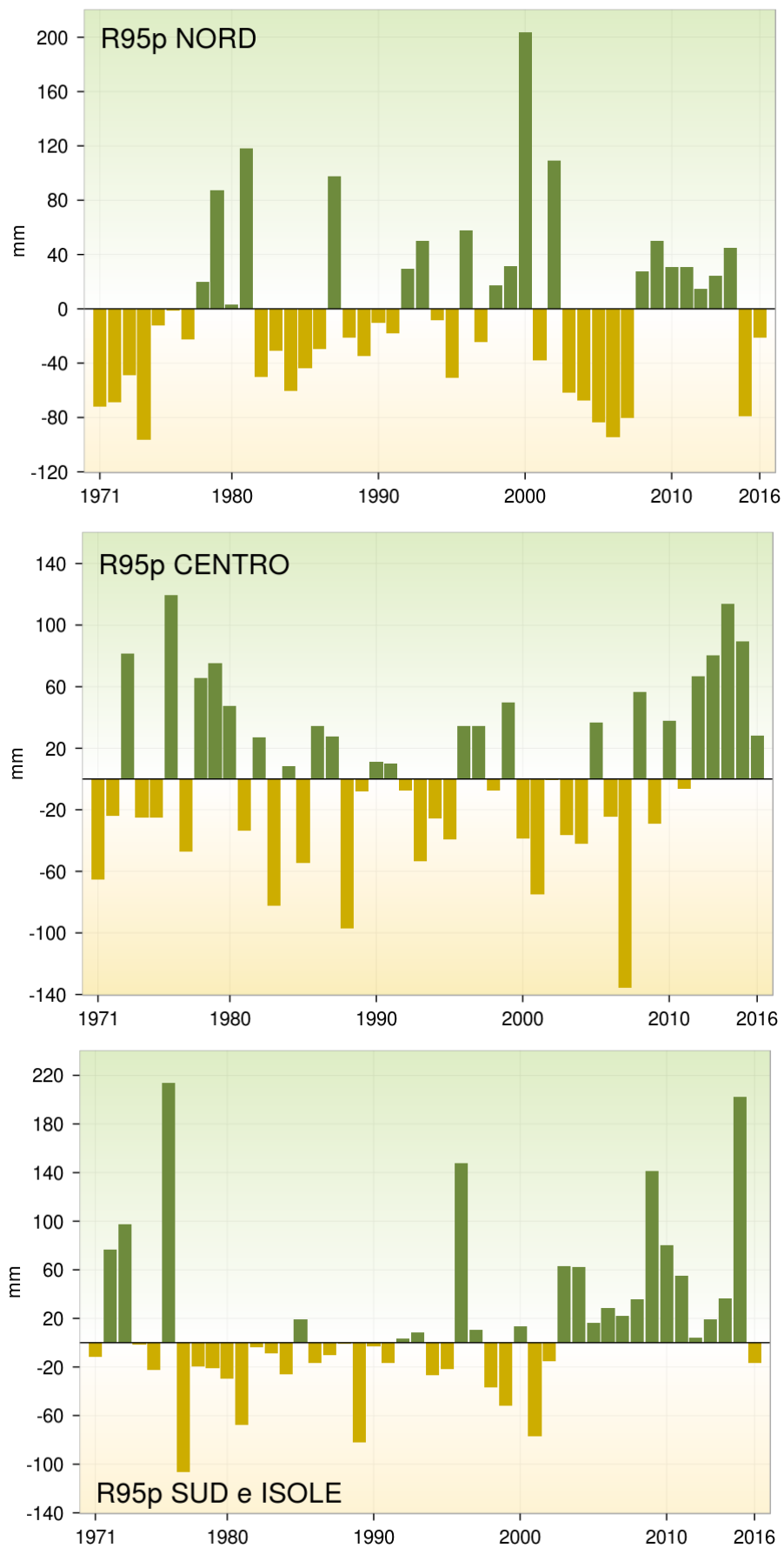


Figura 5.12: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, delle precipitazioni nei giorni molto piovosi (R95p), rispetto al valore normale 1971-2000.

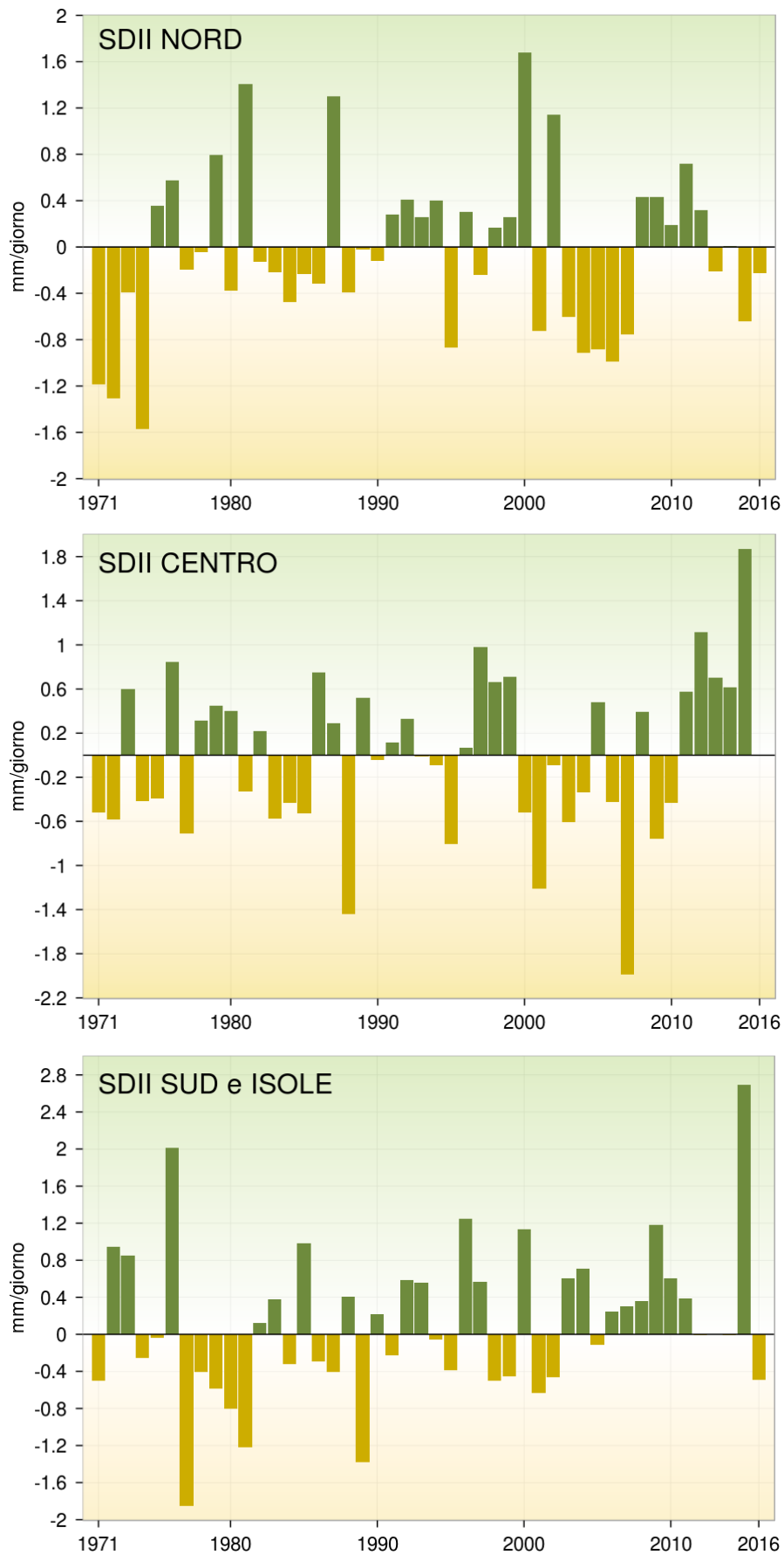


Figura 5.13: Serie delle anomalie medie al Nord, Centro, Sud e Isole, dell'intensità di pioggia giornaliera (SDII), rispetto al valore normale 1971-2000.

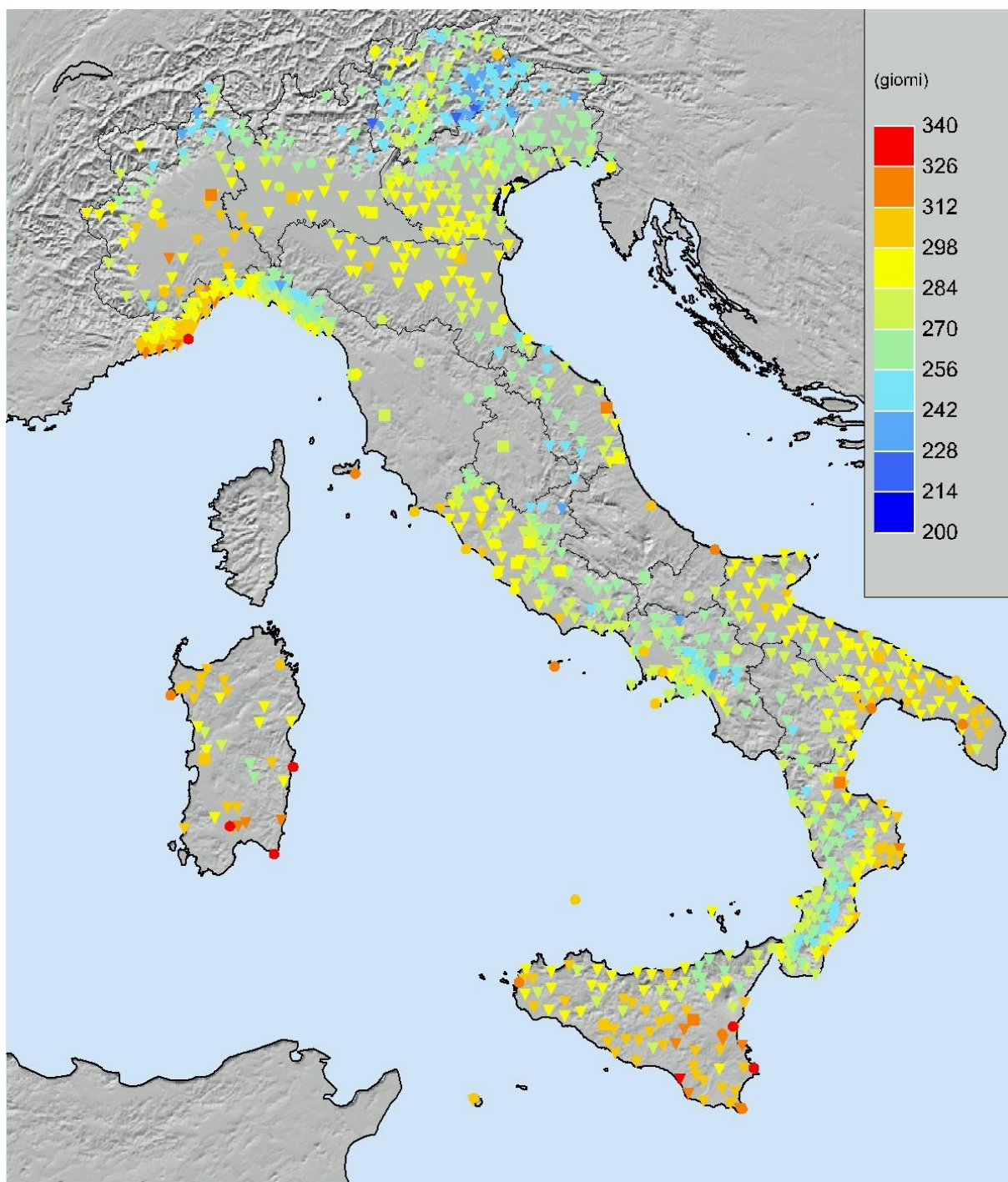


Figura 5.14: Giorni asciutti nel 2016.

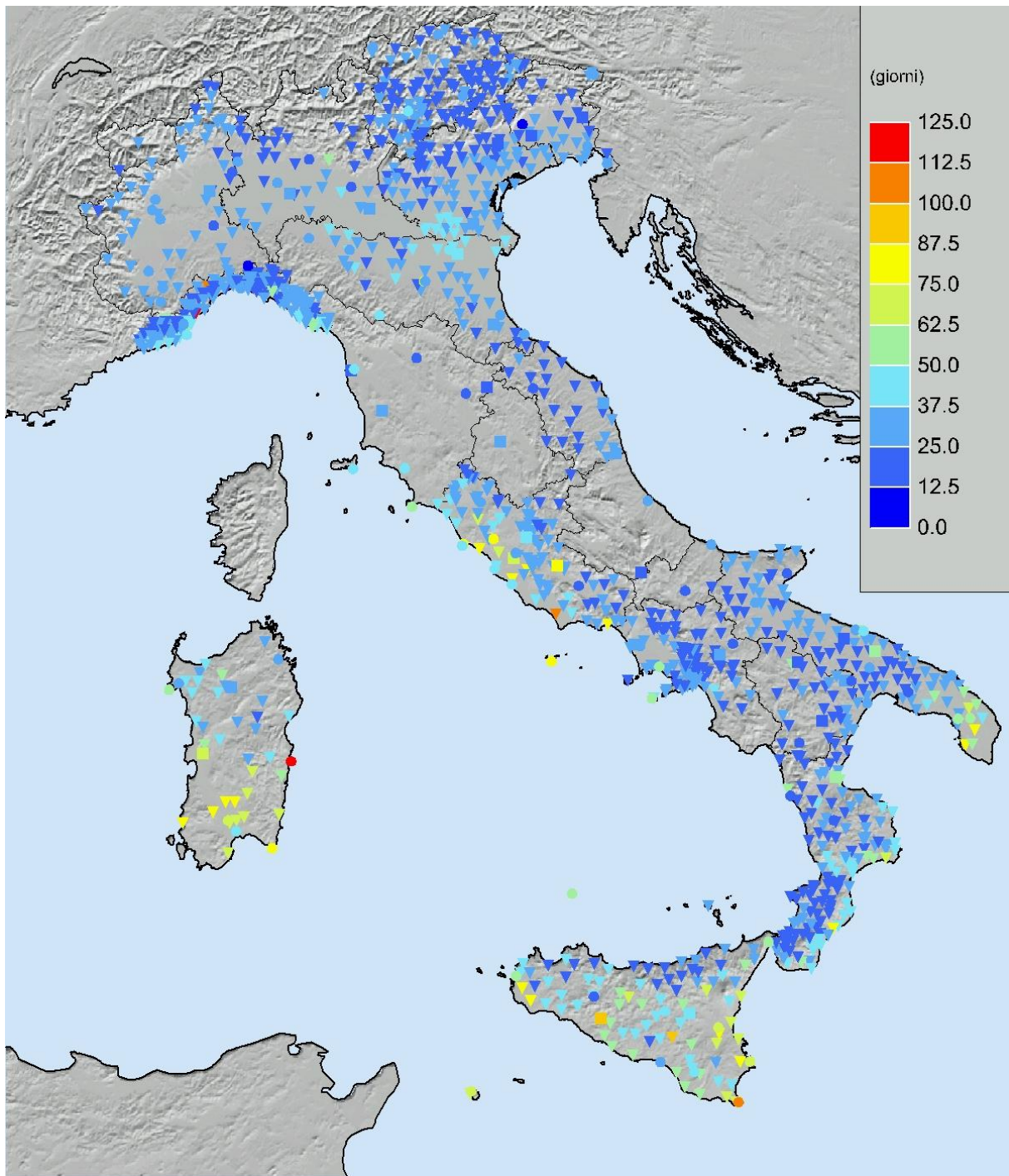


Figura 5.15: *Indice di siccità (Consecutive Dry Days - CDD) nel 2016.*

6. UMIDITÀ RELATIVA

I valori di umidità relativa media annuale del 2016 sono compresi tra 56% e 89% circa (**figura 6.1**).

Nel 2016 (**figura 6.2**) l'umidità relativa in Italia è stata ovunque inferiore alla media climatologica 1961-1990; l'anomalia media annuale più bassa è stata registrata al Nord (-3.7%); seguono il Centro (-2.7%) e il Sud e le Isole (-1.1%).

Coerentemente con quanto si può rilevare dall'analisi delle precipitazioni, al Nord ed al Centro c'è stata una netta prevalenza di mesi con clima più secco della norma, con anomalie positive solo a febbraio e a novembre al Nord (con l'anomalia mensile più bassa a settembre: -9% circa), e a febbraio, marzo e novembre al Centro (con l'anomalia mensile più bassa ad agosto: -7% circa); al Sud e sulle Isole il clima è stato più umido della norma a febbraio, marzo, settembre, ottobre e novembre (con l'anomalia mensile più bassa a luglio: -5% circa); il valore di anomalia più elevato è stato registrato al Sud e sulle Isole nel mese di marzo (+2% circa).

Nella **figura 6.3** è rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 42 stazioni che soddisfano a requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2016. Il valore medio di anomalia di umidità (-2.4%) colloca il 2016 al 4° posto nella classifica degli anni più secchi a partire dal 1961.

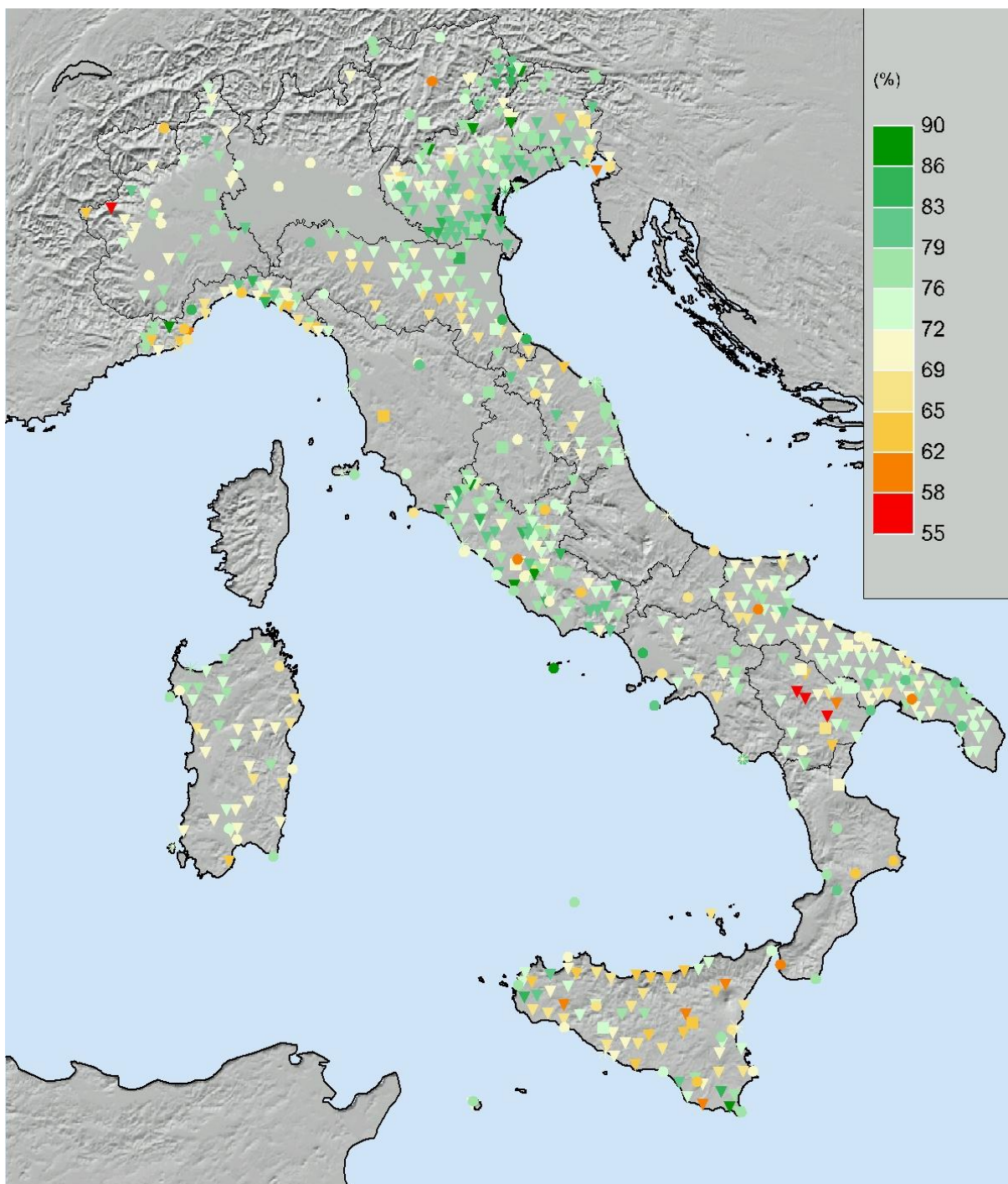


Figura 6.1: *Umidità relativa media 2016.*

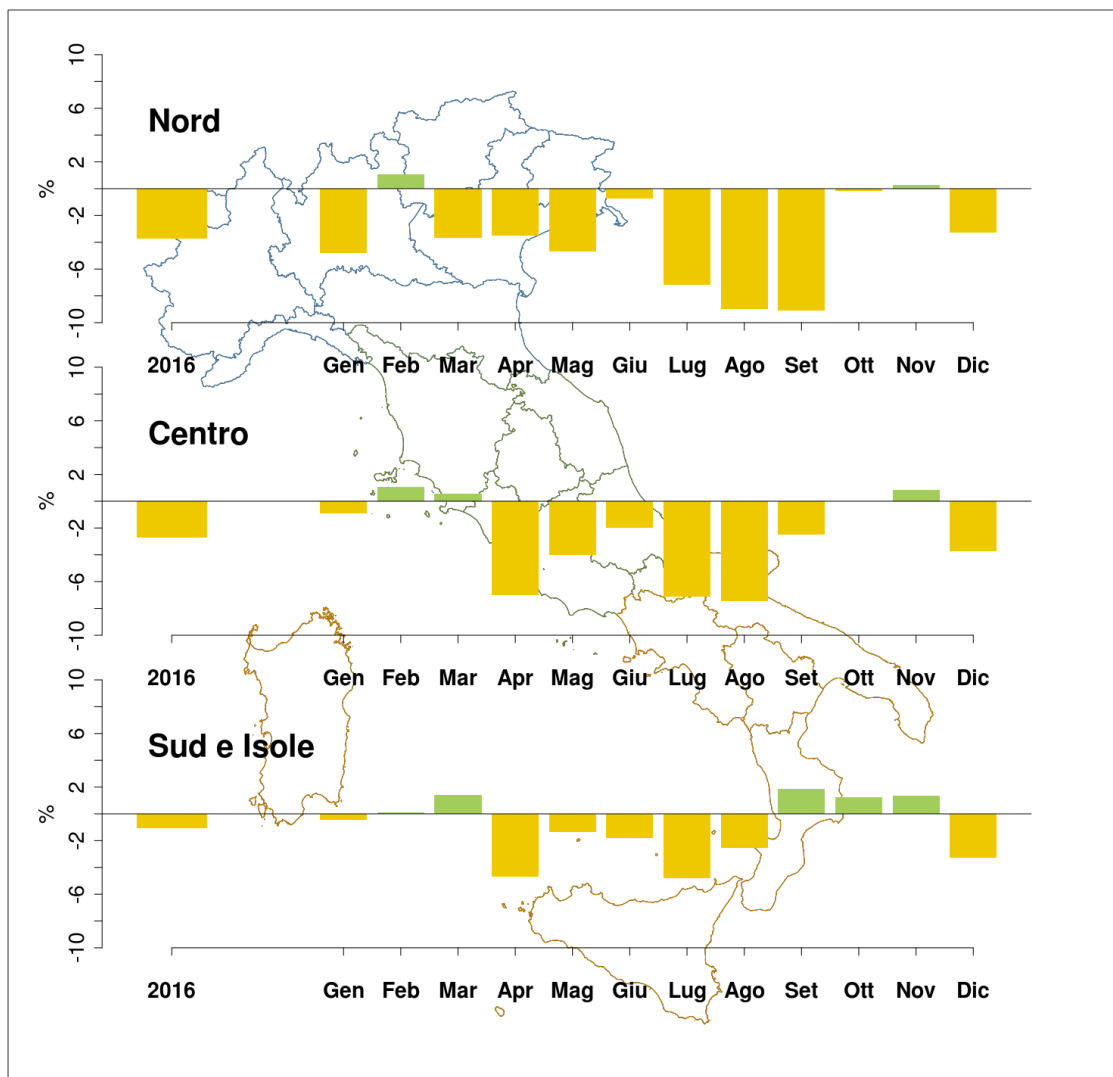


Figura 6.2: *Anomalia media 2016 (annuale e mensile) dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1961–1990.*

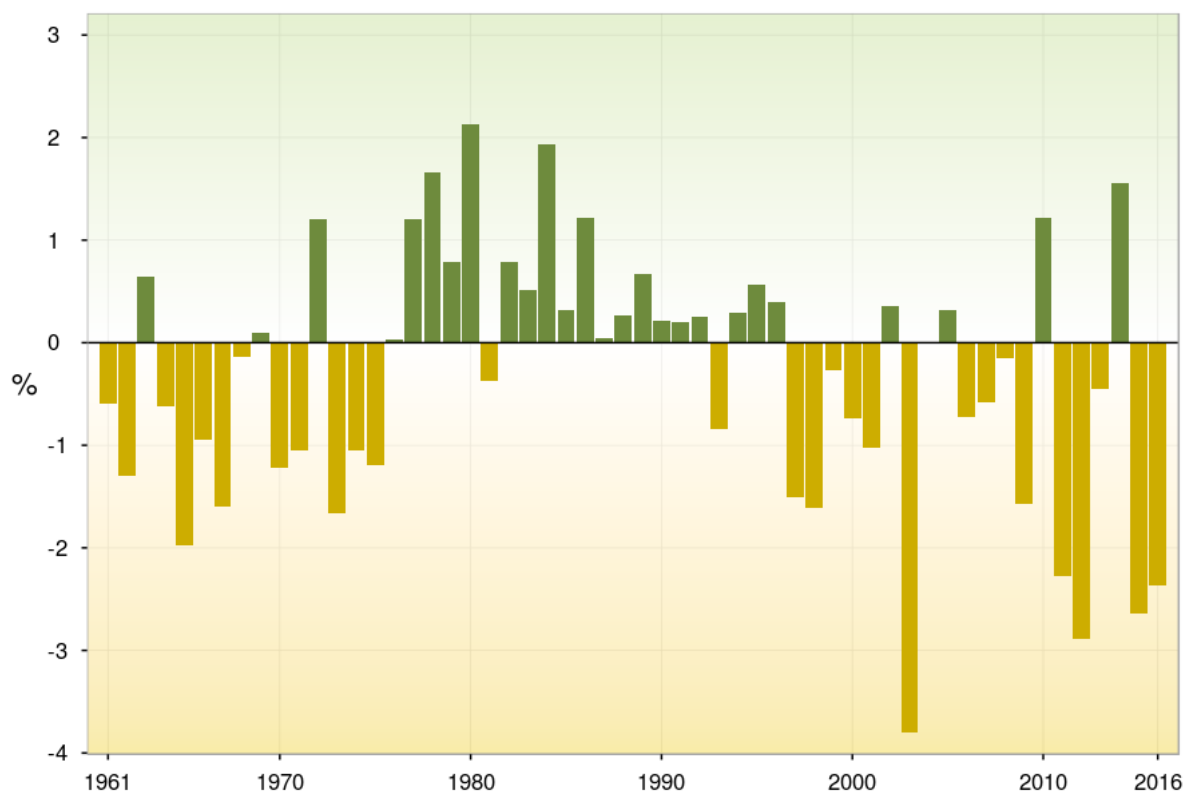


Figura 6.3: Serie delle anomalie medie annuali in Italia dell'umidità relativa media rispetto al valore normale 1961–1990.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1]

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

[2]

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.

[3]

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

[4]

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Toreti A., 2011, Climate indicators for Italy: calculation and dissemination, Adv. Sci. Res., 6, 147-150.

[5]

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

[6]

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.

[7]

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.sinanet.apat.it - Documentazione.

[8]

Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W. e Piervitali E., 2015, Valori climatici normali di temperatura e precipitazione in Italia, Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente 55/2014.

[9]

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.

[10]

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.

[11]

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

[12]

Toreti A., Desiato F., 2007, Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. Theor. Appl. Climatol., 91, 51-58.

[13]

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.

[14]

Toreti A. e Desiato F., 2008, Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *International J. of Climatology*, 28, 733-745.

[15]

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, *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

[16]

Klein Tank A. M. G. e Können G. P., 2003, Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99, *J. Climate*, 16, 3665-3680.

[17]

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

[18]

Smith, T. M. e Reynolds R. W., 2003, Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997), *J. Climate*, 16, 1495-1510.

[19]

Smith, T. M. e Reynolds R. W., 2004, Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997). *J. Climate*, 17, 2466-2477.

[20]

Li J. e Heap A.D., 2008, A review of spatial interpolation methods for environmental scientists, *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137 pp.

[21]

Sen P. K., 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379–1389.