

Febbraio 2025

Oggetto: Cambiamenti Climatici. Scenari futuri per l'Italia.

Sommario

Premesse.....	1
1. Proiezioni climatiche a scala planetaria	3
2. Scenari climatici futuri per l'Italia	6
3. Variazioni della Circolazione Atmosferica nel Mediterraneo.....	7
4. Cambiamenti climatici a breve-medio termine	8
5. Conseguenze dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica in Italia	16

Premesse

Le proiezioni che descrivono le condizioni climatiche future sono ottenute attraverso l'utilizzo dei Modelli Climatici Globali (GCMs – Global Climate Models), complessi modelli fisico-matematici progettati per rappresentare e simulare i processi chimico-fisici che avvengono nell'atmosfera e la loro interazione con la superficie terrestre, gli oceani e la criosfera. Nei modelli climatici le leggi chimiche e fisiche, che descrivono il funzionamento dell'atmosfera, vengono rappresentate mediante algoritmi che consentono una simulazione numerica su griglie tridimensionali che coprono l'intero Pianeta. Maggiore è il “passo di griglia”, cioè l'ampiezza dei box in cui vengono calcolati i valori delle singole variabili climatiche, minore è il grado di dettaglio della proiezione. I Modelli Climatici Globali, sfruttando grandi risorse di calcolo, simulano quindi il comportamento dell'atmosfera e danno indicazioni su come cambierà il clima del futuro, sia a livello planetario sia, ricavandone modelli a più alta risoluzione (RCMs – Regional Climate Models) che mettono a fuoco aree geografiche limitate, con maggior dettaglio in specifiche regioni del Globo, compresa l'Italia.

In questo documento, per descrivere i cambiamenti climatici attesi in Italia nel breve e medio termine (entro metà secolo), oltre al rapporto sullo Stato del Clima¹ contenuto nella 2^a Relazione alla Cabina di regia del Commissario Straordinario Nazionale per l'adozione di interventi urgenti connessi al fenomeno della scarsità idrica, e ad autorevoli ricerche pubblicate a livello internazionale, sono stati utilizzati i risultati delle simulazioni del Coupled Model Intercomparison Project fase 6 (CMIP6)². Il CMIP è un programma mondiale di coordinamento delle simulazioni climatiche, a cui collaborano i maggiori centri di ricerca a livello internazionale, promosso per migliorare la comprensione dei cambiamenti climatici e fornire quindi delle proiezioni il più possibile attendibili. La fase 6 di tale programma (CMIP6), iniziata nel 2015, ha prodotto scenari climatici futuri ancor più precisi e attendibili.

Dal confronto tra le proiezioni prodotte dal programma CMIP negli anni 2000, 2006 e 2015, e quanto effettivamente osservato nel recente passato, emerge che le simulazioni sono riuscite a descrivere con buona accuratezza il cambiamento climatico più recente, denotando peraltro una leggera tendenza a sottostimare l'effettivo aumento delle temperature medie³ e i conseguenti effetti sugli altri aspetti del clima. Ciò conferma l'attendibilità delle proiezioni del programma CMIP nel descrivere i cambiamenti climatici futuri, almeno nel breve termine.

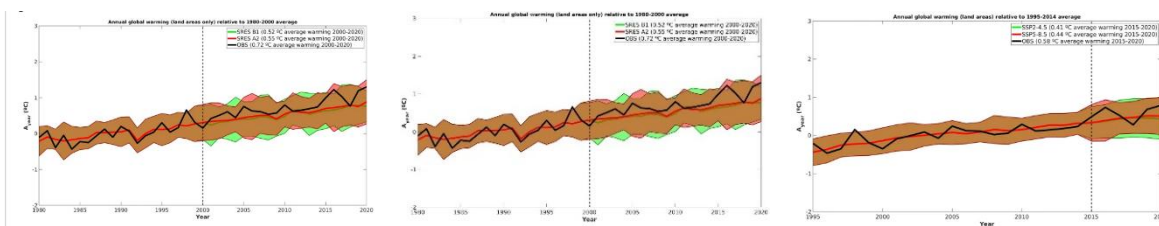


Figura 1: serie delle anomalie di temperatura sulle terre emerse a scala planetaria, come riprodotta per il passato e come simulata per il futuro (oltre la linea tratteggiata) dai modelli del programma CMIP per scenari di emissione intermedi (linea verde) o in forte crescita (linea rossa) e come osservato sulla base di dati strumentali (linea nera). Da sinistra a destra le mappe si riferiscono alle simulazioni del CMIP3, CMIP5 e CMIP6, elaborate rispettivamente nel 2000, 2006 e 2015. (D. Carvalho et al., Nature).

Poiché la letteratura scientifica indica come molto probabile che la causa principale (responsabile quindi di oltre il 50%) del cambiamento climatico recente siano le emissioni di gas clima-alteranti (o gas serra), l'andamento climatico futuro dipende chiaramente dal trend di tali emissioni e quindi

¹ Stato del clima e delle risorse idriche passato, attuale e futuro in Italia, dalla scala nazionale alla scala di Distretto idrografico. 2^a Relazione alla cabina di regia. Commissario Straordinario Nazionale per l'adozione di interventi urgenti connessi al fenomeno della scarsità idrica, 2024.

² E.V. Bony et al., *Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization*. Geoscientific Model Development, 2016

³ D.Carvalho et al., *How well have CMIP3, CMIP5 and CMIP6 future climate projections portrayed the recently observed warming*. Nature, 2022.

dallo scenario socio-economico considerato⁴. In questa analisi vengono descritte le proiezioni climatiche ottenute considerando lo scenario socio-economico più probabile e che meglio rappresenta l'attuale contesto climatico e geopolitico (SSP2-4.5), ovvero uno sviluppo intermedio tra quello più ottimista (SSP1-2.6), che tiene conto di un rapido raggiungimento della neutralità climatica (cioè un bilancio nullo tra le sostanze inquinanti emesse e quelle rimosse dall'atmosfera) già nei prossimi decenni, e quello peggiore (SSP3-8.5), che invece ipotizza un ulteriore costante aumento delle emissioni. Più nel dettaglio, lo scenario SSP2-4.5 utilizza l'ipotesi di emissione RCP4.5⁵, che vede una stabilizzazione delle emissioni di gas serra entro il 2050, con una loro successiva graduale riduzione, fino ad arrivare alla fine del secolo con concentrazioni in atmosfera di circa il 25-30% superiori a quelle attuali.

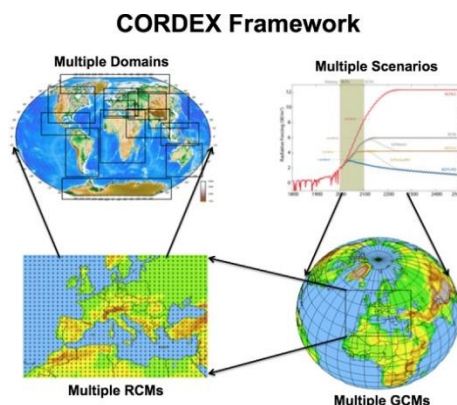


Figura 2: rappresentazione del progetto del Programma CORDEX, che prevede lo sviluppo di Modelli Climatici Regionali partendo dalle informazioni a carattere più ampio fornite dai Modelli Climatici Globali. (F. Giorgi, JCR Atmospheres)

1. Proiezioni climatiche a scala planetaria

Considerando lo scenario socio-economico futuro più probabile, le temperature medie planetarie entro la metà del secolo sono destinate a salire ulteriormente di qualche decimo di grado, causando a scala globale una maggior variabilità delle precipitazioni e un aumento degli eventi meteo-climatici estremi, tra cui piogge intense e siccità, specie in alcune regioni del Mondo, compresa l'area del Mediterraneo.

⁴ Per le proiezioni climatiche nell'ambito del programma CMIP6 vengono utilizzati gli SSPs, *Shared Socio-economic Pathways*, appunto scenari che tengono conto di differenti percorsi di sviluppo e quindi anche di emissione.

⁵ Gli RCPs (*Representative Concentration Pathways*) descrivono i possibili futuri scenari di emissione di gas serra. In particolare, in base a quanto ipotizzato dallo scenario RCP4.5, per fine secolo le concentrazioni atmosferiche di gas serra potrebbero essere di circa 538 ppm.

Le proiezioni elaborate dai modelli del programma CMIP6, per il breve termine (entro l'anno 2040), descrivono un aumento delle temperature medie a scala planetaria, qualsiasi sia lo scenario di emissione considerato. Nell'arco dei prossimi 15 anni è quindi molto probabile un ulteriore riscaldamento a scala globale, la cui entità è stimata in circa 0,4-0,5 °C entro il 2040⁶, indipendentemente dalle emissioni prodotte. In effetti, nel breve termine l'andamento delle emissioni avrà un impatto poco significativo sul trend climatico: a spingere l'aumento delle temperature saranno soprattutto le alte concentrazioni di gas serra già presenti nell'atmosfera, con il loro incremento percentuale che, in un arco temporale di 10-15 anni, non varierà di molto da uno scenario di emissione all'altro.

Su periodi più lunghi invece l'andamento delle emissioni avrà un impatto decisamente più importante sulle concentrazioni atmosferiche di gas serra e quindi sul cambiamento climatico, tanto che per fine secolo la differenza di riscaldamento planetario tra lo scenario con le emissioni minori e quello con le emissioni più alte potrebbe essere anche di oltre 2 °C.

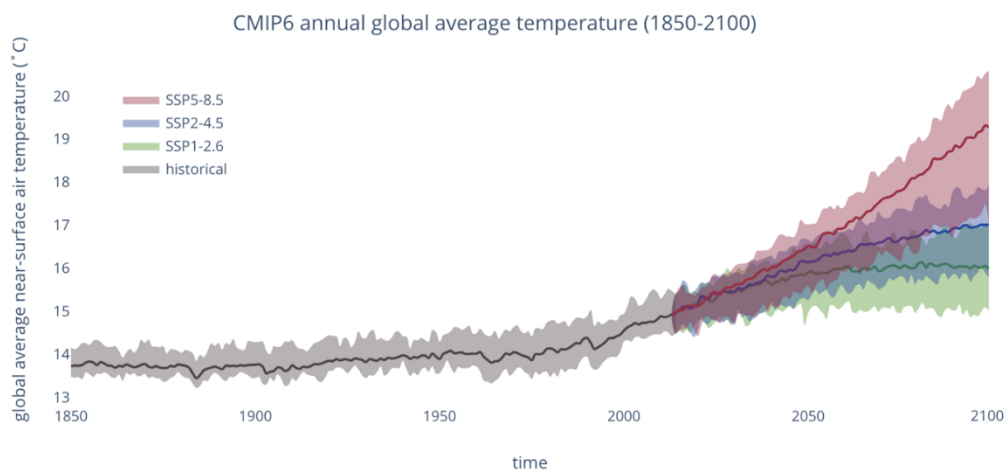


Figura 3: andamento delle temperature medie planetarie, come osservato in base ai dati strumentali (linea nera) e come previsto dai modelli del Programma CMIP6 in base ai diversi scenari di emissione (linee colorate). La linea blu, relativa a uno scenario intermedio, descrive l'andamento considerato più realistico. (Copernicus Climate Change Service/ECMWF).

Considerando lo scenario di emissione intermedio (SSP2-4.5), ovvero quello più probabile, nel medio termine, cioè per la parte centrale del secolo, rispetto ai valori attuali è previsto un aumento delle temperature medie planetarie compreso tra 0,5 °C e 1,4 °C (con la stima più attendibile di 0,9 °C). Inoltre, in base alle proiezioni del programma CMIP6 contenute nell'ultimo rapporto del

⁶ AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC 2021.

IPCC⁷, per ogni 0,5 °C di incremento delle temperature medie si osserverà un aumento evidente degli episodi di caldo estremo, precipitazioni particolarmente intense e periodi di siccità, sebbene con distribuzione non uniforme sulla superficie del Globo. In particolare, il ciclo idrologico continuerà a intensificarsi man mano che le temperature medie saliranno, e ciò comporterà una maggior variabilità delle precipitazioni, sia da un anno all'altro che da una stagione alla successiva.

Sempre in base alle proiezioni del programma CMIP, contenute nell'ultimo rapporto del IPCC, le precipitazioni complessive sono destinate ad aumentare alle alte latitudini, sul Pacifico Equatoriale e nelle regioni interessate dai monsoni, mentre sono previste in calo su alcune regioni dei Tropici, in molte zone sub-tropicali, nell'area mediterranea. Anche intensità e frequenza dei periodi di siccità varieranno sensibilmente da una regione all'altra del Globo, ma le zone in cui aumenteranno saranno comunque maggiori di quelle in cui diminuiranno, mentre si stima che gli eventi caratterizzati da precipitazioni estreme, a livello globale, aumenteranno in numero di circa il 7% per ogni grado in più di temperatura.

Le proiezioni mostrano comunque che la rapidità con cui cambierà il clima varierà da una regione all'altra del Pianeta, con alcune zone, dette *hot spot*, in cui i cambiamenti climatici risulteranno più intensi: tra queste vi è anche la regione del Mediterraneo e, di conseguenza, l'Italia. Alcuni recenti studi⁸ confermano in particolare che nell'area mediterranea nei prossimi decenni è previsto un aumento della durata e dell'intensità delle ondate di calore, nonché un incremento degli episodi di siccità.

⁷ AR6, Sixth Assessment Report. IPCC, 2021.

⁸ V. Todaro et al., Climate Change over the Mediterranean Region: Local Temperature and Precipitation variations at Five Pilot Sites. Water, 2022.

2. Scenari climatici futuri per l'Italia

Per la parte centrale del secolo le temperature medie in Italia saliranno ulteriormente, con conseguente aumento dei giorni estivi e degli episodi di caldo estremo. Le precipitazioni complessive diminuiranno al Sud e nelle Isole, mentre non mostreranno variazioni significative al Centro-Nord; in tutta Italia però aumenterà la loro variabilità, per cui si osserveranno maggiori differenze da una stagione all'altra e da un anno al successivo. Tra le conseguenze della maggiore irregolarità delle precipitazioni ci sarà anche l'aumento di numero e intensità dei periodi di siccità, ma diventeranno più numerosi e intensi anche gli episodi caratterizzati da precipitazioni abbondanti: il regime delle precipitazioni è quindi destinato a estremizzarsi, per cui si passerà con maggior facilità da un estremo (siccità) all'altro (piogge abbondanti). L'effetto combinato di temperature in aumento, siccità più frequente e piogge più intense contribuirà a una riduzione delle riserve idriche presenti sul territorio, soprattutto al Sud.

Per descrivere i cambiamenti climatici in Italia nel breve e medio termine (entro la metà del secolo), oltre alle conoscenze derivanti dalla letteratura scientifica, sono state utilizzate le elaborazioni dei Modelli Climatici Regionali del programma Euro-CORDEX 11⁹, che forniscono proiezioni ad alta risoluzione (dettaglio su box di 12 km di lato) per il comparto europeo. Sono stati inoltre utilizzati i dati disponibili sul portale del CMCC¹⁰. L'analisi è stata condotta concentrandosi sulle proiezioni per il periodo 2036-2065, cioè la parte centrale del secolo, analizzando come cambieranno alcuni importanti indici climatici (temperatura, quantitativi e intensità delle precipitazioni, periodi di siccità) considerando lo scenario socio-economico intermedio, cioè quello che si valuta essere il più probabile.

Trattandosi di proiezioni climatiche in cui, anche a causa dell'incertezza relativa agli scenari socio-economici su cui si basano, il margine di errore risulta inevitabilmente non trascurabile, i risultati proposti vanno considerati soprattutto in termini qualitativi (ad es. *dove aumenteranno/diminuiranno le precipitazioni*) più che quantitativi (ovvero *di quanto aumenteranno/diminuiranno le precipitazioni*), poiché l'informazione quantitativa, per i motivi già descritti, è caratterizzata da elevato grado di incertezza.

⁹ Il programma CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling EXperiment) prevede l'utilizzo di RCM che, ottenuti da rielaborazioni dei GCM, possano simulare il clima futuro su aree limitate del Globo ma con più alta risoluzione, così da fornire informazioni più dettagliate e precise. Euro-CORDEX 11 è il programma che coordina i modelli Climatici Regionali focalizzati sull'Europa, con un dettaglio spaziale di 0,11 gradi (cioè circa 12 km). Programma Euro-CORDEX: <https://www.euro-cordex.net/index.php/en>.

¹⁰ <https://cmccwebremhi.it>.

3. Variazioni della Circolazione Atmosferica nel Mediterraneo

L'aumento delle temperature medie causerà importanti variazioni nella circolazione atmosferica generale, cioè il complesso circuito di correnti che traccia il percorso preferenziale seguito dalle perturbazioni o il posizionamento delle aree di alta pressione.

In particolare, come evidenziato da alcuni studi¹¹, nei prossimi decenni è prevista un'espansione verso più alte latitudini della fascia di alta pressione che staziona, in modo pressoché permanente, sulle regioni sub-tropicali: ciò significa che anche gli anticicloni¹² di matrice sub-tropicale, che solitamente interessano il Mediterraneo (Anticiclone delle Azzorre, Anticiclone Nord-Africano), si spingeranno con maggior frequenza sulla nostra Penisola, con inevitabili conseguenze su precipitazioni e temperature.

Si ricorda infatti che, come indica anche il termine, le *aree di alta pressione* sono regioni in cui la colonna atmosferica preme sulla superficie terrestre con maggior forza (cioè *pressione più alta*): al suolo l'aria, pressata dall'alto, tende quindi ad allontanarsi in tutte le direzioni, contrastando così l'avvicinarsi di eventuali perturbazioni. Peraltro in estate, proprio grazie al maggior soleggiamento che essa garantisce, con l'alta pressione il caldo risulta più intenso.

A causa della maggior presenza dell'alta pressione, in Italia si osserverà quindi una diminuzione delle fasi di tempo perturbato, ma in compenso le perturbazioni, quando attraverseranno la Penisola, risulteranno con maggior frequenza intense, come inevitabile risposta all'aumento delle temperature: l'atmosfera, in quanto più calda, conterrà infatti maggiori quantità di vapore^{13 14}.

¹¹ Y. Hu et al., Widening and weakening of the Hadley circulation under global warming. Science Bulletin, 2018.

¹² *Anticiclone* è una struttura meteorologica caratterizzata da valori di pressione atmosferica più alti rispetto a quelli delle zone circostanti: è quindi sinonimo di “area di alta pressione”.

¹³ C. Li et al., Changes in Annual Extremes of Daily Temperature and Precipitation in CMIP6 Models. Journal of Climate, 2021.

¹⁴ M. Xu et al., Climate change impacts on rainfall intensity-duration-frequency curves in local scale catchments. Environmental Monitoring and Assessment, 2024.

4. Cambiamenti climatici a breve-medio termine

In base alle proiezioni dei modelli Euro-CORDEX 11, in Italia tra 10-20 anni (condizioni prevalenti del periodo 2036-2065) le **temperature medie** saranno più alte e il riscaldamento risulterà superiore a quello osservabile a scala planetaria. Le temperature aumenteranno in misura maggiore al Nord ma, in ogni caso, l'incremento risulterà diffuso ed evidente in tutto il Paese.

Con temperature medie più alte, nella parte centrale di questo secolo in Italia è atteso quindi anche un significativo incremento del numero annuo di **giorni estivi**¹⁵, più evidente al Centro-Sud e Isole, dove già adesso le temperature dei mesi autunnali e primaverili si avvicinano molto a valori estivi. In alcune zone si potrebbero osservare mediamente oltre 10 giorni estivi in più all'anno.

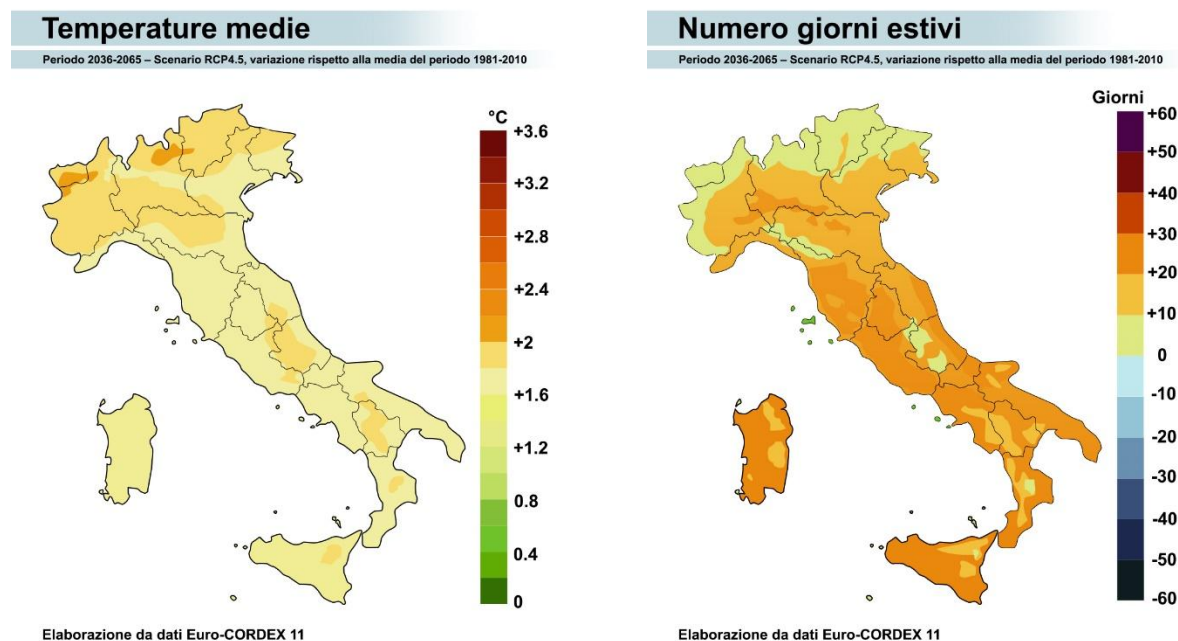


Figura 3: variazione delle temperature medie (°C) e del numero annuo di giorni estivi; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-2065) rispetto alla media trentennale di riferimento.

In crescita anche il numero di giornate caratterizzate da **caldo estremo**¹⁶. L'incremento dei giorni particolarmente caldi coinvolgerà solo parzialmente le regioni montane dove, nonostante il riscaldamento, valori oltre 35 °C rimarranno improbabili, mentre sarà evidente soprattutto in

¹⁵ Per l'Italia si definisce *giorno estivo* quello in cui la temperatura massima supera i 29,2 °C.

¹⁶ Si intendono giornate di *caldo estremo* quelle durante le quali la temperatura raggiunge valori di almeno 35 °C.

Puglia, Basilicata, Sicilia e Calabria: in alcune aree di queste regioni, su base annua, le proiezioni indicano anche dai 12 ai 16 giorni di caldo estremo in più.

Le proiezioni descrivono anche un sensibile aumento delle giornate caratterizzate da **Humidex Index** elevato. Questo indice semi-empirico, combinando i valori della temperatura e dei tassi di umidità dell'aria, descrive il **disagio da calore**, tenendo conto del fatto che quando il caldo è “umido”, la sensazione di calore avvertita dall'organismo è maggiore¹⁷. Ebbene, le proiezioni climatiche mostrano un sensibile aumento delle giornate caratterizzate da indice Humidex superiore a 45 °C, che descrive appunto una situazione di forte disagio fisiologico, di stress da calore considerato pericoloso per la salute¹⁸. In alcune zone, specie in Pianura Padana, regioni tirreniche, Puglia e Isole Maggiori, sono previste anche oltre 10 giornate aggiuntive caratterizzate da forte stress da calore.

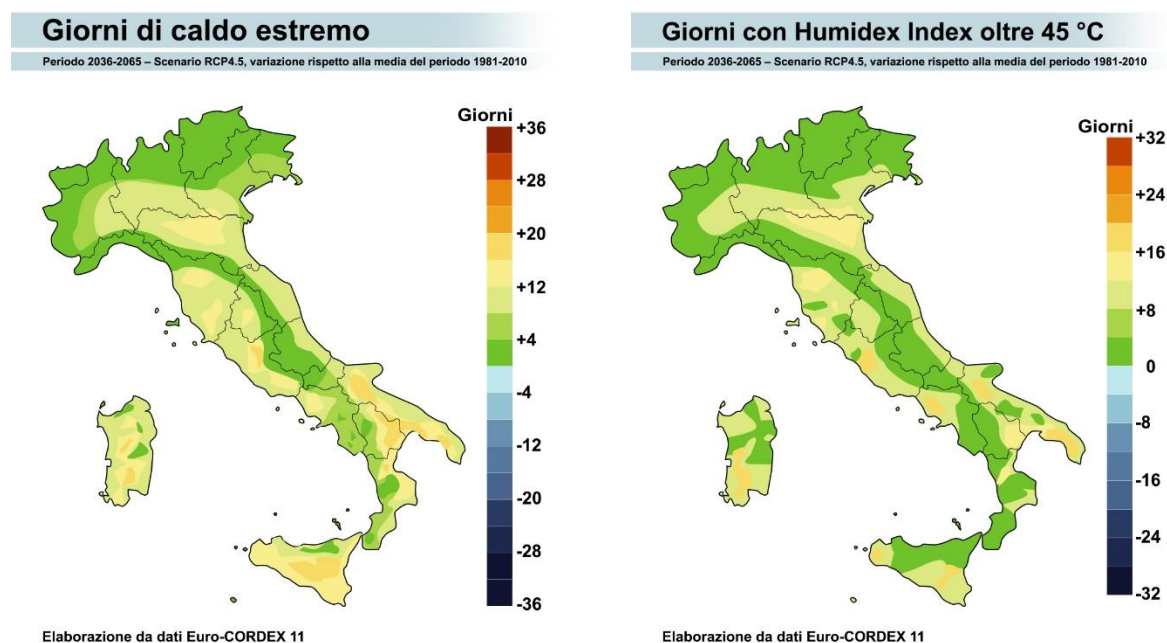


Figura 4: variazione del numero annuo di giorni di caldo estremo, e del numero annuo di giorni con forte stress da calore (Humidex Index oltre 45 °C); proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-20265) rispetto alla media trentennale di riferimento.

¹⁷ In un'atmosfera caratterizzata da elevati valori di umidità relativa, c'è poco spazio per accogliere altro vapore e di conseguenza il sudore evapora con fatica, limitando la capacità dell'organismo di rinfrescarsi e smaltire il calore in eccesso.

¹⁸ V. Rippstein et al., Trends in tropical nights and their effects on mortality in Switzerland across 50 years. PLOS Climate, 2023.

Va peraltro considerato che, come conseguenza di temperature medie più elevate, si osserverà anche un incremento, fino al 4-5%, dell'evapotraspirazione¹⁹, cioè della quantità di acqua persa dalla superficie per l'effetto combinato della respirazione dei vegetali (la traspirazione) e dell'evaporazione diretta dal terreno, con inevitabili conseguenze sulla disponibilità della risorsa idrica.

In aumento anche il caldo delle ore notturne: le proiezioni infatti mostrano un sensibile incremento nel numero delle **notti tropicali**, ovvero le giornate in cui durante la notte la temperatura non scende mai al di sotto di 20 °C, con conseguenti disagi per la salute e picchi nei consumi energetici per il raffrescamento.

In forte diminuzione invece gli episodi di **gelo**: negli scenari descritti per la parte centrale del secolo, le giornate in cui le temperature scenderanno al di sotto degli 0 °C caleranno in tutta Italia e in particolare al Nord (nelle regioni alpine circa 20 giornate in meno); più contenuta la riduzione all'estremo Sud e Isole, dove però già adesso le occasioni in cui le temperature scendono sotto gli 0 °C sono in realtà poche.

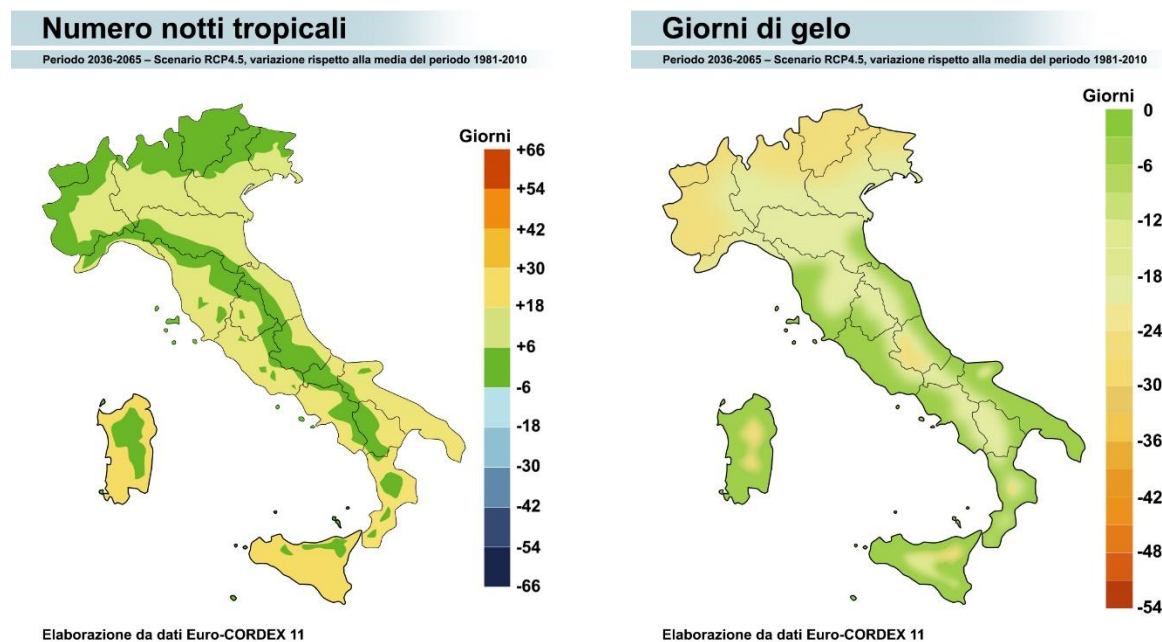


Figura 5: variazione del numero annuo di notti tropicali, e degli episodi di gelo; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-2065) rispetto alla media trentennale di riferimento.

Dal punto di vista delle **precipitazioni totali annue**, per la parte centrale del secolo, in gran parte del Centro e del Nord Italia non sono attese grosse variazioni, con le proiezioni che mostrano valori

¹⁹ G.B. Hamouda et al., Impacts of climate change and rising atmospheric CO₂ on future projected reference evapotranspiration in Emilia-Romagna (Italy). Theoretical and Applied Climatology, 2021.

che quasi dappertutto oscillano attorno alla media di riferimento: in questi settori del Paese non si evidenzia quindi una diminuzione significativa delle precipitazioni totali che, anzi, nelle regioni alpine tenderanno ad aumentare nella misura del 5-10%. Discorso differente per il Sud e Isole, dove è attesa una riduzione delle precipitazioni complessive, comunque in generale in misura non superiore al 10%.

Le proiezioni per la parte centrale del secolo mostrano anche un generale aumento del **più alto numero di giorni asciutti consecutivi**, cioè della durata massima dei periodi asciutti: fatta eccezione per le aree più settentrionali del Paese, le fasi caratterizzate da assenza di precipitazioni tenderanno quindi a divenire più prolungate, specie all'estremo Sud e Isole, con un incremento anche di 6-8 giorni in ampi settori della Sicilia.

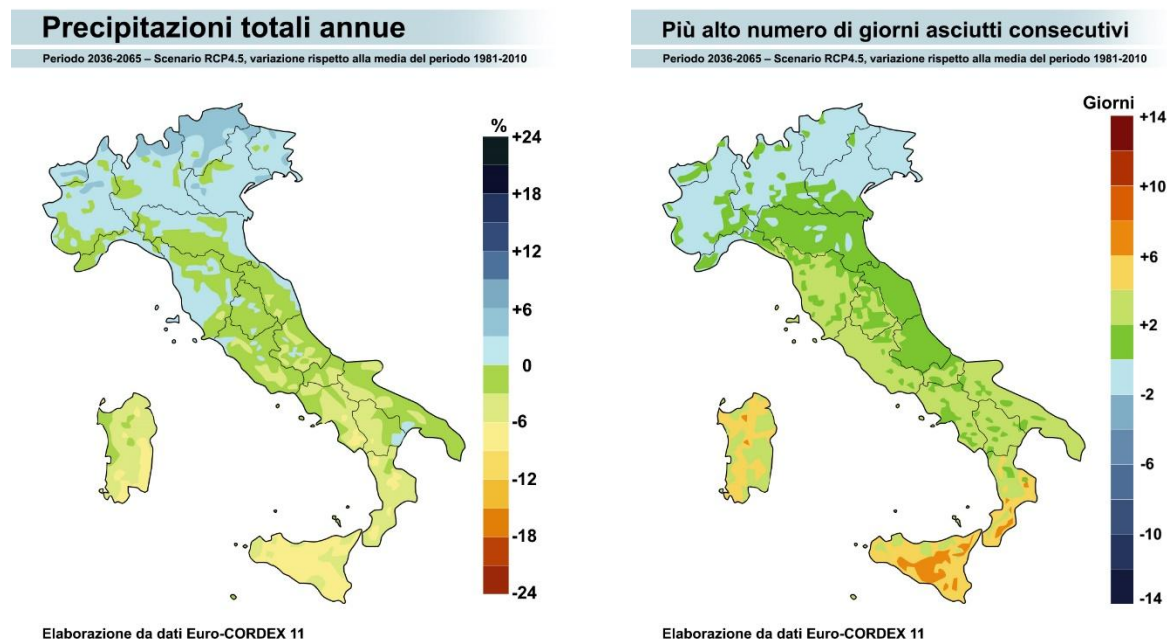


Figura 6: variazione delle precipitazioni totali annue (scarto percentuale) e del più alto numero di giorni asciutti consecutivi; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-20265) rispetto alla media trentennale di riferimento.

Le diverse stagioni, dal punto di vista delle **precipitazioni**, mostreranno però andamenti differenti, con alcuni periodi dell'anno che evidenzieranno cambiamenti più evidenti e altri meno.

In **inverno** è previsto un aumento delle precipitazioni totali al Nord, e in particolare nelle regioni alpine (qui un incremento anche superiore al 20% rispetto alla media trentennale di riferimento); variazioni meno significative nel resto d'Italia, ma tendenzialmente in crescita anche in gran parte del Centro, in calo invece all'estremo Sud.

In **primavera** è attesa una importante diminuzione delle precipitazioni in Sicilia (anche oltre il 10% rispetto alla media di riferimento); variazioni meno significative nel resto d'Italia, con una leggera tendenza in crescita al Nord, in lieve calo altrove.

In **estate** le proiezioni mostrano un sensibile calo delle precipitazioni al Centro-Sud e Isole, anche di oltre il 20% nel versante tirrenico della Penisola, in Sicilia e in Sardegna; riduzione meno evidente al Nord, con addirittura la tendenza a un leggero aumento delle precipitazioni in alcuni settori alpini.

In **autunno** non sono previste variazioni significative nelle precipitazioni, sebbene si possa riconoscere la tendenza a una leggera diminuzione al Nordovest e Isole e a un lieve aumento invece nel versante adriatico del Paese.

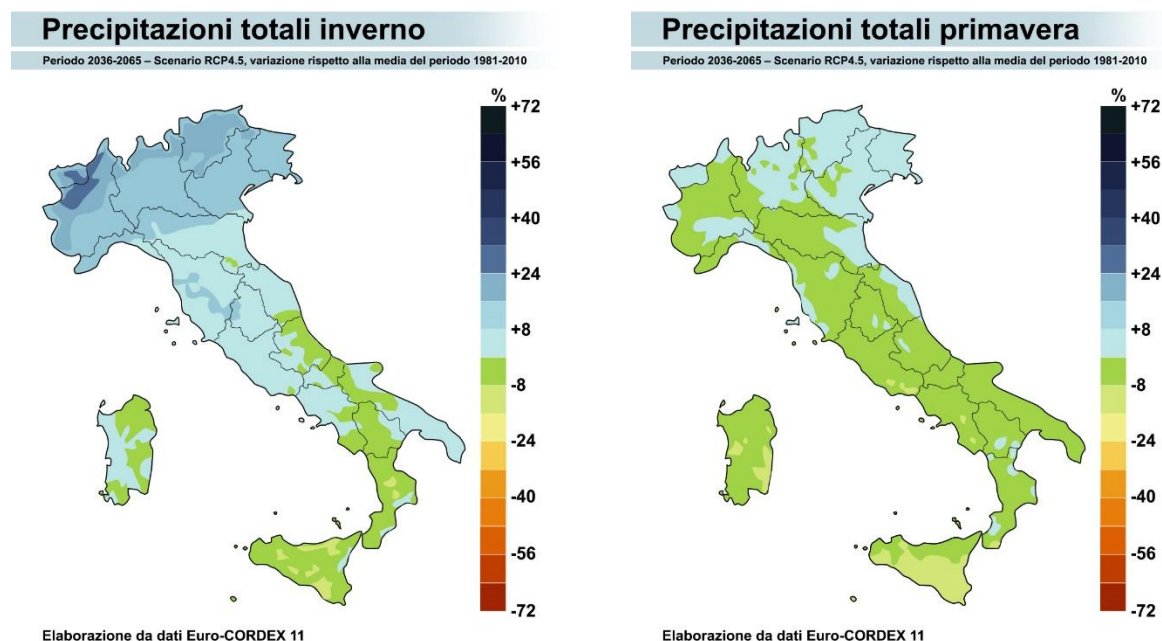


Figura 7: variazione delle precipitazioni totali (scarto percentuale) in inverno e in primavera; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-20265) rispetto alla media trentennale di riferimento

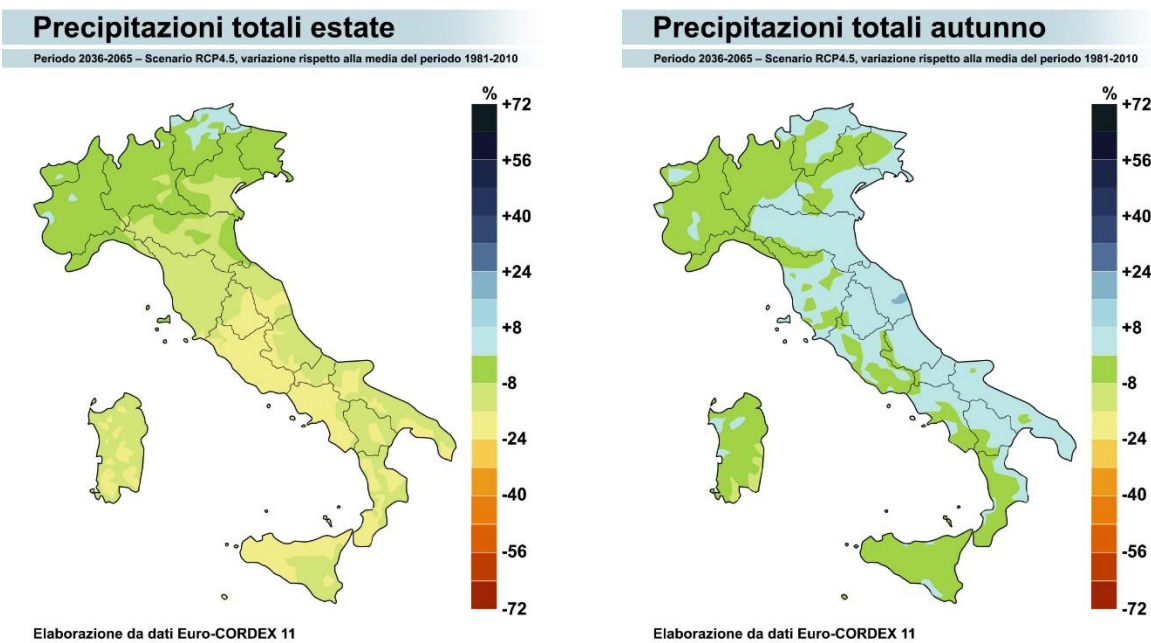


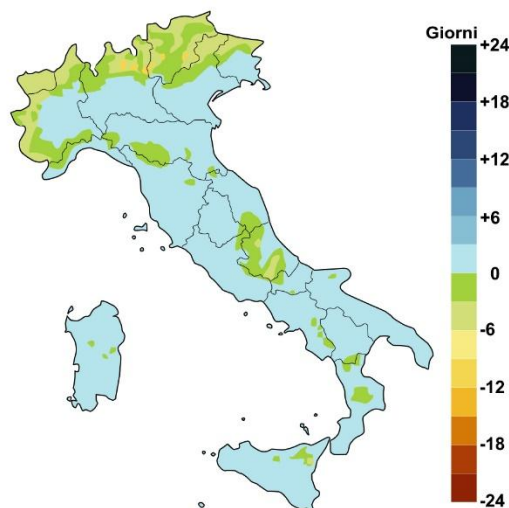
Figura 8: variazione delle precipitazioni totali (scarto percentuale) in estate e autunno; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-20265) rispetto alla media trentennale di riferimento.

Nel breve-medio termine è prevista anche una sensibile diminuzione della **neve** presente sulle nostre montagne, come evidenziato dalle proiezioni riguardanti i **giorni con almeno 30 centimetri di neve al suolo**, da cui risulta una evidente riduzione su tutto l'Arco Alpino. Fatta eccezione per i settori appenninici più elevati (caratterizzati anch'essi da un calo), non si osservano grandi variazioni nel resto d'Italia: in realtà ciò si spiega con il fatto che già adesso, sul resto del nostro territorio, le giornate con manto nevoso da almeno 30 centimetri sono assai rare e in molte annate del tutto assenti. La sensibile riduzione del manto nevoso sull'Arco Alpino è confermata anche da diversi studi e risparmierà solo le quote più alte, dove al contrario è possibile un aumento della neve presente²⁰: alle altitudini in cui, nel cuore dell'inverno, ci sarà ancora freddo a sufficienza, le nevicate potrebbero infatti risultare più abbondanti, come conseguenza dell'aumento delle precipitazioni invernali già descritto.

²⁰ P.Frei et al., Future snowfall in the Alps: projections based on the EURO-CORDEX regional climate models. The Cryosphere, 2018.

Giorni con almeno 30 cm di neve al suolo

Periodo 2036-2065 – Scenario RCP4.5, variazione rispetto alla media del periodo 1981-2010



Elaborazione da dati Euro-CORDEX 11

Figura 9: variazione del numero annuo di giorni con almeno 30 cm di neve al suolo; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-20265) rispetto alla media trentennale di riferimento.

Nel breve e medio termine quindi le precipitazioni complessive, su base pluriennale, non appaiono destinate a variazioni importanti, con una tendenza significativa alla diminuzione solo al Sud e Isole. Tuttavia, come descritto anche nell'ultimo rapporto del IPCC^{21 22} e come confermato anche da altre ricerche²³, è destinata ad aumentare la **variabilità delle precipitazioni**, sia tra le diverse stagioni sia, soprattutto, tra un anno e l'altro. Questo significa che nelle singole annate le precipitazioni tenderanno a concentrarsi in meno eventi che però risulteranno più intensi, ma anche che a fronte di precipitazioni che, cumulate sull'arco di qualche anno, potrebbero risultare nel complesso in linea con le medie attuali, con frequenza si alterneranno annate particolarmente umide (con precipitazioni ben al di sopra della norma) ad altre estremamente asciutte (con precipitazioni di molto al di sotto dei valori normali). Ne è un esempio quanto avvenuto nel recente passato al Nordovest: nel triennio 2022-2024 infatti questo settore del Paese ha ricevuto approssimativamente i quantitativi di precipitazione normalmente attesi nell'arco di tre anni interi, ma con un 2022 caratterizzato da forte deficit precipitativo (-42%), un 2023 in generale normale (+1%) e un 2024 segnato da un evidente surplus di precipitazioni (+58%).

²¹ AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC 2021.

²² P. Faggian, Future Precipitation Scenarios over Italy. Water, 2021.

²³ A.G. Pendergrass et al., Precipitation variability increases in a warmer climate. Scientific Reports, 2017.

La maggior irregolarità delle precipitazioni prevista per i prossimi decenni è evidenziata anche dalle proiezioni relative al numero di **giorni con precipitazioni abbondanti**²⁴, tendenzialmente in crescita in gran parte del Paese: in tutte queste aree i medesimi quantitativi di pioggia arriveranno quindi concentrati in meno episodi, che risulteranno però più intensi.

La maggior irregolarità delle precipitazioni favorirà anche un aumento della frequenza dei periodi di siccità e, soprattutto, della probabilità di incorrere in episodi di **siccità estrema**, quella cioè più severa. Come confermano le proiezioni relative all'indice SPI-12²⁵, utilizzato per individuare i periodi di siccità e la loro eventuale intensità, l'incidenza dei periodi caratterizzati da siccità estrema è destinata ad aumentare in tutta Italia, con l'incremento più significativo nelle Isole Maggiori.

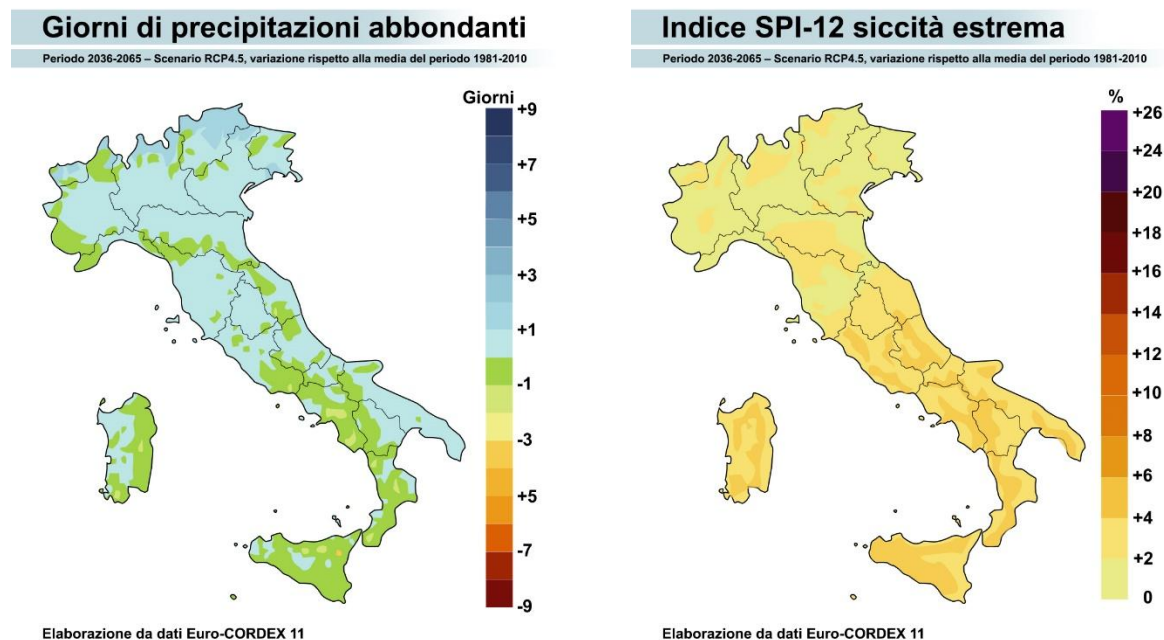


Figura 10: variazione del numero di giorni caratterizzati da precipitazioni abbondanti (oltre 20 mm) e variazione percentuale dell'incidenza di periodi di siccità estrema nell'arco dei 12 mesi; proiezioni per la parte centrale del secolo (periodo 2036-2065) rispetto alla media trentennale di riferimento.

²⁴ Si intendono *giornate con precipitazioni abbondanti* quelle in cui cadono almeno 20 mm di pioggia.

²⁵ Lo SPI (Standardized Precipitation Index) è un indice che quantifica le anomalie di precipitazioni su diversi archi temporali e risulta molto utile nell'individuare i periodi di siccità, quelli cioè caratterizzati da importanti deficit precipitativi. Lo SPI-12 descrive le anomalie di precipitazione nell'arco dei 12 mesi.

5. Conseguenze dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica in Italia

I cambiamenti climatici nel breve e medio termine, così come descritti dalle proiezioni dei modelli del Programma Euro-CORDEX e dalla letteratura scientifica, mostrano per l'Italia scenari in cui è molto probabile una riduzione della risorsa idrica e una maggior irregolarità nella sua disponibilità.

In particolare, per quel che riguarda la disponibilità della risorsa idrica, gli aspetti del cambiamento climatico futuro di maggior rilievo sono:

- **Diminuzione delle precipitazioni** totali, su base decennale, al Sud e Isole; variazioni non significative nel resto d'Italia. In diversi settori del Paese quindi arriverà meno acqua per la ricarica delle riserve idriche del territorio;
- **Estremizzazione delle precipitazioni**, che tenderanno a concentrarsi in meno episodi caratterizzate da maggior intensità e separati da periodi asciutti più frequenti e prolungati: in tutta Italia aumenteranno sia le occasioni di precipitazioni abbondanti che gli eventi di siccitosi importanti (siccità severa, siccità estrema);
- **Temperature più elevate**, con tasso di evapotraspirazione più intenso, in tutta Italia. Rispetto alla situazione attuale il territorio italiano quindi perderà più acqua per passaggio diretto dalla superficie all'atmosfera, specie al Sud e Isole;
- **Diminuzione dei quantitativi di neve** accumulati sulle montagne del Nord, con impatto negativo sulle riserve di risorsa idrica cui attingere nei periodi più caldi dell'anno.

Nello specifico, la più intensa evapotraspirazione collegata all'aumento delle temperature medie favorirà un incremento della quantità di umidità sottratta al territorio, senza che vi sia – come descritto in questa analisi – un corrispondente aumento delle precipitazioni, che anzi in alcune aree del Paese sono destinate a diminuire. Il risultato sarà quindi **un inevitabile impoverimento delle risorse idriche immagazzinate sul territorio**.

Ad accentuare il processo di riduzione della risorsa idrica contribuiranno le modifiche del terreno causate dalla maggiore frequenza dei periodi di siccità. Durante le fasi siccitose infatti il terreno tende a diventare più secco e compatto, caratterizzato perciò da una ridotta capacità di assorbire l'acqua in arrivo dal cielo. L'effetto combinato di terreni con diminuita capacità di assorbimento e precipitazioni sempre più spesso concentrate in episodi particolarmente intensi, in cui solo una frazione delle piogge può essere assorbita dal suolo, porta come inevitabile risultato a **una riduzione della quantità d'acqua che il territorio è in grado di raccogliere e immagazzinare**. Il fenomeno si sta già evidenziando, come dimostrato dal fatto che a livello planetario, nell'ultimo decennio, a causa dell'aumento delle temperature medie e dell'estremizzazione delle precipitazioni,

le riserve d'acqua presenti sulle terre emerse siano sensibilmente diminuite²⁶ (si stima, a livello globale, circa 1200 chilometri cubi di acqua in meno rispetto al decennio precedente).

La diminuzione della risorsa idrica disponibile risulterà più marcata in quelle aree in cui saranno più elevate le temperature (e quindi l'impatto dell'evapotraspirazione), più frequente la siccità e più marcata l'eventuale diminuzione delle precipitazioni totali: **il Sud Italia, di conseguenza, sarà presumibilmente il settore del nostro Paese maggiormente esposto alla riduzione di acqua disponibile sul territorio**, mentre al Nord problemi di scarsità idrica potrebbero evidenziarsi soprattutto in estate, in ragione di minori precipitazioni nevose (e quindi scorta d'acqua immagazzinata in montagna) nei mesi primaverili e invernali. Inoltre, è probabile che il regime delle precipitazioni, come avvenuto nel recente passato, mostri una elevata irregolarità, per cui in tutto il Paese **la situazione potrebbe variare fortemente da un anno all'altro**, con l'alternanza tra fasi assai secche e altre caratterizzate da importanti surplus precipitativi: si possono prevedere quindi importanti criticità causate tanto da scarsità idrica quanto da eccedenza di acqua e conseguente pericolo alluvioni.

²⁶ An Abrupt Decline in Global Terrestrial Water Storage and its Relationship with Sea Level Change. Surveys in Geophysics, 2024.