

Quadro climatico regionale della Campania

Documento a supporto della pianificazione strategica dell'adattamento climatico

Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)

Istituto per la Resilienza Climatica (ICR)

Divisione Modelli Regionali ed impatti geo-idrologici (REMHI)



Autori

Alessandro Pugliese, Giuliana Barbato, Jonathan Spinoni, Alessandro Bonfiglio, Nunzia Gabriella Fasolino, Antonella Mele, Emma D'Orto, Arianna Acierno, Francesca Marinucci, Paola Mercogliano

Dicembre 2025

Indice

Premessa	3
Introduzione	4
Il contesto climatico	6
Metodologia	7
Processo di definizione e selezione degli indicatori climatici con gli uffici regionali	7
Informazioni climatiche disponibili	9
Strumenti per la caratterizzazione del clima su periodo di riferimento: dataset E-OBS e dataset VHR-REA_IT del CMCC	10
Modelli per la caratterizzazione del clima futuro: scenari e modelli climatici	11
L'evoluzione del clima in Campania	16
Servizi per la regione Campania accessibili attraverso la piattaforma Dataclime	37
Sintesi dei dati caricati sulla piattaforma <i>Dataclime</i>	37
Indicazioni sull'uso e accesso ai dati	38
Conclusioni	41
Bibliografia	43
Glossario	45

Premessa

Il presente documento costituisce il primo risultato della collaborazione tecnico-scientifica tra la Regione Campania e la Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) svolta sulla base dell'accordo sottoscritto tra le parti l'8 maggio 2025 con l'obiettivo primario di sviluppare strumenti scientifici rigorosi, basati sulle più recenti evidenze modellistiche e osservative in ambito climatico, mirati a supportare i processi di pianificazione strategica e decisionale della Regione Campania.

In particolare, il processo di elaborazione della *“Strategia Regionale per l'Adattamento ai cambiamenti climatici”* della Regione Campania¹ prevede lo svolgimento di diverse attività come l'analisi dei rischi climatici regionali e le varie fasi partecipative, informative e formative che, basate sul “quadro climatico regionale”, concorrono alla definizione della Strategia.

Le analisi del presente Quadro Climatico Regionale sono basate su dataset ad alta risoluzione e tecniche ampiamente utilizzate a livello europeo e nazionale che rappresentano la necessaria e fondamentale base conoscitiva per le successive fasi di analisi del rischio climatico e per la conseguente definizione di efficaci strategie di adattamento ai vari livelli territoriali.

¹ Con D.G.R. n. 741 del 21/12/2024 la Regione Campania ha approvato il *“Documento di indirizzo per la strategia regionale di adattamento ai cambiamenti climatici”*

Introduzione

L'obiettivo principale del presente Quadro Climatico è fornire una descrizione dettagliata e aggiornata del clima di riferimento e futuro della Regione Campania. Il documento mira pertanto a:

1. Definire un set di indicatori climatici rilevanti per il contesto regionale, in accordo con le esigenze della pianificazione territoriale.
2. Analizzare le anomalie climatiche (periodi di riferimento 1981-2010 e 1991-2020) per comprendere l'evoluzione del clima negli ultimi 45 anni e dei fenomeni estremi.
3. Fornire le proiezioni climatiche future per il medio-lungo termine (2036-2065), inquadrando i potenziali impatti legati a diversi scenari di emissione.
4. Descrivere il servizio climatico “Campania Climate Hub” (disponibile all'interno della piattaforma Dataclime, www.dataclime.com del CMCC) sviluppato per esplorare in modo interattivo il quadro climatico regionale e supportare la pianificazione di politiche e interventi di adattamento ai cambiamenti climatici.

Il Quadro Climatico Regionale si inserisce coerentemente all'interno delle strategie di adattamento nazionali e regionali, agendo come un riferimento scientifico solido per supportare l'integrazione dei fattori climatici e dei relativi rischi nei diversi settori della pianificazione.

A livello europeo, il quadro di riferimento è definito dalla Strategia UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici del 2021², annunciata nel Green Deal europeo del 2019³. La strategia europea riconosce l'adattamento ai cambiamenti climatici come elemento centrale per la resilienza e la prosperità dell'economia europea.

² Comunicazione COM(2021) 82 final del 24 febbraio 2021 con la quale la Commissione europea ha approvato la nuova Strategia di adattamento “*Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici*” che ha fatto seguito alla precedente Strategia dell'UE del 2013

³ Comunicazione della Commissione europea COM(2019) 640, dell'11 dicembre 2019 con la quale è stato adottato il “*Green Deal europeo: Strategia di crescita dell'UE a impatto climatico zero, giusta e prospera*”

A livello nazionale, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) del 2023⁴ fornisce il quadro di riferimento nazionale e gli indirizzi per la pianificazione e l'attuazione delle azioni di adattamento rispetto alle specificità del contesto italiano.

In Campania, attualmente, il tema dell'adattamento è affrontato in diversi contesti e a differenti livelli di governance, con un approccio prevalentemente settoriale e maggiormente su scala urbana. A livello regionale e comunale, interessanti prospettive emergono dal Green City Approach (2021), promosso dal progetto *"Strategia per le green city per lo sviluppo sostenibile in ambito urbano e metropolitano nei comuni campani"* della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile in collaborazione con la Regione Campania, che individua tra i propri obiettivi il contrasto al cambiamento climatico e incoraggia l'adozione di misure di adattamento, studi di vulnerabilità e valutazioni di rischio, evidenziando il fatto che l'implementazione concreta di azioni su scala locale è ancora fortemente limitata. Analogamente, risulta ancora non ben diffusa in ambito campano l'integrazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici nella pianificazione locale, nonostante il rilevante ruolo svolto dai PAESC (Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima)⁵ che promuovono l'impegno delle amministrazioni locali sugli obiettivi clima ed energia integrando misure di mitigazione e adattamento con particolare focus sul settore energetico, industriale e del trasporto.

A queste iniziative si affiancano diversi progetti di ricerca finanziati da programmi europei, in particolare Horizon Europe, che hanno interessato il territorio campano negli ultimi anni. Ne sono un esempio, progetti quali KNOWING, RiskADAPT e ICARIA che, nell'ultima programmazione, hanno visto la città di Napoli come caso studio affrontando rispettivamente tematiche legate agli effetti del cambiamento climatico (KNOWING), alla valutazione dei rischi climatici (ICARIA) e agli impatti sulla salute e sugli asset urbani (RiskADAPT). Tali iniziative, seppur con obiettivi e approcci differenti, hanno contribuito allo sviluppo di conoscenze e strumenti aggiuntivi a supporto dell'adattamento climatico soprattutto su scala urbana.

⁴ Decreto del Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica (MASE) 21 dicembre 2023 n. 434, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2024, con cui è stato approvato il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

⁵ strumento del Patto dei Sindaci per il clima e l'energia (Covenant of Mayors), iniziativa volontaria promossa dalla Commissione europea dal 2008 e destinata agli Enti Locali.

Nel complesso, dunque, nel contesto campano emerge una base conoscitiva articolata, ma che risulta ad oggi alquanto frammentaria. Con l'accordo tra la Regione Campania e la Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) è stato posto pertanto l'obiettivo di sviluppare un quadro di riferimento omogeneo e coerente per tutto il territorio regionale in grado di rappresentare uno strumento integrato di supporto strategico alle azioni di adattamento in Campania, del quale il presente "quadro climatico regionale" rappresenta il primo elemento, unitamente al servizio climatico dedicato "*Campania Climate Hub*" sviluppato nell'ambito dell'Accordo e disponibile nella piattaforma Dataclime del CMCC.

Il contesto climatico

Secondo il Quinto Rapporto di Valutazione (AR5) dell'IPCC (IPCC, 2014), il bacino del Mediterraneo è uno degli hotspot del riscaldamento globale, cioè tra le aree più esposte e vulnerabili agli impatti del cambiamento climatico. Le evidenze dell'AR6 (Ali et. al 2022) rafforzano e aggiornano questo quadro: dal 1980 il riscaldamento atmosferico nel Mediterraneo ha superato in media quello globale (alta confidenza) e le proiezioni indicano tassi di aumento della temperatura superiori alla media globale anche in futuro, soprattutto in estate. Inoltre, l'AR6 (IPCC, 2021) mostra con maggiore confidenza rispetto all'AR5 che l'influenza umana sta già intensificando molti estremi meteorologici e climatici (inclusi ondate di calore e precipitazioni intense) in tutte le regioni.

Per l'Italia, i segnali osservati sono coerenti con quelli europei riportati da IPCC (consultabili su <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/factsheets/> per Europa) aumento delle temperature medie, estati eccezionalmente calde e ondate di calore più frequenti e persistenti, insieme a un'intensificazione degli eventi di pioggia intensa (pur in un contesto mediterraneo in cui la stagione calda tende a mostrare un segnale di maggiore aridità e rischio di siccità), con effetti rilevanti su salute, risorse idriche, agricoltura e infrastrutture.

Secondo il servizio Copernicus sul cambiamento climatico (C3S), dal 2023 in poi l'Europa sta vivendo una fase di riscaldamento senza precedenti, con impatti sempre più evidenti anche in Italia. Il 2024 e il 2023 sono stati gli anni più caldi mai registrati, a livello globale, da quando sono disponibili le osservazioni, con il 2024 che risulta l'anno più caldo in assoluto anche per il continente europeo ed il primo a registrare un aumento nella temperatura media annua globale di più di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. Lo scorso 2025 è stato il terzo anno più

caldo mai registrato. Il continente europeo si sta riscaldando a una velocità circa doppia rispetto alla media globale (*Copernicus Global Climate Highlights Report 2024*). In tale periodo le anomalie più ampie, tra 2°C e 3°C sopra la media del periodo 1991–2020, sono state osservate soprattutto nell'Europa orientale e sud-orientale (Figura 1). Inoltre, Copernicus evidenzia una crescita degli eventi meteorologici estremi, come precipitazioni intense e alluvioni che, sia nel 2023 che nel 2024, hanno interessato vaste aree europee, causando danni rilevanti e vittime.

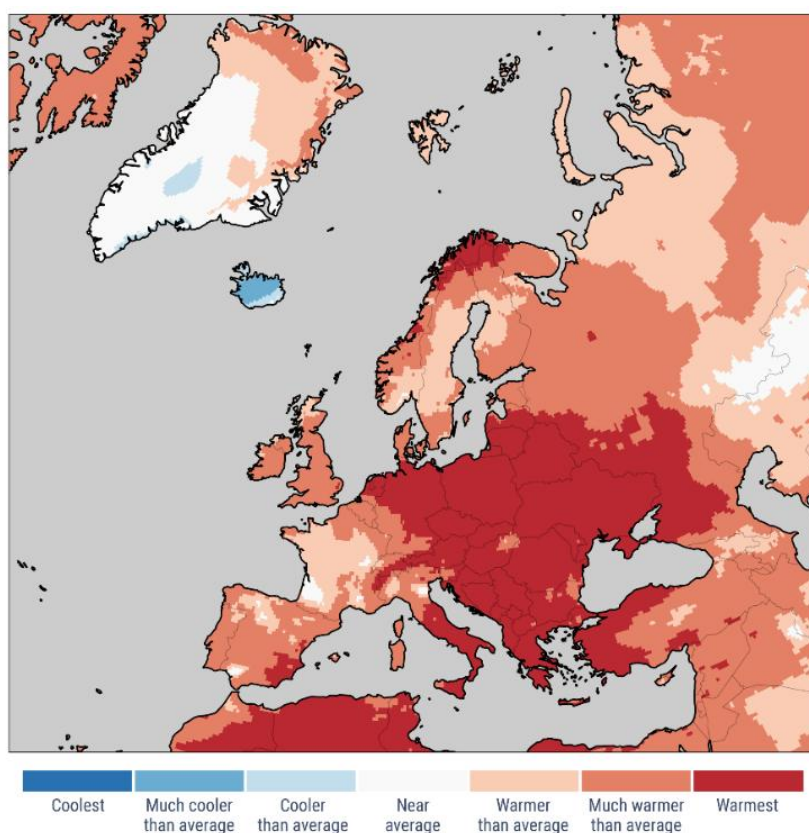


Fig.1 - Anomalie ed estremi di temperatura delle aree terrestri europee nel 2024. Credits:C3S/ECMWF

Metodologia

Processo di definizione e selezione degli indicatori climatici con gli uffici regionali

In coerenza con l'Accordo di collaborazione, il processo di co-design con gli uffici regionali ha portato all'identificazione di un set di indicatori climatici, selezionati

per rilevanza operativa e utilità per la pianificazione dell'adattamento. La selezione finale è quindi funzionale a descrivere la variabilità climatica in atto e prevista per fenomeni critici per il territorio regionale, tra cui ondate di calore e di freddo, siccità, precipitazioni intense e tempeste di vento. La tabella seguente include gli indicatori climatici analizzati nel quadro climatico e successivamente inclusi nella piattaforma dedicata “*Campania Climate Hub*”.

Acronimo	Nome	Descrizione	Variabili	Principali pericoli connessi all'indicatore
TG	Temperatura media	Media della temperatura giornaliera	TG	Ondate di Caldo
WSDI	Indice di durata dei periodi di caldo	Numero di giorni in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile per almeno 6 giorni consecutivi.	TX	
SU95P	Giorni estivi	Numero di giorni con temperatura massima superiore a 29.2°C	TX	
TR	Notti tropicali	Numero di giorni con temperatura minima superiore a 20°C	TN	
TMAX2YS (5y-100y)	Temperatura massima associata al tempo di ritorno	Temperatura massima giornaliera associata ad un tempo di ritorno di 2 anni (e da 5 a 100 anni)	TX	
WD	Giorni caldi e secchi	Numero di giorni con temperatura media maggiore del 75° percentile e precipitazione minore del 25° percentile	TM,PR	
WW	Giorni caldi e umidi	Numero di giorni con temperatura media maggiore del 75° percentile e precipitazione maggiore del 75° percentile	TM,PR	
CSDI	Indice di durata dei periodi di freddo	Numero di giorni in cui la temperatura minima è inferiore al 10° percentile per almeno 6 giorni consecutivi.	TN	Ondate di freddo
FD	Giorni di gelo	Numero di giorni con temperatura minima inferiore a 0°C	TN	
TMIN2YS (5y-100y)	Temperatura minima associata al tempo di ritorno	Temperatura minima giornaliera associata ad un tempo di ritorno di 2 anni (e da 5 a 100 anni)	TN	
HDDs	Gradi-giorno di riscaldamento	Somma annuale ottenuta sottraendo i valori di temperatura media giornaliera a 18°C se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C	TN,TX	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento
CDDs	Gradi-giorno di raffrescamento	Somma annuale ottenuta sottraendo 21°C ai valori di temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è superiore a 21°C	TN,TX	
GD4	Gradi-giorno per crescita agricola	Somma annuale ottenuta sottraendo 4°C ai valori di temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è superiore a 4°C	TG	
Humidex5	Indice di disagio termico	Indice bioclimatico di calore percepito basato su temperatura e umidità (Categoria 5: numero di giorni in cui Humidex è maggiore di 45°C)	TG, RH	Stress climatico
THI	Indice di stress climatico	Indice bioclimatico di calore percepito, basato su temperatura e umidità, in uso specialmente per specie bovine	TG, RH	

Acronimo	Nome	Descrizione	Variabili	Principali pericoli connessi all'indicatore
PRCPtot	Precipitazione cumulata	Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (almeno 1mm)	PR	Precipitazioni estreme
SDII	Indice di intensità di pioggia	Precipitazione media giornaliera nei giorni piovosi (almeno 1mm)	PR	
R20	Giorni con pioggia intensa	Giorni con precipitazione maggiore o uguale a 20mm	PR	
TR2PR (5y-100y)	Precipitazione associata al tempo di ritorno	Precipitazione giornaliera associata ad un tempo di ritorno di 2 anni (e da 5 a 100 anni)	PR	
RX1d	Massima precipitazione giornaliera	Valore massimo annuale della precipitazione giornaliera	PR	
RX5d	Massima precipitazione cumulata su 5 giorni	Valore massimo annuale della precipitazione giornaliera cumulata su cinque giorni consecutivi	PR	
PETth	Evapotraspirazione potenziale	Evaporazione potenziale del suolo stimata con il metodo Thornthwaite	TG	Siccità
CDD	Giorni secchi consecutivi	Massimo numero annuale di giorni consecutivi senza pioggia	PR	
SPI-3 (to 24)	Indice standardizzato di precipitazione	In questo studio, percentuale dei valori appartenenti alle classi di siccità e siccità severa (Tempi di accumulo dai 3 ai 48 mesi)	PR	
SPEI-3 (to 24)	Indice standardizzato di precipitazione ed evaporazione	In questo studio, percentuale dei valori appartenenti alle classi di siccità e siccità severa (Tempi di accumulo dai 3 ai 48 mesi)	PR, PET(TG)	
EWS	98 percentile di vento massimo	Valore corrispondente al 98° percentile del vento massimo giornaliero	WX	Tempeste di vento
TR2WSMAX (20-100y)	Vento massimo associato al tempo di ritorno	Vento massimo giornaliero associato ad un tempo di ritorno di 20 anni (e da 50 a 100 anni)	WX	
FWI	Indice di pericolo di incendio	Indice che classifica il pericolo di incendio dovuto a parametri meteorologici	TX, RH, PR, WX	Incendi

Tabella 1 - Lista completa degli indicatori utilizzati per realizzare il quadro climatico della regione Campania. Tutti gli indicatori sono stati calcolati su base annuale. Temperatura media, precipitazione cumulata ed indicatori relativi alle tempeste di vento anche su scala stagionale.

Informazioni climatiche disponibili

Per realizzare il quadro climatico sono state utilizzate tre tipologie di dati:

- **Osservazioni** - Sono fondamentali per comprendere le caratteristiche passate e attuali del clima; includono ad esempio dataset osservativi ottenuti grazie ad un ampio numero di esperimenti di interpolazione su serie storiche di diverse variabili atmosferiche.
- **Rianalisi climatiche** - Combinano osservazioni passate con modelli climatici per generare serie temporali coerenti per un ampio insieme di variabili per il clima passato e attuale; sono tra i set di dati più utilizzati nelle scienze geofisiche.

● **Proiezioni climatiche** - Forniscono proiezioni dei futuri cambiamenti climatici seguendo scenari socioeconomici basati su diverse concentrazioni di gas serra e percorsi di sviluppo. Includono l'utilizzo di modelli climatici globali e regionali e solitamente hanno risoluzione spaziale inferiore alle rianalisi.

Strumenti per la caratterizzazione del clima su periodo di riferimento: dataset E-OBS e dataset VHR-REA_IT del CMCC

Per la definizione del presente quadro climatico sono stati considerati due dataset per descrivere il clima sul periodo di riferimento (1981-2010): VHR-REA_IT (Raffa et al. 2021) e l'ultima versione E-OBS disponibile da Copernicus Climate Data Store (versione 31.0e, Cornes et al. 2019).

Il dataset VHR-REA_IT ad altissima risoluzione (≈ 2 km) è sviluppato dal CMCC e basato su rianalisi. I dati di rianalisi rappresentano dataset meteorologici che permettono una ricostruzione coerente e omogenea dello stato dell'atmosfera, ottenuta combinando le osservazioni reali con modelli numerici di simulazione atmosferica. Nel dettaglio, VHR-REA_IT è ottenuto attraverso un downscaling dinamico della rianalisi ERA5 attraverso l'utilizzo del modello regionale climatico (RCM) COSMO-CLM (Rockel et al. 2008), sviluppato dalla CLM Assembly con cui la Fondazione CMCC collabora.

Il dataset E-OBS rappresenta un set di dati osservativo su griglia regolare (solo terrestre) disponibile per l'Europa e per l'intera regione mediterranea, ottenuto grazie ad un ampio numero di esperimenti di interpolazione su serie storiche di precipitazione, temperatura, radiazione solare, velocità del vento ed altre variabili. Le serie storiche interpolate provengono dalla rete di stazioni che contribuiscono al progetto European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) e vengono fornite da servizi nazionali ed europei o da altre istituzioni che si occupano di gestione e archiviazione dati. Il dataset presenta una risoluzione temporale giornaliera e spaziale in due versioni, 0.25° (28 km ca.) e 0.1° (10 km circa), con copertura paneuropea sull'arco temporale 1920-2024. Questo dataset è molto utilizzato in studi climatici e di impatti dovuti ad estremi meteorologici, ma presenta alcune zone dove l'affidabilità è inferiore (in particolare nel sud-est del Mediterraneo ed

in specifici periodi temporali) per effetto della diversa copertura in termini di stazioni meteorologiche usate come input all'interpolazione.

In questo studio, abbiamo utilizzato la versione 31 del dataset E-OBS, la più aggiornata a fine 2025, tuttavia questa non consente il calcolo di indicatori basati sulla velocità massima giornaliera del vento, in quanto fornisce soltanto la sua media giornaliera.

Modelli per la caratterizzazione del clima futuro: scenari e modelli climatici

Per descrivere l'evoluzione futura del clima sono stati utilizzati i seguenti dataset: modelli EURO-CORDEX⁶ (Jacob et al., 2014), VHR-PRO_IT (Raffa et al. 2023) e proiezioni climatiche appartenenti all'ultima generazione dei modelli CMIP, ovvero CMIP6 (O'Neill et al., 2016), su cui è stato effettuato il downscaling statistico come in Fedele et al. (2025).

Allo scopo di studiare il pericolo climatico su aree limitate sono disponibili modelli climatici regionali, con risoluzioni dell'ordine dei 10-15 km, che permettono una migliore caratterizzazione dei processi atmosferici. I modelli climatici regionali consentono di aumentare la risoluzione spazio-temporale dei modelli di circolazione globale, di integrare processi fisici a scala regionale e di conseguenza offrire strumenti più adatti alle analisi di impatto su scala locale. Di particolare rilevanza a livello europeo sono i Modelli Climatici Regionali prodotti dalla comunità scientifica internazionale nell'ambito del programma EURO-CORDEX, con una risoluzione di circa 12 km sull'Europa (Jacob et al. 2014; Hennemuth et al. 2017; Jacob et al. 2020). Tali modelli sono stati utilizzati per elaborare le variazioni climatiche attese nell'area di interesse. In particolare, sono stati selezionati quelli presi in considerazione nell'ambito del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici e reperibili sulla piattaforma Climate Change Service (C3S) di Copernicus⁷. Le proiezioni consentono di analizzare gli andamenti futuri delle principali variabili meteorologiche sfruttando un ensemble di modelli, in modo da poter offrire un campione statistico sufficiente a valutare l'incertezza

⁶ <https://www.euro-cordex.net/>

⁷ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview>

associata alle proiezioni. Per questo studio sono stati selezionati tre scenari che descrivono un futuro legato ad emissioni basse emissioni/forte mitigazione (RCP2.6), intermedio/stabilizzazione (RCP4.5) e alte emissioni (RCP8.5).

È importante sottolineare come tale metodologia sia in linea con le indicazioni del PNACC per le analisi regionali e locali, dove è esplicitamente richiesto che esse siano basate su approcci multi-modello e multi-scenario⁸. In particolare, l'utilizzo dell'ensemble EURO-CORDEX e di tre scenari (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) consente di caratterizzare due componenti distinte dell'incertezza: (i) lo spread inter-modello, variabilità tra modelli all'interno di uno stesso scenario e (ii) lo spread inter-scenario, differenze tra scenari emissivi. In questo modo è possibile valutare sia la variabilità dovuta alle diverse formulazioni modellistiche sia la sensibilità del segnale climatico ai diversi percorsi emissivi.

Oltre alle variazioni climatiche elaborate per il periodo 2036–2065 rispetto al riferimento 1981–2010, il servizio rende disponibili anche le tendenze climatiche fino al 2070 per i diversi indicatori climatici, in coerenza con le elaborazioni effettuate a livello nazionale e con quanto previsto nell'Accordo. Tali tendenze sono consultabili in piattaforma Dataclime tra i diversi output disponibili per ciascun indicatore.

Il dataset VHR-PRO_IT (Very High-Resolution PROjections for ITaly), è una proiezione climatica con frequenza oraria e risoluzione di ≈ 2.2 km (cioè, alla scala che consente di includere i processi convettivi) fino al 2050, che copre l'intero territorio italiano ed alcune aree limitrofe. VHR-PRO_IT è stato prodotto dal CMCC nell'ambito del progetto Highlander (<https://highlanderproject.eu/>) attraverso il downscaling dinamico della proiezione climatica Italy8km-CM (risoluzione spaziale ≈ 8 km; guidata dal GCM CMIP5 = CMCC-CM) utilizzando il Modello Climatico Regionale COSMO-CLM, secondo gli scenari IPCC-AR5 RCP4.5 e RCP8.5. Tale dataset è principalmente destinato a scopi di ricerca nel campo degli studi climatici e può essere, ad esempio, incluso nelle attività in corso per chiarire il valore aggiunto dell'esecuzione di simulazioni climatiche alla scala che consente di integrare i processi convettivi nelle analisi.

Le proiezioni basate sui modelli CMIP6 (derivanti in prima battuta dalle narrative incluse nel Sesto Rapporto IPCC) usate in questo studio, rappresentano un ensemble di modelli ad alta risoluzione sviluppato specificamente per il territorio

⁸ <https://climadat.isprambiente.it/pnacc/metodologie-regionali-locali/>

italiano. Il dataset nasce dall'esigenza di fornire informazioni climatiche dettagliate per supportare valutazioni d'impatto e pianificazione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. Sono state sviluppate applicando tecniche di downscaling statistico a nove modelli climatici globali (GCM) CMIP6, utilizzando come riferimento la rianalisi regionale europea CERRA (Ridal et al., 2024). La metodologia Empirical Quantile Mapping (EQM) impiegata garantisce che le proiezioni mantengano distribuzioni statistiche realistiche e forniscano una caratterizzazione accurata del clima locale.

I dati coprono il periodo 1985-2100 con valori giornalieri a risoluzione spaziale di 0.05° (≈ 5 km) e includono le principali variabili climatiche, quali temperatura, umidità, velocità del vento e precipitazioni. Sono stati considerati due scenari futuri: SSP1-2.6 (sviluppo globale basato sulla sostenibilità ambientale ed economica e basse emissioni) e SSP3-7.0 (sviluppo basato su emissioni medio-alte e spiccata rivalità regionale con sviluppo economico fortemente differenziato tra singoli Paesi), rappresentativi di diverse sfide per la mitigazione e l'adattamento.

INFORMAZIONI CLIMATICHE



OSSERVAZIONI

Dataset osservativi
derivanti da
interpolazioni di
serie storiche



RIANALISI CLIMATICHE

Combinano
osservazioni passate
con modelli climatici



PROIEZIONI CLIMATICHE

Forniscono proiezioni
dei futuri cambiamenti
climatici

CLIMA PASSATO

Periodo di riferimento
1981 - 2010



2 DATASET

VHR-REA_IT
(by CMCC)

E-OBS
(by Copernicus
Climate Data Store)



RISOLUZIONE

circa **2 Km**

circa **10 Km**

Periodo di riferimento
2036 - 2065

CLIMA FUTURO



3 DATASET

EURO-CORDEX
Ensemble di Modelli

VHR-REA_IT
(by CMCC)

CMIP6
Ensemble di Modelli



RISOLUZIONE

circa **12 Km**

circa **2.2 Km**

circa **5 Km**



SCENARI

RCP
scenari di
concentrazione
dei gas serra

SSP
scenari
socio-economici
futuri

RILEVANZA DELLE METODOLOGIE

CLIMA PASSATO

VHR-REA_IT



dataset ad altissima risoluzione basato su rianalisi climatiche, sviluppato dal CMCC

E-OBS



dataset osservativo costruito tramite interpolazioni di **serie storiche di diverse variabili climatiche** (Europa e Mediterraneo)



Uso di ensemble, insieme di modelli e scenari, permette di quantificare due tipi di incertezza



Spread inter-modello
variazioni tra modelli diversi



Spread inter-scenario
variazioni tra scenari futuri

CLIMA FUTURO

EURO-CORDEX



ensemble di modelli climatici regionali ad alta risoluzione **ideali per analisi di impatto su scala locale**

VHR-PRO_IT

proiezione climatica ad altissima risoluzione, prodotta dal CMCC

CMIP6

ensemble di modelli ad alta risoluzione per il territorio italiano
Periodo di riferimento:
1991 - 2020



RCP2.6 (basse emissioni)
RCP4.5 (intermedio)
RCP8.5 (alte emissioni)

RCP4.5
RCP8.5

Scenari socio-economici
SSP1-2.6 e SSP3-7.0
rappresentano sfide diverse per mitigazione e adattamento

L'evoluzione del clima in Campania

Nelle prossime sezioni, presentiamo in dettaglio l'evoluzione del clima in Campania dal 1981 al 2024 e le successive proiezioni fino al trentennio di riferimento 2036-2065. In base alle nostre analisi, che comprendono oltre trenta indicatori climatici e sfruttano cinque dataset e fino a tre scenari futuri, osserviamo i seguenti punti chiave:

- Le variabili dipendenti dalla temperatura mostrano una crescita costante che ha subito un'accelerazione attorno ad inizio secolo e proseguirà fino a metà secolo, tanto più marcata quanto più alte sono le emissioni dello scenario considerato;
- Le variabili dipendenti dalla precipitazione mostrano segnali meno omogenei, sia spazialmente che temporalmente, mostrando un aumento di pioggia, anche per intensità media, negli ultimi vent'anni. Questa tendenza prosegue in futuro per le zone costiere seguendo scenari a basse emissioni, ma si inverte seguendo scenari ad alta emissione, soprattutto nelle zone interne;
- Negli ultimi anni, si osservano eventi estremi di precipitazione più frequenti ed in futuro questa tendenza è confermata da ogni scenario considerato. La Campania va incontro ad un futuro caratterizzato da maggiore variabilità, dove saranno ancora più frequenti le piogge molto intense, anche quando il totale complessivo di pioggia dovesse essere inferiore al passato, come per scenari con emissioni medie (RCP4.5) ed alte (RCP8.5);
- Le ondate di calore sono in aumento e diventeranno sempre più lunghe con il progredire del secolo in corso. La crescita sarà inferiore con scenari a basse emissioni, ma comunque rilevante;
- I fenomeni estremi caratterizzati da freddo intenso sono destinati a diventare molto rari o altamente improbabili in futuro, fino ad azzerarsi a fine secolo per scenari con bassa o inesistente mitigazione;
- Nonostante l'aumento della pioggia, soprattutto nei settori occidentali, la crescita delle temperature controbilancia questo effetto e diventa la causa predominante dell'aumento dei fenomeni siccitosi, più lunghi e più intensi negli ultimi anni, anche se non tutti gli indicatori ed i dataset concordano. In futuro, seguire uno sviluppo economico sostenibile (scenario RCP2.6) è cruciale per limitare l'aumento di eventi di siccità. Uno sviluppo non sostenibile (scenario RCP8.5) porterà inevitabilmente ad un aumento marcato di eventi estremi di siccità;

- In una regione classificata come temperata e con clima tipicamente mediterraneo, dagli anni '80 fino ad oggi e poi fino a metà e fine secolo, l'aumento delle temperature ha causato e causerà un aumento complessivo dell'energia stimata per regolare il comfort negli edifici. Infatti, la diminuzione dei giorni dove è necessario il riscaldamento (inverni più miti) viene superata ampiamente dall'aumento dei giorni dove è necessario usare i condizionatori per rinfrescare (estati più lunghe e calde).

FUTURO DEL CLIMA IN CAMPANIA

Rispetto a 3 scenari emissivi dell'IPCC: basse emissioni/forte mitigazione (**RCP2.6**), intermedio/forte stabilizzazione (**RCP4.5**) e alte emissioni/no mitigazione (**RCP8.5**).



TEMPERATURA

**VARIAZIONE CLIMATICA
AL 2050 (media regionale):**

Aumento progressivo e generalizzato

su tutto il territorio campano e in tutti gli scenari futuri, ma più marcato quanto più alte sono le emissioni dello scenario considerato.

RCP2.6 +1.1°C

RCP4.5 +1.5°C

RCP8.5 +2°C



PRECIPITAZIONI

Meno omogeneità spaziale (al 2050):

Aumento o diminuzione

a seconda della zona e degli scenari futuri considerati.

Secondo lo scenario **RCP2.6**: aumento nelle zone costiere.

Secondo gli scenari **RCP4.5** e **RCP8.5**: diminuzione nelle zone interne centrali e meridionali.

EVENTI ESTREMI



PRECIPITAZIONI ESTREME

Aumento di frequenza e intensità

in particolare nelle zone nord-occidentali della regione.



ONDATE DI CALORE

Aumento generalizzato del pericolo

più marcato per lo scenario **RCP8.5**, in particolare lungo la fascia costiera.



ONDATE DI FREDDO INTENSO

Riduzione generale del pericolo

in particolare nelle zone interne e di altitudine maggiore (area appenninica), soprattutto per lo scenario **RCP8.5**.



SICCITÀ

Fenomeno complesso **generalmente in crescita** ma con differenze importanti in base allo scenario considerato.

Il progressivo riscaldamento del clima locale può controbilanciare e superare l'effetto dell'aumento delle precipitazioni. Lo scenario **RCP8.5** denota un aumento delle condizioni di siccità in tutta la regione mentre per lo **RCP2.6** nonostante nelle zone interne la siccità resti considerevole, le aree costiere mostrano una diminuzione.



Fabbisogno di ENERGIA

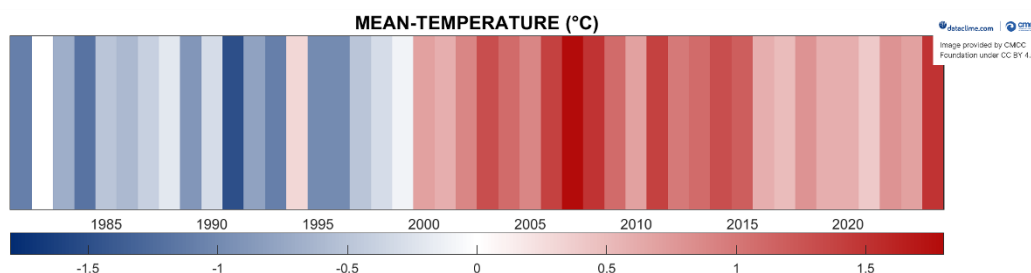
Totale annuo in crescita

in tutti gli scenari futuri e più rilevante per lo scenario **RCP8.5**.

Il trend in corso dagli anni '80 mostra che *l'aumento dell'energia necessaria al raffreddamento supera ampiamente l'energia risparmiata per il riscaldamento.* Ciò comporta un aumento complessivo dell'energia annua stimata per regolare il comfort termico negli edifici.

Variabili principali – Temperatura media e Precipitazione

CLIMATE STRIPES DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

RCP2.6

RCP4.5

RCP8.5

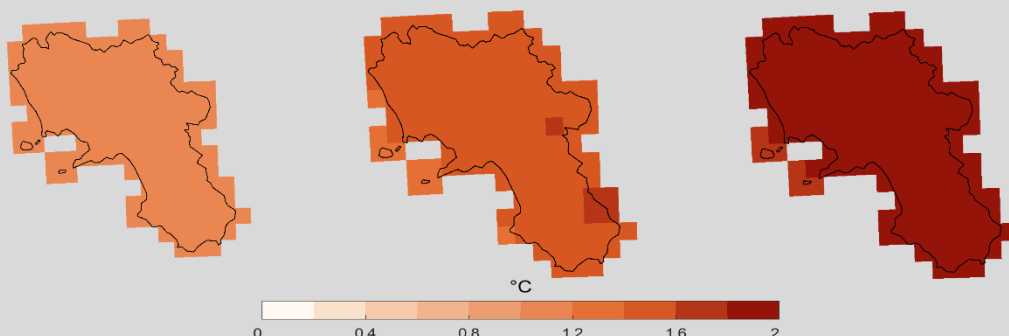
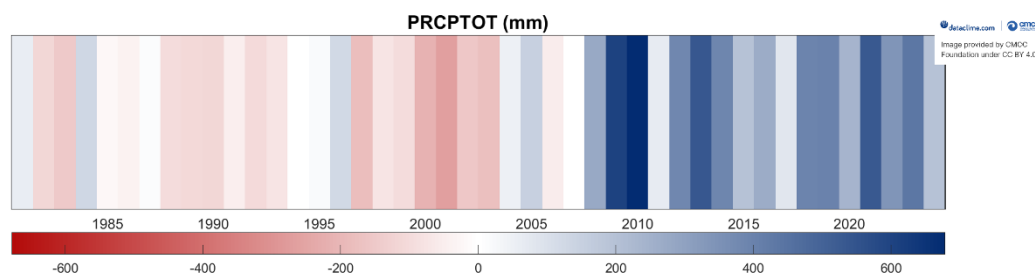


Fig. 2 – Andamento annuale della temperatura media in anomalie rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 usando il dataset E-OBS (in alto). Variazione climatica per il periodo futuro 2036-2065 rispetto al periodo di riferimento (1981-2010) usando un ensemble di modelli EURO-CORDEX (in basso, da sinistra a destra secondo gli scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)

Secondo quanto mostrato in Figura 2, la regione Campania presenta un'evidente tendenza di aumento della temperatura media dal 1981 al 2024, con le anomalie che diventano positive dopo il 2000 e restano tali fino al 2024, ultimo anno incluso nelle osservazioni. In futuro, questa tendenza all'incremento è confermata indipendentemente dallo scenario futuro, arrivando a toccare i 2°C di aumento in tutta la regione, confrontando il periodo 2036-2065 con il periodo 1981-2010 secondo lo scenario RCP8.5, valore che di conseguenza supera abbondantemente i 3°C rispetto al periodo preindustriale.

CLIMATE STRIPES DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

RCP2.6

RCP4.5

RCP8.5

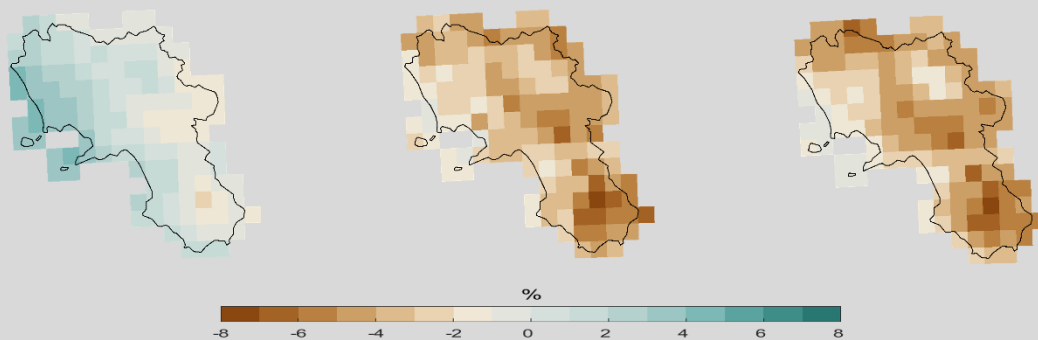


Fig. 3 – Come per la Figura 2, ma per le precipitazioni (differenze in valori percentuali).

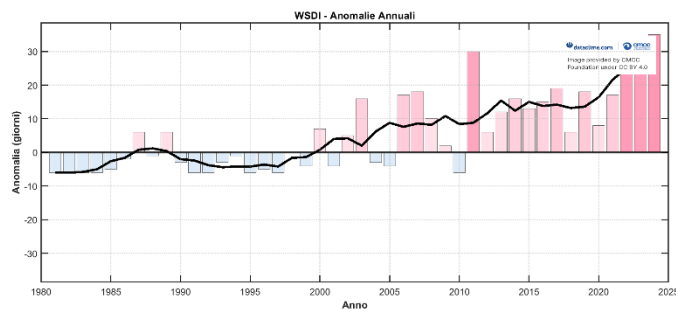
La Figura 3 mostra una tendenza di aumento delle precipitazioni in Campania, in particolare dal 2008, seppur con una distribuzione spaziale meno omogenea delle temperature (si rimanda alla Card dedicata sulla piattaforma Dataclime per maggiori dettagli). Questa tendenza è confermata a metà del ventunesimo secolo seguendo lo scenario a basse emissioni e forte mitigazione (RCP2.6). In particolare, la zona costiera presenta un aumento medio delle precipitazioni superiore al 5% rispetto al periodo di riferimento.

La situazione cambia considerando scenari caratterizzati da emissioni medie e intense; infatti, sia secondo RCP4.5 che RCP8.5, a metà di questo secolo la Campania sarà caratterizzata da un clima più secco, con una riduzione percentuale maggiore (fino all'8%) nelle zone interne centrali e meridionali.

Ondate di caldo

INDICE DI DURATA DEI PERIODI DI CALDO (WSDI)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

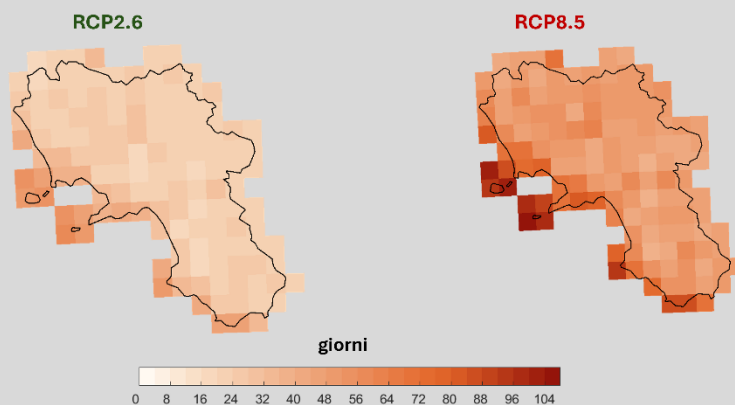
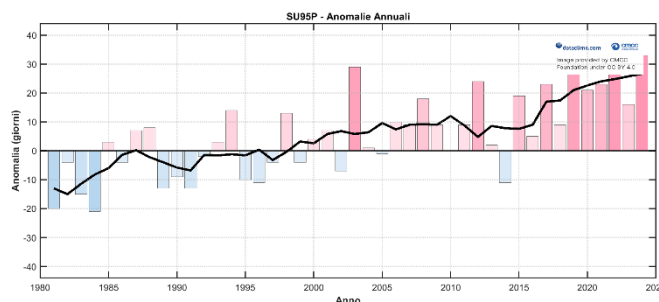


Fig. 4 – Come per la Fig. 2, ma per l'indice di durata dei periodi di caldo.

GIORNI ESTIVI (SU95p)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

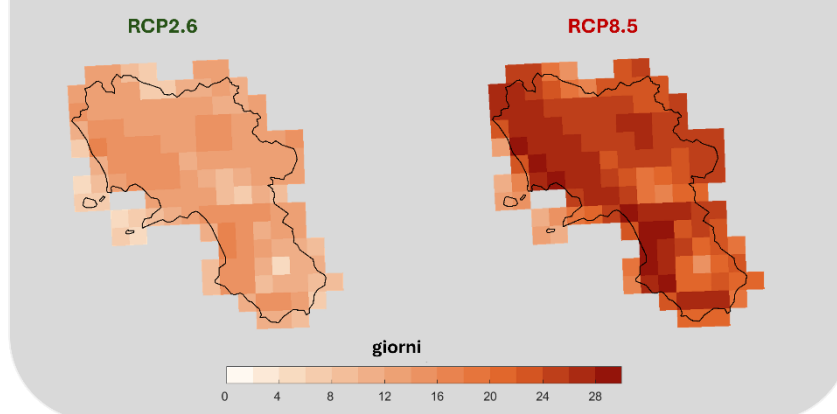


Fig. 5 – Come per la Fig. 2, ma per l'indicatore di giorni estivi.

Nel periodo di riferimento 1981-2010, secondo i dati E-OBS, le varie zone della Regione Campania hanno osservato una media di circa 6-10 giorni all'anno in condizioni di onda di calore (indicatore WSDI) e di circa 35-55 giorni estivi (con temperatura media superiore ai 29.2°C). Si noti che, in entrambi i casi, usando il dataset VHR-REA-IT questi valori risultano simili, ma con maggiori differenze spaziali grazie alla più alta risoluzione. Entrambi gli indicatori mostrano una tendenza positiva con un vero e proprio *turning point* attorno ai primi anni 2000, caratterizzati da alcune ondate di calore fino a quel momento mai registrate, come quella dell'estate 2003.

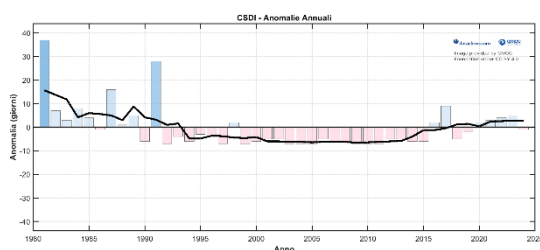
L'aumento di giorni dove la popolazione sperimenta un'ondata di calore è concreto, indipendentemente dallo scenario futuro, ma risulta tanto più importante quanto più alte sono le emissioni. Addirittura, attorno all'anno 2050, i

modelli EURO-CORDEX indicano che questi giorni raddoppieranno sulla costa tirrenica, se confrontati con quelli nel periodo di riferimento 1981-2010, rendendo difficili o molto difficili le condizioni di stress bioclimatico per persone ed ecosistemi.

Ondate di freddo

INDICE DI DURATA DEI PERIODI DI FREDDO(CSDI)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

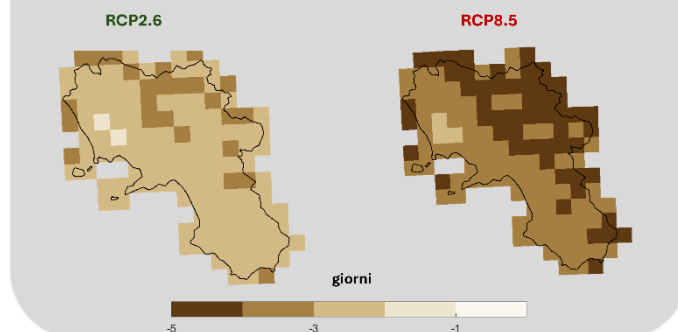
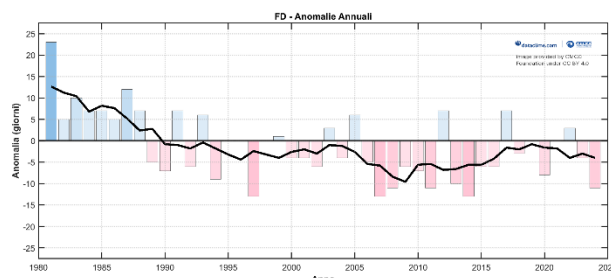


Fig. 6 – Come per la Fig. 2, ma per l'indice di durata dei periodi di freddo.

GIORNI DI GELO (FD)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

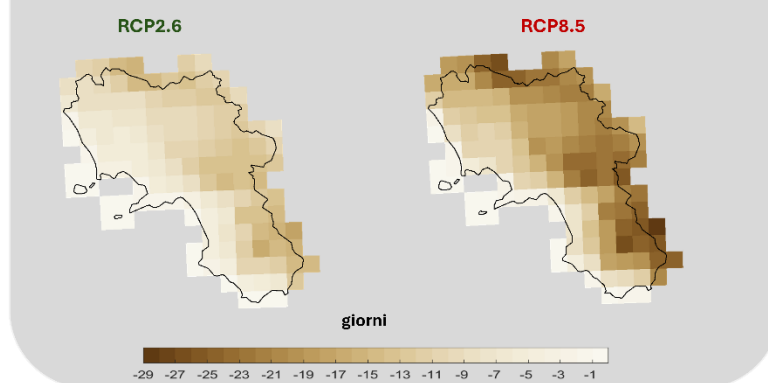


Fig. 7 – Come per la Fig. 2, ma per l'indice giorni di gelo.

Se i dati confermano la tendenza verso un clima più estremo in termini di caldo e molto caldo, questo non è vero quando si analizzano gli estremi relativi a condizioni meteorologiche fredde e molto fredde.

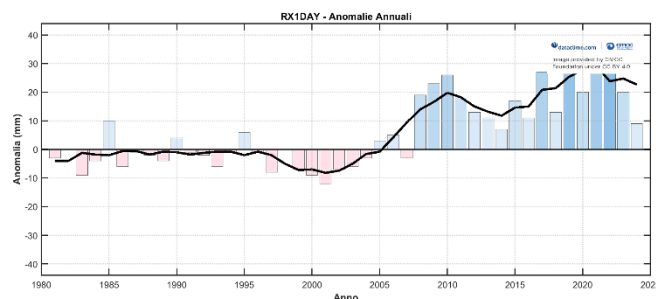
La Fig. 6 mostra una diminuzione dei giorni definiti dall'indicatore CSDI come parte di ondate di freddo, già esigui nel periodo di riferimento 1981-2010, fino quasi a scomparire totalmente a metà ventunesimo secolo secondo lo scenario RCP8.5. Come mostrato in Fig. 7, anche i giorni di gelo (quando la temperatura minima scende sotto lo 0 termico) diminuiscono progressivamente durante il periodo osservato 1981-2024, mostrando anomalie negative rispetto alla media del trentennio di riferimento, già negli anni '90. In futuro, la diminuzione diventa sempre più tangibile, in particolare nelle zone interne e di altitudine maggiore (area appenninica), proprio perché caratterizzate da climi meno caldi e più inclini

a gelate notturne, rispetto alle zone costiere occidentali. Nel 2050, seguendo uno sviluppo sostenibile (scenario RCP2.6) i giorni di gelo diminuiranno; tale riduzione sarà ancora più marcata seguendo uno sviluppo meno sostenibile (RCP8.5).

Precipitazioni estreme

MASSIMA PRECIPITAZIONE GIORNALIERA (RX1DAY)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

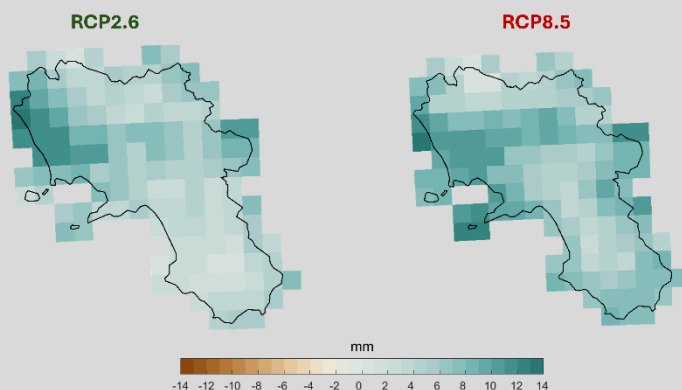
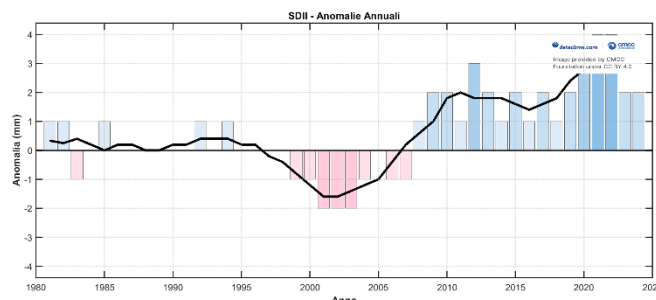


Fig. 8 – Come per la Fig. 2, ma per il massimo annuale di precipitazione cumulata su cinque giorni consecutivi.

Precipitazione giornaliera media (SDII)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

RCP2.6

RCP8.5

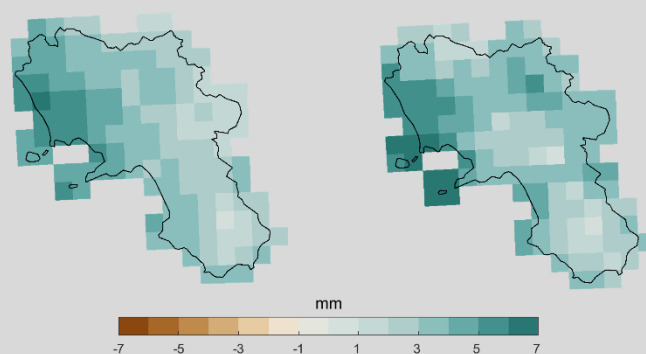


Fig. 9 – Come per la Fig. 2, ma per l'indicatore di intensità di pioggia.

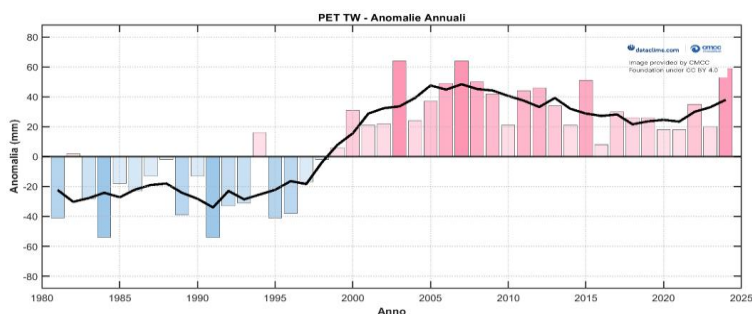
La Fig. 8 e Fig. 9 arricchiscono le informazioni relative agli eventi di pioggia, che sono diventati più intensi a partire da inizio secolo, mostrando anomalie positive sia per quanto riguarda i singoli eventi più intensi (descritti dai cinque giorni consecutivi con maggior pioggia cumulata), sia per quanto riguarda l'intensità media (descritti dall'indicatore SDII, che tiene conto della precipitazione media nei giorni piovosi). Lo stesso vale anche per il numero di giorni con pioggia superiore ai 20 mm (non mostrato in questo report, ma disponibile sulla piattaforma Dataclime), in chiaro aumento negli ultimi venti anni.

Le proiezioni climatiche, ottenute usando gli EURO-CORDEX, mostrano che gli eventi estremi di precipitazione aumentano maggiormente, in percentuale, nelle zone nord-occidentali della regione e, in misura minore, nelle zone interne (fino

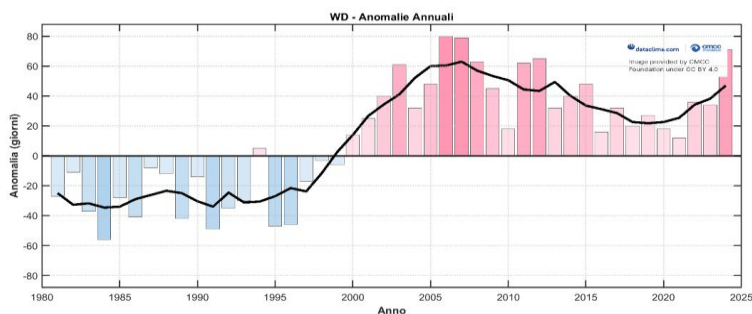
a valori quasi trascurabili), secondo tutti e tre gli scenari presi in considerazione in questo studio.

Siccità

Evapotraspirazione potenziale (PET TH)



GIORNI CALDI E SECCHI (WD)



GIORNI SECCHI CONSECUTIVI

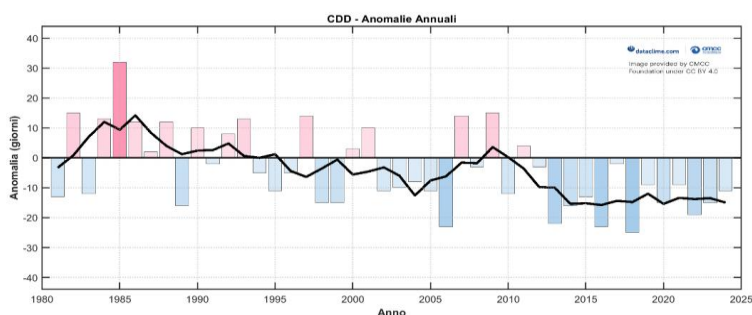


Fig. 10 – Anomalie annuali di evapotraspirazione potenziale (alto), numero di giorni caldi e secchi (centro) e massimo numero di giorni secchi consecutivi (basso). Questa figura sfrutta i dati E-OBS per il periodo 1981-2024 e mostra le anomalie confrontate con il periodo di riferimento 1981-2010.

La siccità meteorologica è una delle categorie di pericolo climatico più complesse da descrivere. La regione Campania ha visto un incremento consistente, a partire dalla fine del secolo scorso fino ai nostri giorni, di due indicatori spesso usati per descrivere la siccità meteorologica: l'evapotraspirazione potenziale (PET) e il numero di giorni caldi e secchi. Tuttavia, un altro indicatore usato per descrivere le condizioni siccitose, il massimo numero di giorni secchi consecutivi, mostra un andamento meno chiaro, non consentendo conclusioni definitive relative alle tendenze recenti di siccità in Campania.

È però vero che gli indicatori che includono la temperatura – responsabile di aumentare l'evaporazione e rendere più secchi i suoli – sembrano indicare un aumento delle condizioni di siccità, suggerendo che il progressivo riscaldamento del clima locale è in grado di controbilanciare e superare l'effetto dell'aumento delle precipitazioni negli ultimi venticinque anni.

Siccità severa per 3 mesi

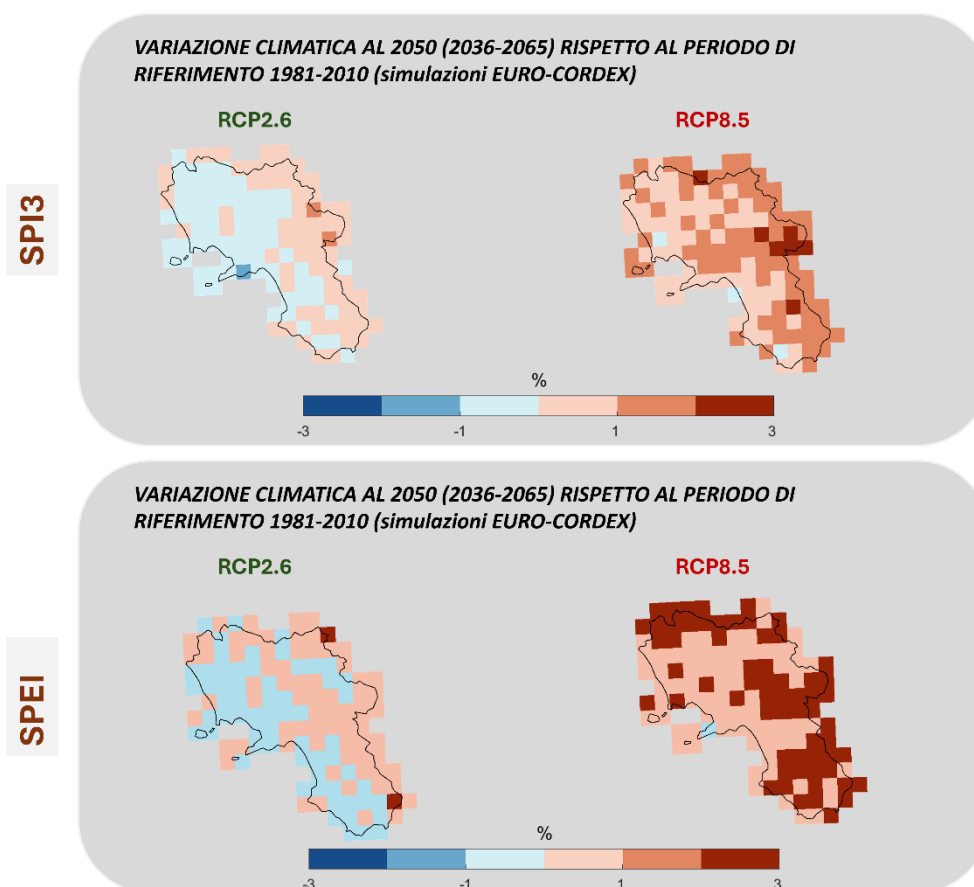


Fig. 11 – Differenza percentuale – calcolata come 2036-2065 vs. 1981-2010 – del numero di mesi in condizioni di siccità moderata, usando SPI-3 ed SPEI-3 secondo gli scenari RCP2.6 e RCP8.5.

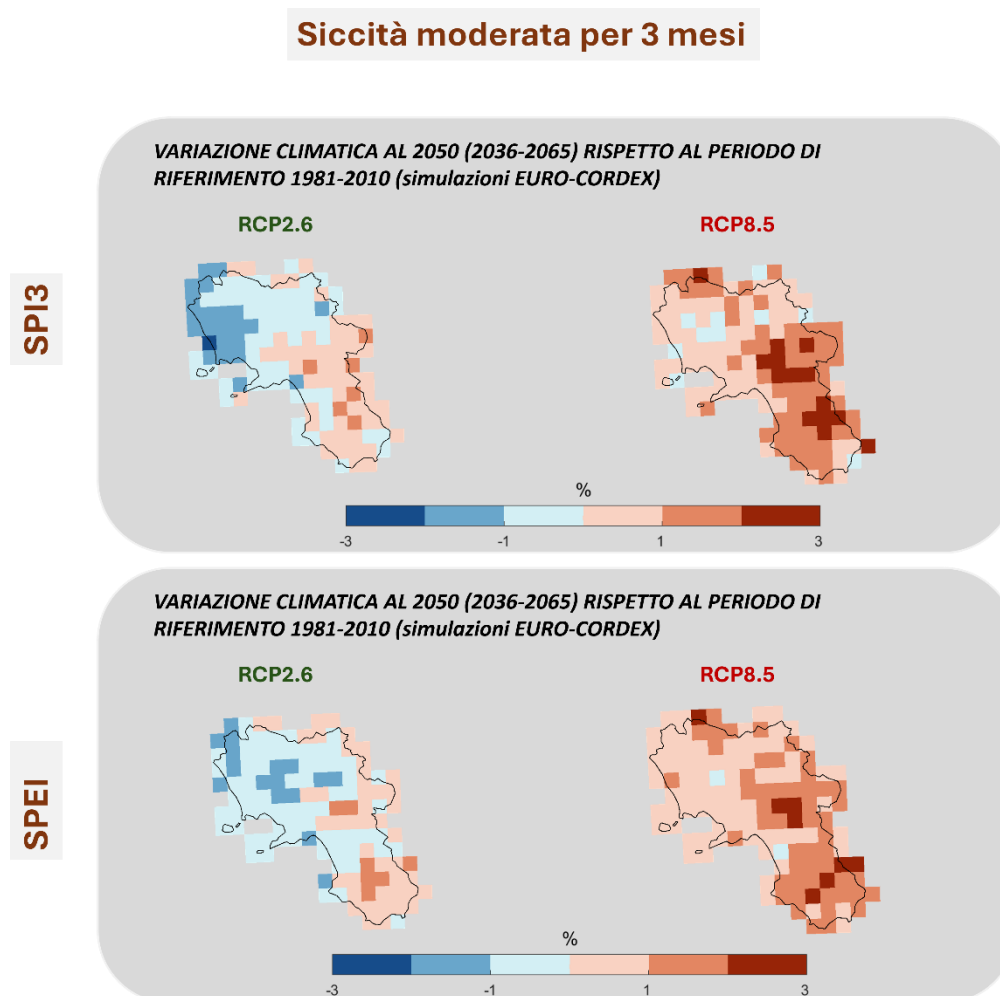


Fig. 12 – Differenza percentuale – calcolata come 2036-2065 vs. 1981-2010 – del numero di mesi in condizioni di siccità severa, usando SPI-3 ed SPEI-3 secondo gli scenari RCP2.6 e RCP8.5.

Le proiezioni climatiche indicano un aumento delle condizioni di siccità in tutta la regione quando è preso in considerazione lo scenario più estremo (RCP8.5). Questo è valido per RCP8.5 sia considerando la precipitazione come unico driver climatico (indicatore SPI), sia introducendo anche la temperatura (indirettamente presente nell'evapotraspirazione potenziale; indicatore SPEI). Invece, in un mondo che segue uno sviluppo a ridotte emissioni di gas serra (scenario RCP2.6), a metà ventunesimo secolo si osserva una differenza geografica importante: le aree costiere mostrano una diminuzione delle

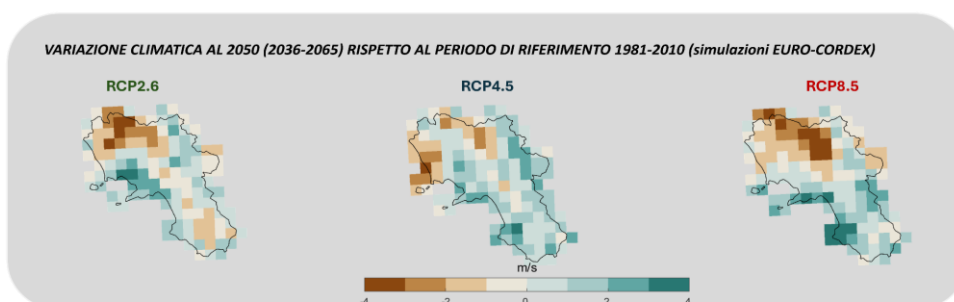
condizioni di siccità, sia moderate che severe, quelle interne mostrano un aumento, generalmente più contenuto secondo l'indicatore SPI rispetto all'indicatore SPEI.

In Fig. 11 e Fig. 12 abbiamo riportato le mappe ottenute con un tempo di accumulo breve, ovvero solo 3 mesi, più consono alle applicazioni meteorologiche. Usando valori di accumulo più alti, da 6 a 24 mesi (inclusi nella piattaforma dedicata su Dataclime), i valori di siccità severa tendono progressivamente ad aumentare, soprattutto per lo scenario RCP8.5 e l'indicatore SPEI, rendendo potenzialmente ancor più rilevanti gli impatti sul ciclo idrologico, sull'agricoltura e sugli ecosistemi, solitamente studiati utilizzando questi tempi di accumulo più lunghi.

Tempeste di vento

Tempeste di vento

Vento massimo associato ad un tempo di ritorno di 10 anni



Vento massimo associato ad un tempo di ritorno di 100 anni

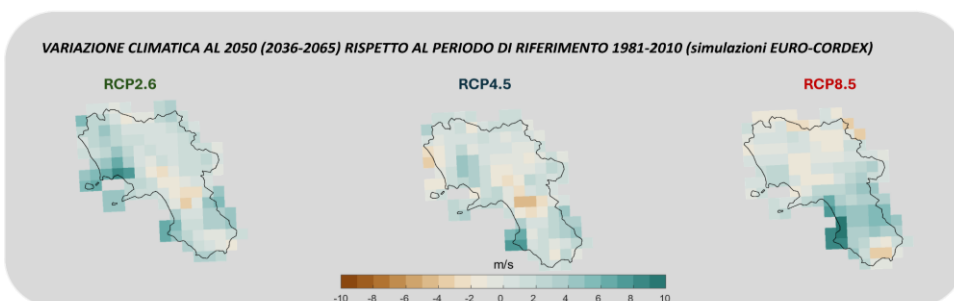


Fig. 13 – Differenza, in m/s, della velocità massima giornaliera (su intero anno) del vento corrispondente ad un tempo di ritorno di 10 anni (alto) e 100 anni (sotto), calcolata confrontando il periodo 2036-2065 (per i tre scenari oggetto di questo studio) e il periodo di riferimento 1981-2010.

La Campania è una regione che si affaccia ad occidente sul Mar Tirreno ed è caratterizzata da venti sostenuti, con forte variabilità stagionale, al punto da consentire di organizzare l'America's Cup 2027 nel Golfo di Napoli, una competizione storica di regate a vela che necessita di forti venti per essere disputata.

Le analisi relative ai regimi di vento ed alle tempeste di vento necessitano di alta o altissima risoluzione spaziale; i risultati relativi alle variabili di vento, dunque, vanno presi in esame con attenzione. Non è stato possibile utilizzare E-OBS per questa sezione, in quanto il dataset non include la velocità massima giornaliera del vento, ma soltanto quella media; qui mostriamo (Fig. 13), dunque, soltanto le proiezioni future (EURO-CORDEX include il vento massimo, seppur non include dati orari) relative ai tempi di ritorno di 10 anni e 100 anni.

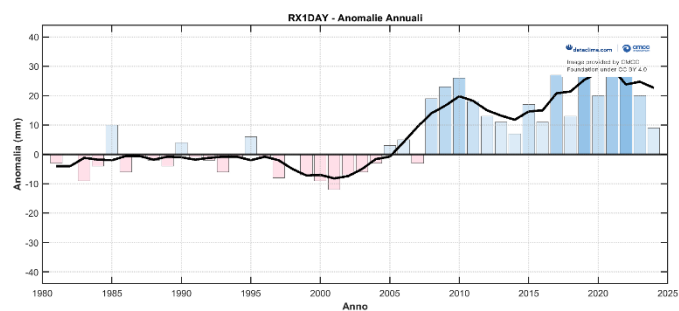
Il vento massimo giornaliero che corrisponde ad un tempo di ritorno di dieci anni mostra valori più bassi attorno a metà secolo rispetto al recente passato nei settori settentrionali della regione, al confine con il Lazio, per tutti gli scenari analizzati. I valori più estremi (100 anni) mostrano un aumento più omogeneo, in particolare a sud e sud-ovest (come anche i valori di 10 anni), con picchi che toccano un aumento di 10 m/s (circa 36 km/h) all'estremità meridionale del Golfo di Salerno.

Sottolineiamo che, per quanto riguarda le analisi su variabili che risentono molto dell'orografia locale, poter disporre di dataset a risoluzione superiore, come VHR-REA_IT e VHR-PRO_IT (vedi finestre di approfondimento), è cruciale per ottenere risultati migliori.

Gradi-giorno

GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO (HDDS)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

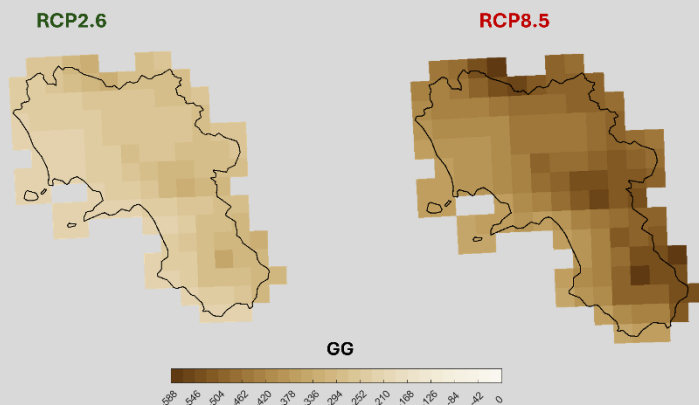
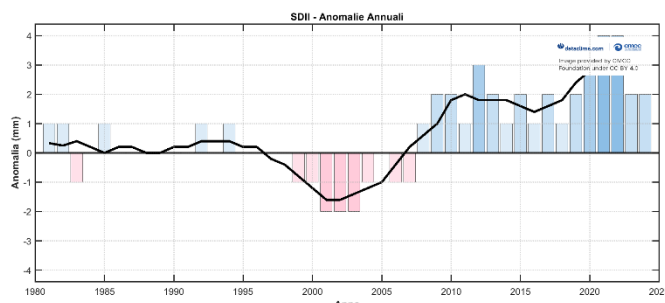


Fig. 14 – Come per la Fig. 2, ma per la somma annuale di gradi-giorno di riscaldamento.

GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO (CDDs)

ANOMALIE DAL 1981 AL 2024 (DATASET E-OBS)



VARIAZIONE CLIMATICA AL 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 (simulazioni EURO-CORDEX)

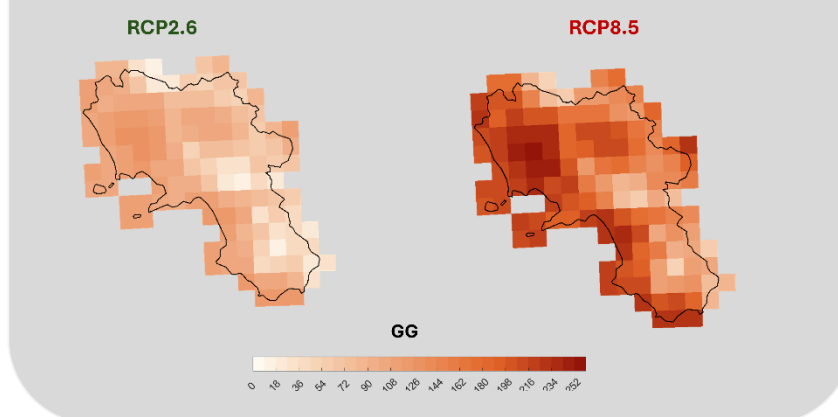


Fig. 15 – Come per la Fig. 2, ma per la somma annuale di gradi-giorno di raffrescamento.

I gradi-giorno vengono solitamente usati come misura indiretta dell'energia necessaria per riscaldare (indicatore HDDs) o rinfrescare (indicatore CDDs) gli ambienti interni. Essi risentono fortemente dell'andamento delle temperature, poiché sono calcolati rispetto a determinate soglie termometriche, e costituiscono attualmente il riferimento legislativo per la suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche e per la definizione dei periodi in cui è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento (D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993).

Negli ultimi 44 anni, periodo analizzato in questo studio, la temperatura è cresciuta progressivamente e la Campania non fa eccezione rispetto al riscaldamento globale; di conseguenza si osserva una graduale e continua

diminuzione dell'energia stimata per riscaldare gli ambienti in inverno e, al contrario, un aumento di quella necessaria in estate per rinfrescarli.

Combinando i due indicatori e tenendo conto del profilo climatico della Campania (clima temperato mediterraneo secondo la classificazione di Köppen-Geiger; cfr. Peel et al., 2007; Andrade et al., 2024), il cambiamento climatico in atto comporta effetti energetici sfavorevoli, poiché la necessità di mitigare gli effetti delle estati sempre più calde supera il risparmio sul riscaldamento dovuto a inverni più miti. Questa tendenza è ulteriormente accentuata dal riscaldamento globale futuro, con una diminuzione più marcata dei gradi-giorno per il riscaldamento nelle aree montuose e interne e, al contrario, un aumento più pronunciato dei gradi-giorno per il raffrescamento nelle zone costiere. Anche in questo caso, quanto più elevate sono le emissioni (scenario RCP8.5), tanto più la forbice si amplia a favore di una maggiore spesa energetica complessiva (Fig. 14 e Fig. 15).

Altri dataset

In questo report sono stati presentati i risultati ottenuti utilizzando E-OBS (periodo di riferimento) ed EURO-CORDEX (futuro). Sulla piattaforma dedicata "*Campania Climate Hub*" sono presenti gli indicatori calcolati usando ulteriori tre dataset: VHR-REA_IT, per il passato, VHR-PRO_IT e modelli CMIP6 con downscaling statistico, per il futuro.

L'utilizzo dei due dataset VHR-REA_IT e VHR-PRO_IT, che hanno una risoluzione spaziale orizzontale di circa 2 km, rispetto ad E-OBS (10 km) ed EURO-CORDEX (11 km), permette di integrare i processi convettivi nelle analisi e offrire una migliore caratterizzazione geografica dei fenomeni climatici, specialmente per le variabili per cui l'orografia riveste un ruolo fondamentale (ad esempio la velocità del vento). Utilizzare unicamente questi dataset è però sconsigliato, dato che si basano su un'unica procedura di downscaling da dati di rianalisi e, soprattutto, un unico modello per le proiezioni future.

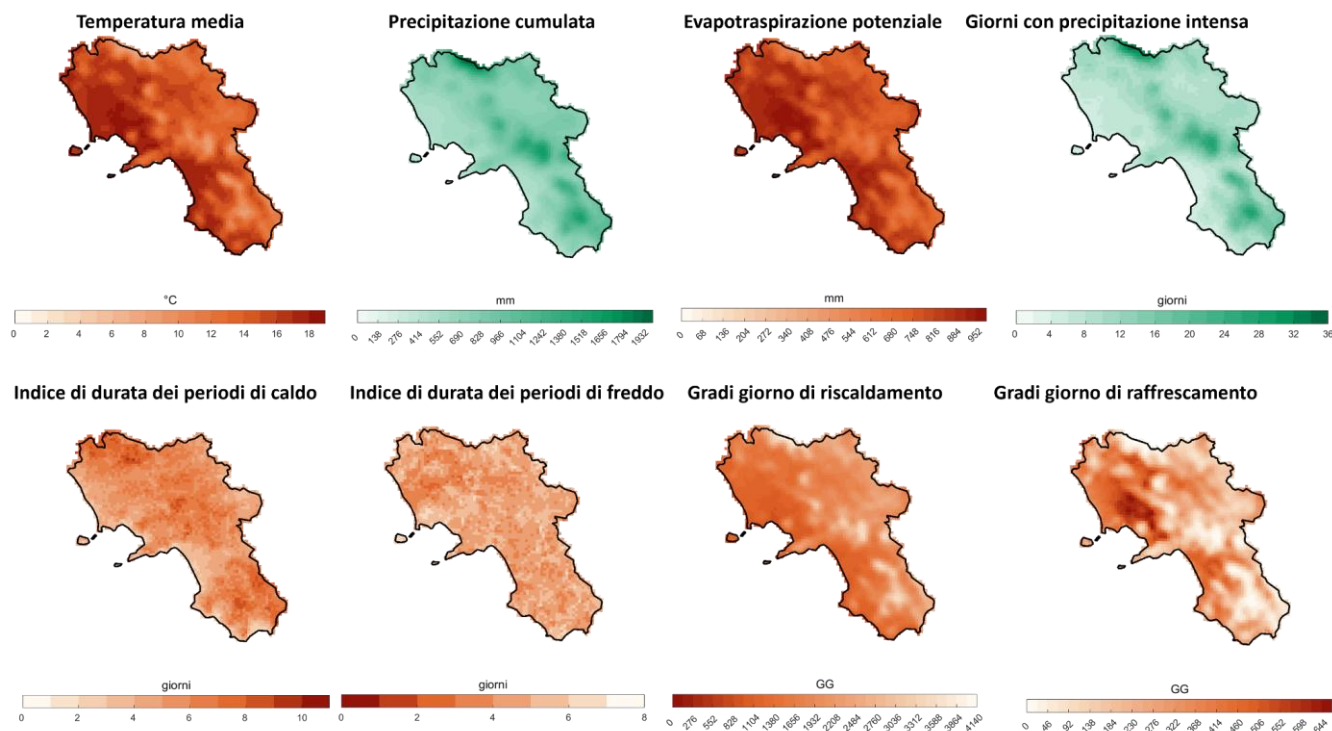


Fig. 16 – Media sul periodo 1981-2010 usando i dati VHR-REA_IT: temperatura media (TG), precipitazione totale (PrcTot), evapotraspirazione potenziale (PetTh), giorni di pioggia pari o superiori a 20 mm (RR20), giorni di onda di calore (WSDI) e di freddo (CSDI), gradi giorno per riscaldamento (HDDs) e raffreddamento (CDDs).

La Fig. 16 mostra le potenzialità dell'alta o altissima risoluzione spaziale, che può essere sfruttata anche per una valutazione locale degli impatti degli estremi climatici, un approccio soggetto a grandi incertezze o addirittura non applicabile a scala municipale, usando dati con risoluzione che non raggiunge i 5 km.

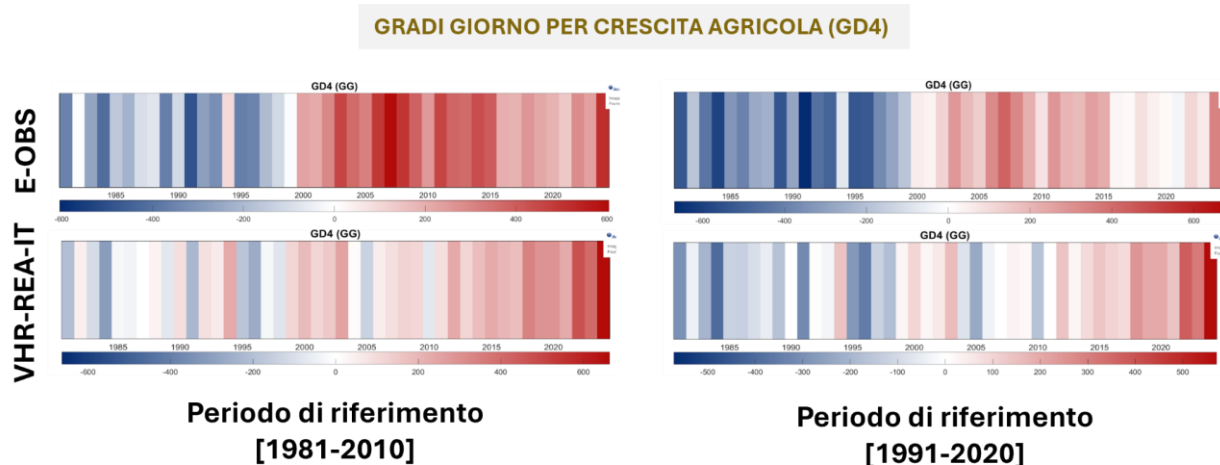


Fig. 17 – Somma dei gradi-giorno relativi alla crescita agricola (GD4) secondo due dataset e come serie di anomalie rispetto a due diversi periodi di riferimento (1981-2010 e 1991-2020)

Generalmente, i risultati ottenuti con il dataset VHR-REA_IT sono molto vicini a quelli ottenuti con E-OBS, quando aggregati su scala regionale. La Fig. 17 mostra un confronto tra i due dataset, presentando anche un'altra opzione di scelta sulla piattaforma Dataclime, ovvero due diversi periodi di riferimento. Poiché i due dataset hanno una diversa risoluzione spaziale, il confronto è intrinsecamente soggetto a discrepanze. Lo stesso accade confrontando gli indicatori relativi alle proiezioni climatiche. Tuttavia, per quanto riguarda il passato, pochi indicatori mostrano differenze, tra questi le notti tropicali e i giorni consecutivi secchi, entrambi sottostimati da E-OBS rispetto a VHR-REA_IT negli anni più recenti.

Per quanto riguarda le proiezioni climatiche, la piattaforma dedicata Dataclime consente di visualizzare gli indicatori ottenuti da tre dataset diversi, ma un confronto diretto è sconsigliato; tali opzioni sono pensate per rispondere a differenti priorità decisionali. Scegliere gli EURO-CORDEX significa sacrificare la risoluzione spaziale (11 km) a favore di un ensemble di modelli e quindi di un segnale climatico statisticamente più robusto rispetto a quello ottenibile con VHR-PRO_IT, che si basa su un solo modello ma offre un'eccellente risoluzione spaziale (2 km) per le proiezioni future.

Gli scenari inclusi nel dataset basato sui modelli CMIP6 possono essere messi in corrispondenza con i relativi scenari utilizzati in EURO-CORDEX. Ad esempio, SSP1-2.6 è l'omologo di RCP2.6, mentre SSP3-7.0 non è l'omologo di RCP8.5 –

ruolo ricoperto da SSP5-8.5 – ma condivide con esso livelli elevati di emissioni e politiche di mitigazione limitate. Anche in questo caso, il confronto diretto va valutato con attenzione, poiché la produzione dei dati CMIP6 si basa ancora esclusivamente su modelli globali (GCM) e non su modelli climatici regionali (RCM), come nel caso di EURO-CORDEX, che tuttavia utilizza GCM di una generazione precedente, meno complessi e completi.

Servizi per la regione Campania accessibili attraverso la piattaforma Dataclime

Questa sezione è dedicata a spiegare come accedere e usufruire dei servizi offerti dal CMCC, in base all'Accordo di collaborazione 2025, presenti sulla piattaforma Dataclime.

Attraverso la piattaforma Dataclime è possibile visualizzare:

- mappe dinamiche a scala regionale, consultabili tramite la piattaforma Dataclime** (www.dataclime.com), con accesso open previa registrazione
- indicatori a scala provinciale e comunale (su basi territoriali ISTAT).

Per le mappe e gli indicatori è disponibile il download in formato PNG così da facilitarne l'integrazione in documenti tecnici, report e ulteriori analisi.

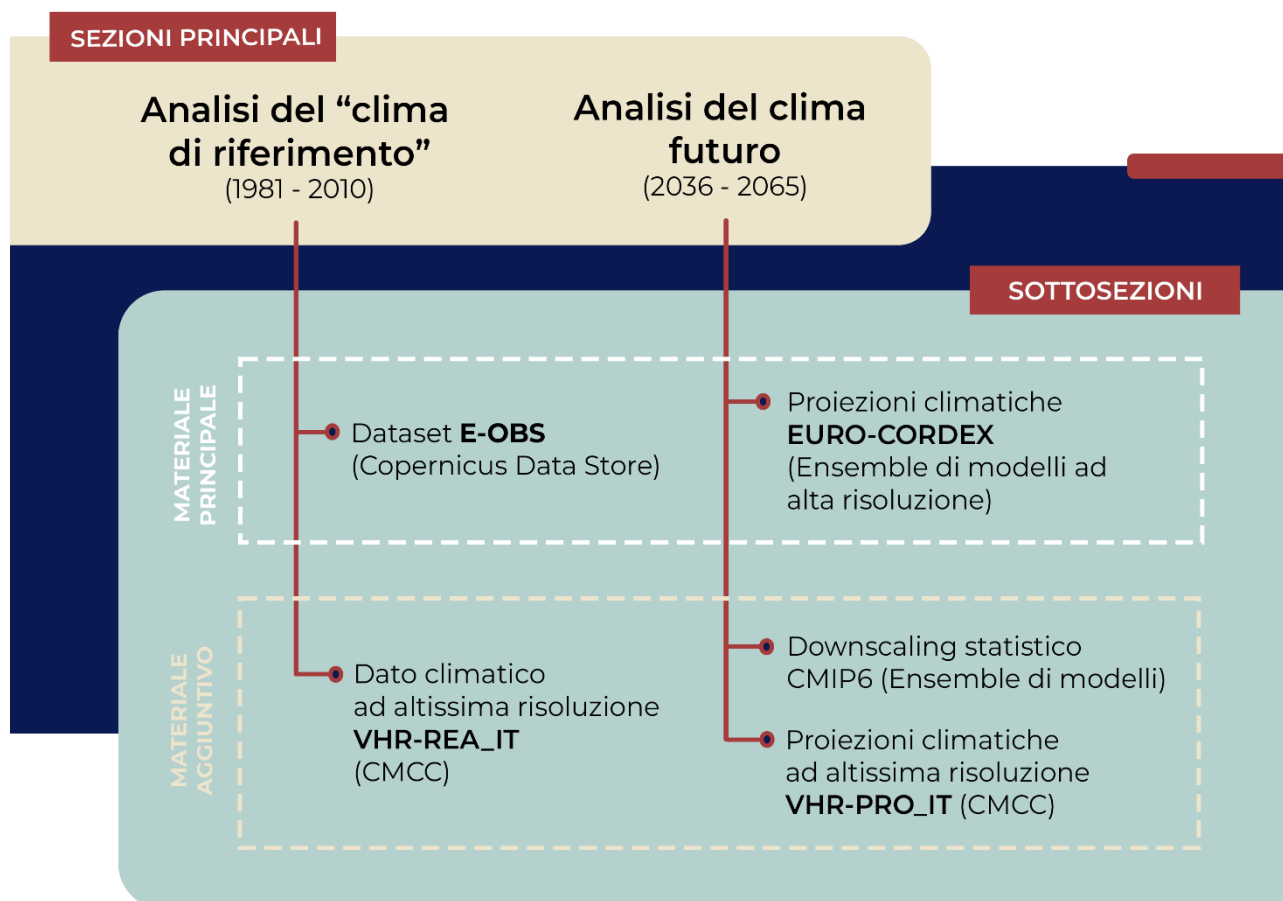
Sintesi dei dati caricati sulla piattaforma *Dataclime*

I dati caricati sulla piattaforma seguono la struttura descritta nel presente report, articolandosi in due sezioni principali in base alla tipologia di analisi climatica e di fonte utilizzata per l'analisi e l'elaborazione degli indicatori climatici.

Le due sezioni principali sono le seguenti: Analisi del clima di riferimento ed Analisi del clima futuro.

In base alla fonte dati utilizzata per effettuare le analisi climatiche, le due sezioni principali si articolano in sottosezioni. L'analisi del clima di riferimento si suddivide in: Dataset E-OBS e Dato climatico ad alta risoluzione (materiale aggiuntivo), mentre l'analisi del clima futuro si suddivide in: Proiezioni climatiche EURO-CORDEX, Downscaling statistico CMIP6 (materiale aggiuntivo) e Proiezioni climatiche ad altissima risoluzione (materiale aggiuntivo).

STRUTTURA DEI DATI SUL “CAMPANIA CLIMATE HUB”



Indicazioni sull’uso e accesso ai dati

Il servizio climatico è accessibile al seguente link:

<https://www.cmccwebremhi.it/campania-clima-hub>⁹

All’apertura del link è necessaria la registrazione gratuita. Una volta effettuata, è possibile selezionare la Card relativa al servizio sviluppato per la Regione Campania. Questa pagina rimanda ad una descrizione generale del prodotto, degli strumenti e dei dati utilizzati, come mostrato nella Figura 18. In basso sono

⁹ link di sviluppo da sostituire con quello ufficiale a gennaio

presenti le varie sezioni con cui è strutturato il servizio: Analisi del clima di riferimento ed Analisi del clima futuro



Fig. 18 - Sezione introduttiva del servizio climatico “Campania Climate Hub” disponibile nella piattaforma Dataclime sviluppata dal CMCC.

Dalla sezione Analisi del clima di riferimento si può scegliere di selezionare il dataset E-OBS o il Dato climatico ad alta risoluzione (che ricordiamo è stato inserito come materiale aggiuntivo e di supporto al dataset prioritario E-OBS).

Selezionando il dataset E-OBS, dal menu a tendina è possibile scegliere la scala di visualizzazione (regionale, provinciale o comunale), l'indicatore, la stagione ed il periodo di riferimento. A destra del menù a tendina è possibile visualizzare i diversi tipi di output prodotti, come mostrato in Figura 19.

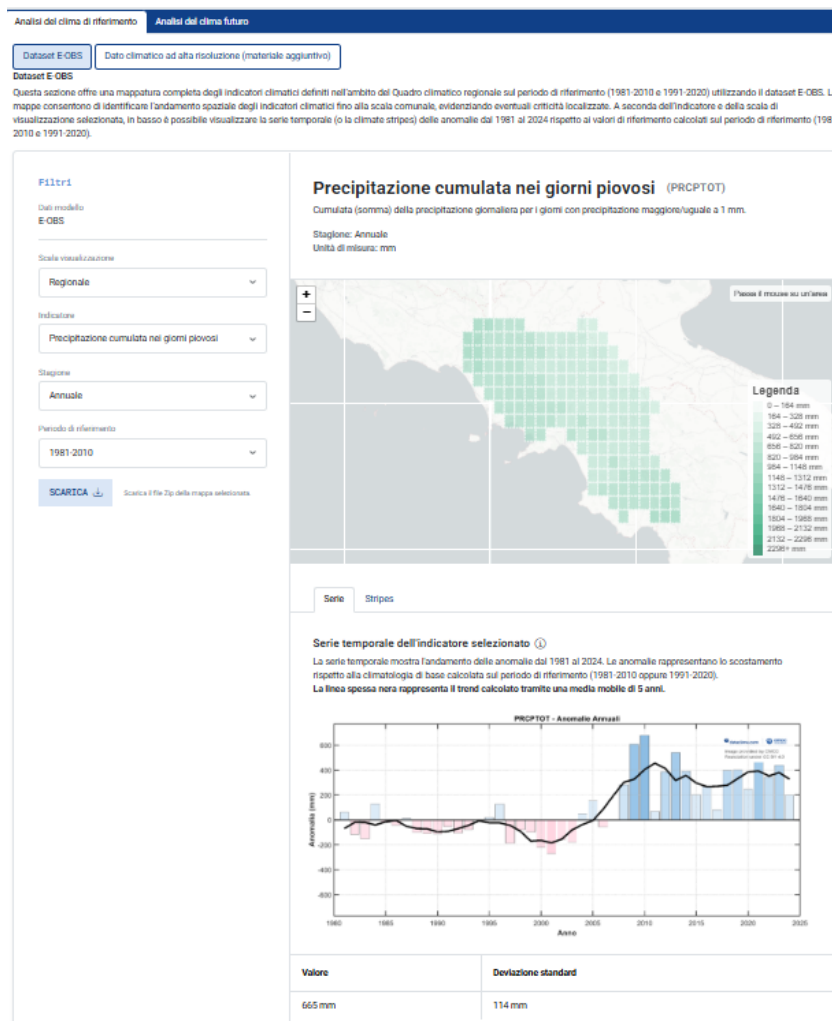


Fig. 19 - Esempi di output per l'analisi del clima di riferimento visualizzabili in piattaforma.

Dalla sezione Analisi del clima futuro, invece, si può scegliere di selezionare le proiezioni climatiche EURO-CORDEX, il downscaling statistico CMIP6 (materiale aggiuntivo a supporto del dataset prioritario EURO-CORDEX) e le proiezioni climatiche ad altissima risoluzione (materiale aggiuntivo a supporto del dataset prioritario EURO-CORDEX).

Selezionando le proiezioni climatiche EURO-CORDEX, il menù a tendina è analogo a quello presente nella sezione relativa al clima di riferimento, ma con la possibilità di poter selezionare lo scenario RCP di emissione (Figura 20). Anche in questo caso, a destra del menù a tendina è possibile visualizzare i diversi tipi di output elaborati.

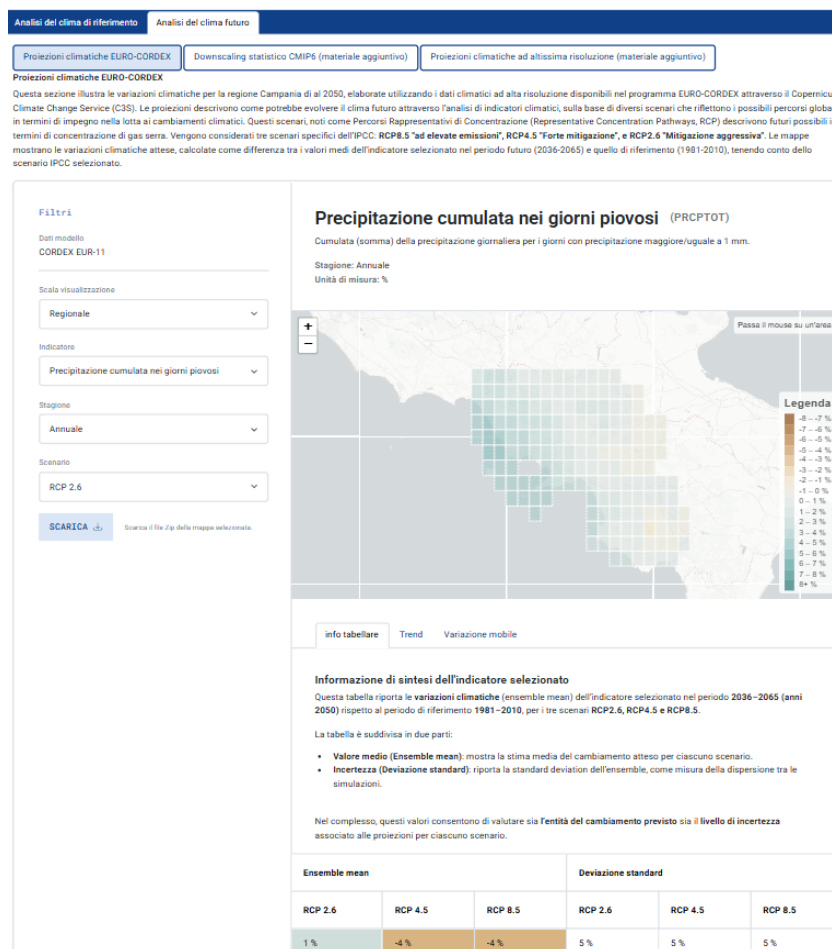


Fig. 20 - Esempi di output per l'analisi del clima futuro visualizzabili in piattaforma.

Nella piattaforma, le sottosezioni relative ai materiali aggiuntivi presentano una struttura del tutto analoga a quella descritta qui sopra.

Conclusioni

In un contesto globale di progressivo aumento della temperatura e di eventi meteorologici estremi, la Campania si trova in una zona indicata come hotspot climatico, il bacino del Mediterraneo. Le analisi presentate in questo quadro climatico, ottenute mediante l'uso di modelli ad alta risoluzione che spaziano dal 1981 al 2100 (secondo tre scenari futuri), confermano queste tendenze anche per la regione Campania.

In particolare, in Campania si osserva un recente e generalizzato aumento della temperatura ed un aumento delle precipitazioni, in questo caso iniziato ad inizio secolo. Nonostante la pioggia sia in aumento, e con essa la frequenza e l'intensità degli eventi estremi, anche i fenomeni di siccità seguono una tendenza verso l'aumento, in quanto l'effetto della temperatura (che aumenta l'evapotraspirazione del suolo) supera quello delle precipitazioni (che lo rendono più umido).

Ondate di calore sempre più frequenti e severe aumentano anche lo stress bioclimatico su popolazione ed ecosistemi, mentre i fenomeni caratterizzati da freddo intenso sono in diminuzione. In un futuro caratterizzato da uno sviluppo economico basato su alte emissioni e ridotta mitigazione, questi fenomeni estremi aumenteranno costantemente fino a metà secolo e oltre, mentre un percorso evolutivo basato su uno sviluppo sostenibile potrà ridurli, seppur non eliminarli, in particolare quando si tratta di caldo estremo e siccità.

In un futuro in cui gli inverni saranno più miti e le estati più calde e afose, gli indicatori climatici basati sui gradi-giorno mostrano che il bilancio energetico complessivo necessario a garantire il comfort interno negli edifici è destinato a diventare sfavorevole. L'aumento della domanda di condizionamento estivo – per un numero maggiore di giorni e per contrastare temperature più elevate – supera infatti nettamente la corrispondente riduzione del fabbisogno di riscaldamento, legata a periodi più brevi e a temperature meno rigide rispetto al passato. Anche in questo caso, uno sviluppo economico orientato alla mitigazione e alla riduzione delle emissioni di gas serra comporta vantaggi economici concreti, pur non essendo sufficiente, nemmeno seguendo lo scenario RCP2.6 (o SSP1-2.6), a garantire un bilancio energetico favorevole.

Le analisi condotte per la regione Campania rappresentano un'evoluzione rispetto al PNACC, dato che introducono l'utilizzo di nuovi indicatori, risoluzione spaziale più dettagliata e un maggior numero di dataset. Da questo punto di vista, la regione Campania può essere apripista per un approccio esteso ad altre regioni, con l'obiettivo finale di completare un atlante climatico per tutte le regioni che abbia dei focus specifici per i settori più esposti e maggiormente vulnerabili a seconda della regione stessa.

I risultati discussi in questo report sono disponibili all'utenza tecnica e non specializzata grazie alla piattaforma Dataclime del CMCC, consentendo l'accesso diretto a chi ha bisogno impellente di dati per prendere decisioni politiche basate su dati robusti e dove l'incertezza è valutata secondo approcci all'avanguardia.

Questo quadro climatico può diventare la base su cui chi prende decisioni sociali e politiche può fare la differenza e portare grandi benefici alla cittadinanza, attraverso un uso consapevole e sostenibile delle risorse dopo aver identificato con precisione quali pericoli climatici richiedono interventi strutturali urgenti o pianificazione a medio e lungo termine.

I processi divulgativi e decisionali basati su questo report e successivi incontri tra gli scienziati del CMCC e i rappresentanti della Regione Campania possono basarsi su una solida base numerica. Maggiore sarà il coinvolgimento di attori strategici, ma anche dei singoli cittadini, nell'utilizzo consapevole dei dati scientifici climatici, migliore e più veloce sarà l'acquisizione di consapevolezza relativa al cambiamento climatico, ai suoi rischi e alle opzioni di mitigazione, adattamento e risposta.

Bibliografia

Ali, E., W. Cramer, J. Carnicer, E. Georgopoulou, N.J.M. Hilmi, G. Le Cozannet, and P. Lionello, 2022: Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K.

Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2233–2272, doi:10.1017/9781009325844.021.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/>

Andrade, C., Fonseca, A., Santos, J. A., Bois, B., & Jones, G. V. (2024). Historic changes and future projections in Köppen–Geiger climate classifications in major wine regions worldwide. *Climate*, 12(7), 94.

Copernicus Climate Change Service (C3S). *Copernicus Global Climate Highlights Report 2024* (2025).

Cornes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., & Jones, P. D., 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>

Fedele, G., Reder, A. & Mercogliano, P. Statistical Downscaling over Italy using EQM: CMIP6 Climate Projections for the 1985–2100 Period. *Sci Data* 12, 910 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05270-8>

Hennemuth, T.I., Jacob, D., Keup-Thiel, E., Kotlarski, S., Nikulin, G., Otto, J., Szépszó, G., 2017. Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use. Version1. 0-2017.08. <https://www.hereon.de/imperia/md/content/csc/cordex/euro-cordex-guidelines-version1.0-2017.08.pdf>

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M. et al., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14(2), 563-578, <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>

Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S., Katragkou, E., Anders, I., Beldaet, M. et al., 2020. Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Regional Environmental Change* 20(51), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 11(5), 1633-1644.

Raffa, M., Adinolfi, M., Reder, A. et al. Very High Resolution Projections over Italy under different CMIP5 IPCC scenarios. *Sci Data* 10, 238 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02144-9>

Raffa, M.; Reder, A.; Marras, G.F.; Mancini, M.; Scipione, G.; Santini, M.; Mercogliano, P. VHR-REA_IT Dataset: Very High Resolution Dynamical Downscaling of ERA5 Reanalysis over Italy by COSMO-CLM. *Data* 2021, 6, 88. <https://doi.org/10.3390/data6080088>

Ridal, M., Bazile, E., Le Moigne, P., Randriamampianina, R., Schimanke, S., Andrae, U., ... & Wang, Z. Q. (2024). Cerra, the copernicus european regional reanalysis system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(763), 3385-3411.

Rockel, B.; Will, A.; Hense, A. The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.* 2008, 17, 347–348. [10.1127/0941-2948/2008/0309](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0309)

Glossario

Il glossario è disponibile al seguente link:

Quadro Climatico Regione Campania



<https://cmccwebremhi.it/glossary>