

# **Valutazione dei Rischi Climatici e delle Vulnerabilità del Sistema AQP**

---

**Convenzione Operativa n° 2  
Report finale dell'attività CG01.48.2**

---

**Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui  
Cambiamenti Climatici  
Acquedotto Pugliese S.p.A.**



---

## **Autori**

Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Giuliana Barbato Paola Mercogliano Roberta Padulano Mario Raffa
Acquedotto Pugliese S.p.A.	Antonio Brescia Gianluigi Fiori Vincenzo Patruno Davide Ritossa Luciano Venditti Gerardo Ventafridda Girolamo Vitucci

---

## Sommario

Premessa .....	3
1. Nota metodologica .....	4
1.1 Scenari IPCC.....	4
1.2 Modelli climatici regionali (disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX) .....	5
1.3 Dataset di riferimento per il clima corrente (E-OBS).....	8
2. Indicatori climatici utilizzati per il target "Territorio" .....	8
3. Risultati .....	11
3.1 Indicatori su base annua.....	12
3.2 Indicatori su base stagionale .....	21
4. Discussione .....	27
5. Focus sulla regione Puglia.....	29
6. Conclusioni .....	33
Bibliografia.....	37
Appendice: Mappe del clima (E-OBS v.25) sul periodo di riferimento 1981-2020 .....	39
Glossario .....	43

## Premessa

Il presente documento ha lo scopo di mostrare i principali risultati elaborati dalla Fondazione CMCC nell'ambito dell'attività CG01.48.2 - Mappatura degli indicatori climatici per il target "Territorio", con l'intento di fornire una nota metodologica che faciliti l'interpretazione delle analisi condotte e quindi l'integrazione di tali risultati nello sviluppo delle attività successive.

L'attività, qui di seguito descritta, consiste nella valutazione, analisi e mappatura delle variazioni climatiche sull'intero territorio di competenza delle infrastrutture AQP (Figura 1) di un insieme di indicatori ritenuti, sulla base di diversi studi di letteratura, rappresentativi di alcuni dei principali pericoli climatici.

Nello specifico, per ciascun indicatore climatico considerato è stata valutata la "variazione" confrontandone il valore atteso sul periodo 2021- 2050, ritenuto di interesse nell'ambito della presente Convenzione, con quello relativo al periodo di riferimento 1981-2010, sulla base di un ensemble di modelli climatici disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Hennemuth et al. 2017, Jacob et al. 2020) alla maggior risoluzione attualmente disponibile (circa 12 km) e considerando i tre seguenti scenari IPCC: RCP2.6 "Mitigazione aggressiva", RCP4.5 "Forte mitigazione" e RCP8.5 "Business as usual".

I risultati consistono, per ciascun indicatore climatico, in mappe, sull'area di interesse, della variazione climatica espressa in termini di *ensemble mean* e dell'incertezza associata (deviazione standard rispetto all'*ensemble mean*). Tutte le informazioni spazialmente distribuite sono rappresentate utilizzando la risoluzione spaziale propria del grigliato EURO-CORDEX (12 km circa).

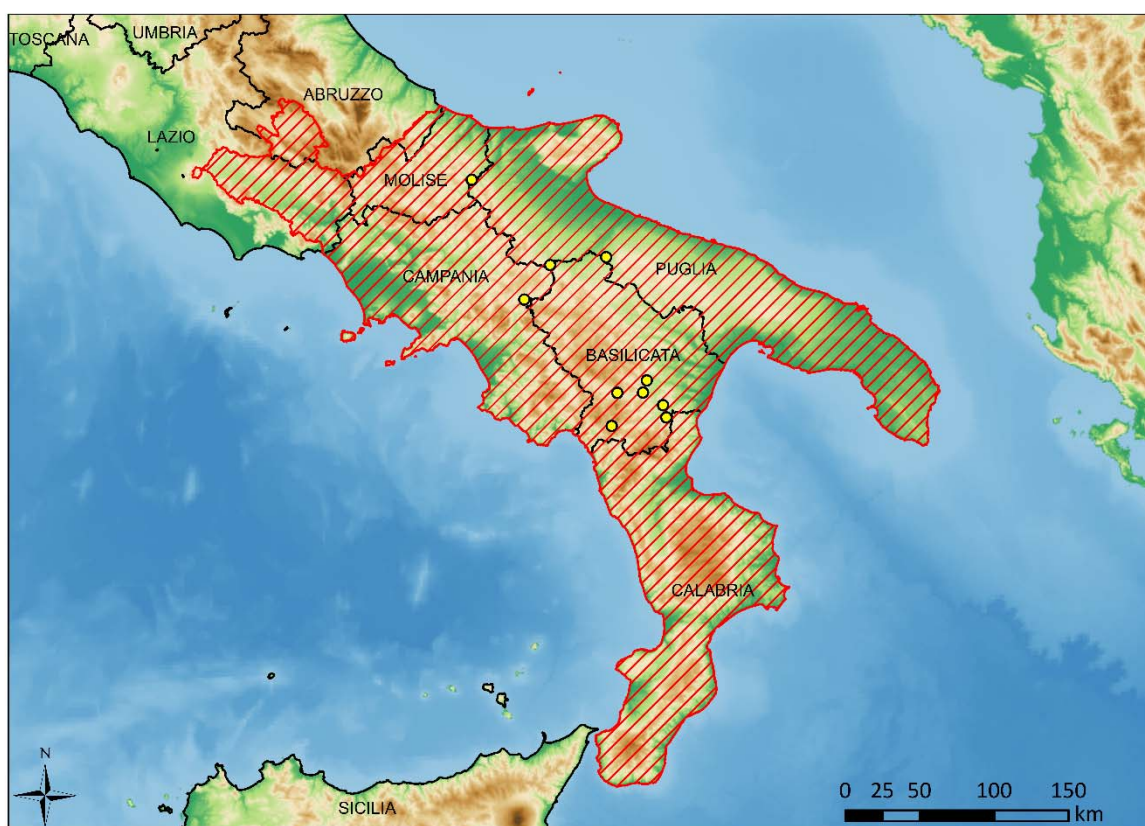


Figura 1: Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, considerato area di interesse dell'insieme delle infrastrutture del Servizio Idrico Integrato AQP.

---

## 1. Nota metodologica

Il cambiamento climatico di natura antropica, come riportato dall'ampia letteratura dell'IPCC<sup>1</sup>, induce variazioni complesse delle caratteristiche del clima su diverse scale spaziali e temporali. Tali variazioni riguardano, ad esempio, le caratteristiche medie del clima (valori medi annui, ciclo stagionale) e la frequenza, intensità, estensione spaziale e durata dei fenomeni meteorologici estremi<sup>2</sup>. Tali variazioni possono assumere un'entità tale da causare degli impatti negativi sui sistemi ambientali e socioeconomici, facendo insorgere quelli che vengono tipicamente definiti “**pericoli climatici**”. Pertanto, i pericoli climatici costituiscono un elemento fondamentale per lo studio e la valutazione del rischio climatico, dato dal prodotto complesso dell'interazione tra **vulnerabilità** (quanto un sistema umano e naturale è suscettibile a subire impatti negativi dei cambiamenti climatici), **esposizione** (ovvero la presenza di persone, ecosistemi, servizi, infrastrutture, attività socio-economiche e culturali, che possono essere esposti agli impatti negativi dei cambiamenti climatici), ed, infine, dal **pericolo climatico** stesso (Collin et al. 2019).

Comprendere le caratteristiche del pericolo climatico è fondamentale per una corretta e adeguata definizione delle strategie di adattamento<sup>3</sup>. Tali caratteristiche possono essere però controintuitive e complesse, e una loro corretta quantificazione necessita di una modellazione approfondita dei sistemi impattati. Tuttavia, per analisi generali di contesto, per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale dei pericoli climatici vengono solitamente utilizzati una serie di indicatori climatici che sintetizzano alcune delle caratteristiche del clima che si ritengono di particolare rilevanza sulla base della conoscenza del territorio e degli eventi atmosferici che possano aver prodotto, nel passato, importanti impatti sul territorio.

Nei successivi paragrafi vengono descritti nel dettaglio gli indicatori climatici adottati, le simulazioni climatiche utilizzate e il tipo di analisi condotta. Inoltre, allo scopo di facilitare ulteriormente la lettura, il presente documento è arricchito da un **glossario** contenente i termini tecnici maggiormente adoperati nel report.

### 1.1 Scenari IPCC

Gli scenari definiti nell'ambito del quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5, IPCC 2014) rappresentano possibili traiettorie di evoluzione nel tempo della concentrazione di gas serra (GHG o Green-House Gases) e sono noti come RCP (Representative Concentration Pathways – Percorsi Rappresentativi di Concentrazione), in quanto sono espressi in termini di concentrazioni di gas serra piuttosto che in termini di livelli di emissioni (Van Vuuren et al. 2011). Il numero associato a ciascun RCP indica il Forzante Radiativo (Radiative, in  $W/m^2$ ), ovvero l'aumento di flusso radiativo (una misura indiretta dell'intensità delle attività antropiche) nella parte più esterna dell'atmosfera raggiunto alla fine del secolo rispetto all'epoca preindustriale. Gli scenari di concentrazione sono definiti “percorsi rappresentativi” poiché rappresentano una narrativa delle politiche di mitigazione attuate nel prossimo futuro: a politiche di mitigazione ambiziose corrisponderà un minore aumento nella concentrazione di gas serra, e viceversa.

---

<sup>1</sup> <https://www.ipcc.ch/>

<sup>2</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3\\_FINAL-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf)

<sup>3</sup> <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>

---

Gli scenari IPCC utilizzati nella presente analisi sono i seguenti:

- **RCP2.6** (“Mitigazione aggressiva”, con emissioni dimezzate entro il 2050). Questo scenario assume strategie di mitigazione significative, grazie alle quali le emissioni di gas serra si ridurranno quasi completamente intorno ai due terzi del secolo corrente. In conseguenza di ciò, al 2100 non verranno superati i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali.
- **RCP4.5** (“forte stabilizzazione”, con riduzioni consistenti delle emissioni). Questo scenario assume che si intraprendano iniziative mirate per controllare il livello di emissioni di gas serra, grazie alle quali entro il 2070 le emissioni di CO<sub>2</sub> si presume scenderanno al di sotto dei livelli attuali (400 ppm), mentre la concentrazione atmosferica è prevista stabilizzarsi entro la fine del secolo a circa il doppio dei livelli preindustriali.
- **RCP8.5** (“Nessuna mitigazione”, spesso definito “business-as-usual” poiché prevede una crescita delle emissioni ai ritmi attuali). Tale scenario ipotizza misure di mitigazione irrilevanti, che porteranno, entro il 2100, a concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub> triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm).

È utile segnalare che il sesto rapporto dell’IPCC (AR6, IPCC 2021) ha introdotto nuovi scenari, che integrano le traiettorie di concentrazione già definite (gli RCP) con una selezione di possibili “Percorsi Socioeconomici Condivisi” (*Shared Socio-economic Paths*, SSP), cinque diverse “narrazioni” che corrispondono ad altrettanti possibili futuri socioeconomici. Gli scenari così definiti coprono alternative che vanno da “emissioni molto basse” (SSP1 – 1.9) a “emissioni molto alte” (SSP3 – 8.5), passando, tra i vari scenari, per “emissioni basse” (SSP1 – 2.6), “intermedie” (SSP2 – 4.5) e “alte” (SSP3 – 7.0).

## 1.2 Modelli climatici regionali (disponibili nell’ambito del programma EURO-CORDEX)

Le variazioni climatiche attese sono state elaborate nell’area di interesse utilizzando i Modelli Climatici Regionali prodotti dalla comunità scientifica internazionale nell’ambito del programma EURO-CORDEX<sup>4</sup> con una risoluzione di circa 12 km sull’Europa (Hennemuth et al., 2017, Jacob et al. 2020). Tra i diversi modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX alla risoluzione di circa 12 km sono stati selezionati quelli attualmente disponibili per la consultazione sulla piattaforma Climate Change Service (C3S) di Copernicus<sup>5</sup>. In particolare, per ogni scenario RCP considerato sono state utilizzate 14 simulazioni climatiche fornite da diverse combinazioni di **Modelli Climatici Globali** (GCM, *Global Climate Models* oppure *General Circulation Models*) e **Modelli Climatici Regionali** (RCM, *Regional Climate Models*).

Mentre i modelli climatici globali hanno l’obiettivo di riprodurre le dinamiche atmosferiche globali con una risoluzione orizzontale compresa tra 50 e 150 km, i modelli climatici regionali, con risoluzioni dell’ordine dei 10-15 km, permettono una caratterizzazione molto più spinta dei processi. I modelli climatici regionali, dunque, consentono di aumentare la risoluzione spazio-temporale dei modelli di circolazione globale e di formulare scenari di cambiamento climatico più adeguati ad analisi di impatto su scala locale. L’elenco delle simulazioni climatiche adottate viene riportato nella Tabella 1.

---

<sup>4</sup> <https://www.euro-cordex.net/>

<sup>5</sup> <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview>



Tabella 1: Lista delle simulazioni climatiche adottate in questo studio (modello climatico globale, modello climatico regionale, realizzazione).

Modello climatico globale	Modello Climatico Regionale	Realizzazione*
HadGEM2-ES (MOHC)	RCA4 (SMHI)	r1i1p1
EC-EARTH ICHEC (ICHEC)	RCA4 (SMHI)	r12i1p1
NorESM1-M (NCC)	RCA4 (SMHI)	r1i1p1
MPI-ESM-LR (MPI)	RCA4 (SMHI)	r1i1p1
EC-EARTH ICHEC (ICHEC)	CLM4-8-17 (CLMcom)	r12i1p1
MPI-ESM-LR (MPI)	REMO2009 (MPI-CSC)	r1i1p1
MPI-ESM-LR (MPI)	REMO2009 (MPI-CSC)	r2i1p1
NorESM1-M (NCC)	REMO2015 (GERICS)	r1i1p1
HadGEM2-ES (MOHC)	RACMO22E (KNMI)	r1i1p1
EC-EARTH ICHEC (ICHEC)	RACMO22E (KNMI)	r12i1p1
M-CM5 (CNRM-CERFACS-CM5)	RACMO22E (KNMI)	r1i1p1
HadGEM2-ES (MOHC)	HIRHAM5 (DMI)	r1i1p1
EC-EARTH ICHEC (ICHEC)	HIRHAM5 (DMI)	r3i1p1
M-CM5 (CNRM-CERFACS-CM5)	ALADIN63 (CNRM)	r1i1p1

\*La realizzazione r<N>i<N>p<N> viene utilizzata per distinguere simulazioni strettamente correlate che differiscono, ad esempio, per condizioni iniziali o parametrizzazioni fisiche.

Per dare un'indicazione di massima, in Figura 2 è mostrato l'andamento temporale, fino al 2100, della media annua della temperatura media giornaliera, così come restituito da un ensemble di modelli EURO-CORDEX. La variabile analizzata rappresenta un indicatore che evidenzia in modo efficace i diversi effetti del cambiamento climatico dati dai diversi scenari considerati. Entro il 2100 è attesa mediamente sull'area italiana (con un elevato grado di uniformità sul territorio) una crescita con valori compresi tra 1° C, secondo lo scenario RCP2.6, e 5°C, secondo lo scenario RCP8.5, rispetto al clima di riferimento (relativo al periodo 1976-2005). La variabilità data dall'uso di un ensemble di modelli si riferisce solo al valore dell'incremento di temperatura, ma non riguarda il segnale della variazione, che è sempre positivo.

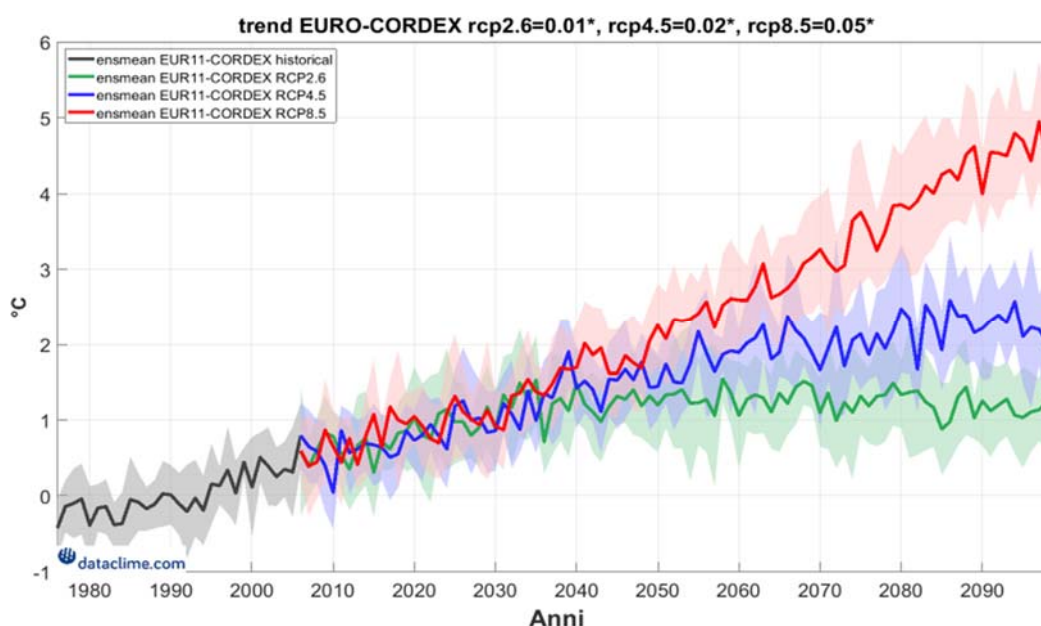


Figura 2: Anomalie annuali di temperatura media giornaliera (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP8.5 (in rosso), RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean); le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard.

L'area italiana rappresenta una sfida per gli attuali modelli climatici, data la complessità del suo clima dovuta, principalmente, alla sua estensione da Nord a Sud, alla sua complessità orografica e in particolare alla presenza di Alpi ed Appennini, ma anche all'influenza del Mar Mediterraneo. Ciò si traduce in una maggior incertezza nelle proiezioni climatiche, specie per quanto riguarda gli andamenti delle caratteristiche estreme del clima, ed in generale maggiormente per la precipitazione rispetto alla temperatura. I modelli climatici di nuova generazione, attualmente in fase di sviluppo, è atteso consentano una migliore rappresentazione dei fenomeni convettivi, e permetteranno dunque di modellare più efficacemente il clima a risoluzioni spaziali e temporali più spinte di quelle attuali, con un consistente valore aggiunto soprattutto per quanto attiene la precipitazione e i suoi estremi.

Le catene di simulazione climatica mostrate in Tabella 1, e più in generale quelle comprese nell'iniziativa EURO-CORDEX, presentano GCM afferenti alla quinta fase del *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5)<sup>6</sup>, una iniziativa del *Working Group on Coupled Modelling* (WGCM)<sup>7</sup>, e sono dunque forzate dagli scenari definiti dall'AR5 dell'IPCC. Per quanto riguarda invece i nuovi scenari definiti dall'AR6, essi rappresentano i forzanti per i GCM afferenti alla sesta fase (CMIP6)<sup>8</sup>. Tuttavia, non esistono al momento simulazioni risultanti dall'applicazione di modelli regionali forzati di proiezioni globali CMIP6: di conseguenza, per analisi di impatto locale, al momento, la comunità scientifica non può che continuare a riferirsi alle proiezioni CMIP5, in altre parole agli scenari RCP. A titolo di confronto, la Figura 3 mostra le traiettorie future di temperatura superficiale media annua a livello nazionale utilizzando i modelli globali disponibili nei progetti CMIP5 e CMIP6, al variare dei diversi scenari RCP e SSP (MIMS 2022).

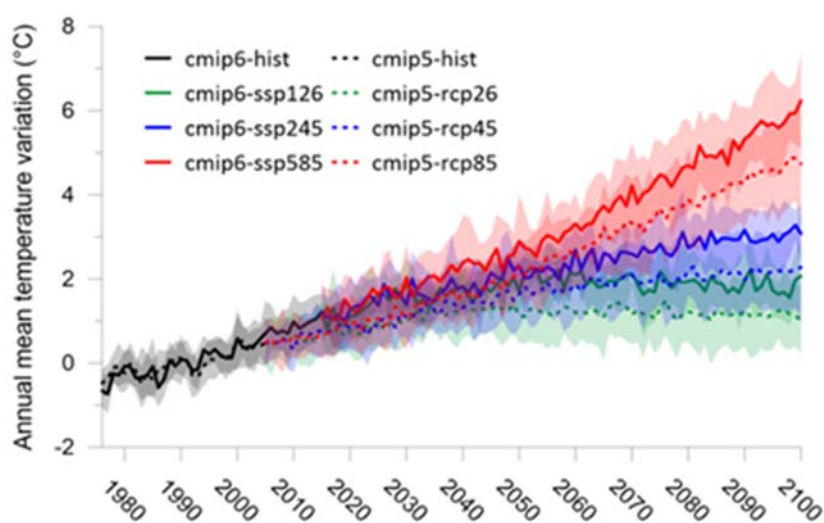


Figura 3: Anomalie annuali di temperatura superficiale su scala nazionale ottenute a partire dai dati simulati dei modelli globali di circolazione elaborati nei progetti CMIP5 e CMIP6. Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura (nel caso dei modelli CMIP5) e il tratteggio (nel caso dei modelli CMIP6) indicano la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Fonte: Rapporto "Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità" (MIMS 2022).

<sup>6</sup> <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

<sup>7</sup> <https://www.wcrp-climate.org/ipo-esmo-groups/modelling-wgcm>

<sup>8</sup> <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>



---

È importante sottolineare che le analisi prodotte dai modelli climatici sono affette, per diversi motivi, da incertezze, quali ad esempio i differenti scenari di concentrazione ipotizzati, l'imperfetta simulazione, da parte dei modelli, del sistema climatico, e la sua elevata complessità e non-linearità (Collins 2007). A patto di una maggiore onerosità computazionale e metodologica, la scelta di utilizzare più scenari RCP e un ensemble di catene modellistiche diverse permette appunto di quantificare queste due fonti di incertezza, attraverso l'utilizzo dell'*ensemble mean* (valore medio fornito dall'insieme dei singoli modelli che formano l'ensemble) e della dispersione dei singoli modelli intorno a questo valore medio. In particolare, seguendo la letteratura vigente, la stima dell'incertezza è stata ottenuta utilizzando come valore di sintesi la deviazione standard inter-modello: quanto più è basso il valore di deviazione standard tanto più sarà elevato il grado di accordo tra i modelli climatici dell'ensemble EURO-CORDEX, e viceversa (Jacob et al. 2014, Kotlarski et al. 2014, Von Trentini et al. 2019, Jacob et al. 2020).

### **1.3 Dataset di riferimento per il clima corrente (E-OBS)**

L'analisi delle variazioni climatiche per un set di indicatori di interesse non è, da sola, sufficiente a capire se, in un dato scenario futuro, un aspetto del clima porrà un serio rischio per la comunità. Al di là, naturalmente, delle caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione che, in aggiunta al pericolo, determinano l'innescarsi di un rischio, le variazioni di indicatori climatici mettono soltanto in evidenza l'effetto di accrescimento o diminuzione del pericolo per effetto del cambiamento climatico. In via del tutto generica, se, per ipotesi, l'ensemble di proiezioni climatiche fornisse, per un dato scenario di concentrazione e un dato orizzonte temporale, un incremento del 50% di un certo indicatore, il valore da attendersi in futuro potrebbe essere comunque irrilevante qualora l'indicatore assumesse, nel presente, un valore molto piccolo. Viceversa, se lo stesso indicatore assumesse, nel presente, un valore molto alto, allora anche una variazione futura del 5% potrebbe essere critica.

L'interpretazione di se e quanto il valore assoluto di un indicatore possa delineare un pericolo di entità modesta o critica non è deducibile dalle analisi climatiche. Tuttavia, una utile informazione in tal senso si può ottenere associando, a ciascuna variazione climatica, un valore di riferimento dell'indicatore, ovvero il valore che l'indicatore assume nel periodo corrente (1981-2010). Nel presente documento, il dataset di riferimento considerato è E-OBS (Cornes et al. 2019). E-OBS rappresenta un dataset osservativo su grigliato regolare (solo terrestre) disponibile per l'Europa, ottenuto mediando un ampio numero di esperimenti di interpolazione su serie storiche di precipitazione e temperatura. Le serie storiche interpolate provengono dalla rete di stazioni del progetto European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), e vengono fornite da servizi nazionali ed europei o da altre istituzioni che si occupano di gestione archiviazione dati. Il dataset presenta una risoluzione temporale giornaliera e spaziale in due versioni, 0.25° (28 km ca.) e 0.1° (12 km ca.), con copertura paneuropea sull'arco temporale 1950-2021. L'affidabilità del dataset è generalmente considerata valida, sebbene in modo diversificato sul territorio europea per effetto della diversa copertura in termini di stazioni meteorologiche usate in input all'interpolazione (minore, ad esempio, nel Sud Italia rispetto al Settentrione). La scelta è ricaduta su E-OBS per mantenere coerenza con le valutazioni fatte nell'ambito del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC versione 2022, in bozza). Esso presenta inoltre una risoluzione orizzontale analoga a quella delle proiezioni climatiche EURO-CORDEX.

## **2. Indicatori climatici utilizzati per il target “Territorio”**

Gli indicatori climatici sono comunemente utilizzati nella letteratura di settore per caratterizzare il clima del recente passato e/o quello atteso, sia per quanto riguarda il clima medio, sia per l'analisi degli eventi estremi.

La maggior parte degli indicatori utilizzati, come quelli definiti dall'ETCCDI<sup>9</sup> (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*; Karl et al. 1999, Peterson et al. 2001) sono ricavati a partire dalle variabili di precipitazione e temperatura, e risultano utili per studi di settore volti a valutare i principali impatti locali del cambiamento climatico su cui basare, ad esempio, strategie di adattamento al cambiamento climatico. È importante rilevare che l'analisi degli indicatori climatici non può essere ritenuta esaustiva; tuttavia, essi restano un metodo speditivo che può essere impiegato in via preliminare rispetto all'applicazione di più complessi modelli di impatto fisicamente basati (EEA 2009, EEA 2018, EEA 2019).

Nella Tabella 2 viene riportata la lista gli indicatori analizzati, ritenuti rappresentativi di alcuni dei pericoli climatici presenti sull'intero territorio di competenza delle infrastrutture AQP. Tutti gli indicatori evidenziati sono quelli indicati come rilevanti nel PNACC (versione 2022, in bozza); è inoltre considerato un ulteriore indicatore, PR95prctile, analogo a PR99prctile, considerato nel PNACC, ma associato ad un livello di probabilità meno estremo. Per ciascun indicatore la bozza del PNACC riporta, oltre alla descrizione, una indicazione del pericolo climatico di cui l'indicatore può essere considerato rappresentativo, e il settore su cui tale pericolo può impattare. Tale lista non deve essere comunque considerata esaustiva. Ad esempio, è possibile che taluni indicatori possano essere considerati rappresentativi di più pericoli, o che un pericolo possa impattare su più settori. Ad esempio, l'indicatore PRCPTOT è associato, nella tabella PNACC, ai pericoli legati al dissesto geo-idrologico, tuttavia potrebbe essere anche considerato rappresentativo del pericolo di siccità. Il pericolo incendi potrebbe avere degli impatti a cascata anche sul settore Salute. L'indicatore TR potrebbe impattare sui consumi di energia elettrica per il raffrescamento (sebbene sia identificato un indicatore più "diretto" per tale pericolo, CDDS). Simili ragionamenti possono essere estesi a una molteplicità di indicatori e pericoli. Si deve inoltre ricordare che, essendo il PNACC ancora in fase di bozza, tale tabella potrebbe anche subire delle revisioni, seppure minute, in termini di specificazione dei pericoli e dei settori impattati.

Nella Tabella 2, per ciascun indicatore viene indicato il nome/acronimo e le unità di misura, in italiano e in inglese; la descrizione; il principale pericolo rappresentato; il settore principalmente impattato. Per un maggiore approfondimento sul significato e sull'interpretazione degli indicatori proposti si rimanda alla sezione di Discussione dei risultati. Nella Tabella 2, gli indicatori sono raggruppati per colore in funzione del pericolo rappresentato, ad eccezione della temperatura giornaliera TG, che è raggruppata insieme agli indicatori WD e WW.

Tabella 2: Lista degli indicatori\* adottati per la mappatura degli indicatori climatici per il target "Territorio"

Indicatore [English version] (unità di misura)	Descrizione	Pericolo climatico rappresentato	Settore
TG – Temperatura media giornaliera [Mean temperature] (°C)	Media della temperatura giornaliera	Aumento delle temperature	Generale
WD – Giorni caldi e secchi [Warm&Dry days] (giorni [days])	Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura giornaliera, e con precipitazione giornaliera minore del 25° percentile di precipitazione giornaliera	Impatti su Salute, Agricoltura, Infrastrutture	Salute, Agricoltura
WW – Giorni caldi e umidi [Warm&Wet days] (giorni [days])	Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura giornaliera, e con precipitazione giornaliera maggiore del 25° percentile di precipitazione giornaliera		

<sup>9</sup> [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)

HDDs – Gradi/giorno di riscaldamento [ <i>Heating Degree Days</i> ] (GG [DD])	Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera, se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffreddamento	Energia
CDDs – Gradi/giorno di raffrescamento [ <i>Cooling Degree Days</i> ] (GG [DD])	Somma della temperatura media giornaliera meno 21°C se la temperatura media giornaliera è maggiore di 24°C	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffreddamento	Energia
PRCPTOT – Precipitazione cumulata nei giorni piovosi [ <i>Cumulative precipitation in wet days</i> ] (mm)	Somma della precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione giornaliera maggiore o uguale a 1 mm	Dissesto geo-idrologico	Vari settori in quanto il dissesto geo-idrologico costituisce un pericolo che interessa la maggior parte dei settori, ognuno con diverso grado di esposizione
R20 – Giorni con precipitazione intensa [ <i>Days with intense precipitation</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni in cui la precipitazione giornaliera supera i 20 mm		
RX1DAY – Massimo di precipitazione giornaliera [ <i>Annual maximum daily precipitation</i> ] (mm)	Valore massimo di precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione giornaliera maggiore o uguale a 1 mm		
SDII – Indice di intensità di precipitazione giornaliera [ <i>Simple Daily precipitation Intensity Index</i> ] (mm/giorno [mm/day])	Somma della precipitazione giornaliera divisa per il numero di giorni In cui la precipitazione giornaliera è maggiore o uguale a 1 mm		
PR95prtile – 95° percentile di precipitazione giornaliera [ <i>95th percentile of daily precipitation</i> ] (mm)	Valore di precipitazione giornaliera associato ad un livello di probabilità di non superamento del 95%, estratto dal campione di valori di precipitazione giornaliera maggiori o uguali a 1 mm		
PR99prtile – 99° percentile di precipitazione giornaliera [ <i>99th percentile of daily precipitation</i> ] (mm)	Valore di precipitazione giornaliera associato ad un livello di probabilità di non superamento del 99%, estratto dal campione di valori di precipitazione giornaliera maggiori o uguali a 1 mm		
CDD – Giorni secchi consecutivi [ <i>Consecutive Dry Days</i> ] (giorni [days])	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera minore di 1 mm	Siccità	Produzioni agricole, Risorse Idriche ed Ecosistemi terrestri
SPI** – Indice standard di precipitazione [ <i>Standardized Precipitation Index</i> ] per periodi di accumulazione di 3, 6, 12 e 24 mesi (-)	Distanza (espressa in numero di deviazioni standard) rispetto alla media della precipitazione cumulata su un periodo di accumulazione breve (3 mesi), medio (6, 12 mesi) e lungo (24 mesi)		
PET – Evapotraspirazione potenziale [ <i>Potential Evapo-Transpiration</i> ] (mm)	Evapotraspirazione potenziale mensile calcolata secondo la formula di Thornthwaite		
CSDI – Indice di durata dei periodi di freddo [ <i>Cold Spell Duration Index</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi	Ondate di freddo	Salute, Energia
FD – Giorni di gelo [ <i>Frost Days</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore a 0°C		
WSDI – Indice di durata dei periodi di caldo [ <i>Warm Spell Duration Index</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi	Ondate di caldo	Salute, Energia
HUMIDEX5 – Indice di disagio termico [ <i>Thermal discomfort index</i> ] (giorni [days])	Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura. Categoria 5: numero di giorni in cui l'indice HUMIDEX è maggiore di 45°C	Disagio termico	Salute
SU95p – Giorni estivi [ <i>Summer Days</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 29.2°C. Tale soglia è stata definita per il territorio italiano (PNACC)		
TR – Notti tropicali [ <i>Tropical nights</i> ] (giorni [days])	Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C		

SCD – Durata del manto nevoso [Snow Cover Duration] (giorni [days])	Numero di giorni nella stagione nivale (dal 1/11 di un dato anno al 31/3 dell'anno successivo) con quantità di neve superficiale giornaliera superiore a 300 mm	Diminuzione/assenza precipitazione nevosa	Turismo invernale
EWS – Velocità estrema del vento [Extreme Wind Speed] (m/s)	98° percentile della velocità massima giornaliera del vento	Tempeste di vento	Insedimenti, Foreste
FWI – Indice di pericolo incendi [Fire Weather Index] (-)	È un indice basato su informazioni meteorologiche che si compone di 3 sottoindici primari (che rappresentano l'umidità del combustibile) e 2 intermedi (che rappresentano il tasso di dispersione ed il consumo del combustibile disponibile***)	Incendi	Foreste, Ecosistemi terrestri, Insediamenti

\*La lista, con il dettaglio dei pericoli e dei settori di interesse, è quella riportata nella bozza corrente del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC versione 2022, in bozza)

\*\*A partire da SPI, la variabile di cui è calcolata la variazione climatica è il numero di eventi di siccità per diversi gradi di severità. L'evento di siccità ha inizio, in generale, quando SPI scende sotto una soglia limite, e ha fine quando risale sopra la soglia. L'indicatore rappresenta la percentuale di eventi, sul totale degli eventi di siccità nel trentennio, classificati come "molto asciutti [severe dry]" e "estremamente asciutti [extreme dry]" a seconda dei valori raggiunti da SPI durante l'evento.

\*\*\*<https://climate.copernicus.eu/fire-weather-index>

### 3. Risultati

In questa sezione vengono riportati i risultati, in termini di variazione e di incertezza spazialmente distribuite degli indicatori in Tabella 2 calcolati su base annua, nonché la loro sintesi in modalità tabellare (tale tabella sarà inoltre corredata di una sintesi dei valori aggregati sulla sola regione Puglia). Per tutti gli indicatori, successivamente, viene fornita la variazione spazialmente distribuita valutata su base stagionale, mentre per la relativa incertezza si rimanda alla piattaforma DataClima. Si ricorda a tal proposito che l'incertezza presentata in questo documento (in altre parole la deviazione standard inter-modello della variazione) ha le stesse unità di misura della variazione: se la variazione è espressa in giorni, sia l'ensemble mean sia l'incertezza saranno espresse in giorni; se la variazione è espressa in termini percentuali, sia l'ensemble mean sia l'incertezza saranno espresse in termini percentuali. Detta "m" l'ensemble mean e "s" l'incertezza, per effetto dell'aver usato un ensemble di proiezioni il valore atteso di variazione sarà dunque  $m \pm s$ . All'Appendice si rimanda invece per i valori spazialmente distribuiti degli indicatori riferiti al periodo corrente (1981-2010), valutati a partire dal dataset E-OBS. I valori sul periodo corrente, aggregati sull'intero Distretto e sulla Regione Puglia, sono comunque presenti all'interno delle Tabelle 3, 4, 7 e 8, per facilitarne l'interpretazione. Si ricorda, infine, che tutte le mappe saranno consultabili, con maggiore risoluzione grafica, all'interno della piattaforma DataClima. Nel presente documento si intende presentarne una selezione significativa per mettere in luce i principali risultati.

Nel seguito si farà riferimento, per brevità, all'espressione "variazione annua/stagionale" per indicare l'ensemble mean della variazione climatica attesa per un indicatore calcolato su base annua o stagionale, rispettivamente. Ad esempio, l'espressione "variazione stagionale di PRCPTOT" si riferisce all'ensemble mean della variazione attesa per la precipitazione cumulata su una specifica stagione; l'espressione "variazione stagionale di CDD" si riferisce all'ensemble mean della variazione attesa per l'indicatore Giorni Consecutivi Secchi, calcolato isolando le occorrenze dei giorni consecutivi secchi su una specifica stagione. Le stagioni sono indicate con la seguente nomenclatura: DJF (December-January-February) per indicare l'inverno, MAM (March-April-May) per indicare la primavera, JJA (June-July-August) per indicare l'estate e SON (September-October-November) per indicare l'autunno.

### 3.1 Indicatori su base annua

In Figura 3 e Figura 4 sono mostrate le variazioni attese, a scala annua, per gli indicatori TG e PRCPTOT. Per TG è previsto un marcato aumento, tra 1°C e 1.5°C, informazione associata ad una incertezza ridotta, ad una forte omogeneità spaziale e ad una spiccata coerenza in termini di scenario, con anomalie molto simili (in leggero aumento) muovendosi dallo scenario RCP2.6 a RCP8.5. Per quanto riguarda la PRCPTOT, il trend generale è di diminuzione. Si nota però un significativo effetto dell'orografia, con variazioni negative maggiori sui rilievi Appenninici in Calabria, Campania e Basilicata, e variazioni più blande sulle zone pianeggianti e costiere. Mediamente, le variazioni attese sono più ridotte sotto lo scenario RCP2.6, più marcate sotto lo scenario RCP8.5: tale informazione è associata ad un'incertezza in media contenuta entro il 10%, ma crescente dallo scenario meno gravoso a quello più gravoso in termini di concentrazione. Come per la temperatura, l'incertezza risulta più alta nella fascia costiera, presumibilmente perché i modelli climatici risentono del passaggio dalla fisica oceanica a quella terrestre (si tratta dunque di un effetto della risoluzione delle equazioni, privo di interpretazione fisica).

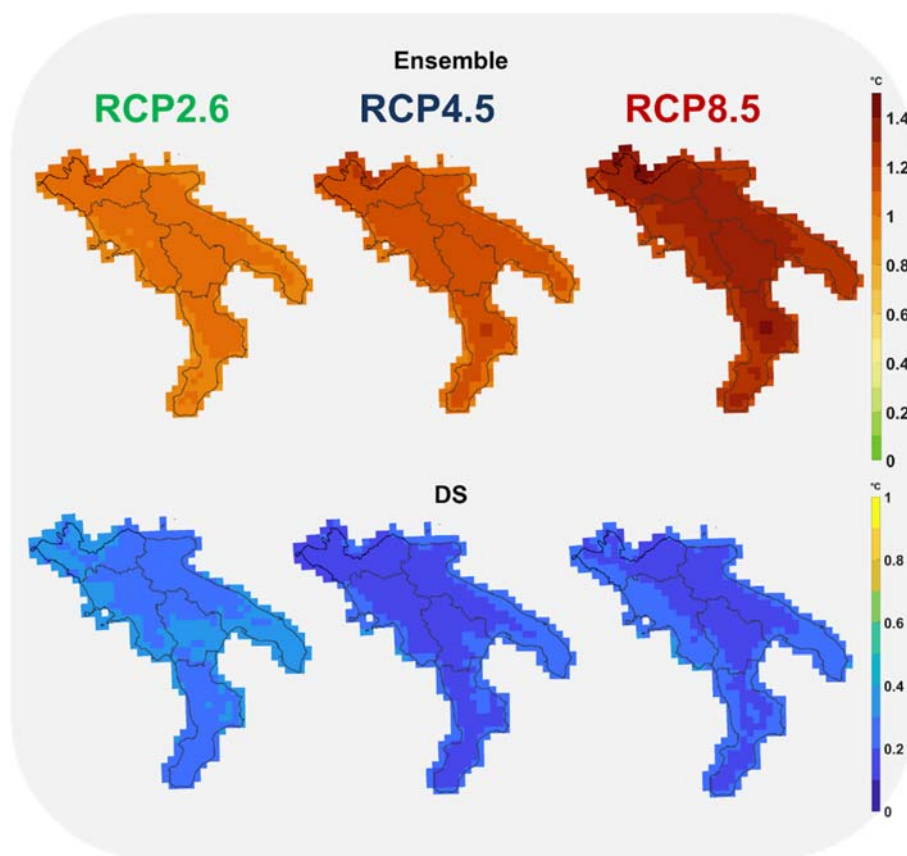


Figura 3: Variazione (ensemble mean nel pannello superiore, deviazione standard nel pannello inferiore) della temperatura (media giornaliera) media annua per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5.



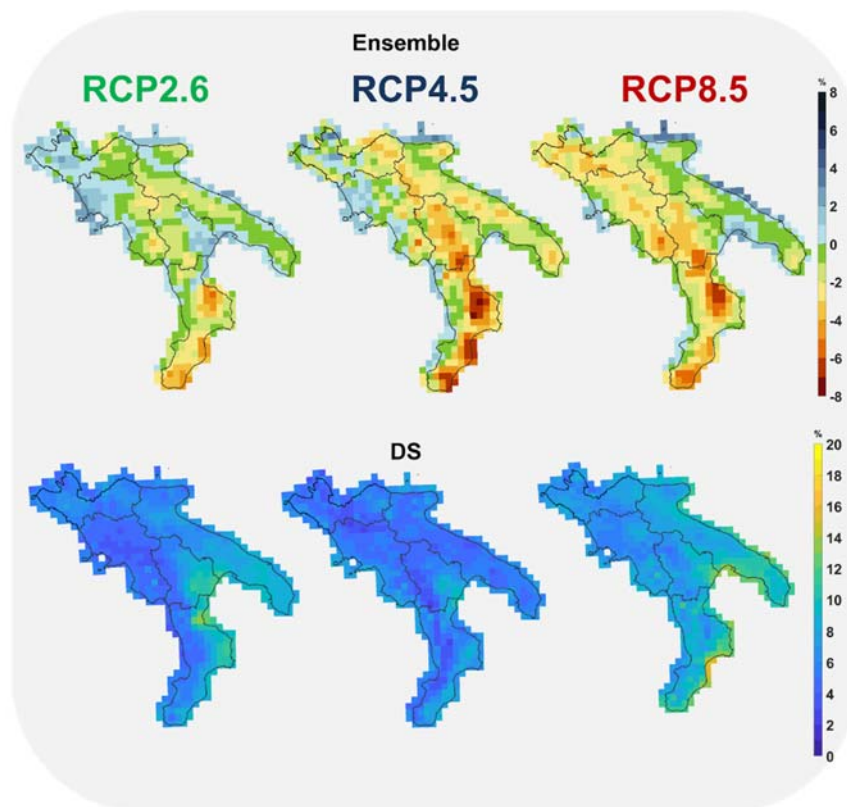


Figura 4: Variazione (ensemble mean nel pannello superiore, deviazione standard nel pannello inferiore) della precipitazione cumulata annua per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5.

In Figura 5 e Figura 7 vengono rappresentate le variazioni attese per gli indicatori considerati per l'asset "Territorio" (Tabella 2), tutti valutati su base annua. Le informazioni relative all'incertezza, invece, vengono riportate nella Figura 6 e nella Figura 8. In Figura 5, in particolare, sono stati raggruppati gli indicatori WD, WW, HDDs, CDDs, FD, CSDI, WSDI, HUMIDEX5, SU95p, TR, EWS e FWI (in Figura 6 le relative incertezze), mentre in Figura 7 sono stati raggruppati gli indicatori legati alla sola precipitazione (SCD, R20, RX1DAY, PR95prctile, PR99prctile, SDII) e quelli particolarmente rappresentativi dei fenomeni di siccità (CDD, PET, SPI-3/6/12/24 per la classe di siccità *extreme dry*). Le incertezze relative agli indicatori in Figura 7 sono mostrate in Figura 8. Nelle figure si è cercato di omogeneizzare il più possibile la legenda in maniera tale da rendere le mappe più fruibili.

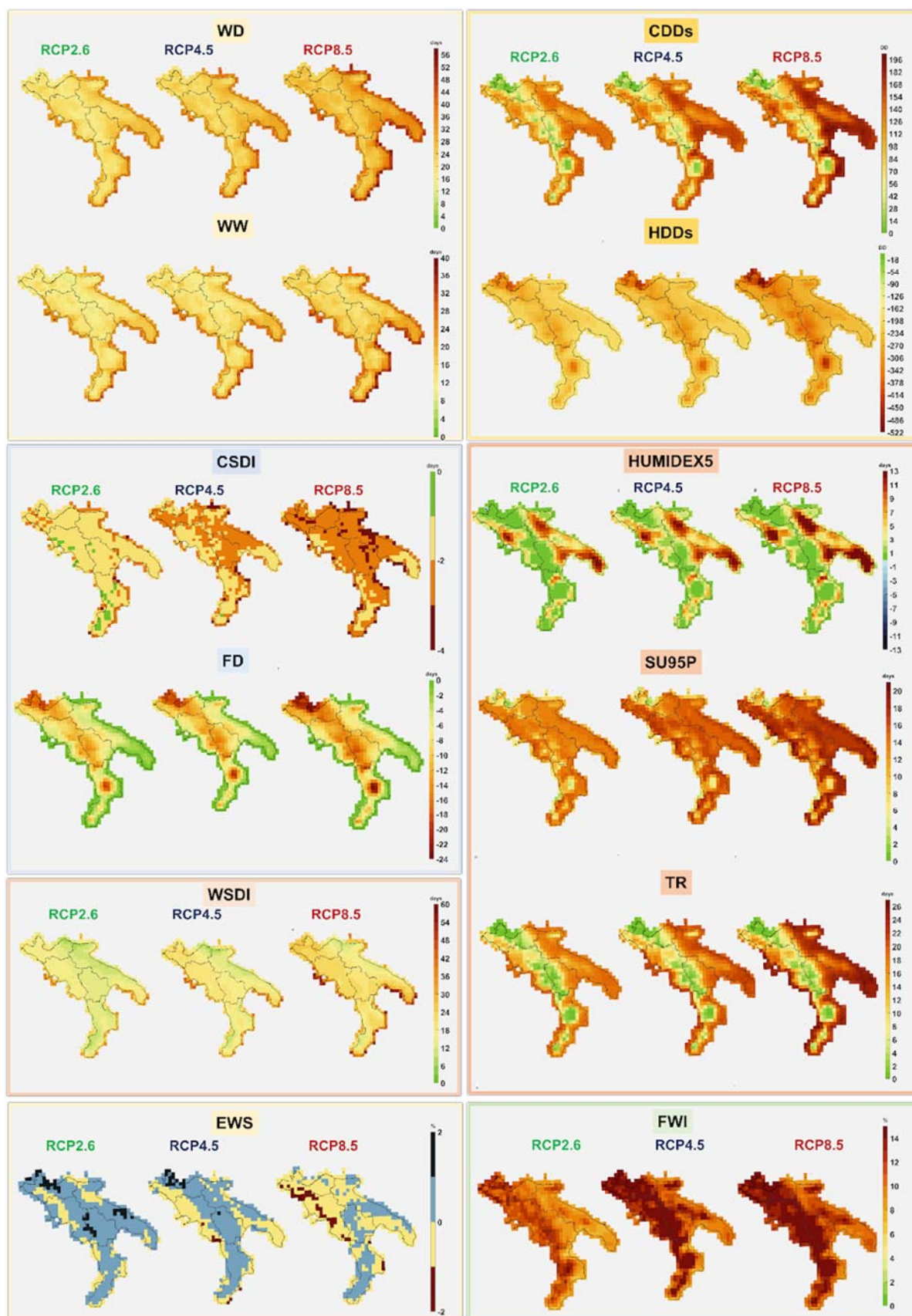


Figura 5: Variazione (ensemble mean) del primo subset di indicatori considerati per l'asset "Territorio" per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5

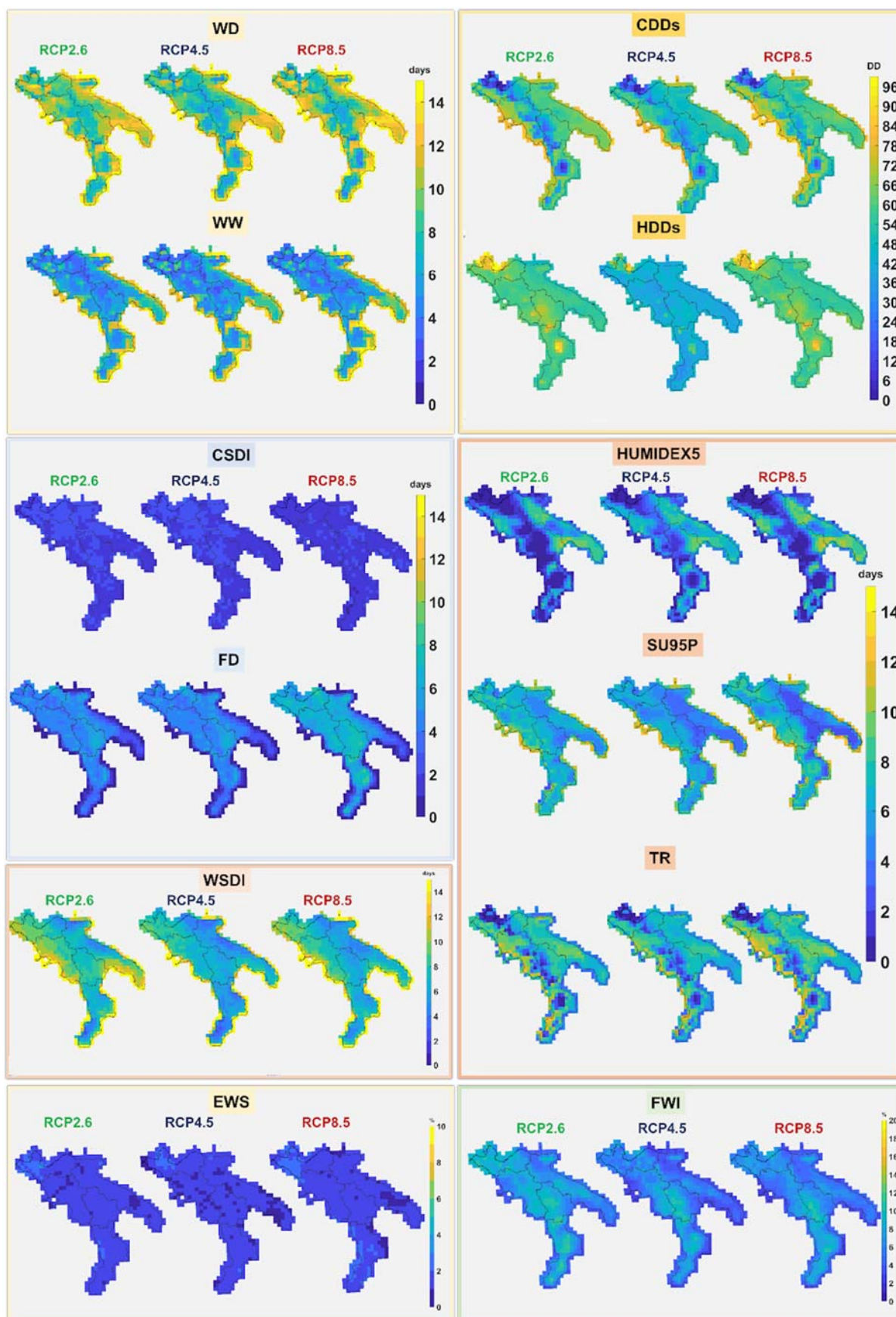


Figura 6: Stima dell'incertezza (deviazione standard) del primo subset di indicatori considerati per l'asset "Territorio" per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5



---

Di tutti gli indicatori strettamente legati alla sola temperatura, si può notare che quelli particolarmente dipendenti dalle temperature elevate (WD, WW, HDDs, CSDI, SU95p e WSDI) presentano un andamento annuale estremamente coerente con TG, ovvero estremamente omogeneo su tutta l'area di interesse, e con anomalie crescenti dallo scenario RCP 2.6 a RCP 8.5. Invece, indicatori più complessi, sempre collegati alla temperatura ma meno direttamente (CDDs, HUMIDEX5, TR) presentano dei pattern spaziali che risentono dell'orografia dei luoghi, con variazioni più spinte (sempre in termini di incremento) in tutto il territorio della Puglia e nelle restanti aree costiere, più blande in corrispondenza delle altitudini maggiori. Anche in questo caso, comunque, gli incrementi attesi sono sempre più significativi spostandosi dallo scenario RCP 2.6 a RCP 8.5. Per quanto riguarda l'indicatore di vento estremo EWS, le variazioni attese sono leggermente positive sotto RCP 2.6 e RCP 4.5 (a parte l'area del Salento e la fascia costiera tirrenica), leggermente negative su ampie zone sotto RCP 8.5. Le variazioni attese dei giorni di gelo (FD) sono invece tutte negative, e abbastanza omogenee sul territorio con un lieve effetto dell'orografia, con diminuzioni più significative attese sulle quote più alte. Infine, per l'indicatore di incendi FWI si segnala un andamento piuttosto omogeneo su tutto il territorio del Distretto, con anomalie positive crescenti da RCP 2.6 a RCP 8.5, e sempre maggiori (seppur di poco) sul versante tirrenico rispetto a quello adriatico e ionico.

Andando ad effettuare una valutazione delle incertezze per tali indicatori, si registrano comportamenti differenziati. Gli indicatori che presentano incertezze più basse, e anche piuttosto omogenee sul territorio, sono EWS, FWI, CSDI e FD. Invece, gli altri indicatori presentano dei comportamenti più eterogenei. WD e WW presentano infatti incertezze maggiori nelle zone costiere del Distretto e in tutto il Salento, con valori mediamente più bassi di deviazione standard per WW rispetto a WD, senza un significativo effetto dello scenario (con incertezze mediamente minori sotto RCP 2.6 e maggiori sotto RCP 4.5 solo per WD). Molto diverso è l'andamento dell'incertezza tra CDDs e HDDs: mentre infatti il primo presenta valori nettamente più bassi sui rilievi del versante tirrenico, il secondo presenta un comportamento più omogeneo, con anzi valori leggermente superiori alla media proprio sulle stesse aree in cui il primo presenta i valori più bassi. Per entrambi gli indicatori, in ogni caso, le incertezze appaiono mediamente più basse sotto lo scenario intermedio. Molto simile è il pattern spaziale di HUMIDEX5 e TR, con valori nettamente più bassi di incertezza sul versante tirrenico, in particolare sui rilievi (con deviazioni standard mediamente inferiori per HUMIDEX5 rispetto a TR). Opposto è il pattern di SU95p, per il quale l'incertezza appare minore sul versante adriatico e ionico. Molto diversificato è anche l'effetto dello scenario: l'incertezza appare infatti minore sotto RCP 2.6 per HUMIDEX5 (laddove è massima invece per SU95p), minore sotto RCP 4.5 per TR.

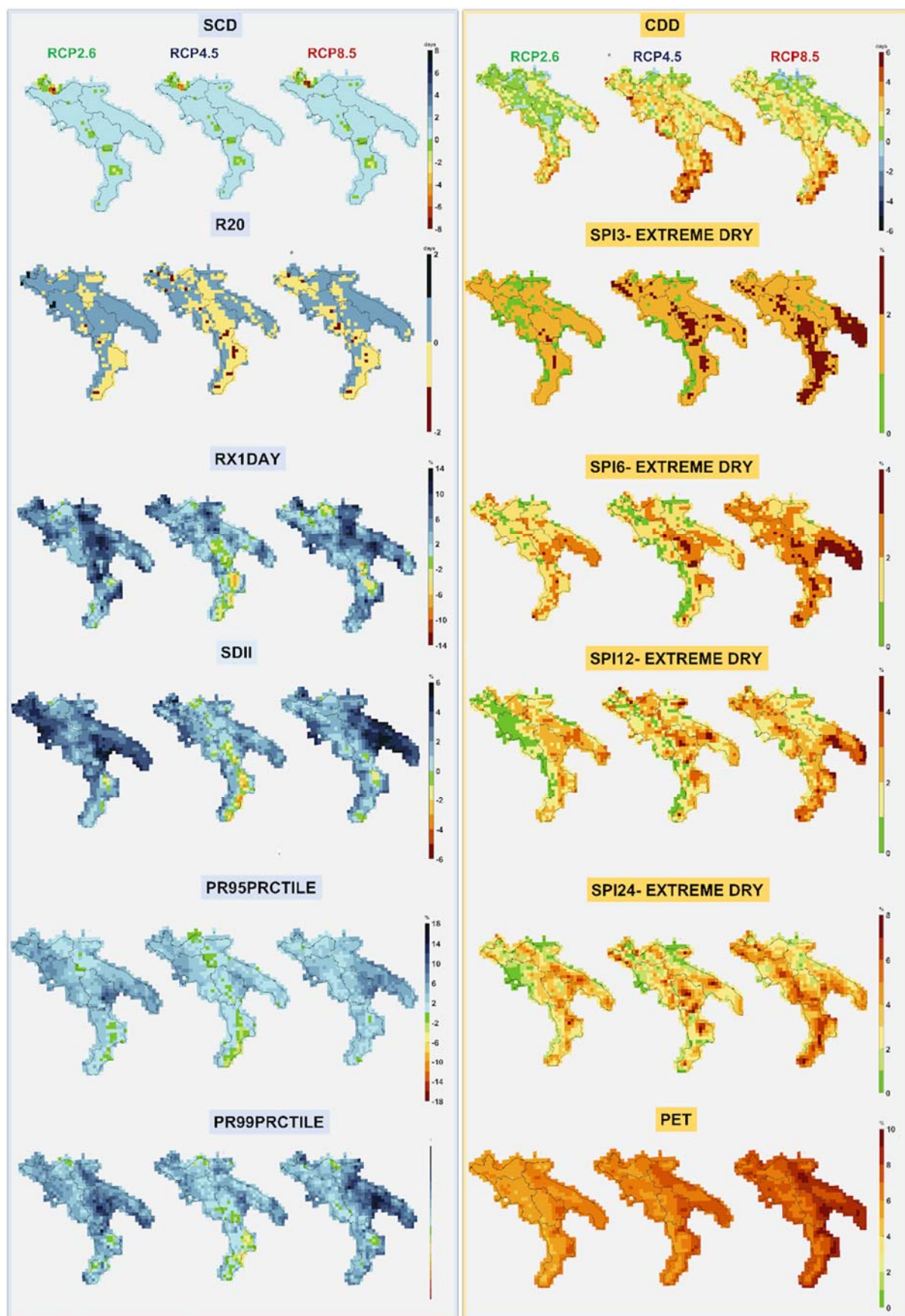


Figura 7: Variazione (ensemble mean) del secondo subset di indicatori considerati per l'asset "Territorio" per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5



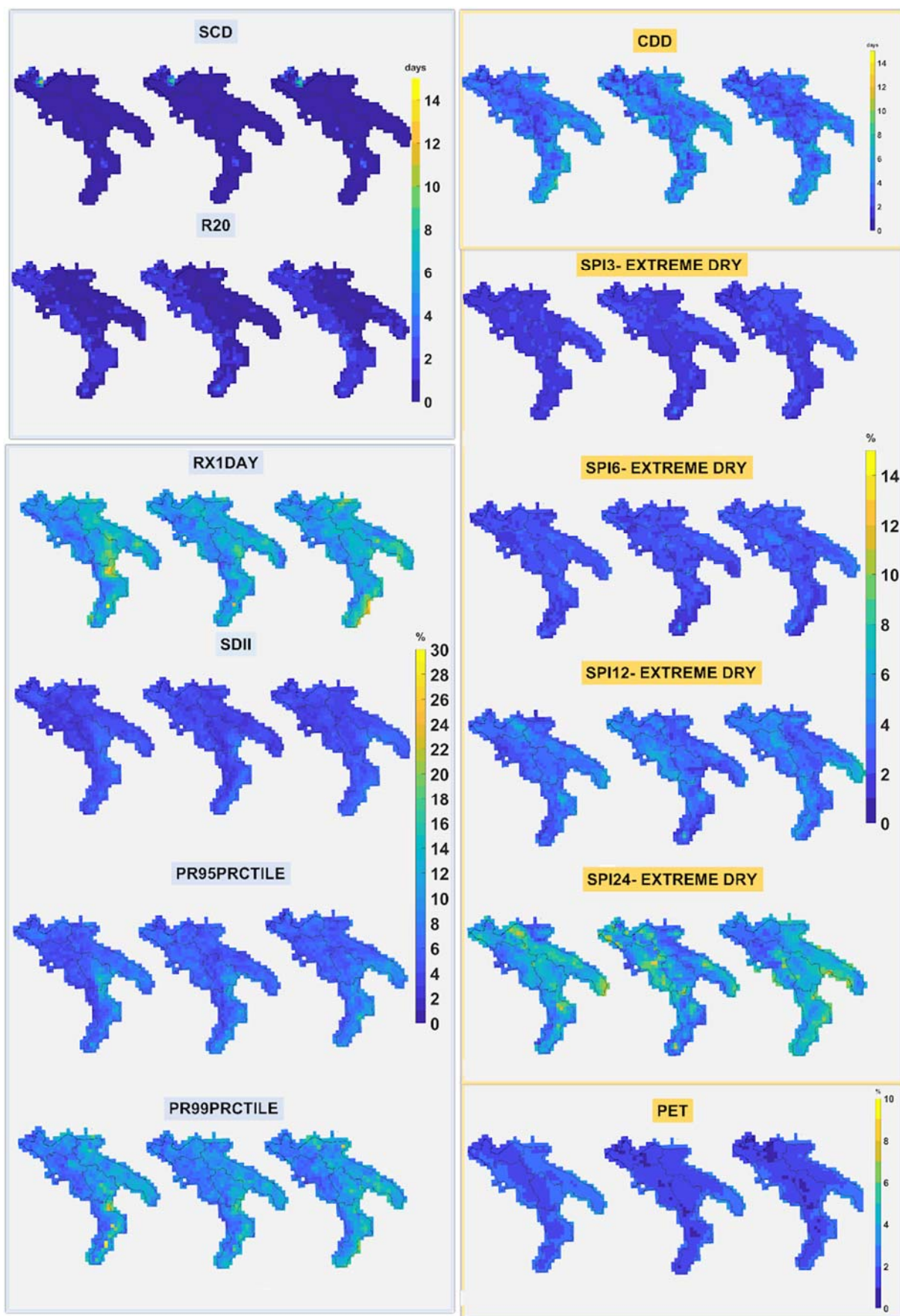


Figura 8: Stima dell'incertezza (deviazione standard) del secondo subset di indicatori considerati per l'asset "Territorio" per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5

---

Per quanto riguarda il secondo set di indicatori, il comportamento è estremamente diversificato. Balza immediatamente all'occhio la variazione non significativa per gli indicatori SCD (con un lieve picco, in termini di diminuzione attesa, in una ridottissima area del centro-nord) e R20. Per RX1DAY, SDII, PR95prctile e PR99prctile sono attese variazioni quasi dappertutto positive (aumento), con ampie zone in cui le variazioni attese sono, di fatto, nulle, a una ridottissima area nella regione Calabria dove sono attese invece variazioni negative. Per tutti questi indicatori, le aree colpite dalle variazioni negative maggiori risultano essere la Puglia (in particolare sotto RCP 8.5), cui si aggiunge parte della Basilicata e la parte alta del versante tirrenico sotto RCP 2.6. Sotto RCP 4.5 le variazioni appaiono invece alquanto ridotte su tutta l'area di interesse. Per quanto riguarda gli indicatori relativi alla siccità, particolarmente omogeneo sul territorio è il comportamento di PET, con valori di variazione (sempre negativa) lievemente maggiori sul versante adriatico rispetto a quello tirrenico, e sempre maggiori muovendosi dallo scenario RCP 2.6 a RCP 8.5. Un simile effetto dello scenario di concentrazione è riscontrabile per gli indicatori basati su SPI, mentre le variazioni risultano essere maggiori (in valore assoluto) sotto RCP 4.5 per CDD. Anche per SPI le variazioni più significative sono attese su Puglia e Calabria, con aree colpite sempre più ampie muovendosi da RCP 2.6 a 8.5. Per CDD, invece, l'area più colpita sembra essere il versante tirrenico, con variazioni importanti sull'intero territorio sotto RCP 4.5.

Andando ad associare l'informazione relativa all'incertezza, si notano valori estremamente bassi per SCD ed R20, e soprattutto sul versante adriatico. Anomalie maggiori, ma non elevate, si riscontrano per gli indicatori RX1DAY, PR95prctile e PR99prctile, dove comunque le incertezze risultano minori sul versante tirrenico, in media, e leggermente in aumento muovendosi da RCP 2.6 a RCP 8.5. Picchi di incertezza sono limitati a ristrettissime aree della costa ionica della Calabria e della Basilicata, soprattutto per RX1DAY. Estremamente bassa è invece l'incertezza associata a SDII. Per quanto riguarda gli indicatori basati su SPI, si nota una forte omogeneità, associata a bassi livelli di incertezza, per SPI-3, che aumentano e si fanno sempre più disomogenei all'aumentare del periodo di accumulazione. L'effetto dello scenario è invece poco significativo, con valori che appaiono, in media, lievemente maggiori sotto RCP 8.5. Un simile comportamento è osservabile per CDD, con i valori massimi attinti in media sulla parte centrale del dominio.

La Tabella 3 riporta, per ciascun indicatore, valutato su base annua, il valore di riferimento (da E-OBS) e le variazioni attese sul periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento, sotto i tre scenari di concentrazione RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5 (EURO-CORDEX) in termini di ensemble mean (EM) e deviazione standard (DS) inter-modello (ovvero dovute all'utilizzo di un ensemble di proiezioni; entrambe le quantità sono mediate sul territorio del Distretto dell'Appennino Meridionale). Nella tabella, le celle contenenti le variazioni sono colorate con una palette dal rosso (che corrisponde ad un aumento della temperatura e/o a una riduzione della precipitazione) al blu (che corrisponde ad una diminuzione della temperatura e/o a un aumento della precipitazione), in cui la posizione centrale è occupata dal bianco, che identifica una variazione pari a zero (nessuna variazione attesa in futuro). I limiti, corrispondenti al rosso pieno e al blu pieno, sono: +1.5° per TG; +20 giorni per WD e WW; -150 GG per CDDs e +150GG per HDDs,  $\pm 10\%$  per PRCPTOT, R20, RX1DAY, SDII, PR95prctile e PR99prctile;  $\pm 5\%$  per CDD, PET e gli indicatori basati su SPI;  $\pm 5$  giorni per CSDI e FD,  $\pm 5$  giorni per WSDI, HUMIDEX5, SU95p e TR. La definizione di tali soglie è del tutto arbitraria, ed è stata condotta confrontando i valori di variazione con i valori di riferimento per gruppi di indicatori riferiti allo stesso pericolo. Non sono state invece campite le celle contenenti le anomalie di SCD, EWS e FWI, poiché non è possibile conoscere i loro valori di riferimento (E-OBS infatti presenta una risoluzione temporale non compatibile con il calcolo di tali indicatori).

Al fine di facilitare la lettura della tabella, è riportata, per ogni scenario, una colonna aggiuntiva che contiene il coefficiente di variazione (CV) pari al rapporto tra DS e EM. Un valore unitario di CV corrisponde ad una deviazione standard pari alla media, condizione in cui l'incertezza è piuttosto elevata; al diminuire di CV, diminuisce l'incertezza, e viceversa. Le celle contenenti i valori di CV sono campite di colore giallo, con un grado di riempimento che cresce al crescere della deviazione standard: il massimo riempimento corrisponde alla condizione  $CV \geq 1.5$ . Si noti che CV non è definito quando  $EM = 0$ , il che accade per un numero ristretto di indicatori e scenari. In questo caso, è ancora possibile leggere il valore di DS, ma non è possibile quantificare se DS sia *rilevante* o *non rilevante* rispetto a EM. Si noti, infine, che CV è adimensionale, essendo il rapporto tra due quantità che presentano la stessa unità di misura.

Tabella 3: Sintesi delle variazioni annue (ensemble mean, deviazione standard e coefficiente di variazione) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sull'intero territorio.

Acronimo indicatore	Unità di misura indicatore	Unità di misura variazione	Valore medio 1981-2010 (E-OBS)	Variazione climatica 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)								
				RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
				EM	±DS	CV	EM	±DS	CV	EM	±DS	CV
TG	°C	°C	14.1	1	0.3	0.3	1.1	0.2	0.2	1.3	0.2	0.2
WD	giorni	giorni	76	23	9	0.4	26	9	0.3	31	10	0.3
WW	giorni	giorni	62	15	7	0.5	16	7	0.4	19	7	0.4
HDDS	GG	GG	1868	-222	58	0.3	-240	39	0.2	-284	58	0.2
CDDS	GG	GG	168	98	52	0.5	113	46	0.4	128	54	0.4
PRCPTOT	mm	%	676	-1	5	5.0	-2	3	1.5	-2	7	3.5
R20	giorni	giorni	5	0	1		0	0		0	1	
RX1DAY	mm	%	36	5	6	1.2	3	4	1.3	5	5	1.0
SDII	mm	%	9	3	2	0.7	1	2	2.0	2	3	1.5
PR95PRCTILE	mm	%	22	4	2	0.5	2	2	1.0	4	3	0.8
PR99PRCTILE	mm	%	35	5	4	0.8	3	3	1.0	6	4	0.7
CDD	giorni	giorni	51	1	3	3.0	2	3	1.5	2	2	1.0
SPI3 classe siccità severa	%	%	4	0	1		0	1		1	1	1.0
SPI3 classe siccità estrema	%	%	2	1	1	1.0	2	1	0.5	2	1	0.5
SPI6 classe siccità severa	%	%	4	0	1		1	1	1.0	1	1	1.0
SPI6 classe siccità estrema	%	%	2	2	2	1.0	2	1	0.5	2	2	1.0
SPI12 classe siccità severa	%	%	3	1	2	2.0	1	1	1.0	1	2	2.0
SPI12 classe siccità estrema	%	%	2	2	2	1.0	2	2	1.0	2	3	1.5
SPI24 classe siccità severa	%	%	3	1	3	3.0	2	2	1.0	2	3	1.5
SPI24 classe siccità estrema	%	%	1	3	4	1.3	3	3	1.0	4	5	1.3
PET	mm	%	756	6	2	0.3	7	2	0.3	8	2	0.3
CSDI	giorni	giorni	6	-2	2	1.0	-2	2	1.0	-2	1	0.5
FD	giorni	giorni	20	-6	3	0.5	-7	3	0.4	-8	4	0.5
WSDI	giorni	giorni	6	16	9	0.6	18	6	0.3	23	7	0.3
HUMIDEX5	giorni	giorni	10	3	3	1.0	4	4	1.0	4	4	1.0
SU95P	giorni	giorni	38	12	6	0.5	14	5	0.4	16	5	0.3
TR	giorni	giorni	25	12	6	0.5	14	5	0.4	16	5	0.3
SCD	giorni	giorni		0	0		0	0		0	0	
EWS	m/s	%		0	1		0	1		0	1	
FWI	-	%		10	6	0.6	13	5	0.4	13	5	0.4

### 3.2 Indicatori su base stagionale

In Figura 9 e 10 vengono riportate le mappe di variazione, in termini di ensemble mean, degli stessi due indicatori (TG e PRCPTOT) calcolati però su base stagionale. Per la temperatura media giornaliera (Figura 9), si nota come i maggiori incrementi siano attesi in estate e autunno per tutti gli scenari; sotto RCP4.5 e 8.5, inoltre, significativi incrementi sono attesi anche in inverno. Per quanto attiene la precipitazione (Figura 10), si nota una forte riduzione attesa, per tutti gli scenari ma soprattutto sotto RCP4.5, in estate e, secondariamente, in primavera. Si registra invece un significativo incremento nella stagione autunnale sotto RCP2.6. In inverno per tutti gli scenari, e in autunno sotto RCP4.5 e 8.5, le variazioni attese sono meno significative e più eterogenee sul territorio, con una prevalenza di valori positivi o nulli nell'area pugliese e al confine con la Campania, e valori negativi soprattutto sull'arco calabro.

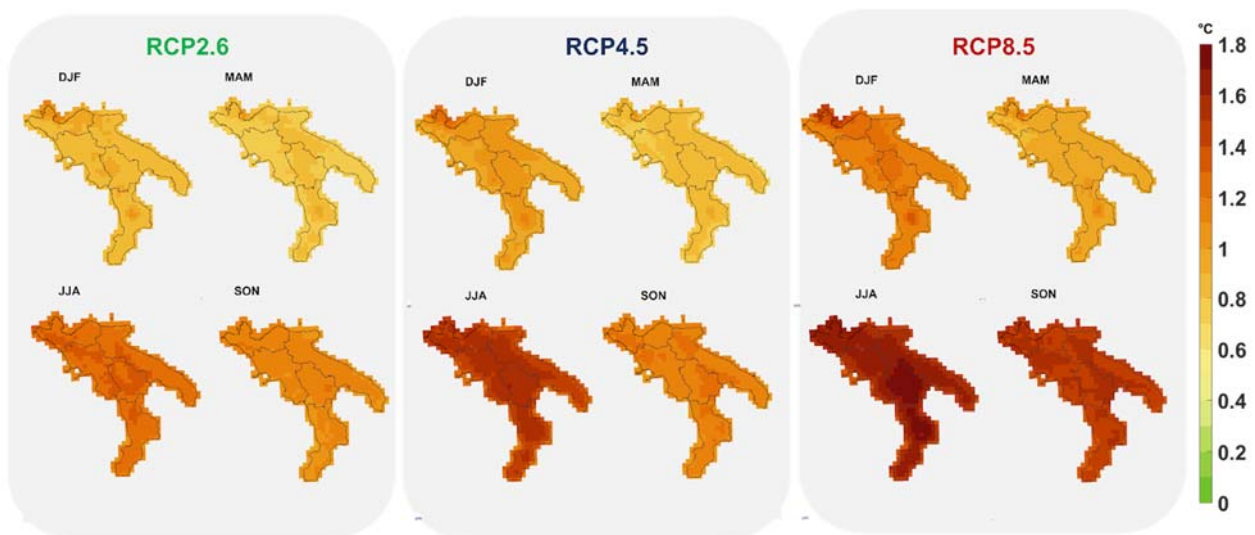


Figura 9: Variazione (ensemble mean) della temperatura (media giornaliera) media stagionale per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5.

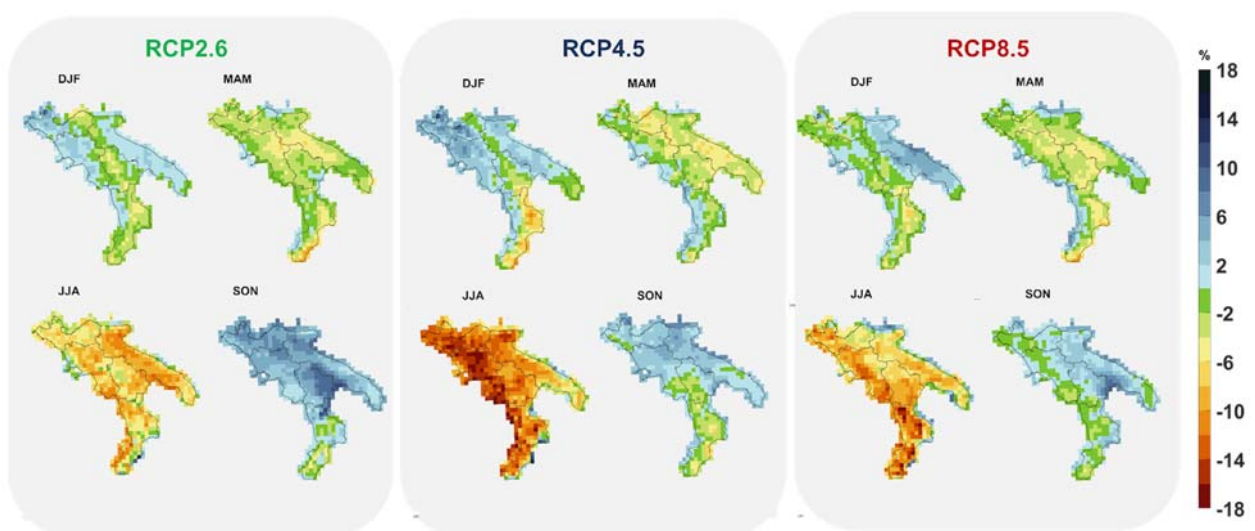


Figura 10: Variazione (ensemble mean) della precipitazione cumulata stagionale per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5.



---

Per non appesantire eccessivamente il documento, si è deciso nel seguito di riportare le mappe di variazione climatica valutata su base stagionale soltanto per una selezione di indicatori, uno per ciascun pericolo identificato in Tabella 2 (oltre naturalmente a TG e PRCPTOT, i cui andamenti stagionali sono già riportati in Figura 9 e Figura 10 rispettivamente). Per lo stesso motivo, si è deciso di non riportare le mappe relative all'incertezza valutata su base stagionale. Tutte le informazioni relative ai valori aggregati sull'area di interesse sono invece riportate in formato tabellare nella presente sezione: si ricorda comunque che tutte le informazioni spazialmente distribuite sono visionabili sulla piattaforma DataClima, e, in parte, nelle Appendici al presente documento. La Figura 11 e la Figura 12 mostrano le variazioni, in termini di ensemble mean, valutate alla scala stagionale, degli indicatori CDD, PR99prctile, EWS (Figura 11), HUMIDEX5, HDDs e FWI (Figura 12).

Per quanto riguarda CDD, scelto come rappresentativo dei pericoli legati alla siccità, si nota che la stagione in cui si registrano le maggiori variazioni (positive, corrispondenti cioè ad un aumento del pericolo di siccità), è l'estate (sotto tutti gli scenari, ma in particolare per RCP 4.5 e, secondariamente, per RCP 8.5), seguita dalla primavera ma solo sotto scenario RCP 2.6; per le altre stagioni non si verificano variazioni significative.

Per quanto riguarda PR99prctile, scelto come rappresentativo dei pericoli legati al dissesto geo-idrologico, la stagione che risulta mediamente più impattata (dove cioè si registra un aumento del 99-simo percentile di pioggia giornaliera), sebbene con un'elevata eterogeneità territoriale, è l'autunno, soprattutto negli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5. Si nota invece una diminuzione dell'indicatore durante l'estate, significativa (soprattutto sul versante tirrenico, ma comunque molto disomogenea dal punto di vista spaziale) solo sotto lo scenario RCP 4.5. Si notano per questo indicatore dei picchi positivi estremamente elevati, di oltre il 100%, sulla parte meridionale della costa ionica calabrese: tuttavia, uno sguardo più attento ai valori assunti dall'indicatore sul periodo corrente in quei luoghi (la mappa è consultabile in Figura A3 in Appendice, anche se la risoluzione grafica non consente di apprezzare i valori esatti) segnala valori del percentile molto bassi. Per quanto concerne EWS, per il quale su base annua si registrano variazioni poco significative (Figura 5), si segnala un certo effetto compensativo soprattutto nello scenario RCP 4.5, dove si registrano significative (ma molto disomogenee sul territorio) diminuzioni in autunno sul versante tirrenico, in inverno sul versante adriatico, e significativi aumenti attesi nella stagione primaverile sull'intero Distretto, ad eccezione dell'area del Salento. Tale effetto (aumento in primavera, riduzione in inverno) si riscontra anche sotto RCP 8.5, sebbene in questo caso sono le variazioni negative invernali ad essere più significative. Invece, sotto RCP 2.6 le variazioni attese sono in generale meno significative.

Per quanto riguarda HUMIDEX5, rappresentativo delle problematiche di discomfort termico, si può notare come l'intera entità della variazione positiva attesa su base annua (Figura 5) sia da attendersi perlopiù nella stagione estiva e soprattutto (ma non solo) sul territorio pugliese, con entità via via crescenti, anche se confrontabili, muovendosi dallo scenario più ottimista a quello più pessimista. Per quanto attiene HDDs, più direttamente rappresentativo delle necessità di riscaldamento, si evince una variazione attesa totalmente negativa, di intensità nettamente maggiore e altamente omogenea in inverno e primavera e più disomogenea in autunno, con valori di variazione sempre più negativi spostandosi dallo scenario RCP2.6 e RCP8.5. Per quanto riguarda infine FWI, rappresentativo del pericolo incendi, si nota come i valori più alti di variazioni (positiva, corrispondente cioè ad un aumento del pericolo di incendi) si registrano, con elevata omogeneità spaziale, soprattutto in inverno e primavera, sotto tutti gli scenari (con un andamento lievemente crescente muovendosi da RCP 2.6 a RCP 8.5). I valori più bassi di variazione, ma sempre positiva, si registrano invece nella stagione autunnale, soprattutto nello scenario più ottimista.



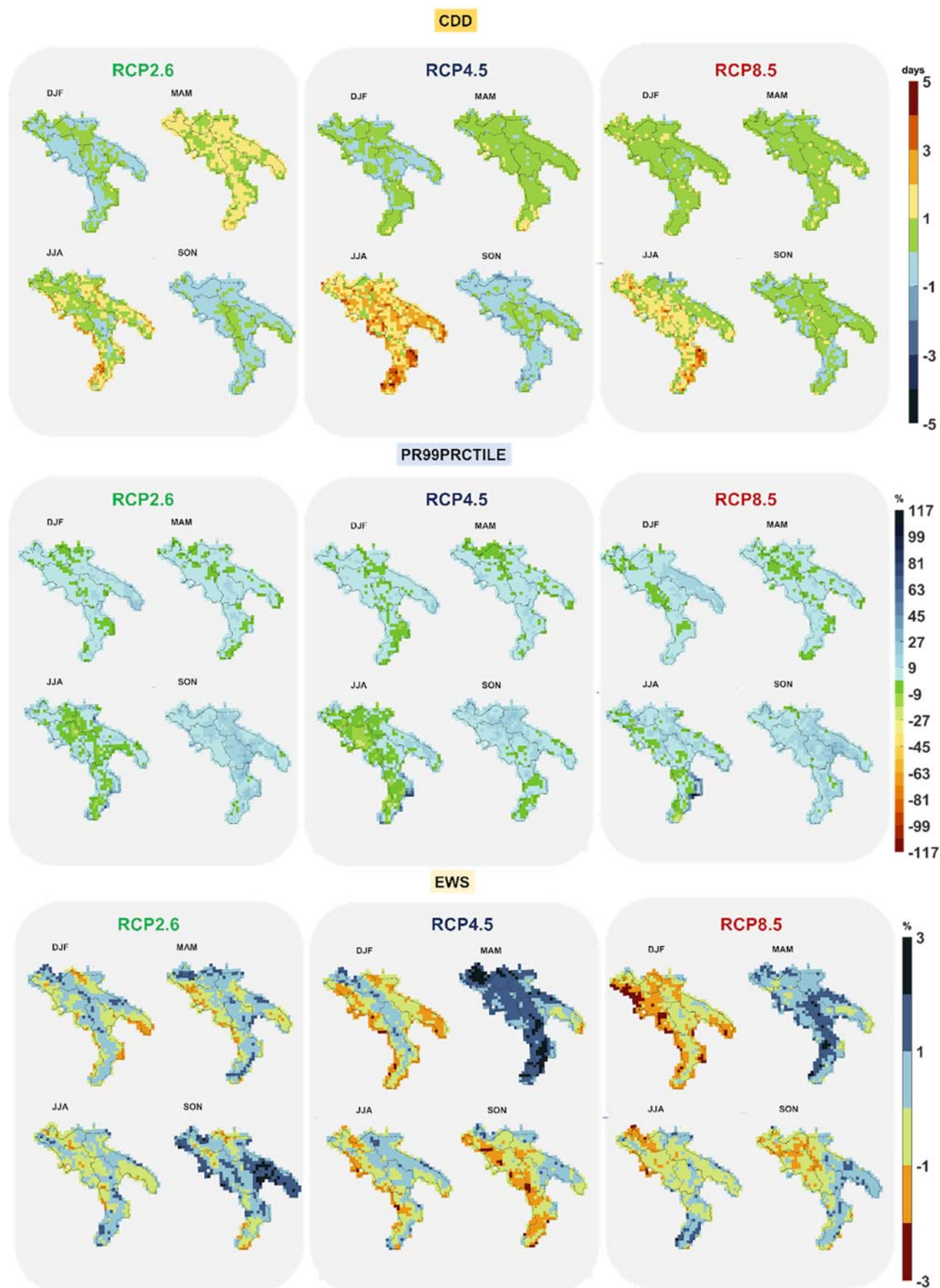


Figura 11: Variazione (ensemble mean) di un subset di indicatori, valutati alla scala stagionale, per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Prima parte.

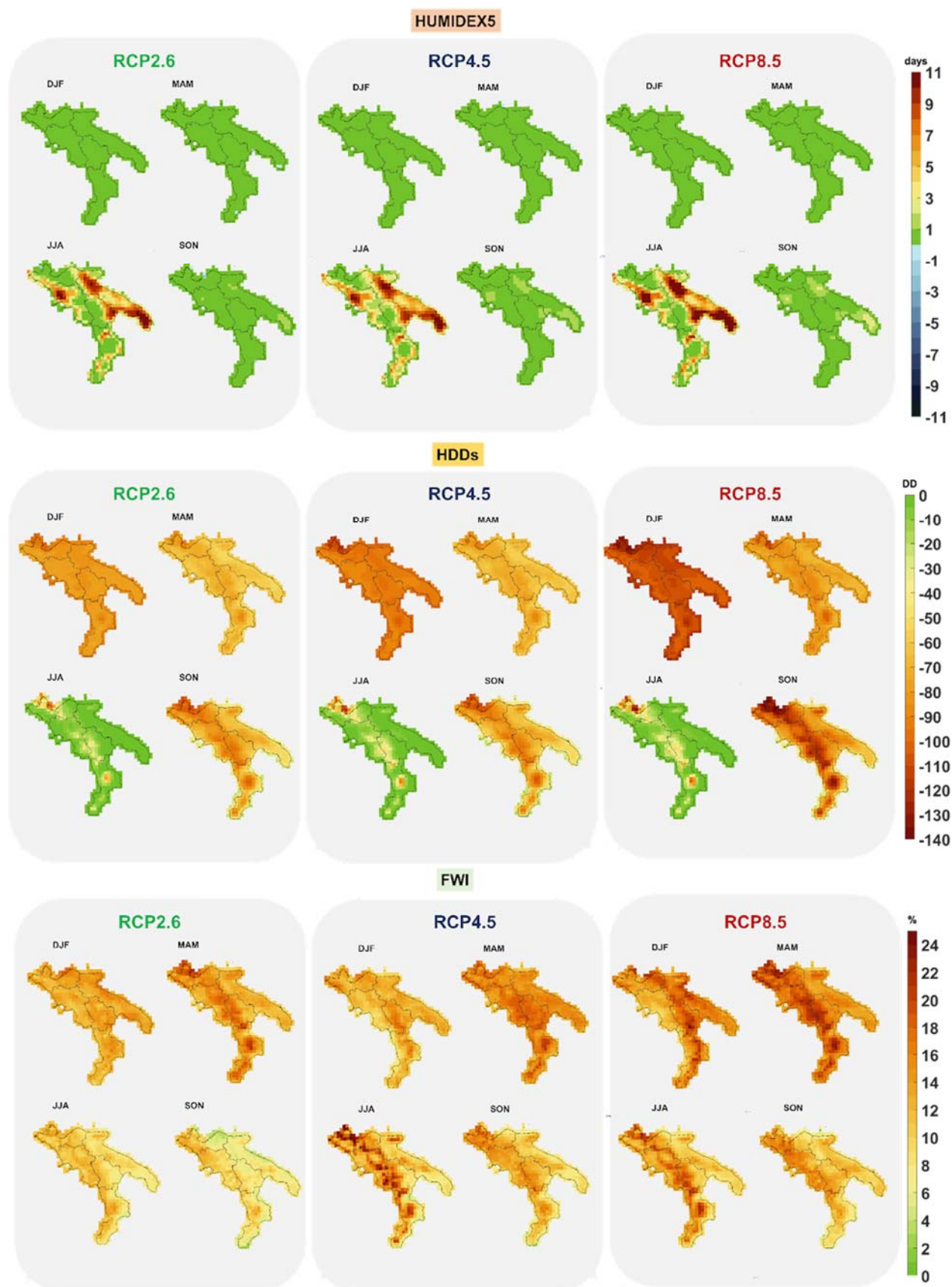


Figura 11: Variazione (ensemble mean) di un subset di indicatori, valutati alla scala stagionale, per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Prima parte.

La Tabella 4 riassume le variazioni attese a scala stagionale, mostrate nelle figure precedenti, in termini di ensemble mean, e i valori di riferimento. Sono esclusi quegli indicatori la cui definizione contiene già una indicazione della stagione di riferimento (es. SCD) o non consente l'applicazione sulla scala più risolta dell'anno (indicatori basati su SPI). Le celle contenenti i valori di ensemble mean sono campiti in modo del tutto analogo ai valori in Tabella 3. Rispetto alla Tabella 3, la Tabella 4 mette in evidenza l'effetto della stagionalità, e anche come si risenta diversamente di tale effetto sotto i diversi scenari. Ad esempio, si nota come, per tutti gli indicatori relativi alla pioggia (da PRCPTOT a PR99prctile), le variazioni positive maggiori si riscontrino in autunno, ma ciò è meno evidente nello scenario intermedio. Analogamente, le maggiori variazioni legate al comfort termico (soprattutto SU95p e TR) si riscontrano nella stagione estiva, con una condizione che va via via peggiorando spostandosi da RCP 2.6 a RCP 8.5. Addirittura, tali indicatori (in particolare TR) risultano diminuire, seppure in modo lieve, durante l'inverno. Allo stesso modo, gli indicatori di precipitazione estrema (in particolare RX1DAY) risultano diminuire nella stagione estiva, ancora una volta soprattutto nello scenario intermedio. Per PRCPTOT, per cui è attesa una diminuzione in termini medi annui, si nota come la diminuzione si concentri soprattutto in estate, mentre sotto lo scenario RCP 2.6 è addirittura previsto un lieve aumento in autunno.

Tabella 4: Sintesi delle variazioni stagionali (ensemble mean) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sull'intero territorio.

Acronimo indicatore	Unità di misura indicatore	Unità di misura variazione	Valore medio 1981-2010 (E-OBS)				Variazione climatica (EM) 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
							RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
			DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	°C	°C	6.9	12.0	22.1	15.3	0.9	0.8	1.3	1.1	1	0.8	1.5	1.2	1.2	1	1.6	1.5
WD	giorni	giorni	15	20	22	19	3	5	10	5	3	5	12	6	4	6	13	8
WW	giorni	giorni	10	15	22	15	3	2	6	4	3	2	6	4	4	2	7	5
HDDS	GG	GG	1001	546	18	298	-81	-64	-9	-67	-94	-67	-11	-66	-109	-79	-12	-84
CDDS	GG	GG	0	1	156	11	0	2	83	14	0	1	95	17	0	2	104	21
PRCPTOT	mm	%	234	158	59	223	0	-2	-6	4	1	-2	-10	1	0	-2	-7	1
R20	giorni	giorni	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RX1DAY	mm	%	27	22	15	30	3	2	-3	8	2	2	-7	5	4	2	-2	7
SDII	mm	%	8	7	7	10	3	1	-1	5	2	1	-3	2	3	2	1	4
PR95PRCTILE	mm	%	22	18	18	26	3	2	0	7	2	2	-1	4	4	1	2	7
PR99PRCTILE	mm	%	34	29	29	41	4	3	4	10	3	4	1	6	5	3	7	10
CDD	giorni	giorni	18	20	45	21	0	1	1	0	0	1	2	0	1	0	1	0
PET	mm	%	45	151	380	181	9	3	7	6	10	2	9	6	13	2	9	9
CSDI	giorni	giorni	1	2	1	1	1	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
FD	giorni	giorni	15	4	0	1	-3	-1	-1	-1	-4	-2	-1	-1	-5	-2	-1	-1
WSDI	giorni	giorni	1	1	2	2	3	3	5	4	4	3	6	4	5	3	7	7
HUMIDEX5	giorni	giorni	0	0	9	1	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0	4	0
SU95P	giorni	giorni	0	1	35	3	0	1	9	2	0	1	11	3	0	1	11	3
TR	giorni	giorni	0	0	23	2	-2	0	12	2	-2	0	13	3	-2	0	14	4
EWS	m/s	%					0	0	0	1	-1	1	0	-1	-1	1	0	0
FWI		%					13	14	10	8	12	15	12	11	15	17	13	11



Tabella 5: Sintesi delle variazioni stagionali (deviazione standard) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sull'intero territorio.

Acronimo indicatore	Unità di misura DS	Deviazione Standard (DS) 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
		RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	°C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
WD	giorni	1	3	5	4	1	2	5	3	2	2	5	4
WW	giorni	1	1	4	2	1	1	5	2	2	1	5	1
HDDS	GG	31	26	6	23	23	27	7	21	39	26	9	20
CDDS	GG	0	1	39	15	0	2	35	15	0	2	39	20
PRCPTOT	%	8	8	11	8	7	8	14	9	13	6	13	7
R20	giorni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RX1DAY	%	5	6	9	9	4	6	10	8	6	5	10	6
SDII	%	3	4	4	4	2	4	5	4	4	3	6	3
PR95PRCTILE	%	3	5	4	6	3	4	7	5	4	4	6	5
PR99PRCTILE	%	5	5	7	8	4	5	11	6	6	4	12	6
CDD	giorni	1	1	2	1	1	1	3	1	2	1	2	1
PET	%	8	4	3	5	5	4	2	4	11	4	2	5
CSDI	giorni	3	1	1	0	3	1	0	0	3	0	0	1
FD	giorni	3	1	2	1	3	1	2	1	4	1	2	1
WSDI	giorni	2	1	3	4	1	1	3	4	2	2	3	5
HUMIDEX5	giorni	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0
SU95P	giorni	0	1	4	2	0	1	4	2	0	1	3	3
TR	giorni	6	2	11	1	6	2	11	1	6	2	10	2
EWS	%	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
FWI	%	5	8	8	8	4	11	8	10	9	4	6	9

Tabella 6: Sintesi delle variazioni stagionali (coefficiente di variazione) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sull'intero territorio.

Acronimo indicatore	Unità di misura CV	Coefficiente di Variazione (CV) 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
		RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	(-)	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3
WD	(-)	0.3	0.6	0.5	0.8	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5
WW	(-)	0.3	0.5	0.7	0.5	0.3	0.5	0.8	0.5	0.5	0.5	0.7	0.2
HDDS	(-)	0.4	0.4	0.7	0.3	0.2	0.4	0.6	0.3	0.4	0.3	0.8	0.2
CDDS	(-)		0.5	0.5	1.1		2.0	0.4	0.9		1.0	0.4	1.0
PRCPTOT	(-)		4.0	1.8	2.0	7.0	4.0	1.4	9.0		3.0	1.9	7.0
R20	(-)												
RX1DAY	(-)	1.7	3.0	3.0	1.1	2.0	3.0	1.4	1.6	1.5	2.5	5.0	0.9
SDII	(-)	1.0	4.0	4.0	0.8	1.0	4.0	1.7	2.0	1.3	1.5	6.0	0.8
PR95PRCTILE	(-)	1.0	2.5		0.9	1.5	2.0	7.0	1.3	1.0	4.0	3.0	0.7
PR99PRCTILE	(-)	1.3	1.7	1.8	0.8	1.3	1.3	11.0	1.0	1.2	1.3	1.7	0.6
CDD	(-)		1.0	2.0			1.0	1.5		2.0		2.0	
PET	(-)	0.9	1.3	0.4	0.8	0.5	2.0	0.2	0.7	0.8	2.0	0.2	0.6
CSDI	(-)	3.0		1.0	0.0	3.0	1.0	0.0	0.0		0.0	0.0	1.0
FD	(-)	1.0	1.0	2.0	1.0	0.8	0.5	2.0	1.0	0.8	0.5	2.0	1.0
WSDI	(-)	0.7	0.3	0.6	1.0	0.3	0.3	0.5	1.0	0.4	0.7	0.4	0.7
HUMIDEX5	(-)			1.0				0.8				0.8	
SU95P	(-)		1.0	0.4	1.0		1.0	0.4	0.7		1.0	0.3	1.0
TR	(-)	3.0		0.9	0.5	3.0		0.8	0.3	3.0		0.7	0.5
EWS	(-)				2.0	1.0	2.0		2.0	2.0	2.0		
FWI	(-)	0.4	0.6	0.8	1.0	0.3	0.7	0.7	0.9	0.6	0.2	0.5	0.8

---

In Tabella 5 è riportata, per tutti gli indicatori e tutti gli scenari, la deviazione standard inter-modello della variazione climatica su base stagionale. Per facilitare l'interpretazione, sono inoltre riportati in Tabella 6 i coefficienti di variazione CV (si ricorda che, analogamente alla Tabella 3, una campitura piena corrisponde a un  $CV \geq 1.5$ , corrispondente ad una significativa incertezza). Emerge chiaramente la non-significatività della stagionalità sull'incertezza, nel senso che non è rilevabile per nessun indicatore una stagione in cui l'incertezza sia minima o massima sistematicamente. Si nota come valori molto ridotti di incertezza si abbiano, per tutte le stagioni, per quegli indicatori altamente rappresentativi delle temperature elevate (TG, WD, WW, HDDs). Gli indicatori rappresentativi della sola precipitazione, invece, sono caratterizzati da incertezze molto elevate, come era lecito aspettarsi e come descritto in premessa alla presentazione dei risultati. Più diversificato è l'effetto della stagionalità sugli indicatori di siccità e di comfort termico, e delle ondate di caldo e freddo, dove non emerge un chiaro pattern intra-annuale. Si nota, infine, come elevati valori di incertezza si abbiano sull'indicatore di vento estremo EWS per tutte le stagioni in cui risulta definito il coefficiente di variazione, ed anche per l'indicatore di incendi FWI, con le incertezze maggiori localizzate in autunno.

## 4. Discussione

Le mappe mostrate nelle precedenti sezioni offrono una panoramica di alcuni dei principali pericoli climatici di interesse sul territorio. Ciò che emerge è una forte eterogeneità di comportamento sia in termini spaziali, con differenti configurazioni tra il versante tirrenico e quello adriatico, e un effetto dell'orografia, sia in termini di variabili climatiche, con una marcata differenza, soprattutto per quanto attiene l'incertezza, tra gli indicatori legati alla temperatura e quelli legati alla precipitazione.

In generale, l'aumento diffuso della temperatura, con conseguente aumento dell'evapotraspirazione potenziale (PET), associato ad una diminuzione generalizzata della precipitazione annua, suggerisce una riduzione media del bilancio idroclimatico, inteso come differenza, su base annua, tra precipitazione ed evapotraspirazione potenziale, con conseguenti possibili impatti negativi sul settore delle risorse idriche. L'eventuale inasprimento dei fenomeni di siccità è direttamente dimostrato dagli indicatori calcolati sulla base dello Standardized Precipitation Index (SPI; McKee et al. 1993), che differiscono tra loro per il periodo di accumulazione della precipitazione (3 mesi, 6 mesi, 9 mesi, 12 mesi e 24 mesi). Si ricorda che l'indicatore, valutato sul periodo di riferimento, descrive la percentuale di eventi di siccità ricadenti nella categoria *severe dry* e *extreme dry* (ovvero in cui il valore di SPI attinge valori inferiori a -1.5 e -2 rispettivamente): un valore pari a 5%, ad esempio, vuol dire che, di tutti gli eventi di siccità verificatisi nel periodo di riferimento, il 5% sono classificabili come ricadenti in quella classe. Pertanto, la variazione indica di quanto è attesa aumentare, o diminuire, questa percentuale in futuro. La decisione di considerare diversi periodi di accumulazione viene dalla necessità di fornire indicazioni su impatti immediati, oppure a medio termine. Tipicamente, periodi della durata di 3-6 mesi sono rappresentativi di impatti prevalentemente agronomici, mentre durate di 12-24 mesi sono rappresentativi di impatti di tipo prevalentemente idrologico e socioeconomico. Nel caso in esame, le variazioni riscontrate sono, in media sul territorio del Distretto, ridotte in valore assoluto (ma sempre indicative di un aumento dei fenomeni di siccità), ma significative se confrontate con il valore valutato sul periodo di riferimento. L'effetto del cambiamento climatico sembra essere più significativo per i periodi medio-lunghi e per gli scenari di concentrazione più gravosi. Un inasprimento dei fenomeni di siccità potrebbe comportare una riduzione dei volumi immagazzinati dai bacini superficiali e sotterranei. Ciò è tanto più potenzialmente pericoloso quanto più si considera che la maggiore riduzione attesa per la precipitazione cumulata è in estate. L'andamento stagionale della variazione di PRCPTOT rappresenta infatti un inasprimento della stagionalità della pioggia, con un futuro in cui avremo meno pioggia nelle stagioni già oggi



---

poco piovose, e viceversa. Un altro possibile effetto è un aumento della richiesta d'acqua a scopo irriguo per evitare eccessivo stress delle culture. Un indicatore che più direttamente descrive di tale stress è il numero consecutivo di giorni secchi (CDD), che risulta in crescita spostandosi dallo scenario RCP2.6 a RCP8.5, con una discreta variabilità spaziale e un'incertezza piuttosto bassa. È inoltre ipotizzabile un possibile aumento nella richiesta d'acqua a scopo idropotabile, sebbene la scala annua non sia del tutto adeguata a valutare un possibile impatto su questo settore.

Il set di indicatori riferiti ai pericoli di disagio termico, con impatti principalmente sul settore della salute umana, prospetta un futuro potenzialmente pericoloso, in modo generalizzato durante tutto l'anno ma con particolari picchi nella stagione estiva in termini di temperatura percepita (HUMIDEX5). L'aumento non soltanto delle temperature, ma anche della frequenza ed intensità delle ondate di calore (WSDI), non ha soltanto effetto sulla salute umana ma costituisce una fonte di rischio legata ai consumi eccessivi per il raffrescamento (CDDs), in ogni caso assenti in autunno e inverno. Totalmente speculari sono gli effetti sui fenomeni legati alle basse temperature, quali i giorni di gelo e le ondate di freddo (CSDI, FD), che comportano, come conseguenza, un basso consumo energetico per il riscaldamento (HDDs), in ogni caso limitato alla sola stagione invernale. Nonostante, su base media annua, vi sia un effetto compensativo tale per cui i consumi potrebbero non subire variazioni significative in futuro, la loro distribuzione in stagioni diametralmente opposte pone seri rischi di picchi istantanei di consumo di energia da gestire.

Per quanto riguarda i fenomeni estremi, l'ETCCDI suggerisce di utilizzare, tra gli altri, l'indicatore R20, per il quale peraltro la variazione attesa risulta di fatto irrilevante. Tuttavia, R20 non è un indicatore di un massimo annuale, mentre molto più adeguati a rappresentare, ad esempio, fenomeni di dissesto idrogeologico, sono da ritenersi PR95prctile e PR99prctile, che rappresentano il valore di altezza di pioggia massima annuale superato in media una volta ogni 20 e 100 anni (associati cioè a un periodo di ritorno di 20 e 100 anni). Tali indicatori non possono invece essere considerati rappresentativi dei fenomeni connessi alla disponibilità di risorsa idrica, dal momento che i meccanismi di generazione della risorsa coinvolgono scale temporali più lunghe, quali l'anno idrologico. Tuttavia, esistono significativi impatti "indiretti" sul settore delle risorse idriche che riguardano gli aspetti di qualità dell'acqua superficiale, la quale potrebbe subire un deterioramento a causa dei fenomeni di trasporto solido solitamente associati alle piene fluviali, oltre che difficoltà di gestione degli invasi (e.g. problemi di interrimento). La variazione media annua valutata per questi indicatori suggerisce che, in futuro, valori più elevati (maggiorati rispetto ai valori attuali di una quantità pari, appunto, alla variazione calcolata) saranno associati agli stessi tempi di ritorno. In altre parole, mentre nel periodo attuale un dato valore di altezza di pioggia massima annuale è superato con una certa frequenza, è da attendersi un futuro in cui lo stesso valore sarà superato con una frequenza maggiore, cioè più spesso. Si nota che la Figura 9 non mostra l'aumento nella frequenza, ma l'aumento nel valore di altezza di pioggia massima annuale associato ad una frequenza ritenuta rilevante (20 anni per PR95prctile, 100 anni per PR99prctile).

Le tabelle e le mappe finora riportate mostrano un effetto di scenario piuttosto eterogeneo. Per tutti gli indicatori nella cui definizione la temperatura rappresenta la variabile dominante, il passaggio dallo scenario più ottimista a quello più pessimista corrisponde sempre ad un aumento nella severità del fenomeno fisico, e dunque del pericolo rappresentato dall'indicatore, in modo abbastanza omogeneo sul territorio (generalmente con un minimo effetto dell'orografia). Al complicarsi della definizione dell'indicatore, l'effetto dell'orografia, ovvero dell'altitudine e della vicinanza dalla costa, si fa sempre più marcato, e l'effetto dello scenario meno scontato. Al limite, per gli indicatori legati alla sola precipitazione (la quale, comunque, è governata dalla temperatura all'interno della modellistica climatica), non è quasi mai detto che lo scenario

---

RCP 8.5 massimizzi la severità del fenomeno, a causa delle complesse interazioni suolo – atmosfera. Ciò suggerisce, analogamente, una simile complessità nella trasformazione degli afflussi in deflussi: in altre parole, sarà ancora meno immediato concludere che, se lo scenario RCP 8.5 è il più critico in termini di temperatura, esso sarà quello più critico in termini di impatti al suolo (ad esempio, le alluvioni). Il passaggio dall'uno all'altro fenomeno sarà invece strettamente legato a caratteristiche locali, in termini di orografia di dettaglio, composizione del suolo, presenza di interventi antropici, etc.

La diversa distribuzione della variazione climatica attesa per gli eventi estremi tra le varie stagioni è un fenomeno di grande interesse. È notevole, in particolare, come non vi siano variazioni significative nella stagione invernale, che, alle latitudini oggetto di studio, è caratterizzata già nel periodo corrente da una precipitazione che si articola in lunghi, ma poco o mediamente intensi, eventi di pioggia. Di contro, in autunno e in estate, l'intensità media degli eventi è maggiore (ciò che cambia è il numero di tali eventi intensi, alto in autunno e molto basso in estate). In tali stagioni, il cambiamento climatico determina un aumento nell'intensità di tali eventi. Soprattutto in estate, tale considerazione si sovrappone alla variazione negativa attesa per PRCPOT (ovvero diminuzione attesa dei cumulati estivi), suggerendo un futuro in cui cadrà un volume di pioggia minore, ma concentrato in pochi eventi molto intensi, e dunque potenzialmente distruttivi.

L'analisi delle variazioni di indicatori climatici è stata condotta in questo documento in modo matematicamente rigoroso, come spiegato in Premessa e nella Nota Metodologica. È però importante notare che l'utilizzo dei risultati con lo scopo di trarre conclusioni circa l'effetto dei cambiamenti climatici sui pericoli di natura ambientale, e in modo più generale sui relativi impatti, necessita di un'attenta interpretazione. Nelle precedenti sezioni, le figure sono state descritte in modo qualitativo, per mettere in evidenza pattern significativi come, ad esempio, l'effetto dello scenario e della stagionalità: tuttavia, non c'è modo di definire se una variazione possa essere considerata *rilevante o non rilevante* se non confrontandola con la condizione di partenza (relativa cioè al periodo di riferimento). Ancora più complessa è l'interpretazione dell'incertezza, la cui entità può essere valutata solo confrontando la dispersione da essa espressa con il valore medio, cioè l'ensemble mean. A causa delle differenti unità di misura, è inoltre estremamente difficile stabilire quale valore di variazione climatica o di incertezza possa essere ritenuto *più rilevante o più rilevante* di un altro. Stabilire un criterio omogeneo per effettuare tali valutazioni presenta ampi margini di arbitrarietà e discrezionalità. Nella presente analisi si è cercato di stabilire in modo fisicamente basato, seppure guidato da *expert knowledge*, una modalità per “giudicare” l'entità della variazione rispetto al valore corrente, e della deviazione standard rispetto all'ensemble mean. Nel primo caso si sono stabilite delle soglie arbitrarie sulla base dei valori restituiti dal dataset E-OBS mediamente sul territorio del Distretto. Nel secondo caso si è utilizzato il concetto di coefficiente di variazione, stabilendo una soglia, anche questa arbitraria, pari a 1.5 oltre la quale l'incertezza può essere ritenuta elevata. Tali criteri si riflettono negli attributi di campitura di tutte le tabelle della presente sezione. Naturalmente, tali soglie possono essere cambiate sulla base di ulteriori valutazioni.

## 5. Focus sulla regione Puglia

Quanto finora illustrato riguardo l'intero territorio di interesse può essere maggiormente specializzato per la regione Puglia; i valori di variazione attesi per tale area per gli indicatori considerati sono riportati nelle Tabelle 7, 8 e 9 su base annua e stagionale. La descrizione visiva si riferisce invece alle figure già mostrate. In linea di principio, per quanto attiene la temperatura TG (sia a scala annua sia stagionale), sono da attendersi con elevata omogeneità spaziale aumenti della temperatura media giornaliera, con una incertezza estremamente contenuta (in particolare nelle aree più interne), sempre maggiori muovendosi dallo scenario

---

RCP 2.6 a RCP 8.5, in particolare nella stagione estiva. Per la precipitazione cumulata PRCPTOT, le variazioni attese a scala annua sono molto contenute sotto gli scenari RCP 2.6 e RCP 8.5, mentre sotto RCP 4.5 sono da attendersi variazioni (negative) più considerevoli. Alla scala stagionale, si osserva un forte trend di diminuzione, territorialmente omogeneo, in estate e, secondariamente, in primavera, soprattutto sotto lo scenario RCP 4.5 e in particolare nelle province più a Nord. In inverno si osserva un leggero trend di aumento muovendosi da RCP 2.6 a RCP 8.5; in autunno, invece, il trend di aumento è più significativo sotto RCP 2.6, meno sotto RCP 8.5, sebbene l'area del Salento registri variazioni di fatto irrilevanti sotto tutti gli scenari.

Per tutti gli altri indicatori, si riscontra un andamento del tutto in linea con quello del distretto. In particolare, gli indicatori legati ai pericoli di ondate di caldo e freddo, disagio termico e consumi, si prospetta un futuro caratterizzato da un riscaldamento complessivo maggiore rispetto a quello del Distretto, e per lo più sempre critico muovendosi dallo scenario RCP 2.6 a RCP 8.5. In particolare, per gli indicatori legati alle ondate di caldo e al disagio termico i valori sul territorio regionale appaiono decisamente sopra la media del Distretto già alla scala annua (soprattutto CDDS, HUMIDEX5, WD e WW). Gli indicatori legati invece al freddo presentano valori in linea, o più ridotti, di variazione annua. Per gli indicatori relativi alle precipitazioni estreme, analogamente a quanto detto per il Distretto è lo scenario intermedio RCP 4.5 ad essere il meno critico in termini di anomalie attese. Tuttavia, in quelle stagioni e in quegli scenari dove sussiste, mediamente sul Distretto, una variazione positiva, tale variazione appare sempre maggiore, in valore assoluto, sul territorio della regione. Per quanto riguarda infine gli indicatori di siccità, le variazioni riscontrate, sia alla scala annua sia stagionale, sono analoghe (positive) a quelle del Distretto, e anzi lievemente sopra la media.

Alla scala stagionale, non si riscontrano particolari differenze con il territorio del Distretto, a parte poche eccezioni. Si rilevano in particolare variazioni più elevate per gli indicatori di precipitazione estrema in tutte le stagioni ad eccezione della primavera, in particolare sotto RCP 8.5.

Per quanto attiene gli impatti attesi per effetto delle variazioni climatiche, restano valide le considerazioni già fatte per il territorio dell'intero Distretto. Per quanto riguarda in particolare gli eventi estremi, la regione Puglia sembra essere un hotspot, con variazioni positive attese mediamente più elevate rispetto a quelle medie sul territorio. Allo stesso modo, sono più significative, rispetto alla media del territorio del Distretto, le variazioni attese sia sulla temperatura, sia sulla precipitazione. Ciò si traduce da un lato nella possibilità di maggiori impatti in termini di dissesto geo-idrologico, dall'altro in una intensificazione rilevante del ciclo idrologico, con una minore disponibilità di acqua soprattutto nella stagione estiva. Appaiono analogamente maggiori rispetto alla media sull'intero territorio del Distretto i pericoli legati alle temperature elevate, con elevate criticità attese sia rispetto ai consumi energetici per il raffrescamento, sia rispetto alla salute umana e degli ecosistemi. Del tutto in linea con la media si prospettano invece i pericoli relativi alla siccità, e dunque anche i relativi impatti, ad esempio in termini di stress sulle colture. Analogamente, poco rilevanti sono le variazioni attese sul numero di giorni di gelo, che sono invece più significative in quelle regioni del Distretto che presentano maggiori altitudini.

Tabella 7: Sintesi delle variazioni annue (ensemble mean EM, deviazione standard DS, coefficiente di variazione CV) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sulla Regione Puglia.

Acronimo indicatore	Unità di misura indicatore	Unità di misura variazione	Valore medio 1981-2010 (E-OBS)	Variazione climatica 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)								
				RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
				EM	DS	CV	EM	DS	CV	EM	DS	CV
TG	°C	°C	15.4	1	0.3	0.3	1.1	0.2	0.2	1.3	0.2	0.2
WD	giorni	giorni	78	25	10	0.4	29	10	0.3	34	11	0.3
WW	giorni	giorni	74	16	7	0.4	17	7	0.4	20	7	0.4
HDDS	GG	GG	1530	-203	54	0.3	-219	40	0.2	-258	55	0.2
CDDS	GG	GG	233	123	60	0.5	141	52	0.4	159	58	0.4
PRCPTOT	mm	%	440	0	6		-1	4	4.0	0	9	
R20	giorni	giorni	2	0	1		0	0		0	1	
RX1DAY	mm	%	25	6	7	1.2	4	5	1.3	6	7	1.2
SDII	mm	%	7	3	3	1.0	2	2	1.0	4	4	1.0
PR95PRCTILE	mm	%	17	4	3	0.8	2	3	1.5	5	4	0.8
PR99PRCTILE	mm	%	27	6	5	0.8	5	5	1.0	8	6	0.8
CDD	giorni	giorni	54	1	3	3.0	2	4	2.0	1	3	3.0
SPI3 classe siccità severa	%	%	5	0	1		0	1		1	1	1.0
SPI3 classe siccità estrema	%	%	2	1	1	1.0	1	1	1.0	2	2	1.0
SPI6 classe siccità severa	%	%	4	1	2	2.0	1	1	1.0	1	2	2.0
SPI6 classe siccità estrema	%	%	2	2	2	1.0	2	2	1.0	2	3	1.5
SPI12 classe siccità severa	%	%	3	1	2	2.0	1	2	2.0	1	2	2.0
SPI12 classe siccità estrema	%	%	1	2	3	1.5	2	2	1.0	2	3	1.5
SPI24 classe siccità severa	%	%	2	1	4	4.0	1	3	3.0	1	4	4.0
SPI24 classe siccità estrema	%	%	1	3	5	1.7	3	3	1.0	3	5	1.7
PET	mm	%	803	6	2	0.3	7	2	0.3	8	2	0.3
CSDI	giorni	giorni	5	-2	2	1.0	-2	2	1.0	-3	1	0.3
FD	giorni	giorni	8	-4	3	0.8	-5	3	0.6	-5	4	0.8
WSDI	giorni	giorni	5	15	8	0.5	17	6	0.4	22	7	0.3
HUMIDEX5	giorni	giorni	11	5	5	1.0	6	5	0.8	7	6	0.9
SU95P	giorni	giorni	44	13	6	0.5	15	4	0.3	17	4	0.2
TR	giorni	giorni	38	16	6	0.4	18	5	0.3	21	6	0.3
SCD	giorni	giorni		0	0		0	0		0	0	
EWS	m/s	%		0	1		0	1		0	1	
FWI		%		9	6	0.7	11	4	0.4	11	5	0.5

Tabella 8: Sintesi delle variazioni stagionali (ensemble mean) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sulla Regione Puglia.

Acronimo indicatore	Unità di misura indicatore	Unità di misura variazione	Valore medio 1981-2010 (E-OBS)				Variazione climatica (EM) 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
							RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
			DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	°C	°C	8.2	13.3	23.4	16.7	0.9	0.8	1.2	1.1	1	0.8	1.5	1.2	1.2	1	1.6	1.5
WD	giorni	giorni	16	21	22	19	4	6	10	6	4	6	13	6	5	6	14	9
WW	giorni	giorni	15	19	23	18	3	2	6	4	3	2	7	4	3	2	8	5
HDDS	GG	GG	879	435	3	209	-81	-60	-2	-59	-94	-64	-3	-59	-108	-75	-3	-73
CDDS	GG	GG	0	1	216	15	0	2	102	18	0	2	117	22	0	3	128	28
PRCPTOT	mm	%	148	97	43	151	0	-3	-7	5	1	-4	-8	3	3	-2	-4	3
R20	giorni	giorni	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RX1DAY	mm	%	19	15	12	22	4	1	-3	9	3	1	-4	7	5	2	1	8
SDII	mm	%	7	6	6	8	3	1	-1	6	2	0	-1	4	5	2	3	5
PR95PRCTILE	mm	%	16	14	15	20	3	1	0	8	2	0	1	5	6	1	4	9
PR99PRCTILE	mm	%	25	21	24	32	6	3	3	11	4	3	4	8	9	4	8	12
CDD	giorni	giorni	21	22	47	23	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0
PET	mm	%	50	159	403	191	4	3	8	6	5	2	9	7	7	3	10	9
CSDI	giorni	giorni	1	2	1	1	1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
FD	giorni	giorni	7	1	0	0	-3	-1	0	0	-3	-1	0	0	-4	-1	0	0
WSDI	giorni	giorni	1	1	1	1	3	3	4	4	4	3	6	4	4	3	6	7
HUMIDEX5	giorni	giorni	0	0	11	1	0	0	5	0	0	0	6	1	0	0	6	1
SU95P	giorni	giorni	0	1	40	3	0	1	9	3	0	1	11	3	0	1	12	4
TR	giorni	giorni	0	0	34	3	-2	0	16	3	-2	0	17	4	-2	0	19	5
EWS	m/s	%					0	0	0	1	-1	1	0	0	-1	1	0	0
FWI		%					13	12	9	7	12	15	10	10	16	14	10	10

Tabella 9: Sintesi delle variazioni stagionali (deviazione standard) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sulla Regione Puglia.

Acronimo indicatore	Unità di misura DS	Deviazione Standard (DS) 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
		RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	°C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
WD	giorni	1	3	5	4	1	3	5	4	2	3	6	4
WW	giorni	1	1	5	1	1	1	6	2	2	1	6	2
HDDS	GG	30	23	3	21	24	26	3	18	39	24	3	18
CDDS	GG	0	2	44	20	0	2	39	18	0	3	40	25
PRCPTOT	mm	10	10	13	9	10	8	16	9	17	7	15	7
R20	giorni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RX1DAY	mm	7	9	12	10	7	5	13	9	8	7	13	8
SDII	mm	4	4	5	6	4	4	6	5	6	4	6	5
PR95PRCTILE	mm	6	7	7	9	7	5	9	6	6	6	8	9
PR99PRCTILE	mm	7	9	12	10	7	7	15	7	7	9	13	10
CDD	giorni	2	1	2	1	2	1	4	2	2	1	2	2
PET	mm	4	4	3	5	3	3	3	5	7	4	3	5
CSDI	giorni	3	1	1	0	3	1	1	1	3	0	1	1
FD	giorni	2	1	1	0	2	1	1	0	3	1	1	0
WSDI	giorni	2	1	2	4	1	1	3	3	2	2	3	5
HUMIDEX5	giorni	0	0	5	0	0	0	5	1	0	0	5	1
SU95P	giorni	0	1	4	3	0	1	3	2	0	1	2	3
TR	giorni	8	3	14	2	8	3	13	2	8	3	13	2
EWS	m/s	1	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2
FWI		6	8	6	8	4	11	7	10	11	5	5	10



Tabella 10: Sintesi delle variazioni stagionali (coefficiente di variazione) attese su tutti gli indicatori considerati per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Valori mediati sulla Regione Puglia.

Acronimo indicatore	Unità di misura CV	Coefficiente di Variazione CV 2021-2050 vs 1981-2010 (set modelli EURO-CORDEX)											
		RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
TG	(-)	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3
WD	(-)	0.3	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5	0.4	0.7	0.4	0.5	0.4	0.4
WW	(-)	0.3	0.5	0.8	0.3	0.3	0.5	0.9	0.5	0.7	0.5	0.8	0.4
HDDS	(-)	0.4	0.4	1.5	0.4	0.3	0.4	1.0	0.3	0.4	0.3	1.0	0.2
CDDS	(-)		1.0	0.4	1.1		1.0	0.3	0.8		1.0	0.3	0.9
PRCPTOT	(-)		3.3	1.9	1.8	10.0	2.0	2.0	3.0	5.7	3.5	3.8	2.3
R20	(-)												
RX1DAY	(-)	1.8	9.0	4.0	1.1	2.3	5.0	3.3	1.3	1.6	3.5	13.0	1.0
SDII	(-)	1.3	4.0	5.0	1.0	2.0		6.0	1.3	1.2	2.0	2.0	1.0
PR95PRCTILE	(-)	2.0	7.0		1.1	3.5		9.0	1.2	1.0	6.0	2.0	1.0
PR99PRCTILE	(-)	1.2	3.0	4.0	0.9	1.8	2.3	3.8	0.9	0.8	2.3	1.6	0.8
CDD	(-)		1.0	2.0				2.0				2.0	
PET	(-)	1.0	1.3	0.4	0.8	0.6	1.5	0.3	0.7	1.0	1.3	0.3	0.6
CSDI	(-)	3.0	1.0	1.0	0.0		1.0	1.0	1.0		0.0	1.0	1.0
FD	(-)	0.7	1.0			0.7	1.0			0.8	1.0		
WSDI	(-)	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	0.3	0.5	0.8	0.5	0.7	0.5	0.7
HUMIDEX5	(-)			1.0				0.8	1.0			0.8	1.0
SU95P	(-)		1.0	0.4	1.0		1.0	0.3	0.7		1.0	0.2	0.8
TR	(-)	4.0		0.9	0.7	4.0		0.8	0.5	4.0		0.7	0.4
EWS	(-)				2.0	1.0	2.0			2.0	3.0		
FWI	(-)	0.5	0.7	0.7	1.1	0.3	0.7	0.7	1.0	0.7	0.4	0.5	1.0

## 6. Conclusioni

Le Tabelle 11 e 12 riportano una sintesi degli effetti del cambiamento climatico sui principali pericoli rappresentati dagli indicatori analizzati, rispettivamente per il Distretto dell'Appennino Meridionale e per la Puglia. Per ciascuna combinazione Settore – Pericolo, viene indicato se il pericolo è atteso aumentare o diminuire, mediamente nell'anno, rispetto al presente, per i tre diversi scenari. Le diverse colorazioni (giallo/arancione/rosso) rappresentano l'intensità del cambiamento in modo comparativo tra gli scenari: colori uguali (solo verde) rappresentano una condizione per cui i tre scenari forniscono una variazione analoga; colori diversi (verde e giallo) rappresentano una condizione per cui, su tre scenari, due forniscono variazione analoga; colori diversi (verde, giallo e rosso) rappresentano una condizione per cui gli scenari forniscono variazioni di entità diversa. I colori, dunque, di per sé non danno indicazione sulla "gravità" del pericolo: ad esempio, il colore verde potrebbe comunque indicare una variazione che comporta alti rischi, seppure non alti quanto gli altri scenari; viceversa, il colore rosso potrebbe indicare una condizione di pericolo irrilevante, seppure più critica rispetto agli altri scenari. Come detto in precedenza, l'associazione tra il valore futuro dell'indicatore e i rischi che questo può comportare richiedono, da un lato, la conoscenza dei valori correnti, dall'altro la conoscenza dei meccanismi che regolano la trasformazione di un semplice pericolo in un vero e proprio rischio. Le Tabelle 11 e 12 sono dunque da interpretarsi come semplice sintesi degli effetti del cambiamento climatico.

Nel caso di pericoli rappresentati da un solo indicatore, l'individuazione degli effetti del cambiamento climatico deriva direttamente dall'osservazione delle variazioni annue attese per quell'indicatore, riportate nelle Tabelle 3 e 7 (per il Distretto e la Puglia, rispettivamente). Nel caso di pericoli rappresentati da più

indicatori, l'identificazione degli effetti sul pericolo è stata condotta analizzando, nel loro insieme, tutte le variazioni attese per tali indicatori, e valutando la preponderanza dell'intensità e del segno del cambiamento qualora i vari indicatori suggerissero andamenti contrastanti. È inoltre riportata, per ogni scenario, la stagione in cui il cambiamento atteso sul pericolo è risultata preponderante. Tale associazione è risultata possibile poiché, nel complesso, non si sono riscontrati effetti compensativi importanti: in altre parole, non si è verificato per nessun indicatore che vi fosse, in una specifica stagione, una variazione attesa intensa in valore assoluto ma opposta in segno alla variazione su base annua. Fa eccezione soltanto il pericolo relativo alle tempeste di vento: infatti, l'indicatore EWS presenta una generale stabilità su base annua (in altre parole, non sono attesi significativi effetti del cambiamento climatico), mentre su base stagionale sono previste variazioni positive e negative per diverse stagioni nei diversi scenari. Tuttavia, tali variazioni sono così piccole in valore assoluto e associate a incertezze così grandi che si è preferito non associarle, nelle Tabelle 11 e 12, a nessuna specifica stagione.

Tabella 11: Sintesi degli effetti del cambiamento climatico sui principali pericoli individuati in Tabella 2. Valutazione effettuata per l'intero Distretto dell'Appennino Meridionale.

Settore	Pericolo	Variazione attesa						Indicatori di riferimento
		Nell'anno:			Soprattutto in:			
		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	
Generale (es. salute, energia, agricoltura, risorse idriche, ecosistemi terrestri)	Aumento di temperatura	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	T
Salute	Aumento delle ondate di caldo	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	WSDI
	Aumento delle ondate di freddo	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce	inverno	inverno	inverno	CSDI, FD
	Aumento del disagio termico (da caldo)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	WD, WW, Humidex5, SU95p, TR
Energia	Aumento dei consumi per riscaldamento	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce	inverno	inverno	inverno	HDDs
	Aumento dei consumi per raffreddamento	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDDs
Agricoltura e produzione agricole	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con conseguente cambiamento dei fabbisogni irrigui)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET, WD, PRCPTOT
Tutti i settori negativamente impattati dal dissesto geo-idrologico	Peggioramento dei fenomeni di dissesto geo-idrologico (in intensità o frequenza)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	autunno	autunno	autunno	R20, RX1DAY, SDII, PR95prctile, PR99prctile
Risorse idriche	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con conseguente diminuzione del bilancio idro-climatico)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET, PRCPTOT, T
Ecosistemi terrestri	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con stress su piante e animali)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET
	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	primavera	primavera	primavera	FWI
Foreste	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	primavera	primavera	primavera	FWI
	Aumento delle tempeste di vento	Stabile	Stabile	Stabile	generalizzato	generalizzato	generalizzato	EWS
Insediamenti	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	primavera	primavera	primavera	FWI
Problemi per il turismo invernale	Diminuzione della durata manto nevoso	Stabile	Stabile	Stabile	L'indicatore si riferisce a un arco temporale specifico			SCD

Tabella 12: Sintesi degli effetti del cambiamento climatico sui principali pericoli\* individuati in Tabella 2. Valutazione effettuata per la regione Puglia.

Settore	Pericolo	Variazione attesa						Indicatori di riferimento
		Nell'anno:			Soprattutto in:			
		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	
Generale (es. salute, energia, agricoltura, risorse idriche, ecosistemi terrestri)	Aumento di temperatura	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	T
Salute	Aumento delle ondate di caldo	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	autunno	WSDI
	Aumento delle ondate di freddo	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce	inverno	inverno	inverno	CSDI, FD
	Aumento del disagio termico (da caldo)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	WD, WW, Humidex5, SU95p, TR
Energia	Aumento dei consumi per riscaldamento	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce	inverno	inverno	inverno	HDDs
	Aumento dei consumi per raffreddamento	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDDs
Agricoltura e produzione agricole	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con conseguente cambiamento dei fabbisogni irrigui)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET, WD, PRCPTOT
Tutti i settori negativamente impattati dal dissesto geo-idrologico	Peggioramento dei fenomeni di dissesto geo-idrologico (in intensità o frequenza)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	autunno	autunno	autunno	R20, RX1DAY, SDII, PR95prctile, PR99prctile
Risorse idriche	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con conseguente diminuzione del bilancio idro-climatico)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET, PRCPTOT, T
Ecosistemi terrestri	Peggioramento delle condizioni di siccità (e.g. con stress su piante e animali)	Aumenta	Aumenta	Aumenta	estate	estate	estate	CDD, SPI, PET
	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	inverno	primavera	inverno	FWI
Foreste	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	inverno	primavera	inverno	FWI
	Aumento delle tempeste di vento	Stabile	Stabile	Stabile	generalizzato	generalizzato	generalizzato	EWS
Insediamenti	Aumento degli incendi	Aumenta	Aumenta	Aumenta	inverno	primavera	inverno	FWI
Problemi per il turismo invernale	Diminuzione della durata manto nevoso	Stabile	Stabile	Stabile	L'indicatore si riferisce a un arco temporale specifico			SCD

Il quadro di sintesi dipinto dalle Tabelle 11 e 12 fa emergere una situazione in cui il cambiamento climatico, con diversa entità e in associazione a diversi livelli di incertezza, comporta un incremento di tutti i pericoli considerati rilevanti sia all'interno del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC versione 2022, in bozza) sia nell'analisi specifica presentata in questo documento. Per tutti i pericoli che sono legati in modo più o meno diretto alle temperature elevate, tali da impattare settori quali la salute, i consumi energetici, l'agricoltura e le risorse idriche, l'aumento atteso di tali pericoli è tanto più grande quanto più critico è il livello di riscaldamento globale atteso, in altre parole, quanto più critico è lo scenario di concentrazione. Fa eccezione, di conseguenza, il pericolo legato agli eccessivi consumi energetici per il riscaldamento degli ambienti. Invece, per i pericoli che sono legati più strettamente alla precipitazione (la quale è comunque connessa, attraverso la modellistica climatica, alla temperatura ma attraverso processi fisici non immediati), ovvero gli eventi di dissesto idrogeologico, il ruolo dello scenario è meno intuitivo, con

---

lo scenario più ottimista (RCP 2.6) più gravoso rispetto a quello intermedio (RCP 4.5). Ciò vuol dire che, da un lato, in caso di implementazione di politiche di mitigazione massicce è lecito comunque attendersi un futuro più critico, in termini di precipitazioni estreme, rispetto al passato; dall'altro suggerisce che l'adozione a priori dello scenario di concentrazione più pessimistico non è una scelta che sempre corrisponde ad un vantaggio di sicurezza. Si fa notare, comunque, che tali valutazioni sono riferite all'orizzonte temporale futuro a breve termine (2021-2050), e che lo scenario RCP 2.6 potrebbe risultare meno critico in un orizzonte a lungo termine. Di contro, non esistono casi in cui lo scenario ottimista risulti più critico rispetto allo scenario più pessimista. Il non sempre intuitivo effetto dello scenario di concentrazione sui pericoli rende particolarmente chiara la necessità di adottare soluzioni di adattamento: infatti, anche nel caso migliore, in cui tutti gli obiettivi di mitigazione previsti dalle agende internazionali fossero soddisfatti, esiste un futuro prossimo in cui le comunità si troveranno comunque ad affrontare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Alla scala stagionale, si nota come per quasi tutti i pericoli e gli scenari la stagione critica (in cui sono cioè attesi i maggiori cambiamenti) sia l'estate, ad eccezione degli eventi estremi di precipitazione, in cui la stagione critica è l'autunno. In altre parole, uno degli effetti generali del cambiamento climatico è quello di intensificare la stagionalità dei processi: si prospetta un futuro in cui *farà più caldo nei periodi in cui fa già oggi caldo, e pioverà di meno nei periodi in cui già oggi piove poco; tuttavia, la pioggia cadrà in eventi più intensi*.

Confrontando le Tabelle 11 e 12, non sussiste una significativa differenza in termini di effetti del cambiamento climatico sui pericoli investigati tra ciò che accade, in media, sul Distretto dell'Appennino Meridionale e ciò che accade limitatamente alla regione Puglia. Come analizzato nella precedente sezione, le maggiori differenze si trovano nell'entità delle variazioni attese. Quanto tali variazioni siano critiche in termini di rischio dipende, in primo luogo, dalle condizioni di partenza (in altre parole, se il pericolo sia già significativo ad oggi), in secondo luogo, dalla presenza di elementi esposti a tale pericolo (insediamenti, infrastrutture, attività antropiche per citarne alcuni) e dalle loro caratteristiche di vulnerabilità.



---

## Bibliografia

- Collins, M., 2007. Ensembles and probabilities: a new era in the prediction of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365.1857, 1957-1970. <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2068>
- 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>
- Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S., European Environmental Agency (EEA), 2009. Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources. EEA Report No 8/2009. <http://doi.org/10.2800/12552>
- European Environmental Agency (EEA), 2018. National climate change vulnerability and risk assessments in Europe. EEA Report No 1/2018. <http://doi.org/10.2800/348489>
- 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, 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.
- 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.
- 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>.
- Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A., 1999. CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. In: Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A. (Eds.), *Weather and Climate Extremes*. Springer, Dordrecht, pp.3-7. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2)
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A. et al., 2014. Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development* 7(4), 1297-1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: 8th Conference on Applied Climatology, Am. Meteorol. Soc. Boston, 179-184.
- MIMS, 2022. Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità (a cura di Carraro, C. et al.) Rapporto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, già Ministero per le Infrastrutture e la Mobilità Sostenibili.
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N., 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. World Meteorological Organization, Geneva.

- 
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K. et al., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109(1), 5-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Von Trentini, F., Leduc, M., Ludwig, R., 2019. Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble. *Climate Dynamics* 53(3), 1963-1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04755-8>

## Appendice: Mappe del clima (E-OBS v.25) sul periodo di riferimento 1981-2020

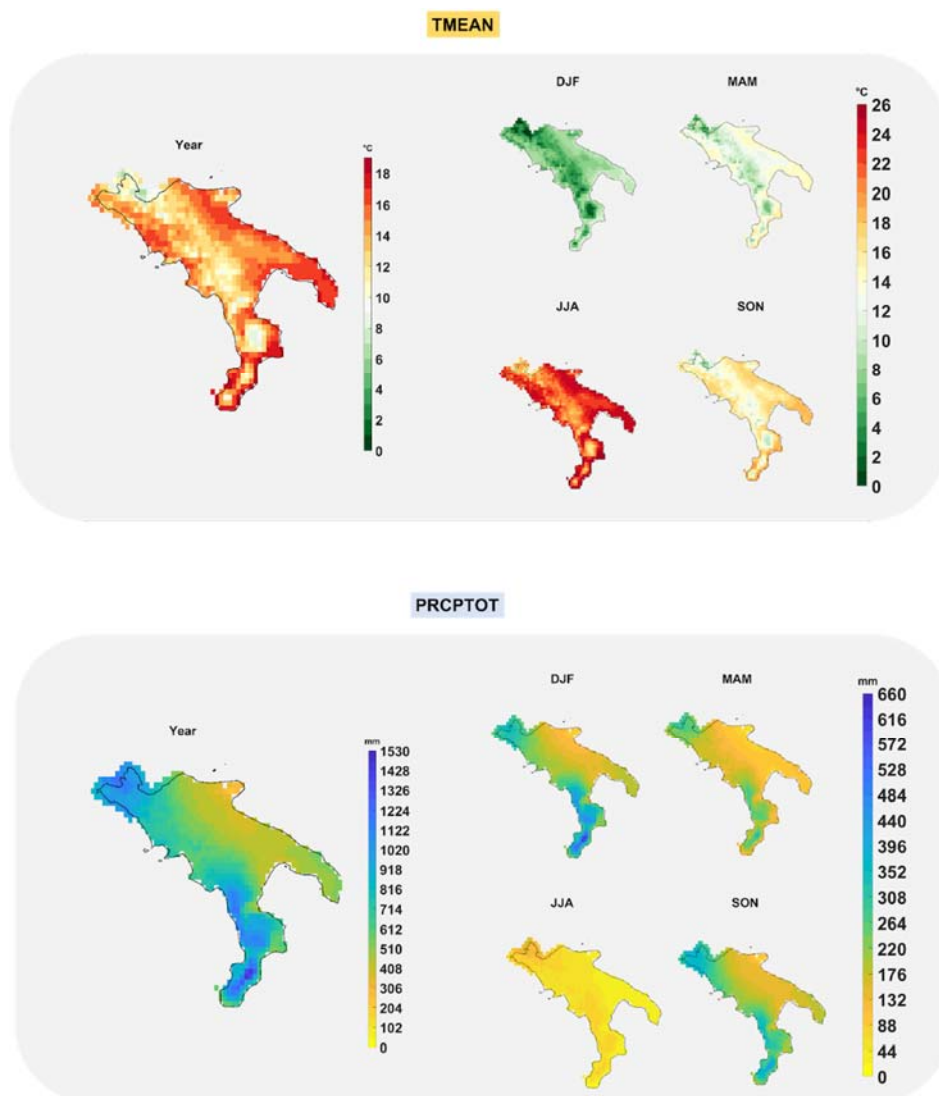


Figura A1: Valori medi annuali e stagionali della temperatura media giornaliera TG e della precipitazione cumulata PRCPTOT sul periodo di riferimento 1981-2010, ottenuti a partire dal datasetigliato E-OBS (v.25).

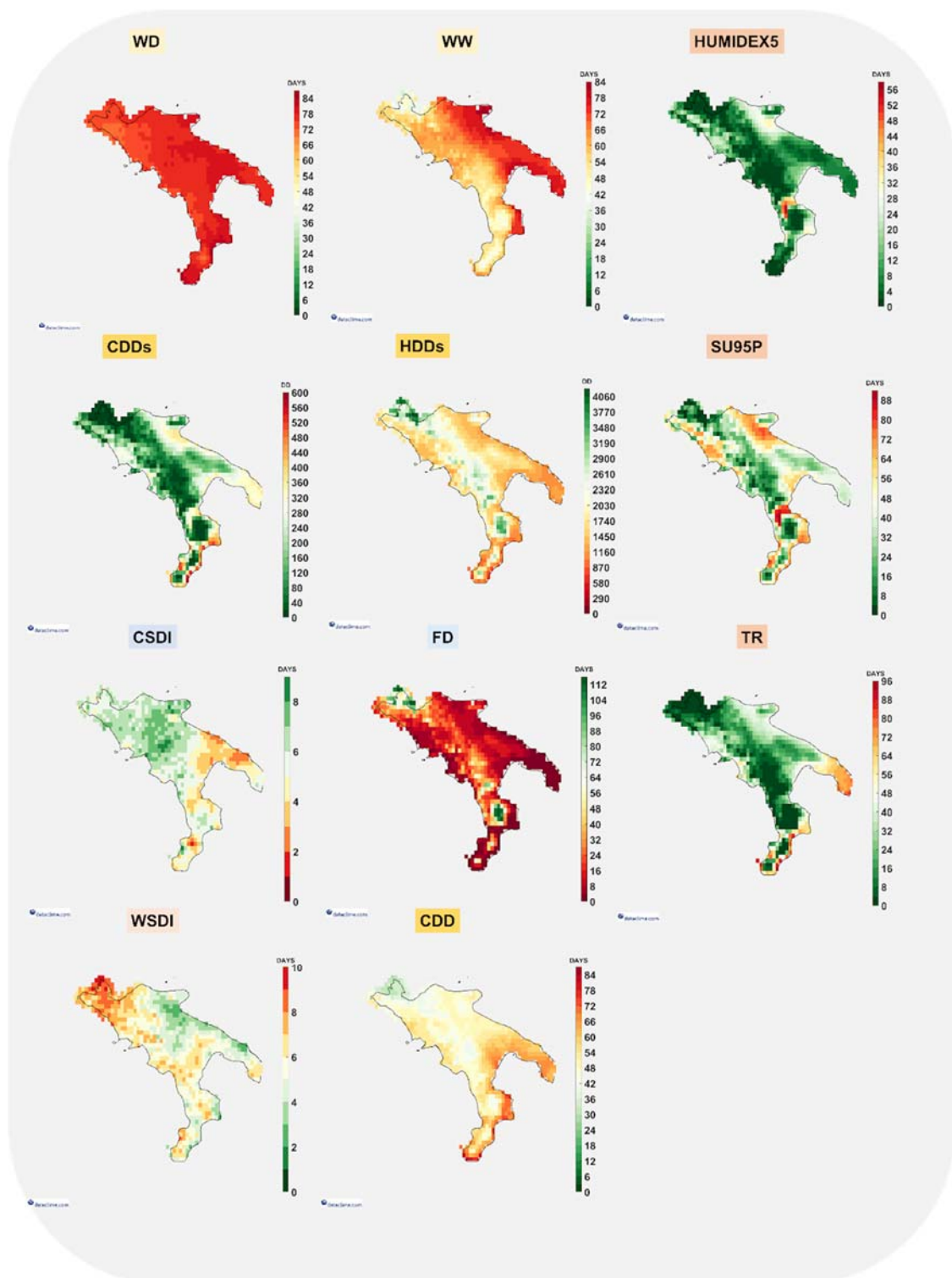


Figura A2: Valori medi annui degli indicatori in Tabella 2 sul periodo di riferimento 1981-2010, ottenuti a partire dal dataset giagliato E-OBS (v.25). Prima parte.



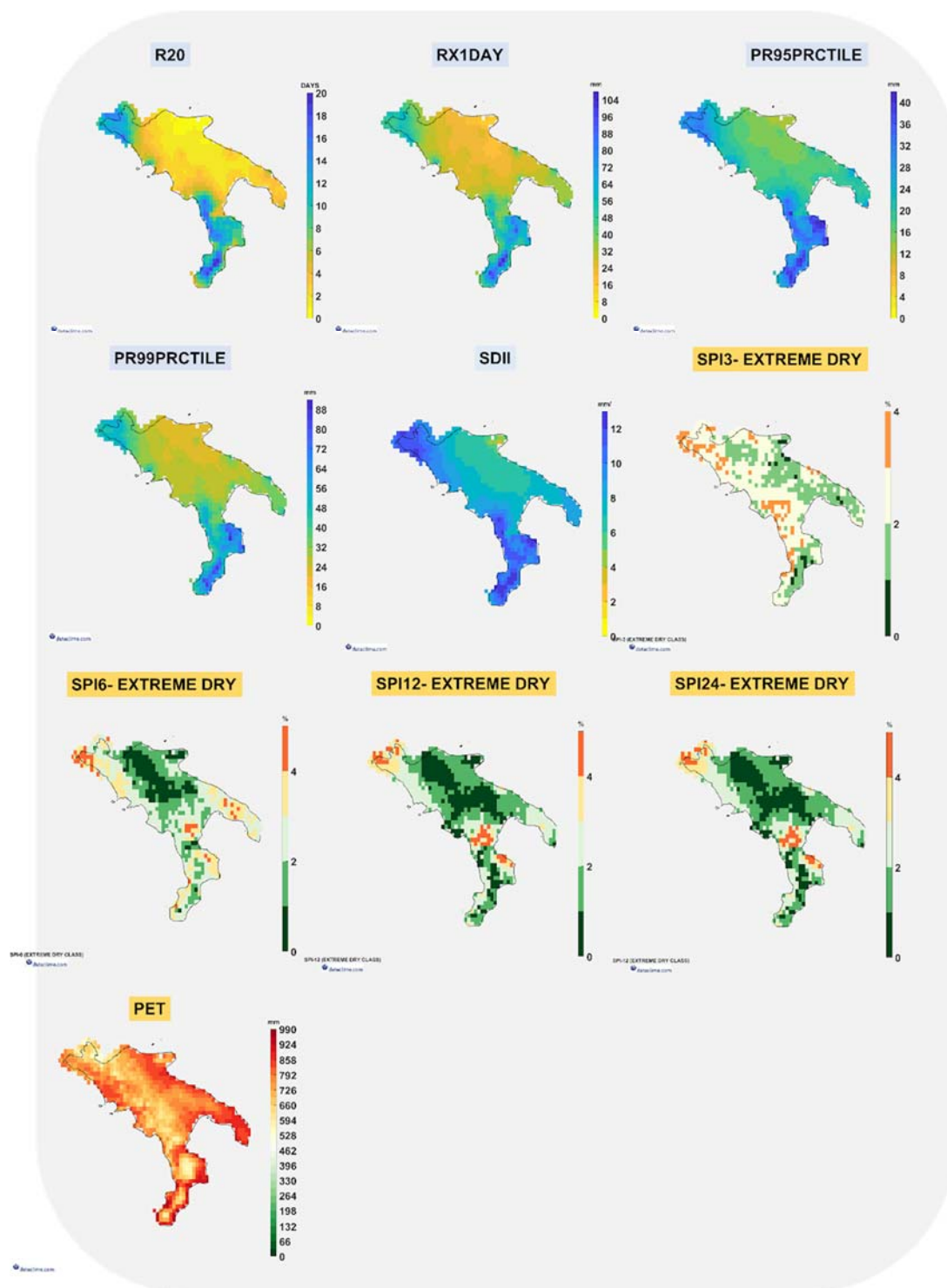


Figura A3: Valori medi annui degli indicatori in Tabella 2 sul periodo di riferimento 1981-2010, ottenuti a partire dal datasetigliato E-OBS (v.25). Seconda parte.

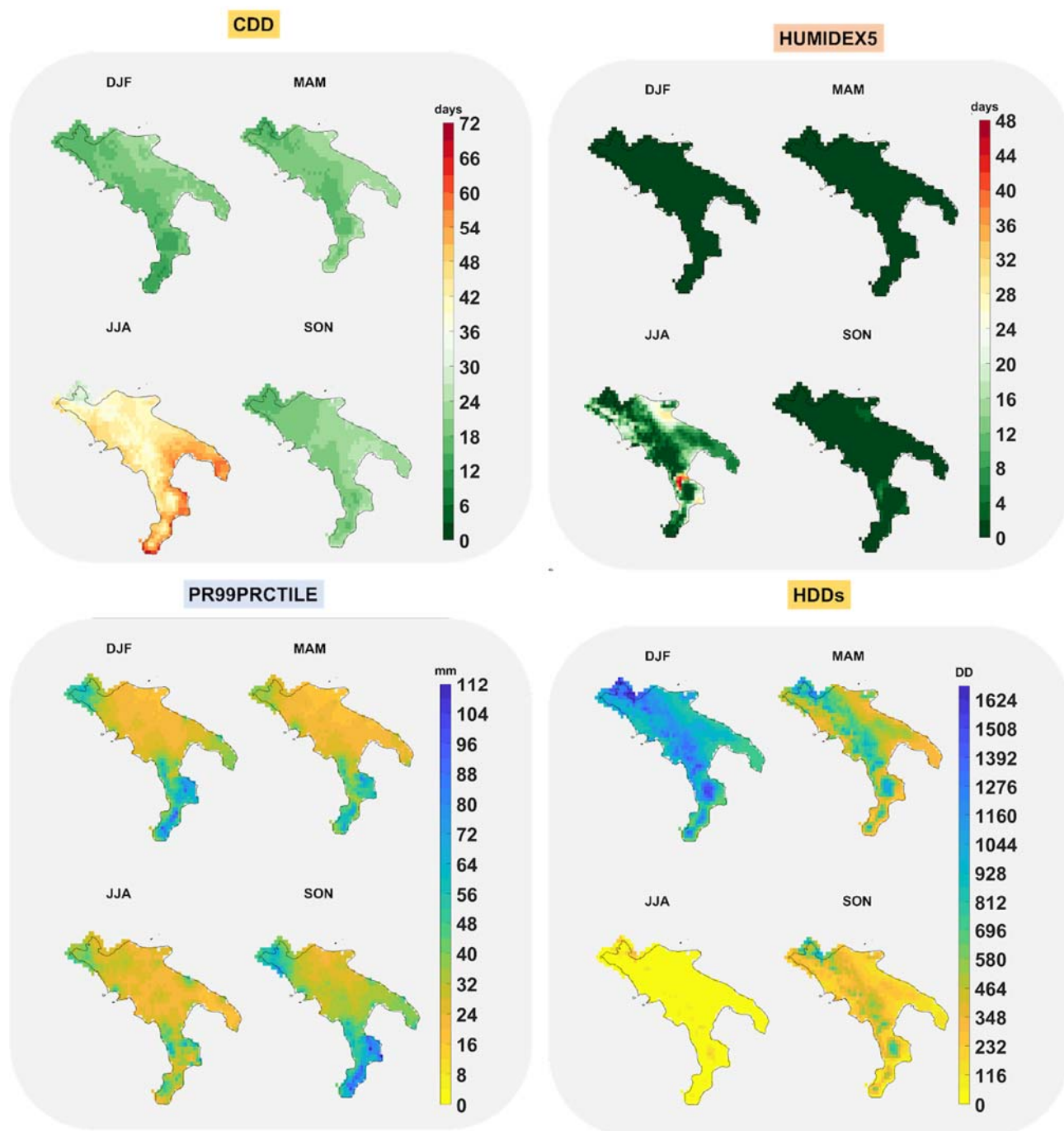


Figura A4: Valori medi stagionali di un subset di indicatori in Tabella 2 sul periodo di riferimento 1981-2010, ottenuti a partire dal dataset gliato E-OBS (v.25).

---

## Glossario

**Anomalia/variazione climatica:** È la comparazione matematica (usualmente espressa in termini di differenza per la temperatura, e di rapporto per la precipitazione) tra una caratteristica statistica di interesse di una variabile fisica valutata nell'orizzonte futuro rispetto al periodo di riferimento. Tale comparazione prescinde, per definizione, da quanto simile alle osservazioni sia la grandezza di interesse fornita dal modello nel periodo di riferimento, e può quindi essere ritenuta una informazione particolarmente robusta. Inoltre, il calcolo delle anomalie climatiche non richiede l'applicazione di tecniche di bias correction.

**Antropogenico:** Causato dagli esseri umani.

**Cambiamento climatico:** con il termine cambiamento climatico ci si riferisce a un cambiamento dello stato del clima che persiste per un periodo di tempo prolungato (solitamente di decenni o più), e identificabile (per esempio, attraverso l'uso di test statistici) da cambiamenti della media e/o della variabilità delle sue proprietà. Il cambiamento climatico può essere dovuto a processi naturali interni, o a forzanti esterni, come le modulazioni dei cicli solari, le eruzioni vulcaniche, e i ripetuti cambiamenti antropogenici della composizione dell'atmosfera o dell'uso del suolo. Si noti che la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), nel suo articolo 1, definisce il cambiamento climatico come: "un cambiamento del clima, attribuibile direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si somma alla variabilità climatica naturale osservata nel corso di periodi di tempo confrontabili". Pertanto, l'UNFCCC fa una distinzione tra il cambiamento climatico imputabile alle attività umane che alterano la composizione dell'atmosfera, e la variabilità climatica attribuibile a cause naturali.

**Ciclo stagionale:** media mensile, sul trentennio considerato, della variabile di interesse. Denominato anche ciclo annuale.

**Clima:** Il clima in senso stretto è solitamente definito come il tempo meteorologico medio o, in maniera più rigorosa, come la descrizione statistica in termini di media e variabilità di grandezze rilevanti, nel corso di un periodo di tempo che va da mesi a migliaia o milioni di anni. Il periodo classico per calcolare la media di queste variabili è trent'anni, secondo la definizione dell'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO - World Meteorological Organization). Le grandezze rilevanti sono nella maggior parte dei casi variabili superficiali, come temperatura, precipitazioni e venti. In senso più ampio e generale, il clima è lo stato, con l'inclusione di una descrizione statistica, del sistema climatico.

**Estremi climatici:** Il verificarsi del valore di una variabile atmosferica al di sopra (o sotto) di un valore di soglia vicino all'estremità superiore (o inferiore) della gamma di valori osservati della variabile. Sono intesi come sinonimi eventi estremi, eventi meteorologici estremi.

**Impatti (conseguenze, esiti):** gli effetti sui sistemi naturali e umani. Nel Rapporto WGII AR5 dell'IPCC, il termine impatti è usato principalmente per riferirsi agli effetti degli eventi meteorologici e climatici estremi e dei cambiamenti climatici, sui sistemi naturali e umani. Gli impatti generalmente si riferiscono agli effetti su persone, abitazioni, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi (inclusi quelli ambientali) e infrastrutture dovuti all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema

---

esposti ai cambiamenti climatici stessi. Ci si riferisce inoltre agli impatti come a conseguenze ed esiti. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi geofisici, compresi alluvioni, siccità e innalzamento del livello del mare, rappresentano un sottoinsieme di impatti denominati impatti fisici.

**Indicatore climatico:** È l'espressione matematica della grandezza ovvero della variabile climatica di interesse. Il framework ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)) identifica una serie di indicatori climatici di particolare interesse rappresentativi di un vasto ventaglio di impatti. Naturalmente, indicatori sempre nuovi possono essere definiti per descrivere specifiche problematiche o impatti. Gli indicatori climatici sono spesso utilizzati per effettuare valutazioni di anomalie, in modo da descrivere, in maniera efficace e sintetica, i pericoli principali di aree anche vaste. In altre parole, gli indicatori climatici possono essere considerati utili *proxy* di un particolare impatto.

**Livello medio dei mari:** Il livello della superficie degli oceani in uno specifico punto, mediato su un periodo di tempo prolungato, come un mese o un anno. Il livello medio del mare è spesso utilizzato come datum nazionale cui sono riferite le altezze terrestri.

**Modello climatico:** Per modello climatico si intende, in generale, uno strumento che consenta di avere informazioni circa le principali variabili fisiche che regolano i processi atmosferici e l'interazione suolo-atmosfera. Più correttamente, gli standard attuali della comunità climatica fanno riferimento alla cosiddetta "catena di simulazione climatica" (*Climate Simulation Chain*, CSC), che è articolata nei seguenti step:

1. Scelta dello scenario RCP di riferimento;
2. Simulazione alla scala globale che considera lo scenario RCP come condizione iniziale e al contorno. Tale simulazione può essere fatta attraverso i *Global Climate Models* (GCM), costituiti da un sistema di equazioni che descrivono le principali dinamiche atmosferiche e oceaniche, oppure mediante i più sofisticati *Earth System Models* (ESM), che includono la modellazione dei più rilevanti processi fisici, chimici e biologici. In entrambi i casi, tali simulazioni forniscono risultati con una copertura globale e, conseguentemente, una risoluzione orizzontale bassa, dell'ordine dei 50-80 km. Risoluzioni più spinte sono usualmente più difficili da ottenere a causa delle notevoli risorse computazionali necessarie per processare e archiviare le informazioni.
3. *Downscaling* della simulazione globale. Il downscaling può essere statistico oppure dinamico. Il secondo caso, più frequente, consta di un modello climatico regionale (*Regional Climate Model*, RCM), che risolve i processi fisici e atmosferici che occorrono a scale spazio-temporali più risolte. Gli RCM vengono eseguiti utilizzando i risultati della simulazione globale come condizione al contorno, e forniscono risultati su domini più ristretti (ma comunque transnazionali) con una risoluzione orizzontale dell'ordine di "qualche" km. Ad esempio, per l'Italia sono disponibili simulazioni con risoluzione di circa 12, circa 8 e circa 2 km. Per maggiori approfondimenti si veda la voce "proiezioni climatiche".

**Percentile:** All'interno di un campione statistico formato da realizzazioni di una variabile casuale, il percentile corrispondente a un livello di probabilità pari a X% è il valore al di sotto del quale si trova il X% degli elementi del campione (compreso il valore stesso). Il percentile è spesso utilizzato per stimare gli estremi della

---

distribuzione. Ad esempio, il 90-simo (10-mo) percentile può essere utilizzato come riferimento per la soglia dei valori più alti (bassi).

**Pericolo e rischio climatico:** Per “pericolo” si intende la quantificazione del fenomeno fisico dal quale ci si vuole cautelare, riferito ad una data area geografica e una data finestra temporale. In relazione al cambiamento climatico, la definizione è ristretta alle variabili climatiche “sorgente”, quali ad esempio temperatura e precipitazione. Con riferimento al settore delle risorse idriche, un possibile pericolo climatico è rappresentato dalla variazione dei volumi stagionali di precipitazione su di un’area di ricarica di falda, i cui possibili impatti sono la diminuzione dei volumi idrici prelevabili dalla sorgente, l’abbassamento del livello di falda e/o l’intrusione del cuneo salino, a seconda delle caratteristiche locali. Tali impatti hanno conseguenze in cascata, ad esempio, sul fabbisogno irriguo e la possibilità di soddisfarlo, nonché sulla competizione con gli usi idropotabili. Per “rischio” si intende invece il danno atteso (in termini economici oppure quantificato da una variabile di interesse), in una data area geografica e una data finestra temporale, per effetto del fenomeno fisico di interesse. Il rischio climatico si sprigiona quindi da un pericolo climatico: esso potrebbe rappresentare l’inasprimento di un rischio già esistente oppure l’innescarsi di un nuovo rischio. Il framework dell’IPCC vede il rischio (in generale, e quello climatico in particolare) come prodotto di pericolo, vulnerabilità ed esposizione. L’esposizione rappresenta l’asset fisico (infrastrutture, costruzioni, persone, attività economiche, punti di interesse) che potrebbe essere danneggiato dal pericolo, ovvero dal fenomeno fisico. La vulnerabilità rappresenta invece la propensione dell’asset ad essere danneggiato.

**Periodo di riferimento:** L’arco temporale descrittivo del clima corrente rispetto al quale si vogliono analizzare gli eventuali cambiamenti nelle caratteristiche climatiche di un orizzonte temporale futuro. Per la sua selezione, bisogna considerare almeno due esigenze: da un lato, la sua ampiezza deve essere sufficientemente, ma non eccessivamente, estesa, in modo da ritenere, all’interno del periodo, il clima omogeneo e valutabile in modo robusto; dall’altro, si deve trattare di un arco temporale all’interno del quale siano disponibili dati sufficienti (in termini di copertura e risoluzione spaziale e temporale) per le variabili fisiche che si intende analizzare, come ad esempio precipitazione e temperatura.

**Proiezione climatica:** Si tratta dei risultati delle simulazioni effettuate a mezzo di modelli climatici. Solitamente, si fa riferimento alle “proiezioni” per sottolineare i risultati riguardanti un orizzonte temporale futuro; tuttavia, le simulazioni climatiche coprono un arco temporale più vasto, che comprende il periodo di riferimento, per il quale si abbiano osservazioni delle variabili fisiche modellate. Ciò allo scopo sia di inizializzare correttamente il modello, sia di costituire un riferimento rispetto al quale valutare un eventuale cambiamento. È bene ricordare in questa sede che le proiezioni, anche se caratterizzate da una risoluzione temporale giornaliera (o in alcuni casi oraria) si distinguono dalle “previsioni” poiché non possono essere considerate utili in una prospettiva *day-by-day*. In altre parole, le proiezioni non forniscono informazioni circa il valore che una variabile assumerà in una specifica data, ma è più corretto invece valutare la distribuzione statistica e le sue proprietà (media, varianza, etc.).

**Scenario climatico:** la rappresentazione plausibile e spesso semplificata del clima futuro, basata su un insieme internamente coerente di relazioni climatologiche, costruita per un suo uso esplicito nell’indagine delle potenziali conseguenze del cambiamento climatico antropogenico, e che serve spesso come input ai modelli sugli impatti. Le proiezioni climatiche spesso servono da materiale grezzo per costruire scenari



---

climatici, ma gli scenari climatici di solito richiedono ulteriori informazioni, come per esempio sul clima attuale osservato.

**Scenario di concentrazione:** Secondo il 5° Rapporto IPCC, un parametro fisico che ben descrive la presenza di attività antropiche è la concentrazione di gas clima-alteranti (GHG) in atmosfera. Per prevedere come si evolverà il clima nel prossimo futuro, si richiede la contestuale previsione dell'evoluzione della concentrazione di GHG in atmosfera, la quale dipende, a sua volta, da molteplici fattori economici e sociali, quali la crescita della popolazione, lo sviluppo tecnologico e industriale, la tipologia di combustibili utilizzati, e simili. Data la complessità inerente tali valutazioni, la letteratura fornisce solo delle possibili ipotesi, definite appunto "scenari climatici". Il 5° Rapporto IPCC seleziona, ritenendoli di particolare interesse, un numero ristretto di tali scenari, i cosiddetti *Representative Concentration Pathways* (RCP). Tali scenari fattivamente sono costituiti da serie temporali di emissioni e concentrazioni di tutti i gas clima-alteranti, gli aerosol e i gas chimicamente attivi, nonché i cambiamenti attesi di suolo e relative coperture (*land use land cover*, LULC), che portano, all'anno 2100, ad uno specifico valore di *forcing* radiativo, cioè di cambiamento nel flusso radiativo nella parte più esterna dell'atmosfera. L'attributo "*representative*" sta ad indicare che un RCP è soltanto una singola realizzazione tra i molteplici possibili percorsi che possono portare allo stesso valore di *forcing*. L'attributo "*pathway*" ricorda invece che ad essere determinante, per l'evoluzione del clima, non è soltanto il valore finale di *forcing* ma anche la traiettoria con cui lo si raggiunge. Il 5° Rapporto IPCC identifica quattro RCP significativi (Figura 1), ciascuno caratterizzato da un andamento coerente con l'implementazione, o la non implementazione, di politiche di mitigazione ovvero di riduzione delle emissioni, corrispondenti all'adempimento, o meno, degli accordi internazionali (in particolare il *Paris agreement*, stipulato nel 2015):

- RCP 2.6. Tale scenario prevede il raggiungimento di un *forcing* radiativo pari a +2.6 W/mq entro il 2100 rispetto ai livelli preindustriali. La traiettoria è caratterizzata dalla presenza di un picco di concentrazione (corrispondente a un forcing di circa +3 W/mq) intorno al 2050 e poi una stabile diminuzione, determinata dal perseguimento di una massiccia strategia di mitigazione.
- RCP 4.5. Tale scenario prevede il raggiungimento di un *forcing* radiativo pari a +4.5 W/mq entro il 2100, rispetto ai livelli preindustriali, in modo pressoché asintotico, e scaturisce dall'ipotesi di implementazione di politiche di mitigazione efficaci, ma non tanto quanto accade per RCP 2.6.
- RCP 6.0. Tale scenario prevede il raggiungimento di un *forcing* radiativo pari a +6.0 W/mq entro il 2100 rispetto ai livelli preindustriali, valore che tuttavia è destinato ad incrementare ulteriormente oltre il 2100. Rispetto allo scenario RCP 4.5, RCP 6.0 prevede politiche di mitigazione ancora più blande.
- RCP 8.5. Tale scenario prevede il raggiungimento di un *forcing* radiativo pari a +8.5 W/mq entro il 2100 rispetto ai livelli preindustriali, destinato ad incrementarsi ulteriormente nei secoli successivi. Tale scenario è definito *worst case* poiché corrispondente all'ipotesi di sviluppo economico, tecnologico e sociale basato interamente sull'utilizzo di combustibili fossili non rinnovabili.

**Temperatura superficiale media globale:** una stima della temperatura superficiale media globale dell'aria. Tuttavia, per variazioni nel corso del tempo, si utilizzano solo le anomalie, come le deviazioni da una climatologia, più comunemente basate sulla media globale pesata sull'area dell'anomalia di temperatura superficiale del mare, e dell'anomalia della temperatura dell'aria sulla superficie terrestre.

**Variabilità climatica:** con il termine variabilità climatica ci si riferisce alle variazioni dello stato medio e di altre statistiche (come la deviazione standard, l'occorrenza di eventi estremi, etc.) del clima a tutte le scale

---

spaziali e temporali oltre a quella dei singoli eventi meteorologici. La variabilità può essere dovuta a processi interni naturali, all'interno del sistema climatico (variabilità interna), o a variazioni del forzante esterno naturale o antropogenico (variabilità esterna).