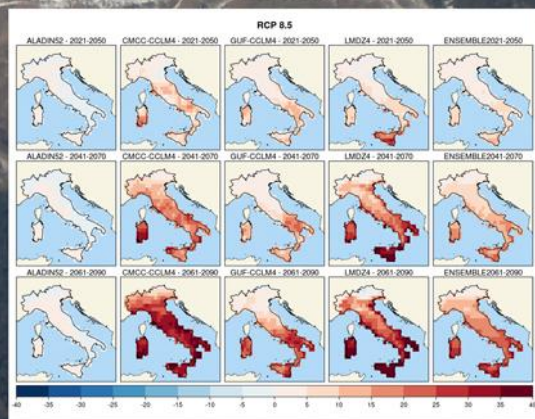




ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali

Informazioni legali

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

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

ISPRA, Stato dell'Ambiente 58/2015

ISBN 978-88-448-0723-8

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica
ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli
Foto di copertina: Franco Desiato, Franco Iozzoli

Coordinamento editoriale:
Daria Mazzella
ISPRA - Settore Editoria

Luglio 2015

Autori

Franco Desiato, Guido Fioravanti, Piero Frascchetti, Walter Perconti, Emanuela Piervitali (ISPRA).

Ringraziamenti

Si ringrazia la comunità di ricerca internazionale che ha dato vita all'iniziativa Med-CORDEX (www.medcordex.eu) e che rende disponibili i dati relativi alle simulazioni dei modelli climatici.

Indice generale

1. Introduzione	6
2. Dati e metodo di analisi.....	8
3. Temperatura	10
3.1 Variazione dei valori medi	10
3.1.1 Media nazionale	10
3.1.2 Distribuzione spaziale	14
3.1.3 Stagionalità.....	17
3.2 Variazione degli estremi di temperatura.....	21
3.2.1 Notti tropicali	21
3.2.2 Giorni con gelo.....	24
3.2.3 Giorni estivi.....	26
3.2.4 Onde di calore	29
3.2.5 Notti fredde.....	31
3.2.6 Giorni freddi.....	34
3.2.7 Notti calde	37
3.2.8 Giorni caldi.....	40
4. Precipitazione	43
4.1 Variazione dei totali di precipitazione.....	43
4.1.1 Media nazionale	43
4.1.2 Distribuzione spaziale	44
4.1.3 Stagionalità.....	47
4.2 Variazione di intensità ed estremi	51
4.2.1 Intensità di precipitazione giornaliera	51
4.2.2 Precipitazione nei giorni molto piovosi.....	54
4.2.3 Precipitazione massima giornaliera.....	57
4.2.4 Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia	59
5. Sintesi e conclusioni.....	61
Bibliografia.....	63

1. INTRODUZIONE

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale della valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO)¹, le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (Representative Concentration Pathways – RCP) [1], allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES) [2] e utilizzati nei rapporti TAR [3] e AR4 [4]. I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “proiezione climatica”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici².

Questi ultimi possono essere classificati in due categorie che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli globali di circolazione generale atmosfera-oceano (AOGCM), basati su principi fisici ben definiti, sono in grado di riprodurre le caratteristiche medie osservate del clima recente e passato, ad una risoluzione orizzontale compresa fra 250 and 600 km [5] e costituiscono lo strumento principale per studiare l'evoluzione del sistema climatico globale nel XXI secolo. Questi modelli tuttavia risultano poco adeguati a valutare i cambiamenti climatici su scala regionale. Il termine “regionale” va inteso qui come traduzione dall'inglese “*regional*” che, come da definizione dell'IPCC, indica aree geografiche di estensione compresa all'incirca tra 10⁴ e 10⁷ km². A scala regionale il clima è fortemente influenzato da fattori locali, come la conformazione del territorio ed in particolare l'orografia, che sono rappresentati solo approssimativamente all'interno degli AOGCM. Inoltre molti processi fisici che si verificano ad una scala inferiore rispetto alla risoluzione degli AOGCM, non vengono appropriatamente da questi schematizzati [6].

I “*Regional Climate Models*” (RCM) rispondono quindi alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala regionale e locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Lo scopo di questo lavoro è, attraverso l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche più aggiornate prodotte da diversi modelli, esporre in sintesi gli elementi di conoscenza e le incertezze che riguardano le proiezioni del clima futuro in Italia. Analogamente a quanto avviene per la valutazione del clima passato e presente, quando si traduce in indici e indicatori climatici una grande mole di dati osservativi, si intende qui estrarre dai molteplici risultati prodotti dai modelli climatici gli elementi di conoscenza e di incertezza più significativi sull'evoluzione del clima futuro in Italia. In questo modo, si vuole anche contribuire a gettare un ponte tra la comunità scientifica che sviluppa e applica i modelli climatici e alcune categorie di utenti finali (decisori politici, *stakeholders*).

Per i nostri scopi, in considerazione della scala spaziale, è quindi opportuno e vantaggioso prendere in esame i risultati degli RCM. A tale proposito, la fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche sull'area del Mediterraneo e quindi sull'Italia è costituita da Med-CORDEX³, un'iniziativa proposta dalla comunità scientifica che studia il clima del Mediterraneo. Med-CORDEX

¹ https://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_projections.php

² <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>

³ www.medcordex.eu

costituisce una parte del più ampio esperimento CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment⁴ [7] ed è supportato dai programmi internazionali HyMeX (HYdrological cycle in Mediterranean EXperiment⁵) e MedCLIVAR (Mediterranean CLimate VARIability and Predictability⁶). Le proiezioni fornite da Med-CORDEX si basano sui nuovi scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5 e utilizzano modelli RCM ad alta risoluzione.

Ai nostri fini, dall'insieme degli output dei modelli disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di temperatura (minima, massima e media) e precipitazione fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5.

Per ciascuna variabile presa in considerazione, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale. Per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione. Proprio la conoscenza degli estremi meteorologici e delle loro variazioni è infatti particolarmente rilevante nella definizione delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, a causa degli impatti che essi producono sull'ambiente e sulla società in genere. Le variazioni climatiche future sono state valutate in termini di differenze tra il valore di una variabile o di un indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000. I valori di riferimento variano ovviamente da modello a modello e vengono prodotti eseguendo i modelli in modalità "*hindcast*", cioè effettuando simulazioni riferite a periodi passati.

Per gli obiettivi di questo lavoro, attraverso le differenze rispetto ai valori di riferimento, è possibile analizzare e mettere a confronto i segnali climatici evidenziati dai modelli, indipendentemente dall'abilità di ciascun modello nel riprodurre i valori assoluti di una certa variabile nell'area geografica di interesse.

Stabiliti l'obiettivo generale e, a grandi linee, la metodologia di analisi, vanno chiariti i limiti da tenere presente nell'interpretazione e nell'utilizzo dei risultati qui presentati. In particolare, il numero limitato (quattro) dei modelli di cui è stato possibile analizzare le proiezioni, non consente di definire con esattezza gli intervalli di variabilità e quindi l'incertezza delle previsioni di un certo indice. Inoltre, non rientra negli scopi e nelle possibilità di questo lavoro stabilire una gerarchia tra i modelli o entrare nel merito della loro qualità o del loro *skill* nel riprodurre il clima passato e presente. I risultati dei modelli vengono considerati obiettivamente, solo come fonti che rappresentano lo stato dell'arte delle proiezioni a scala regionale. Infine, si sottolinea che l'analisi delle proiezioni climatiche è qui focalizzata solo sull'Italia, rispetto alla scala più estesa alla quale sono rivolte le simulazioni modellistiche prodotte nell'ambito di Med-CORDEX.

⁴ <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr>

⁵ <http://www.hymex.org>

⁶ <http://www.medclivar.eu/>

2. DATI E METODO DI ANALISI

Dall'insieme delle simulazioni prodotte nell'ambito di Med-CORDEX sono stati estratti gli output giornalieri di temperatura (massima, minima e media) e di precipitazione cumulata, di quattro modelli RCM che forniscono previsioni fino al 2100 nei due scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5.

Il grigliato dei modelli ha una risoluzione di $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ in un sistema di coordinate ruotate, nel quale si opera in un dominio equatoriale con una risoluzione quasi uniforme di 50 Km⁷. Ogni modello RCM è innestato su un modello GCM dal quale acquisisce le condizioni iniziali e al contorno per produrre le proiezioni future. Le simulazioni “hindcast” (1971-2000) utilizzate come base rispetto alla quale calcolare le variazioni climatiche, sono state eseguite tutte con la stessa modalità (inizializzazione tramite GCM). Gli RCM selezionati e i rispettivi GCM sono riportati nella tabella 2.1.

Dagli output dei modelli sono stati estratti i dati relativi ai punti di griglia che ricadono sul territorio nazionale. I dati giornalieri sono stati successivamente aggregati su base stagionale ed annuale. Inoltre, sono stati calcolati alcuni indici di estremi di temperatura minima e massima e di precipitazione significativi per il clima italiano (tabella 2.2), selezionati fra quelli definiti dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) del CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection [8,9]. Gli indici ETCCDI sono stati largamente utilizzati per analizzare gli estremi climatici sia nelle serie storiche di osservazioni [10, 11, 12] che nelle proiezioni dei modelli climatici [13,14,15,16]. Per la stima delle variazioni di questi indici in Italia nel recente passato, si veda [17,18]. Complessivamente, l'insieme dei dati selezionati per l'analisi delle proiezioni del clima in Italia, può essere considerato come una matrice a 5 dimensioni rappresentate da:

- 1 - la variabile climatica: sono state prese in esame 4 variabili (temperatura minima, massima, media e precipitazione cumulata) e 8 indici (2 indici per la temperatura minima, 2 per la temperatura massima, 4 per la precipitazione);
- 2 - il modello (4 modelli);
- 3 - lo scenario (2 scenari: RCP4.5 e RCP8.5);
- 4 - l'orizzonte temporale (3 orizzonti temporali rappresentati da periodi di 30 anni: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090);
- 5 - il periodo dell'anno a cui si riferiscono le statistiche (intero anno e ciascuna delle quattro stagioni).

I dati presi in esame per valutare le variazioni climatiche previste dai modelli sono, per ogni elemento della matrice, le differenze tra il valore di una variabile o di un indice nel periodo di 30 anni relativo a un certo orizzonte temporale (per esempio, 2021-2050) e il valore corrispondente nel trentennio climatologico di riferimento 1971-2000 (valore medio calcolato dalle simulazioni “hindcast” di ogni modello).

L'andamento nel tempo dei valori medi “nazionali” è stato ottenuto, per ogni modello e per ciascuno dei due scenari, calcolando la media aritmetica dei valori nei punti di griglia che ricadono sul territorio nazionale. La distribuzione spaziale delle variazioni viene mostrata attraverso mappe, box-plot e tabelle di sintesi.

⁷ www.medcordex.eu/cordex_domains_250610.pdf

Tabella 2.1 – Modelli RCM selezionati dal programma Med-CORDEX.

Acronimo	Istituto	RCM	GCM
ALADIN	Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-ALADIN5.2	CNRM-CM5
GUF	Goethe University Frankfurt	GUF-CCLM4-8-18	MPI-ESM-LR
CMCC	Centro EuroMediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC-CCLM4-8-19	CMCC-CM
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	LMD-LMDZ4-NEMOMED8	IPSL-CM5A-MR

Tabella 2.2 – Indici estremi di temperatura e precipitazione (ETCCDI) analizzati.

Indici di temperatura			
Acronimo	Nome	Descrizione	Unità di misura
TR20	Notti tropicali	Numero di giorni nell'anno con temperatura minima > 20°C	giorni
FD0	Giorni con gelo	Numero di giorni nell'anno con temperatura minima < 0°C	giorni
SU25	Giorni estivi	Numero di giorni nell'anno con temperatura massima > 25°C	giorni
WSDI	Indice di durata dei periodi di caldo	Numero di giorni nell'anno in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile della corrispondente distribuzione climatologica normale per almeno 6 giorni consecutivi	giorni
TN10P	Notti fredde	Percentuale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione climatologica normale	%
TX10P	Giorni freddi	Percentuale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è inferiore al 10° percentile della corrispondente distribuzione climatologica normale	%
TN90P	Notti calde	Percentuale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è superiore al 90° percentile della corrispondente distribuzione climatologica normale	%
TX90P	Giorni caldi	Percentuale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della corrispondente distribuzione climatologica normale	%
Indici di precipitazione			
Acronimo	Nome	Descrizione	Unità di misura
SDII	Intensità di pioggia giornaliera	Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni piovosi nell'anno (definiti come giorni con precipitazione ≥ 1 mm)	mm/giorno
R95P	Precipitazione nei giorni molto piovosi	Somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95° percentile della distribuzione climatologica normale	mm
RX1day	Massima precipitazione in 1 giorno	Valore massimo di precipitazione in 1 giorno	mm
CDD	Giorni consecutivi senza pioggia	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera < 1 mm	giorni

3. TEMPERATURA

3.1 Variazione dei valori medi

3.1.1 Media nazionale

Temperatura massima

Si prevede in un secolo un incremento compreso tra 1.9 e 3.3°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.4 e 5.7°C nello scenario RCP8.5 (figura 3.1). L'aumento è abbastanza costante nel tempo per entrambi gli scenari.

Temperatura minima

Si prevede in un secolo un incremento compreso tra 1.7 e 3.0°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.4 e 5.1°C nello RCP8.5 (figura 3.2).

Anche per la temperatura minima l'aumento è abbastanza costante nel tempo per entrambi gli scenari. L'aumento previsto per temperatura massima e minima è molto simile; le differenze si possono considerare trascurabili rispetto all'incertezza delle variazioni stimate. In sintesi, il riscaldamento previsto nel corso del secolo sull'Italia può essere attribuito a un aumento più o meno equivalente sia delle temperature massime diurne che delle temperature minime notturne.

Temperatura media

Si prevede in un secolo un incremento della temperatura media compreso tra 1.8 e 3.1°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.5 e 5.4°C nello scenario RCP8.5 (figura 3.3).

Il trend dell'*ensemble mean* (media delle variazioni previste dai 4 modelli) è di 0.2°C/10 anni nello scenario RCP4.5 e di 0.4°C/10 anni nello scenario RCP8.5.

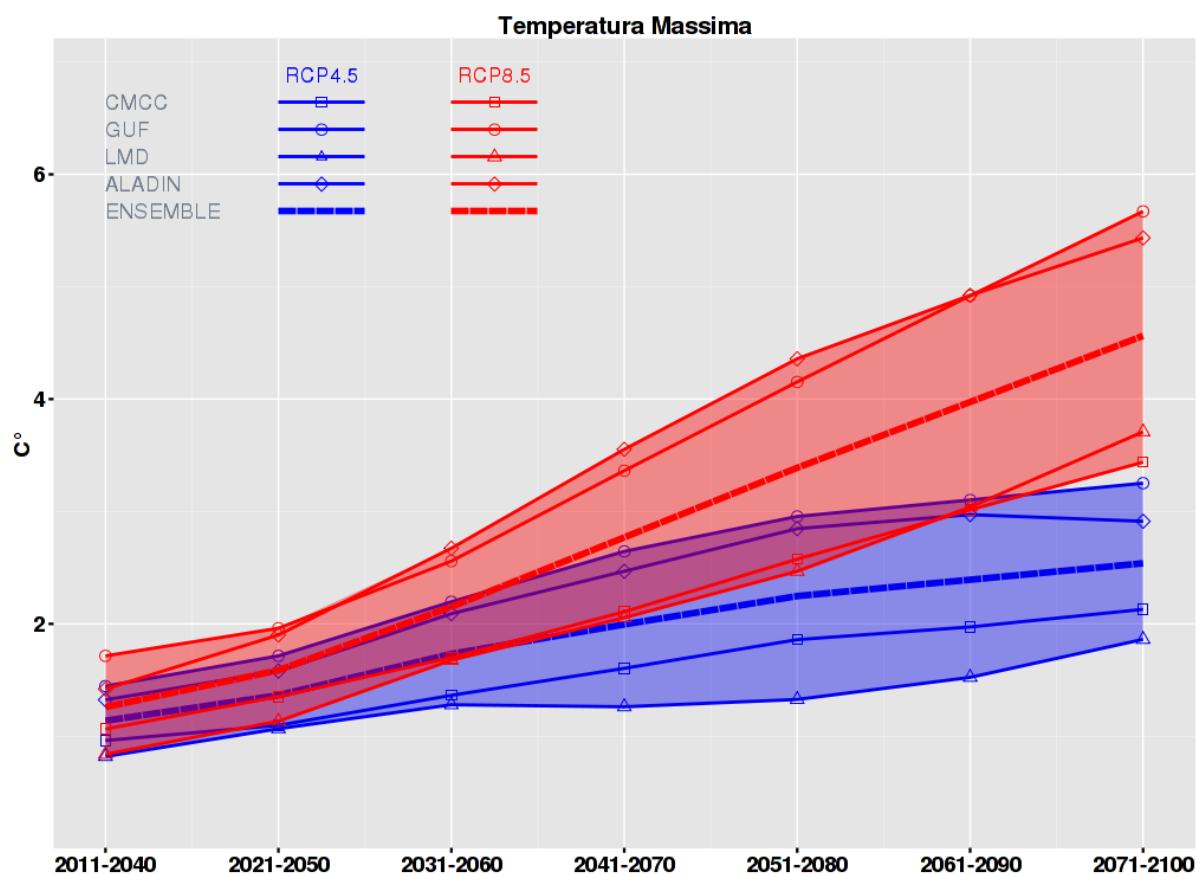


Figura 3.1 – Temperatura massima. Variazioni rispetto alla media 1971-2000 dei valori previsti dai quattro modelli (media su periodi di 30 anni) nei due scenari RCP4.5 (blu) e RCP8.5 (rosso). L'area colorata rappresenta lo spread delle previsioni dei modelli mentre la linea tratteggiata indica la media delle variazioni previste dai modelli (ensemble mean).

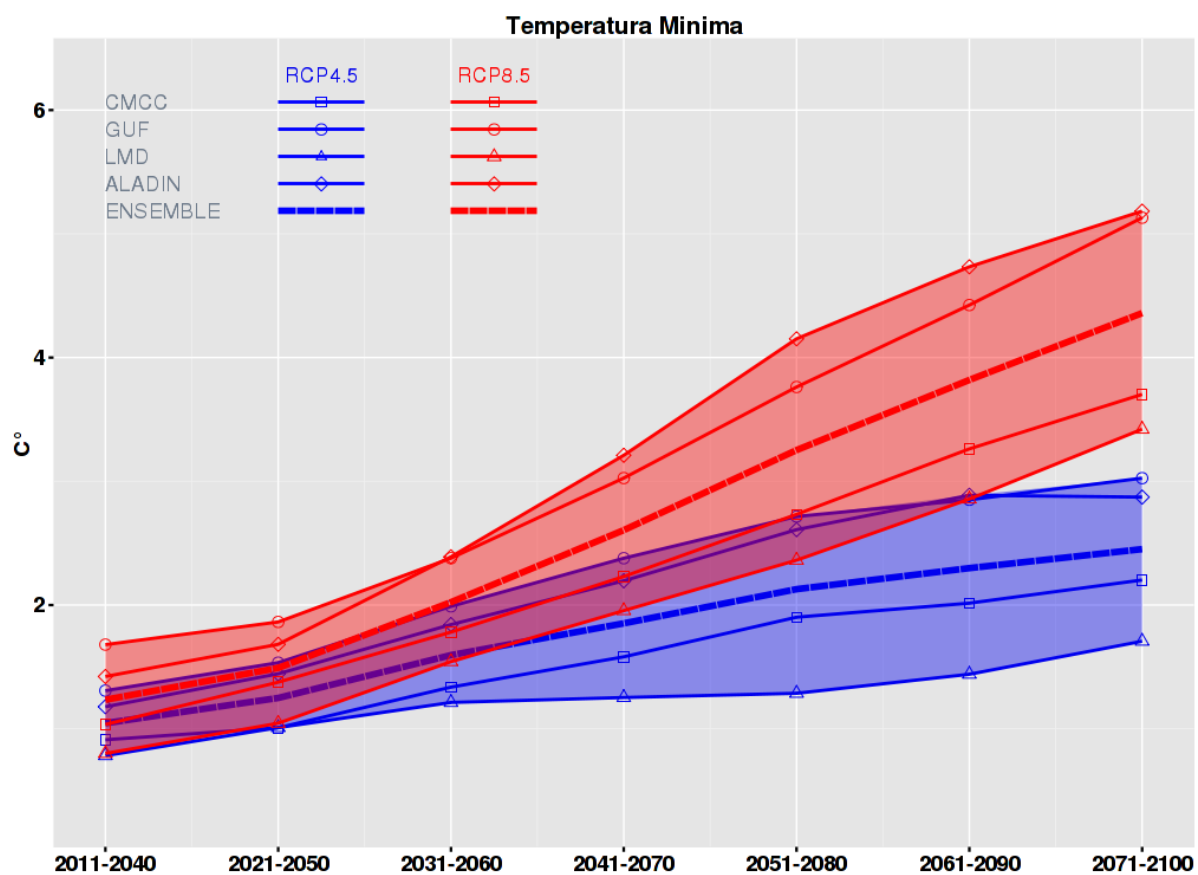


Figura 3.2 – Come in figura 3.1, per la temperatura minima.

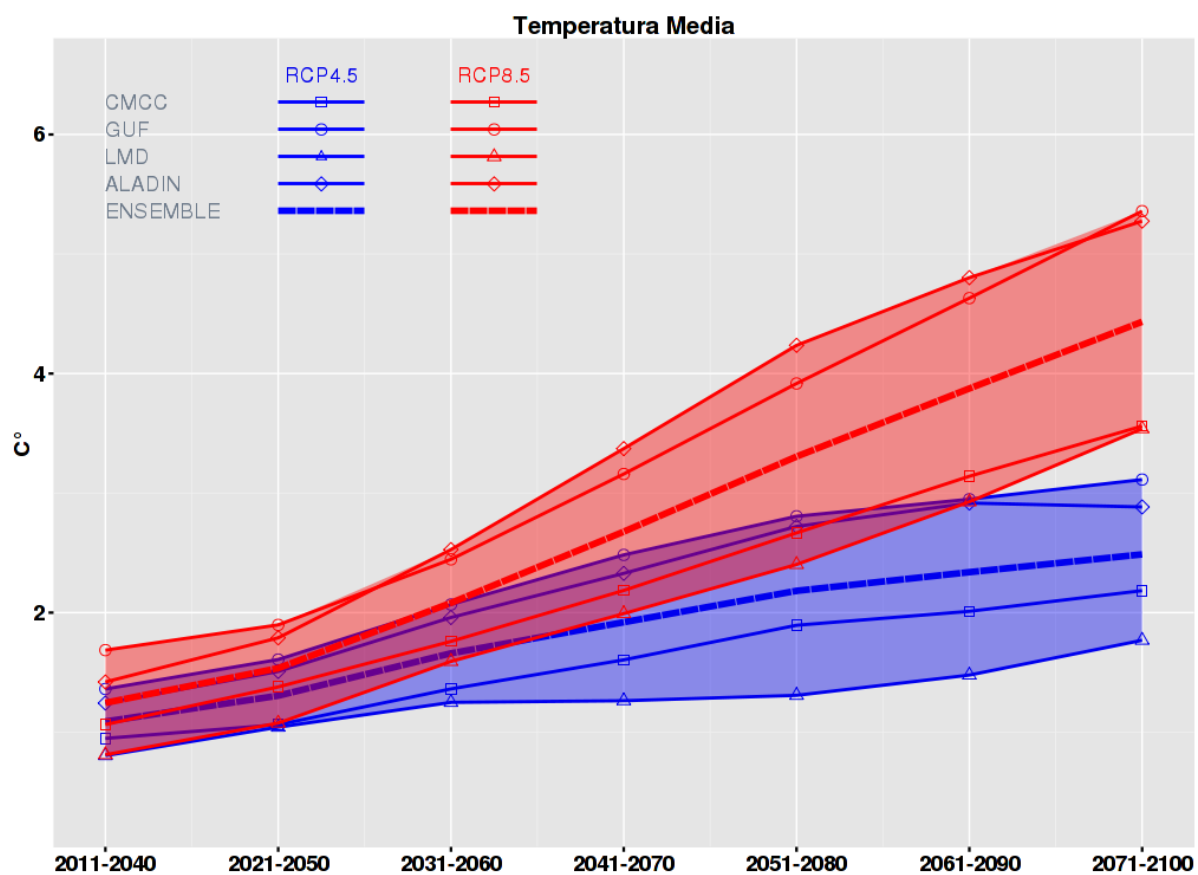


Figura 3.3 – Come in figura 3.1, per la temperatura media.

3.1.2 Distribuzione spaziale

La distribuzione spaziale della variazione della temperatura media annuale rispetto al trentennio 1971-2000, nello scenario RCP4.5, è mostrata nella figura 3.4 per i tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090.

I quattro modelli prevedono un aumento della temperatura media su tutto il territorio nazionale, con andamento crescente nel tempo. Tuttavia essi differiscono riguardo all'entità del riscaldamento, con due modelli che mettono in evidenza aumenti di temperatura media decisamente più marcati (3-3.5°C al 2061-2090) rispetto agli altri due (1.25-2.25°C al 2061-2090).

Per quanto riguarda la distribuzione geografica della variazione di temperatura, le differenze tra i modelli sono relativamente modeste, in virtù del fatto che il riscaldamento, che origina da forzanti e dinamiche a grande scala, interessa in modo abbastanza uniforme tutto il territorio nazionale. Tuttavia, si possono notare alcune differenze tra diverse aree geografiche. Per esempio, al primo orizzonte temporale (2021-2050) un modello prevede un riscaldamento più consistente sull'Italia nord-occidentale (compreso fra 1.75 e 2°C) e più modesto sui versanti ionico e del basso Adriatico (1.25-1.5°C). Per due modelli buona parte dell'Italia risulta soggetta ad un riscaldamento leggermente meno intenso, con valori compresi fra 0.75 e 1.5°C, mentre nel resto della Penisola l'aumento della temperatura è compreso tra 1 e 1.75°C. Un aumento abbastanza uniforme sul territorio nazionale è previsto da un modello su quattro (compreso fra 0.75 e 1°C).

Anche le mappe relative ai trentenni 2041-2070 e 2061-2090 mostrano che le aree soggette a un maggiore o minore riscaldamento variano da modello a modello.

La media delle variazioni di temperatura previste dai quattro modelli (*ensemble mean*) mostra una distribuzione spaziale dei valori piuttosto uniforme in tutti e tre i periodi. L'*ensemble mean* riduce notevolmente fino quasi ad annullare le differenze tra diverse aree geografiche del Paese.

Complessivamente l'*ensemble mean* prevede un incremento della temperatura media sul territorio compreso circa tra 1.25 e 1.75°C nel trentennio 2021-2050, tra 1.75 e 2.25°C nel 2041-2070 e tra 2.0 e 2.5°C nel 2061-2090.

Nello scenario RCP8.5, la distribuzione spaziale della variazione della temperatura media annuale rispetto al trentennio 1971-2000, è mostrata nella figura 3.5, per i tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090.

Analogamente a quanto avviene per lo scenario RCP4.5, anche nello scenario RCP8.5 tutti i modelli prevedono un progressivo aumento della temperatura media nel tempo, con incrementi più elevati rispetto a quelli dello scenario RCP4.5.

Due modelli prevedono incrementi più consistenti (4-5°C al 2061-2090), rispetto agli altri due (2.75-3.5°C al 2061-2090).

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale, i modelli mostrano un aumento abbastanza uniforme su tutto il territorio nazionale nel trentennio 2021-2050.

Alcune differenze tra aree geografiche si osservano soprattutto al secondo e al terzo orizzonte temporale. Nel trentennio 2061-2090 due modelli prevedono un riscaldamento leggermente più intenso su parte dell'Italia settentrionale (con valori compresi fra 3.5 e 5°C), un modello indica un aumento più marcato sull'Italia nord-occidentale, su parte dell'Italia centrale e meridionale e sulle Isole (3.25-3.5°C) e uno più modesto sull'Italia nord orientale (2.75-3°C); infine, un modello mostra un aumento abbastanza uniforme su tutto il territorio (4.75-5°C) con valori leggermente inferiori sull'Italia nord occidentale (4.5-4.75°C).

Anche in questo caso le mappe dell'*ensemble mean* mostrano una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio nazionale per tutti e tre gli orizzonti temporali, con un incremento della temperatura media sul territorio compreso circa tra 1.5 e 2.0°C nel trentennio 2021-2050, tra 2.75 e 3.25°C nel 2041-2070 e tra 3.75 e 4.50°C nel 2061-2090.

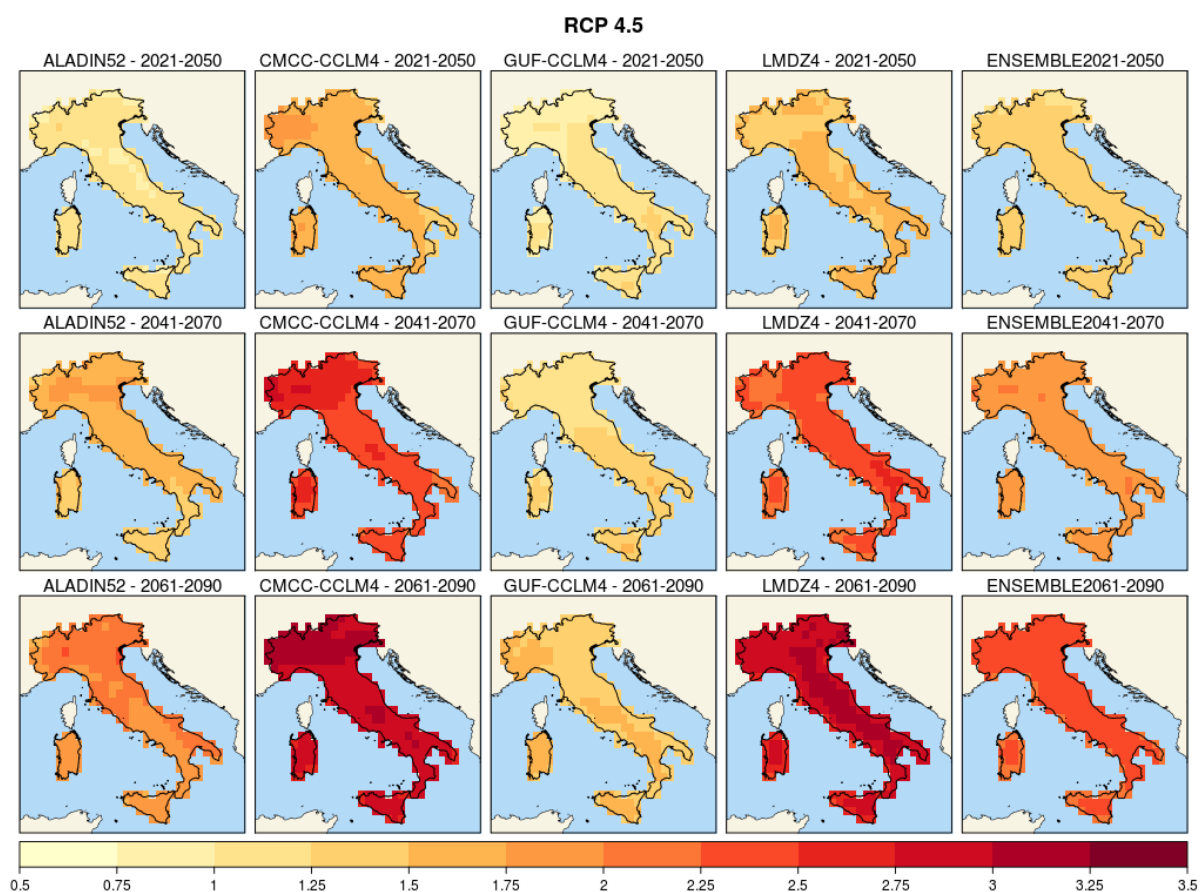


Figura 3.4 – Temperatura media (°C), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

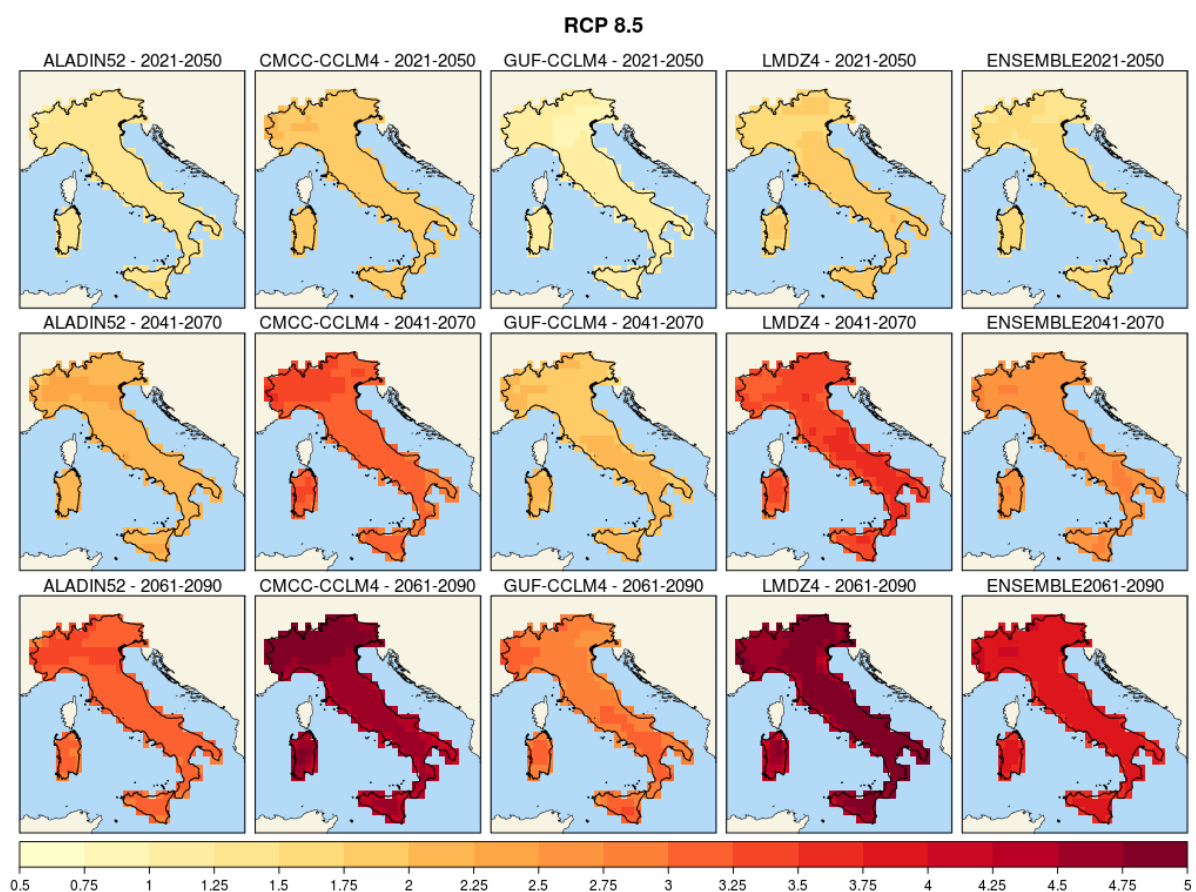


Figura 3.5 – Come in figura 3.4, per lo scenario RCP8.5.

3.1.3 Stagionalità

Le variazioni di temperatura previste dai modelli sono state analizzate aggregando i dati per stagione e quindi confrontandone le variazioni previste.

La stagione in cui si prevede l'aumento più marcato della temperatura media è l'estate, con variazioni in un secolo comprese tra 2.5 e 3.6°C nello scenario RCP4.5 e tra 4.2 e 7.0°C nello scenario RCP8.5.

La stagione in cui si prevede l'aumento meno marcato è la primavera, con variazioni in un secolo comprese tra 1.3 e 2.7°C nello scenario RCP4.5 e tra 2.8 e 4.8°C nello scenario RCP8.5.

Gli incrementi stagionali della temperatura nel trentennio 2071-2100 nei due scenari RCP sono riportati nella tabella 3.1. Oltre all'aumento calcolato come *ensemble mean* dei quattro modelli, nella tabella è mostrata anche la differenza fra il minimo e il massimo valore delle medie nazionali previste dai modelli (*spread*).

Per ogni modello, la distribuzione delle variazioni stagionali medie sul territorio nazionale agli orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, è rappresentata graficamente tramite box-plot (figura 3.6 nello scenario RCP4.5 e figura 3.7 nello scenario RCP8.5). La linea centrale di ogni rettangolo indica il valore medio nazionale, mentre l'altezza del rettangolo rappresenta l'intervallo fra la minima e la massima variazione di temperatura fra tutti i punti di griglia che ricadono sul territorio nazionale; in sintesi, ogni rettangolo indica la dispersione (o *spread*) in senso geografico dell'aumento di temperatura previsto da un modello per una certa stagione e un certo orizzonte temporale.

In entrambi gli scenari gli aumenti di temperatura caratterizzati dalla variabilità spaziale più elevata si riscontrano in estate, quelli soggetti alla variabilità più bassa in autunno. Lo *spread* spaziale dei modelli tende generalmente ad aumentare dal primo al terzo orizzonte temporale.

Gli aumenti medi annuali di temperatura sono caratterizzati da *spread* spaziali piuttosto modesti in entrambi gli scenari, di 0.3-0.5°C al primo orizzonte temporale (2021-2050), mentre nel trentennio 2061-2090 i modelli indicano uno *spread* di 0.4-0.7°C nello scenario RCP4.5 e di 0.7-1.4°C nello scenario RCP8.5.

Da un'analisi delle figure si possono apprezzare le differenze tra le variazioni previste dai diversi modelli. Il segno è positivo (aumento della temperatura) per tutte le stagioni e coerente per tutti i modelli, ma l'entità delle variazioni differisce in molti casi in modo significativo. Come già si può rilevare qualitativamente dalle mappe delle variazioni annuali (figure 3.4 e 3.5), gli aumenti di temperatura previsti sul territorio italiano da un modello si dispongono spesso in un intervallo disgiunto da quello di un altro modello; per esempio, nel caso dello scenario RCP4.5, in autunno e nel periodo 2061-2090, l'aumento di temperatura previsto dai quattro modelli è compreso, rispettivamente, tra 1.7 e 2.4°C, tra 2.9 e 3.5°C, tra 0.8 e 1.6°C e tra 2.6 e 3.1°C.

Per un'analisi più quantitativa, nelle tabelle 3.2 (scenario RCP4.5) e 3.3 (scenario RCP8.5) sono riportati per ogni modello i valori medi nazionali stagionali e annuali previsti ai tre orizzonti temporali, insieme all'aumento dell'*ensemble mean* e alla minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

Nel trentennio 2061-2090, per il quale sono previsti gli i maggiori incrementi di temperatura, si prevedono aumenti che vanno da un minimo di 0.8°C (in primavera e in autunno) a un massimo di 4.6°C (in estate) nello scenario RCP4.5 e da un minimo di 1.7°C (in primavera) a un massimo di 7.4°C (in estate) nello scenario RCP8.5.

Tabella 3.1 – Aumento della temperatura media stagionale (media nazionale, °C) nel trentennio 2071-2100 rispetto al trentennio 1971-2000.

	Scenario RCP4.5		Scenario RCP8.5	
	ΔT ensemble mean	Spread	ΔT ensemble mean	Spread
STAGIONE				
Primavera	2.1	1.4	3.8	2.0
Estate	3.1	1.1	5.6	2.8
Autunno	2.5	1.6	4.4	1.7
Inverno	2.2	1.2	4.0	1.7

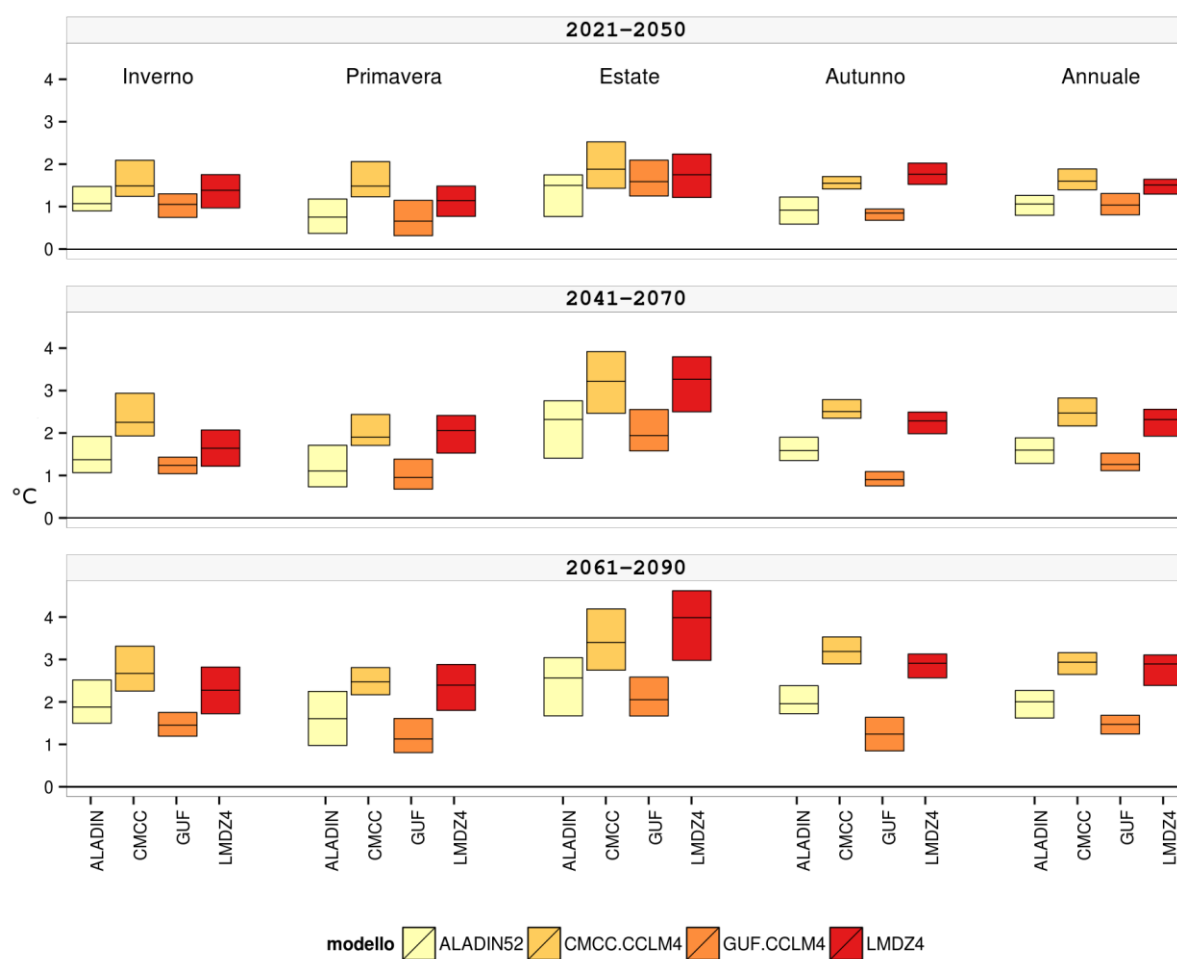


Figura 3.6 – Temperatura media (°C), scenario RCP4.5. Box-plot delle variazioni stagionali e annuali previste dai modelli ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090.

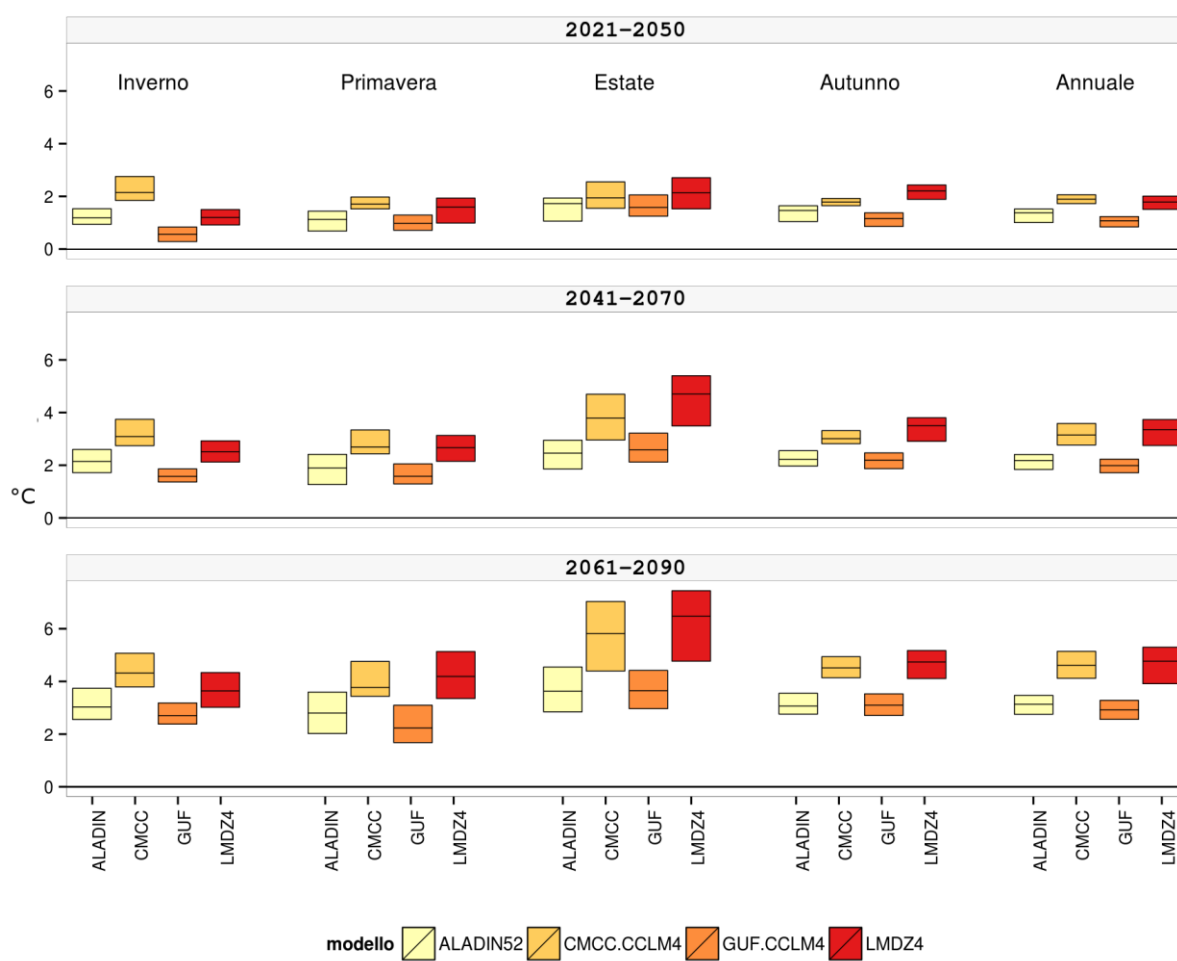


Figura 3.7 – Come in figura 3.6, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.2 – Temperatura media, scenario RCP4.5. Valori medi nazionali (°C) delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale-ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
2021-2050							
Inverno	1.1	1.5	1.1	1.4	1.2	0.7	2.1
Primavera	0.8	1.5	0.7	1.1	1.0	0.3	2.1
Estate	1.5	1.9	1.6	1.7	1.7	0.8	2.5
Autunno	0.9	1.6	0.8	1.8	1.3	0.6	2.0
Annuale	1.1	1.6	1.0	1.5	1.3	0.8	1.9
2041-2070							
Inverno	1.4	2.3	1.2	1.6	1.6	1.0	2.9
Primavera	1.1	1.9	1.0	2.1	1.5	0.7	2.4
Estate	2.3	3.2	1.9	3.3	2.7	1.4	3.9
Autunno	1.6	2.5	0.9	2.3	1.8	0.8	2.8
Annuale	1.6	2.5	1.3	2.3	1.9	1.1	2.8
2061-2090							
Inverno	1.9	2.7	1.5	2.3	2.1	1.2	3.3
Primavera	1.6	2.5	1.1	2.4	1.9	0.8	2.9
Estate	2.6	3.4	2.1	4.0	3.0	1.7	4.6
Autunno	2.0	3.2	1.2	2.9	2.3	0.8	3.5
Annuale	2.0	2.9	1.5	2.9	2.3	1.2	3.2

Tabella 3.3 – Come in tabella 3.2, per lo scenario RCP8.5.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale-ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
2021-2050							
Inverno	1.2	2.1	0.6	1.2	1.3	0.3	2.8
Primavera	1.1	1.7	1.0	1.6	1.3	0.7	2.0
Estate	1.7	1.9	1.6	2.1	1.8	1.1	2.7
Autunno	1.5	1.8	1.2	2.2	1.7	0.9	2.4
Annuale	1.4	1.9	1.1	1.8	1.5	0.8	2.1
2041-2070							
Inverno	2.1	3.1	1.6	2.5	2.3	1.4	3.7
Primavera	1.9	2.7	1.6	2.7	2.2	1.3	3.3
Estate	2.5	3.8	2.6	4.7	3.4	1.9	5.4
Autunno	2.2	3.0	2.2	3.5	2.7	1.9	3.8
Annuale	2.2	3.1	2.0	3.4	2.7	1.7	3.7
2061-2090							
Inverno	3.0	4.3	2.7	3.6	3.4	2.4	5.1
Primavera	1.6	1.3	1.4	1.8	3.2	1.7	5.1
Estate	3.6	5.8	3.6	6.5	4.9	2.8	7.4
Autunno	3.1	4.5	3.1	4.7	3.9	2.7	5.2
Annuale	3.1	4.6	2.9	4.8	3.9	2.6	5.3

3.2 Variazione degli estremi di temperatura

3.2.1 Notti tropicali

La variazione del numero di notti tropicali (TR20) rispetto al trentennio 1971-2000, per i tre orizzonti temporali 2021-2051, 2041-2071 e 2061-2090 è mostrata nelle mappe delle figure 3.8 e 3.9, rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

In entrambi gli scenari tutti i modelli prevedono un aumento del numero di notti tropicali, con un andamento crescente nel tempo e variazioni più marcate nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5, così come osservato per la temperatura media. I modelli, tuttavia, non sono concordi riguardo all'entità delle variazioni, prevedendo al terzo orizzonte temporale (2061-2090) un aumento medio nazionale del TR20 che varia da 14 a 35 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e da 23 a 59 giorni l'anno nello scenario RCP8.5 (tabella 3.4).

Riguardo alla distribuzione spaziale delle variazioni, uno dei modelli mostra un aumento del numero di notti tropicali modesto e abbastanza uniforme su quasi tutta la Penisola, inferiore a 10 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e a 15 giorni l'anno nello scenario RCP8.5 per tutti e tre gli orizzonti temporali. Per gli altri tre modelli, invece, quasi tutto il territorio nazionale è soggetto ad aumenti più significativi, che diventano più marcati dal primo al terzo orizzonte temporale. I valori più elevati (superiori a 50 giorni l'anno per lo scenario RCP4.5 e a 60 giorni l'anno per lo scenario RCP8.5) sono previsti sulle aree costiere (in particolare al Sud) e sulla Pianura Padana. I valori di variazione nulla che si riscontrano sulla regione alpina e in generale a quote elevate, sono dovuti al fatto che l'indice TR20 non è rappresentativo del clima su queste aree (non si registrano notti tropicali).

Venendo all'*ensemble mean* (tabella 3.4), nel trentennio 2061-2090 si prevede un aumento medio di 24 giorni nello scenario RCP4.5 e di 42 giorni nello scenario RCP8.5.

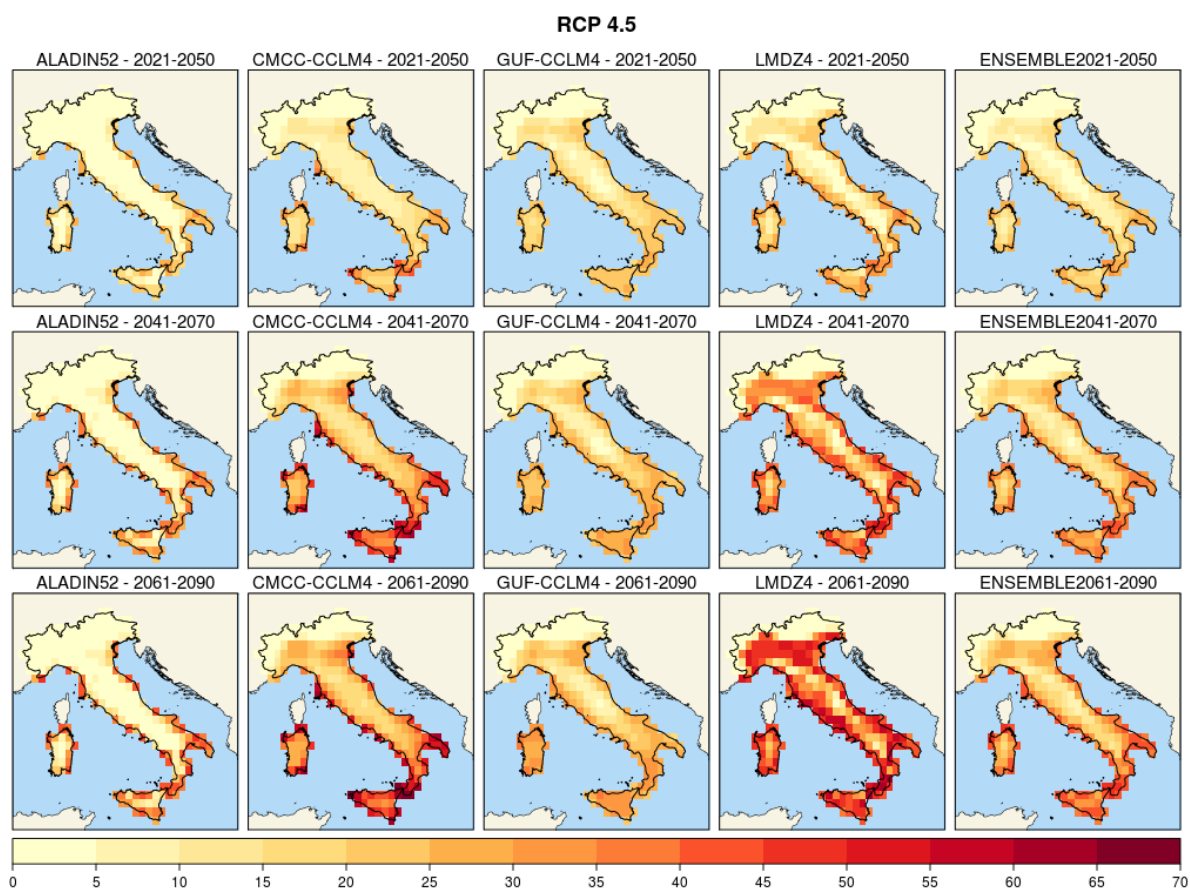


Figura 3.8 – Notti tropicali (giorni), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

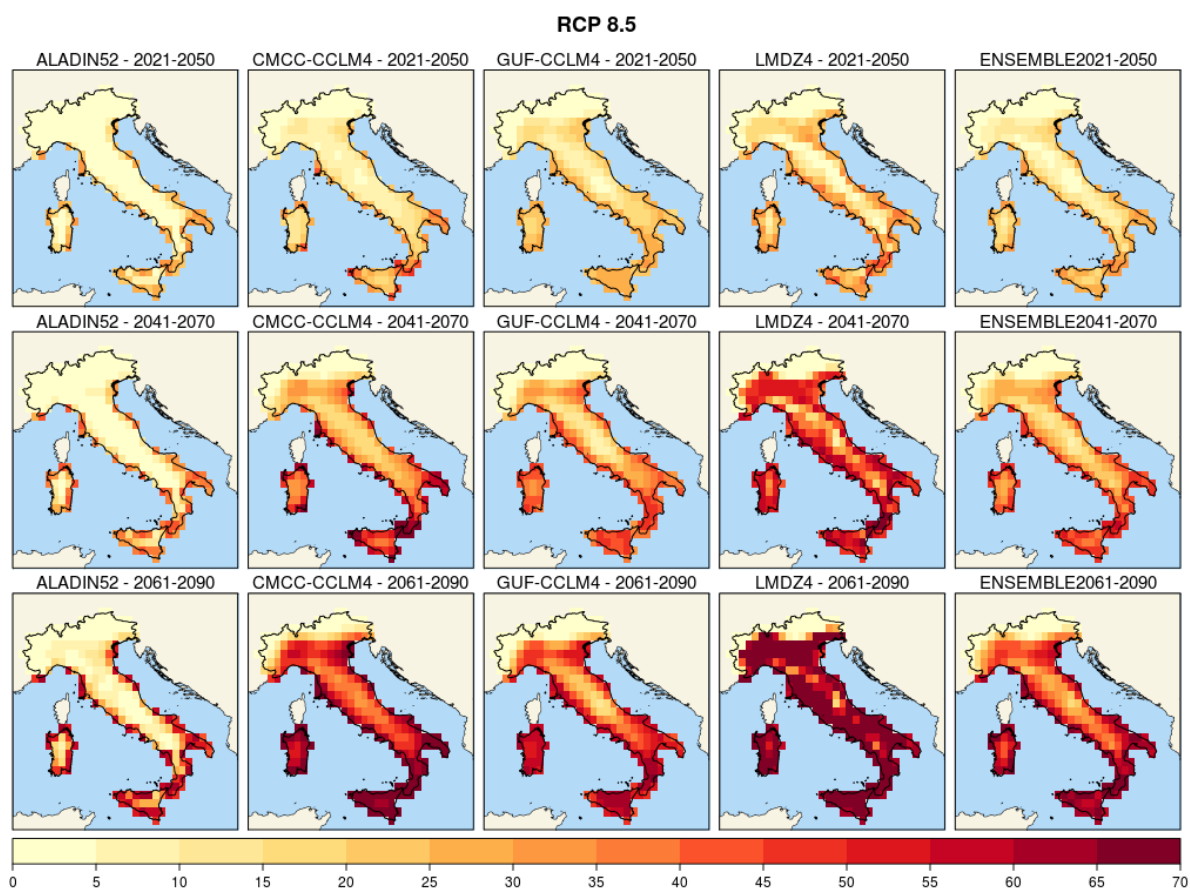


Figura 3.9 – Come in figura 3.8, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.4 - Notti tropicali (giorni). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale-ensemble	Massimo nazionale
RCP4.5						
2021-2050	8	13	13	15	12	43
2041-2070	12	24	16	27	20	60
2061-2090	14	27	18	35	24	67
RCP8.5						
2021-2050	9	14	15	18	14	46
2041-2070	14	30	26	40	27	71
2061-2090	23	49	37	59	42	95

3.2.2 Giorni con gelo

Le mappe delle variazioni dei giorni con gelo (FD0) sono mostrate nelle figure 3.10 e 3.11, rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

In entrambi gli scenari i quattro modelli prevedono una riduzione del numero di giorni con gelo, progressivamente più marcata dal primo al terzo orizzonte temporale, con variazioni più elevate nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5.

Un modello indica riduzioni medie più modeste (-10 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e -18 giorni nello scenario RCP8.5 al terzo orizzonte temporale) rispetto agli altri tre modelli, che prevedono riduzioni medie che vanno da 23 a 27 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e da 34 a 39 giorni nello scenario RCP8.5 (tabella 3.5).

La distribuzione geografica delle variazioni di questo indice mostra per i quattro modelli variazioni nulle o quasi nulle (da 0 a -5 giorni) lungo le coste, al Sud e sulle Isole, dove i giorni con gelo non si verificano o rappresentano eventi molto rari, e riduzioni più marcate sull'arco alpino e alcune aree appenniniche.

Per quanto riguarda l'*ensemble mean*, al terzo orizzonte temporale (2061-2090), le variazioni più consistenti si prevedono sull'Italia settentrionale, con diminuzione di oltre 30 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e di oltre 55 giorni l'anno nello scenario RCP8.5.

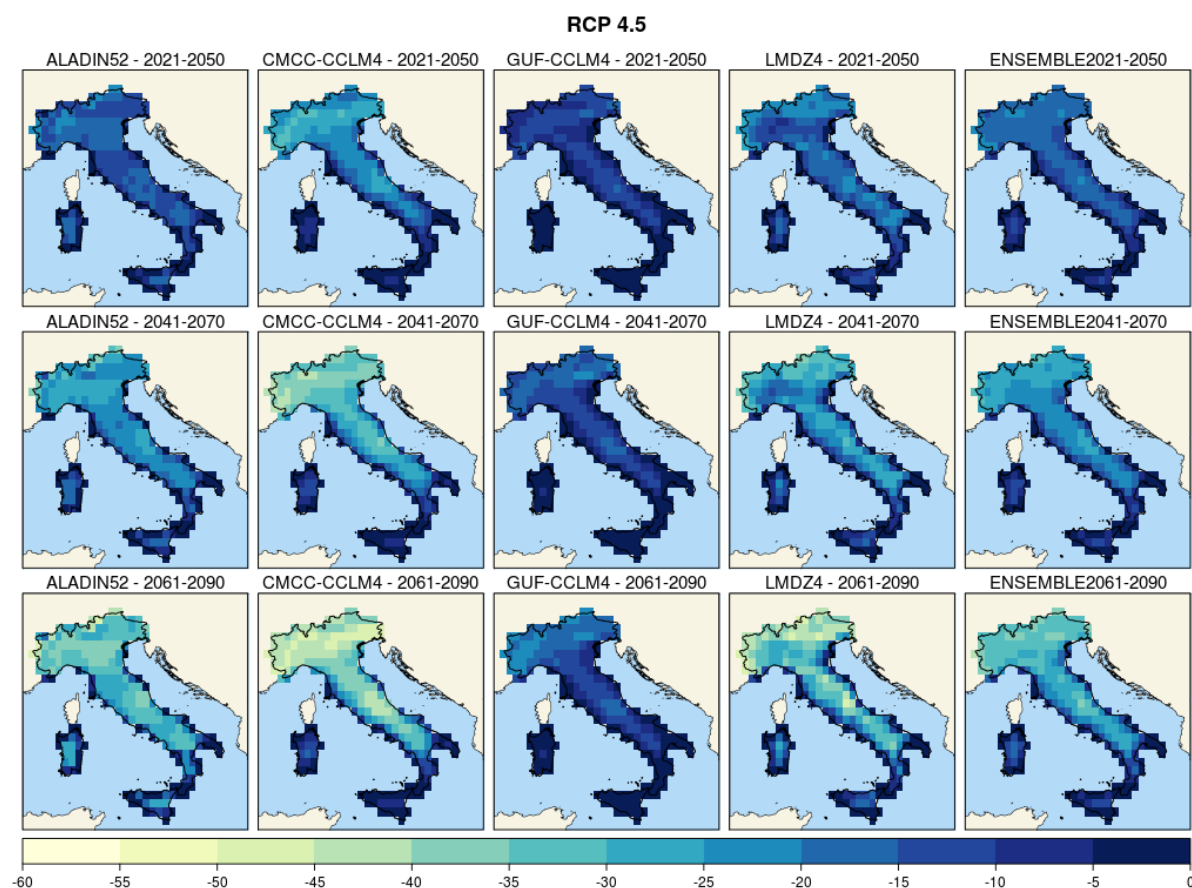


Figura 3.10 – Giorni con gelo, scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

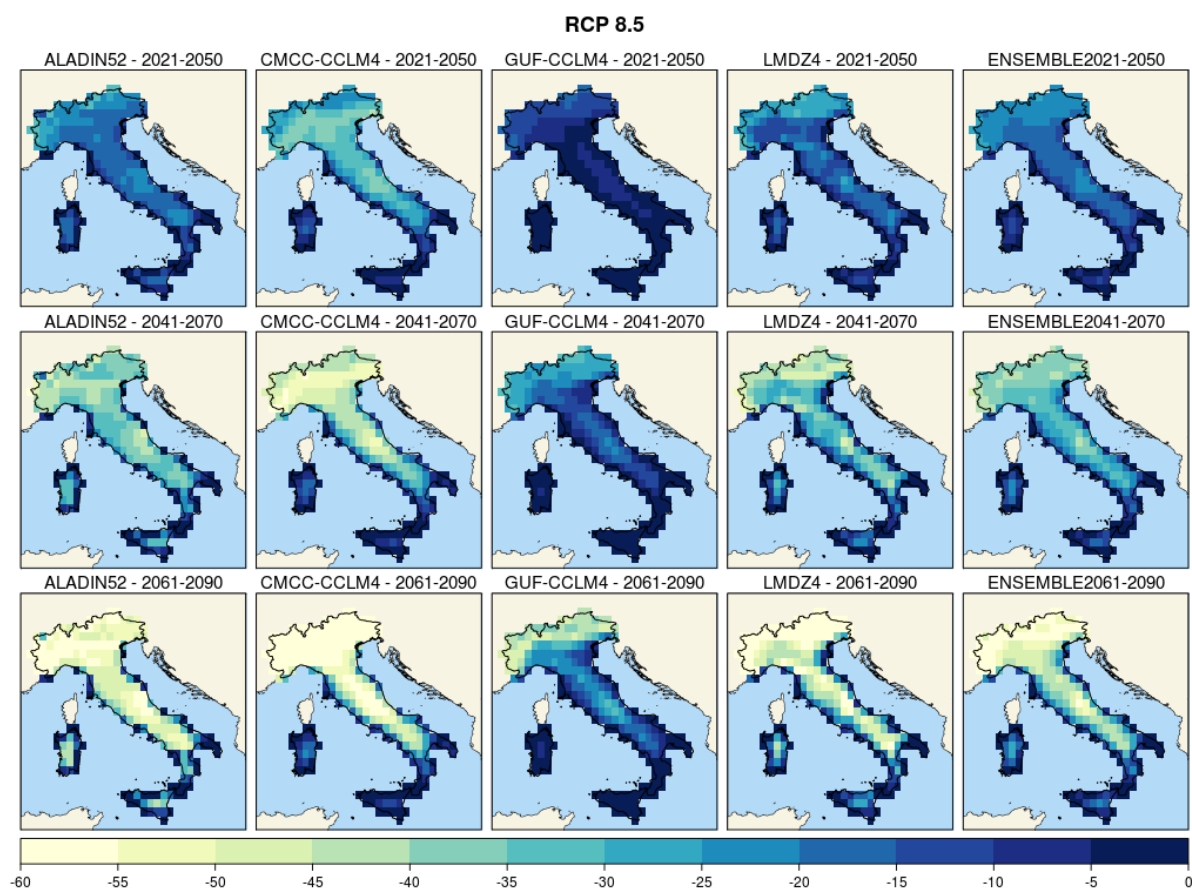


Figura 3.11 – Come in figura 3.10, scenario RCP8.5.

Tabella 3.5 – Giorni con gelo. Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale ensemble	Minimo nazionale
RCP4.5						
2021-2050	-11	-16	-6	-13	-12	-33
2041-2070	-17	-23	-8	-17	-16	-43
2061-2090	-23	-27	-10	-23	-21	-48
RCP8.5						
2021-2050	-15	-22	-6	-13	-14	-41
2041-2070	-27	-30	-12	-24	-23	-58
2061-2090	-37	-39	-18	-34	-32	-79

3.2.3 Giorni estivi

Le mappe delle variazioni del numero di giorni estivi (SU25) sono mostrate nelle figure 3.12 e 3.13, rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5. Tutti i modelli indicano un aumento del numero di giorni estivi rispetto al trentennio di riferimento 1971-2000 più marcato per lo scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5, con andamento crescente nel tempo, in accordo con quanto osservato per la temperatura media.

Al primo orizzonte temporale si osserva un discreto accordo fra i modelli riguardo all'entità dell'aumento dei giorni estivi, in particolare nello scenario RCP4.5; al secondo e al terzo orizzonte temporale, in corrispondenza di una maggiore divergenza tra le previsioni di temperatura media, anche gli aumenti medi di SU25 si differenziano maggiormente da modello a modello. Nel trentennio 2061-2090 si prevede un aumento medio da 19 a 35 giorni l'anno per lo scenario RCP4.5 e da 37 a 56 giorni l'anno per lo scenario RCP8.5, con valori decisamente più marcati per due modelli rispetto agli altri due (tabella 3.6).

Riguardo alla distribuzione geografica delle variazioni, non c'è accordo tra i modelli nell'individuare le aree più soggette all'aumento del numero di giorni estivi. Le mappe dell'*ensemble mean* mostrano una distribuzione delle variazioni abbastanza uniforme sul territorio nazionale, ad eccezione dell'area alpina per la quale l'indice SU25 non è significativo.

All'ultimo trentennio l'incremento medio del numero di giorni estivi è 29 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e di 46 giorni nello scenario RCP8.5 (tabella 3.6).

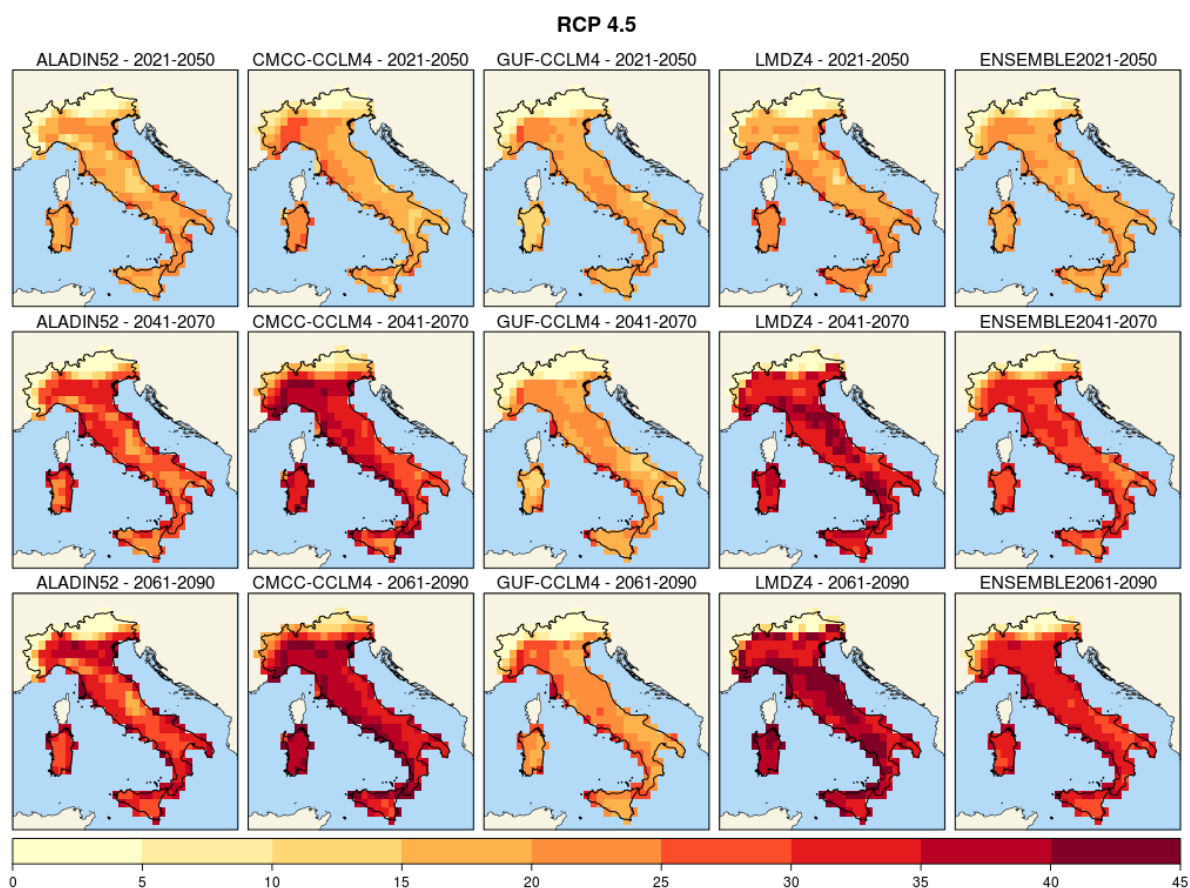


Figura 3.12 – Giorni estivi, scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

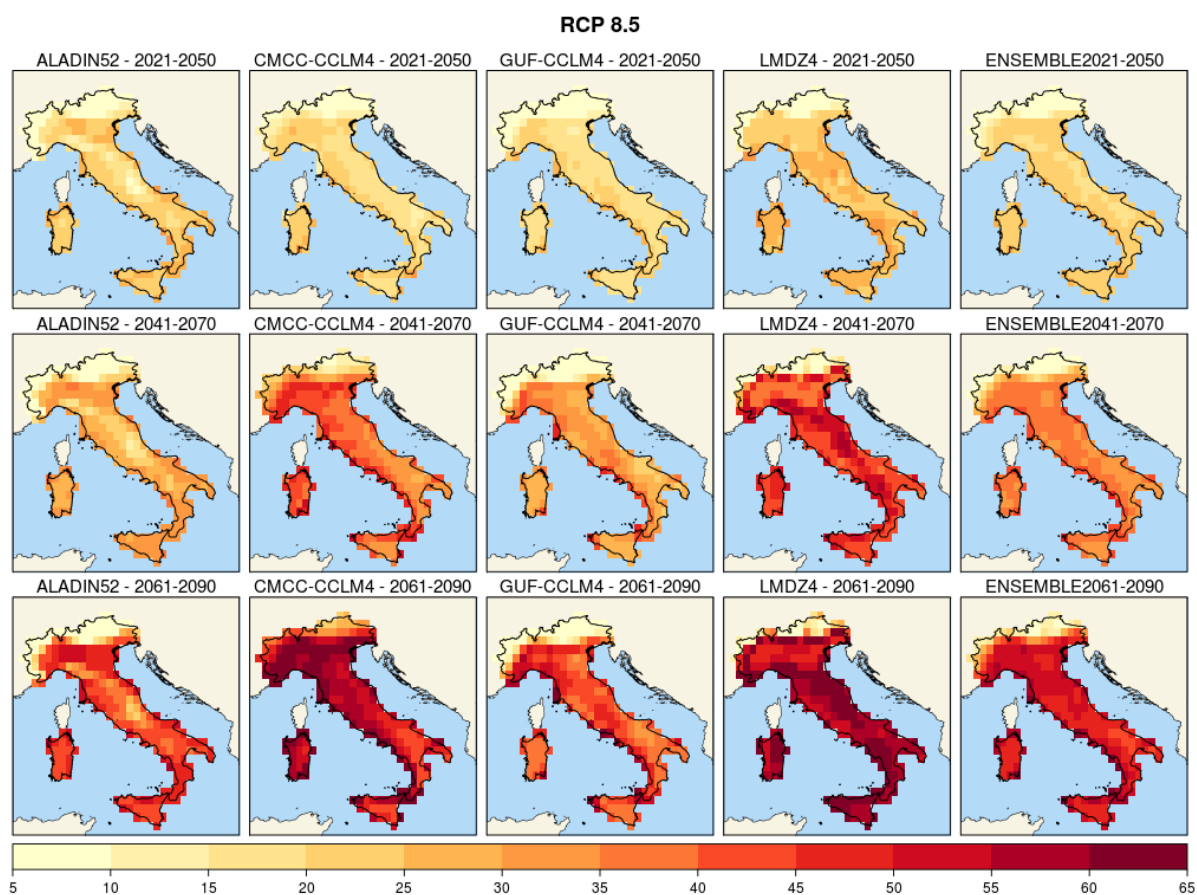


Figura 3.13 – Come in figura 3.12, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.6 – Giorni estivi. Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Massimo nazionale
RCP4.5						
2021-2050	16	18	15	17	17	31
2041-2070	24	31	17	31	26	45
2061-2090	27	34	19	35	29	52
RCP8.5						
2021-2050	19	18	16	22	19	33
2041-2070	25	37	27	42	32	58
2061-2090	37	55	37	56	46	80

3.2.4 Onde di calore

Anche le mappe relative alle onde di calore (WSDI) (figura 3.14 per lo scenario RCP4.5 e figura 3.15 per lo scenario RCP8.5) mostrano aumenti consistenti rispetto al valore medio di riferimento 1971-2000 su tutto il territorio nazionale, con un andamento crescente nel tempo. Gli incrementi dell'indice WSDI sono particolarmente sensibili nello scenario RCP8.5. Nel trentennio 2061-2090 i valori medi nazionali previsti dai quattro modelli variano da +30 a +93 giorni caratterizzati da onde di calore per lo scenario RCP4.5 e da +76 a +182 giorni nello scenario RCP8.5 (tabella 3.7).

Per quanto riguarda la distribuzione geografica delle variazioni, al secondo e al terzo orizzonte temporale per tre modelli su quattro il versante occidentale della Penisola è soggetto agli aumenti più sensibili.

Le mappe dell'*ensemble mean* presentano una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio nazionale, in entrambi gli scenari, nel trentennio 2021-2050. Al secondo e al terzo orizzonte temporale le mappe mettono in evidenza un aumento più sensibile al Nord e sul versante tirrenico, meno marcato sul versante adriatico. Gli incrementi sono comunque elevati, superiori ovunque a 40 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e a 60 giorni l'anno nello scenario RCP8.5.

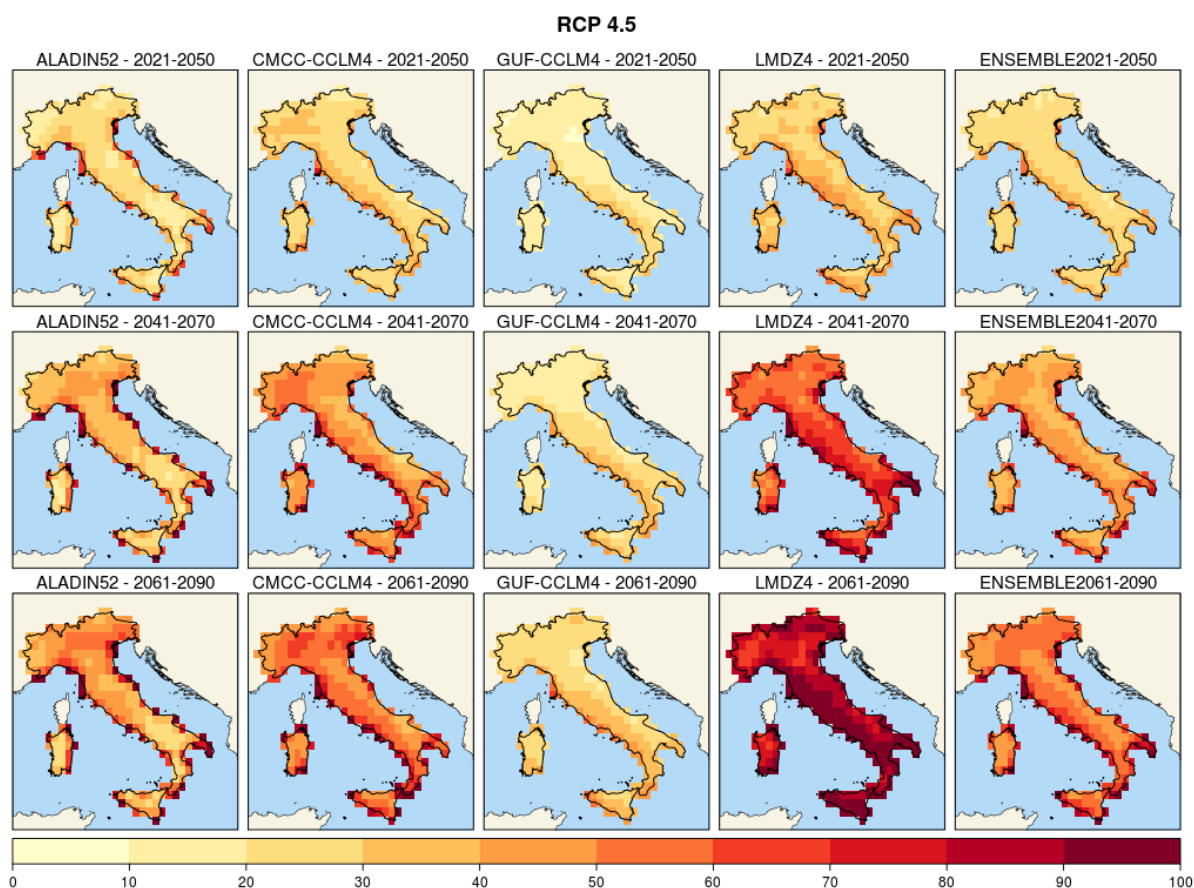


Figura 3.14 – Onde di calore (giorni), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'*ensemble mean* ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

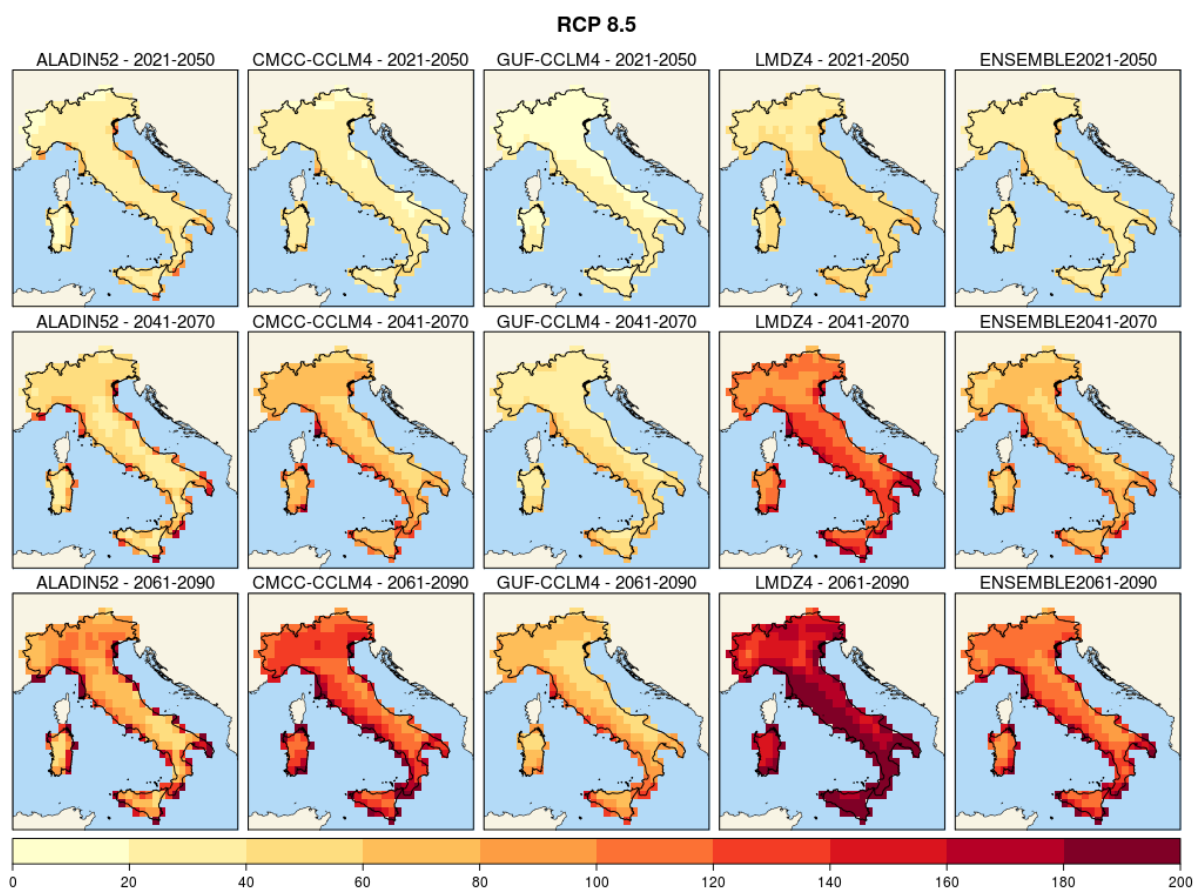


Figura 3.15 – Come in figura 3.14, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.7 – Onde di calore (giorni). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	29	30	18	34	27	8	88
2041-2070	42	50	24	66	46	12	125
2061-2090	53	60	30	93	59	17	160
RCP8.5							
2021-2050	34	28	21	46	32	10	125
2041-2070	59	75	43	119	74	25	156
2061-2090	102	136	76	182	124	44	182

3.2.5 Notti fredde

Le mappe delle variazioni delle notti fredde (TN10P) sono mostrate nelle figure 3.16 e 3.17, rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

I quattro modelli prevedono una consistente diminuzione delle notti fredde in entrambi gli scenari, progressivamente più marcata dal primo al terzo orizzonte temporale, più pronunciata nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5.

Due modelli mostrano riduzioni più marcate rispetto agli altri due in entrambi gli scenari.

Al terzo orizzonte temporale (2061-2090) le riduzioni medie sono superiori al 9% per due modelli su quattro nello scenario RCP4.5 (riduzione media di 8.3% per l'*ensemble mean*). Sempre nel trentennio 2061-2090, nello scenario RCP8.5 tutti i modelli prevedono diminuzioni medie superiori a 9% e raggiungono il 10% per due modelli, con una riduzione di 9.9% dell'*ensemble mean* (tabella 3.8). Considerando che il valore medio dell'indice TN10P nel periodo di riferimento 1971-2000 è circa uguale al 10%, queste proiezioni indicano che le notti fredde andranno progressivamente scomparendo nel futuro o rappresenteranno un evento molto raro.

Per quanto riguarda la distribuzione geografica delle variazioni, nello scenario RCP4.5 i modelli prevedono riduzioni del TN10P meno marcate al Nord (con differenze riguardo alle aree individuate) rispetto al resto della Penisola ai primi due orizzonti temporali (2021-2050 e 2041-2070); lo stesso accade per due modelli su quattro al terzo orizzonte temporale (2061-2090). Le riduzioni previste per il trentennio 2061-2090 sono comprese tra un minimo di 5.3% e un massimo di 10%.

Nello scenario RCP8.5, le mappe indicano alcune differenze tra i modelli ai primi due orizzonti temporali, mentre indicano una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio nel trentennio 2061-2090. L'*ensemble mean* mostra una distribuzione abbastanza uniforme in tutti gli orizzonti temporali, con riduzioni quasi ovunque maggiori di 9.5% nel trentennio 2061-2090.

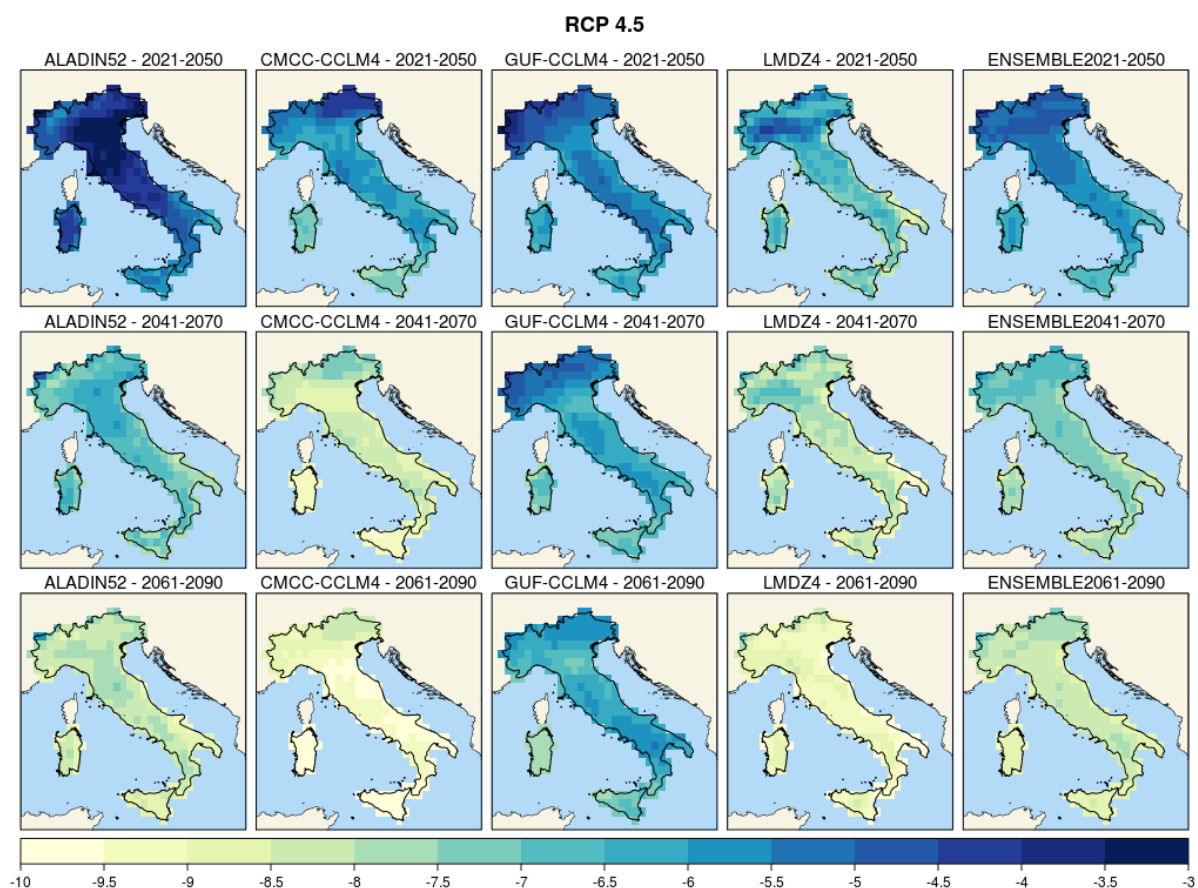


Figura 3.16 – Notti fredde (%), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

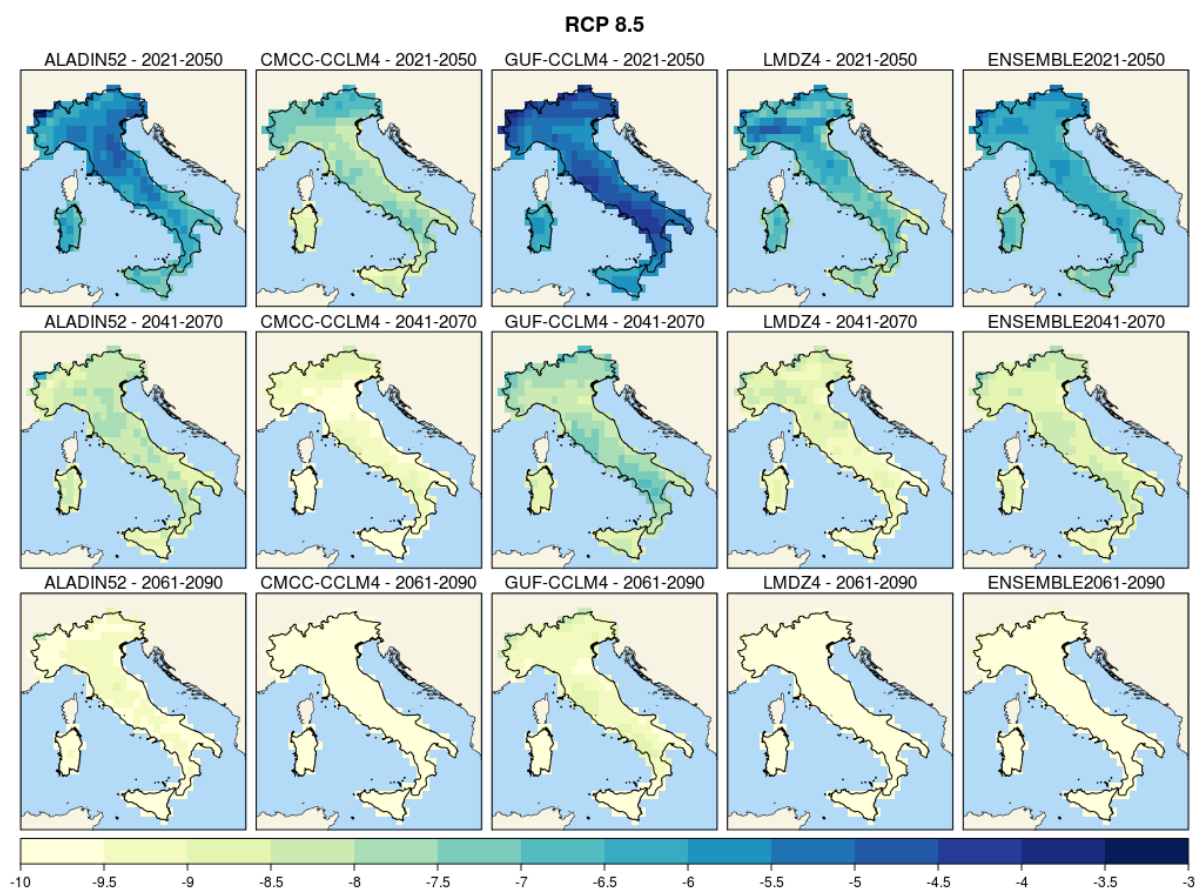


Figura 3.17 – Come in figura 3.16, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.8 – Notti fredde (%). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	-4.4	-6.0	-5.4	-6.7	-5.7	-8.7	-1.9
2041-2070	-6.9	-8.4	-6.1	-8.1	-7.4	-9.8	-4.5
2061-2090	-8.2	-9.4	-6.4	-9.2	-8.3	-10.0	-5.3
RCP8.5							
2021-2050	-6.0	-7.8	-5.2	-6.9	-6.5	-9.2	-3.1
2041-2070	-8.4	-9.4	-7.9	-9.0	-9.7	-10.0	-6.1
2061-2090	-9.6	-10.0	-9.3	-10.0	-9.9	-10.0	-8.2

3.2.6 Giorni freddi

Le mappe delle variazioni dei giorni freddi (TX10P) sono mostrate nelle figure 3.18 per lo scenario RCP4.5 e 3.19 per lo scenario RCP8.5.

Tutti i modelli prevedono una diminuzione dei giorni freddi, con caratteristiche analoghe alle notti fredde. Al terzo orizzonte temporale, nello scenario RCP4.5 la riduzione media è circa 9% per due modelli su quattro (riduzione media di 7.9% per l'*ensemble mean*); nello scenario RCP8.5 la riduzione è 9% circa per due modelli e 10% per gli altri due, con una diminuzione di 9.6% dell'*ensemble mean* (tabella 3.9).

Come osservato per le notti fredde, anche i giorni freddi tendono a progressivamente scomparire nel futuro, considerando che il valore medio dell'indice TX10P nel periodo di riferimento 1971-2000 è circa uguale al 10%.

Nello scenario RCP4.5 le mappe (figura 3.18) mostrano riduzioni del TX10P meno marcate sul versante orientale della Penisola rispetto al resto del territorio nazionale per tre dei quattro modelli. Al terzo orizzonte temporale (2061-2090) le variazioni sono comprese tra -4.6% e -10%.

Nello scenario RCP8.5, si osserva una distribuzione geografica simile a quella dello scenario RCP4.5, nei trentenni 2021-2050 e 2041-2070, mentre al terzo orizzonte temporale 2061-2090 la distribuzione è abbastanza uniforme, mostrando quasi ovunque riduzioni superiori a 9%.

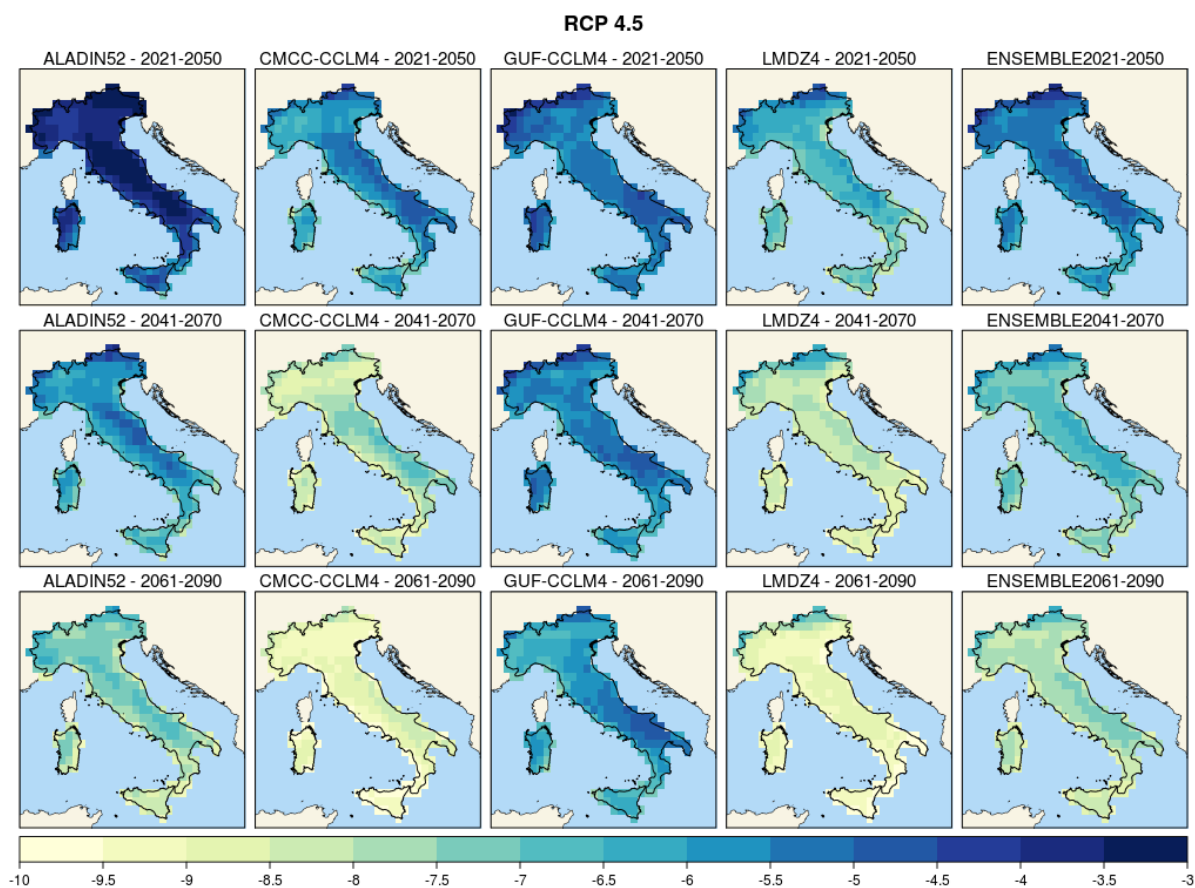


Figura 3.18 – Giorni freddi (%), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

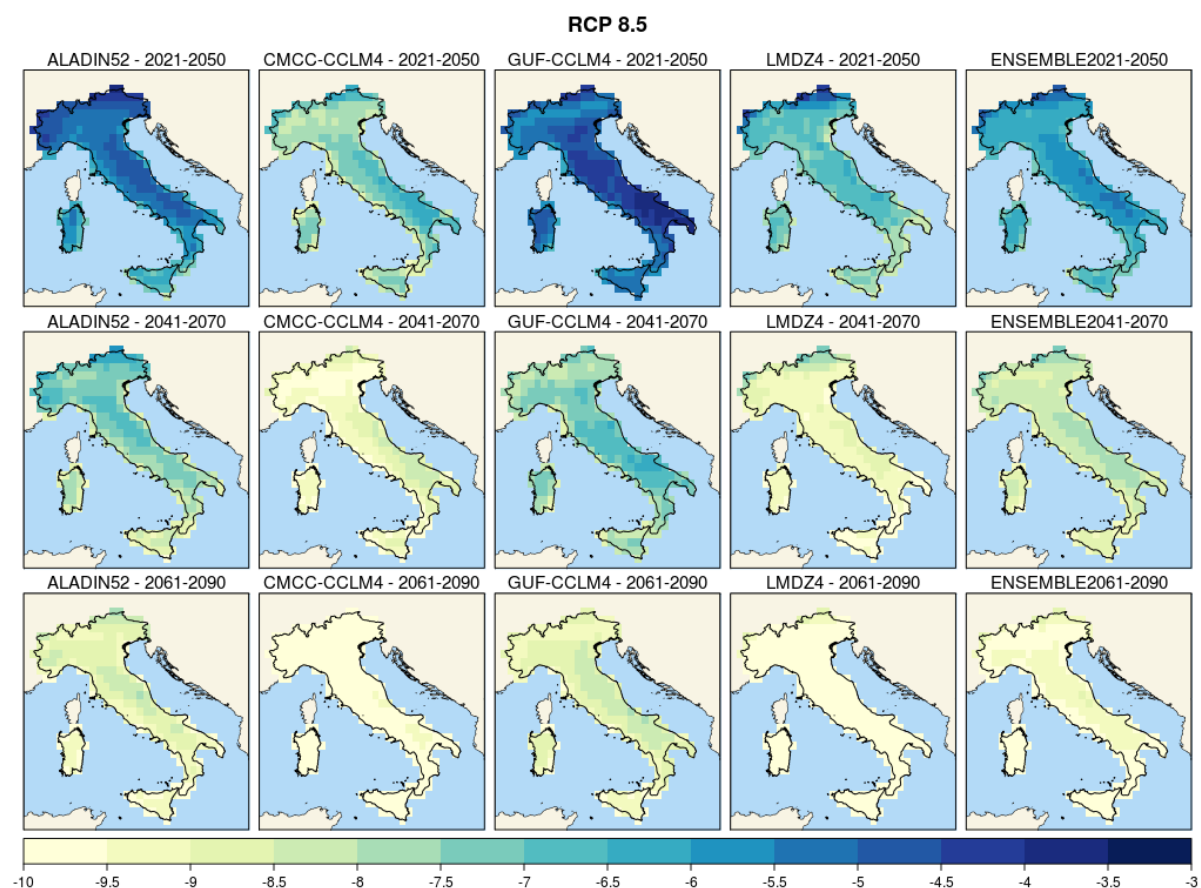


Figura 3.19 – Come in figura 3.18, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.9 – Giorni freddi (%). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	-4.0	-5.9	-5.2	-6.7	-5.5	-8.6	-1.9
2041-2070	-6.1	-8.1	-5.6	-8.2	-7.0	-9.5	-3.8
2061-2090	-7.6	-9.1	-6.0	-9.0	-7.9	-10.0	-4.6
RCP8.5							
2021-2050	-5.5	-7.6	-4.9	-7.0	-6.2	-9.5	-3.8
2041-2070	-7.6	-9.3	-7.5	-9.1	-8.4	-10.0	-5.5
2061-2090	-9.0	-10.0	-8.9	-10.0	-9.6	-10.0	-7.5

3.2.7 Notti calde

Le mappe relative alle notti calde (TN90P) (figura 3.20 per lo scenario RCP4.5 e figura 3.21 per lo scenario RCP8.5) mostrano aumenti consistenti rispetto al valore medio di riferimento 1971-2000 su tutto il territorio nazionale, con un andamento crescente nel tempo e variazioni più marcate nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5.

Nel trentennio 2061-2090 i valori medi nazionali previsti dai quattro modelli variano da +15.2% a +34.3% per lo scenario RCP4.5 e da +32.6% a +54.6% nello scenario RCP8.5 (tabella 3.10).

Per quanto riguarda la distribuzione geografica delle variazioni, nello scenario RCP4.5 tre modelli mostrano gli aumenti più marcati lungo le coste, in particolare al Sud, dove sono previste variazioni superiori a +32% al secondo e al terzo orizzonte temporale, e su alcune aree del Nord. Un modello prevede variazioni più modeste, con gli incrementi più elevati al Sud.

Le mappe relative allo scenario RCP8.5 mostrano una distribuzione simile a quella prevista nello scenario RCP4.5. Al terzo orizzonte temporale un modello indica aumenti superiori al 47% su quasi tutto il territorio nazionale.

Le mappe dell'*ensemble mean* presentano una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio nazionale, in entrambi gli scenari, nel trentennio 2021-2050. Al secondo e al terzo orizzonte temporale gli aumenti più sensibili si osservano lungo le coste, in particolare al Sud e su un'area del nord-est; si prevede un aumento medio del 25.2% nello scenario RCP4.5 e del 43.6% nello scenario RCP8.5 (tabella 3.10).

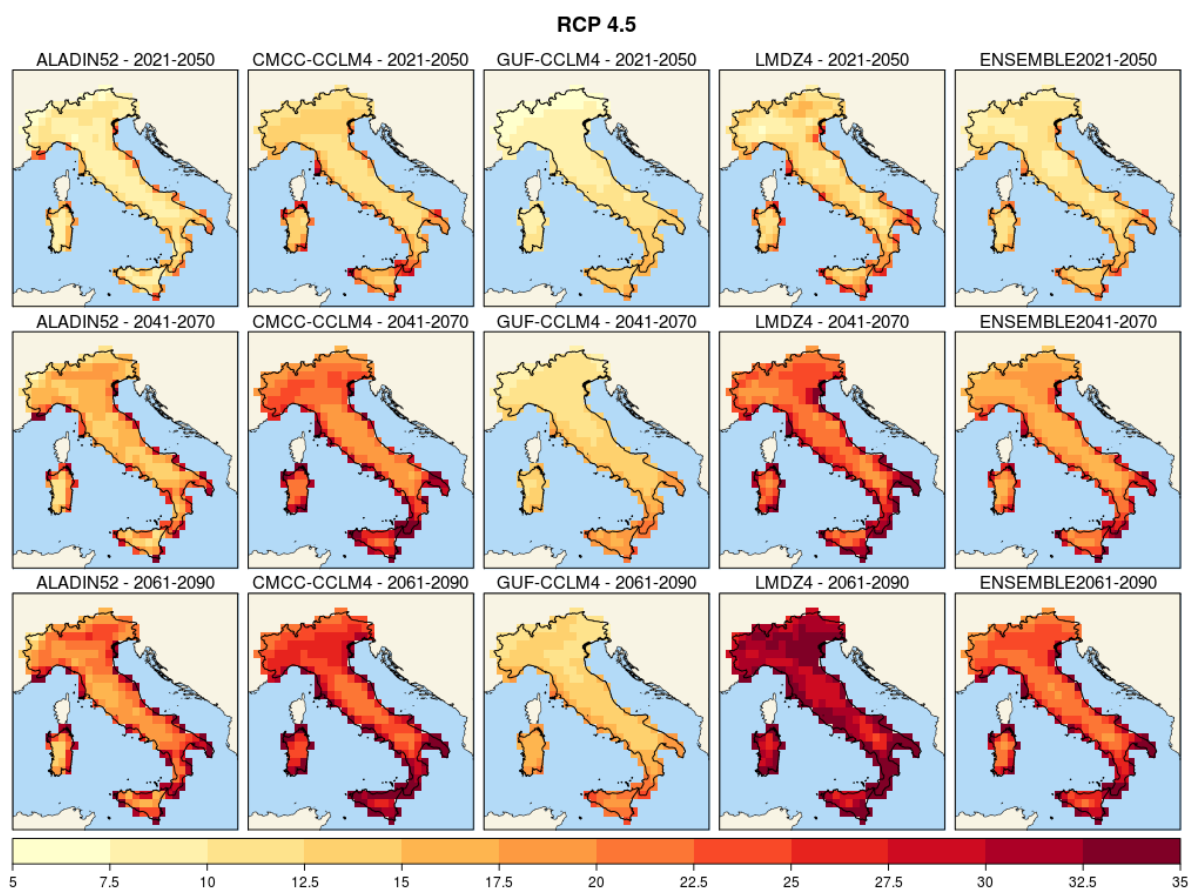


Figura 3.20 – Notti calde (%), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

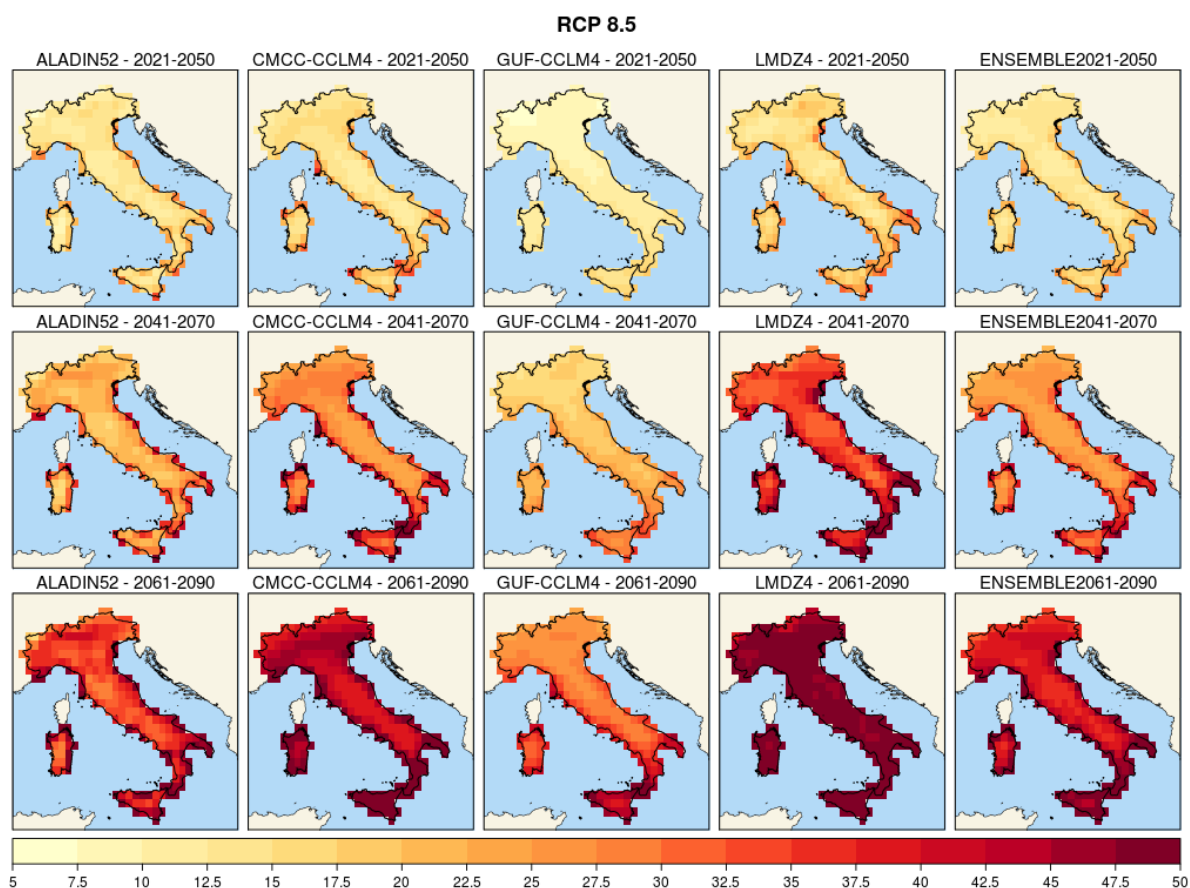


Figura 3.21 – Come in figura 3.20, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.10 – Notti calde (%). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	11.4	14.6	10.1	14.5	12.6	4.0	30.5
2041-2070	17.8	24.0	13.4	25.3	20.1	7.0	45.8
2061-2090	22.7	28.6	15.2	34.3	25.2	9.1	55.6
RCP8.5							
2021-2050	15.3	16.9	10.9	18.4	15.4	6.6	36.5
2041-2070	25.1	31.1	21.3	38.3	28.9	10.5	62.2
2061-2090	39.0	48.2	32.6	54.6	43.6	16.5	76.4

3.2.8 Giorni caldi

La variazione del numero di giorni caldi (TX90P) rispetto al trentennio 1971-2000, per i tre orizzonti temporali 2021-2051, 2041-2071 e 2061-2090 è mostrata nelle mappe delle figure 3.22 e 3.23, rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

Anche le mappe dei giorni caldi mostrano aumenti consistenti su tutto il territorio nazionale, con un andamento crescente nel tempo e variazioni più marcate nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5.

Nel trentennio 2061-2090 i valori medi nazionali previsti dai quattro modelli variano da +21.5% a +32.9% (*ensemble mean* +23.0) per lo scenario RCP4.5 e da +29.1% a +56.0% (*ensemble mean* +41.4) nello scenario RCP8.5 (tabella 3.11). Confrontando queste proiezioni con quelle dell'indice TN90P (tabella 3.10), si osserva che l'*ensemble mean* indica aumenti medi più pronunciati per le notti calde che per i giorni caldi, in entrambi gli scenari (fa eccezione il primo orizzonte temporale, scenario RCP4.5).

Per quanto riguarda la distribuzione geografica delle variazioni, nello scenario RCP4.5 al secondo e al terzo orizzonte temporale gli aumenti più sensibili sono previsti sul versante occidentale della Penisola e su parte dell'Italia settentrionale per tre modelli su quattro. Nello scenario RCP8.5 tre modelli mostrano la stessa distribuzione, mentre un modello indica aumenti piuttosto uniformi su tutto il territorio, superiori ovunque al 42% al terzo orizzonte temporale.

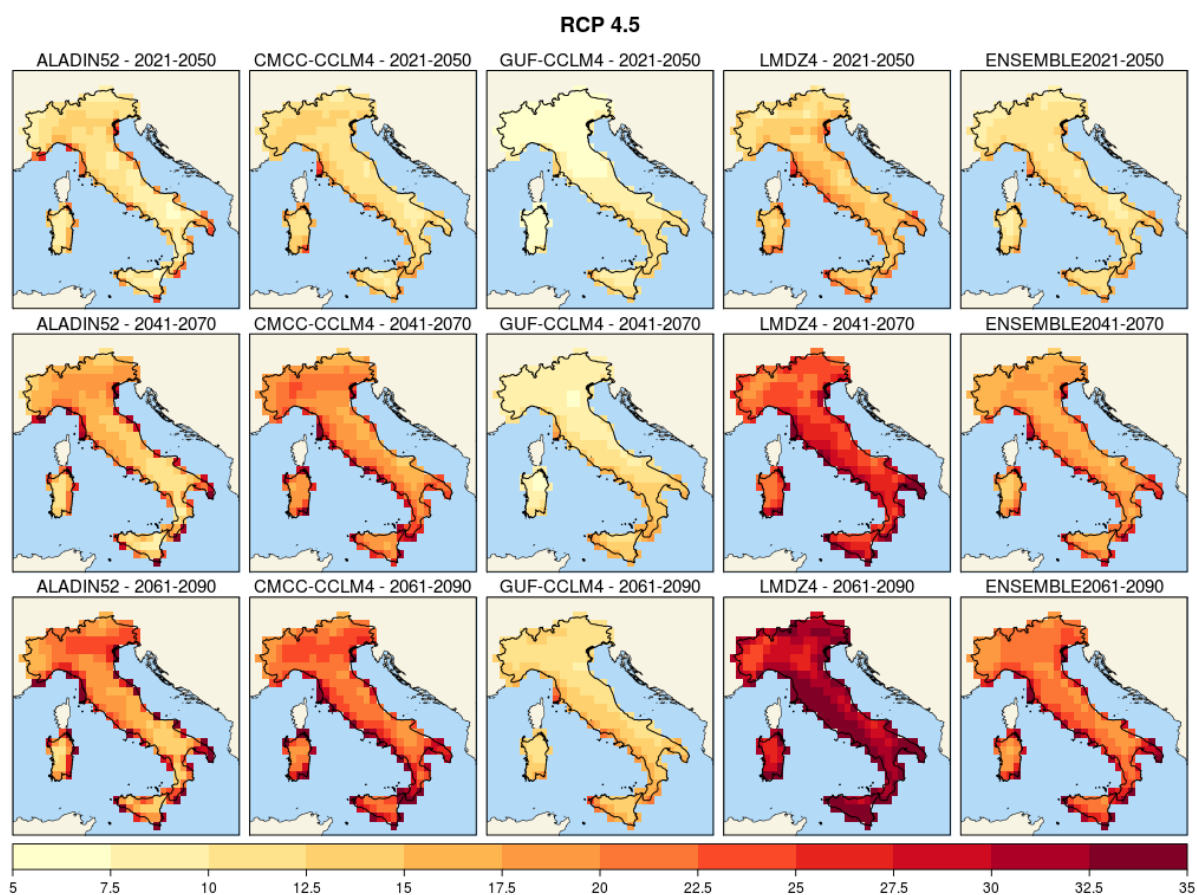


Figura 3.22 – Giorni caldi (%), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

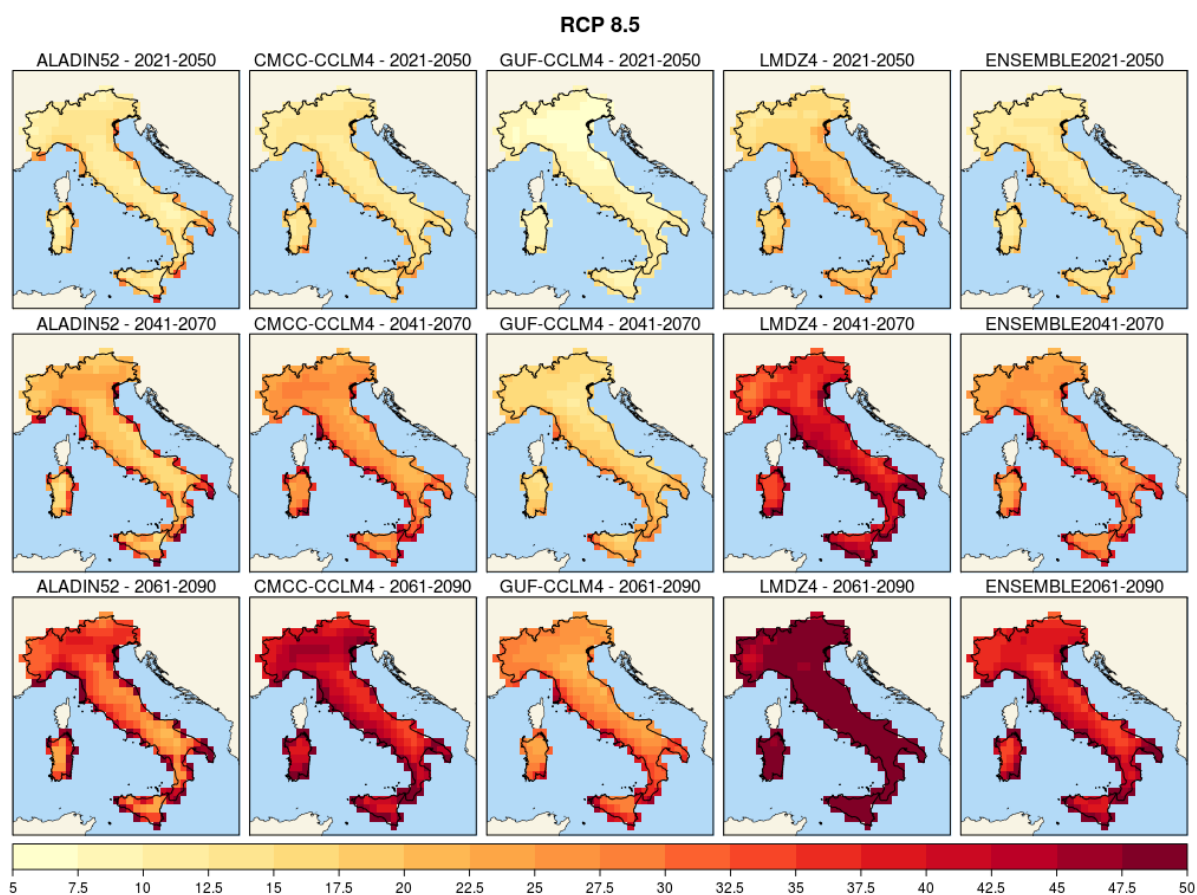


Figura 3.23 – Come in figura 3.22, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 3.11 – Giorni caldi (%). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	12.3	12.7	8.2	15.0	12.0	4.8	27.0
2041-2070	17.5	20.7	10.8	25.8	18.7	8.8	41.4
2061-2090	21.5	24.3	13.4	32.9	23.0	9.6	49.7
RCP8.5							
2021-2050	14.4	14.2	9.2	19.1	14.2	5.9	35.3
2041-2070	24.0	27.9	18.3	40.1	27.6	12.0	56.8
2061-2090	36.3	44.1	29.1	56.0	41.4	20.6	73.6

4. PRECIPITAZIONE

4.1 Variazione dei totali di precipitazione

4.1.1 Media nazionale

Nello scenario RCP4.5 (figura 4.1), tre modelli su quattro prevedono una diminuzione della precipitazione cumulata annuale in un secolo compresa tra 6 e 75 mm; un modello prevede invece un aumento di 61 mm. Ne risulta, come *ensemble mean* dei modelli, una debole riduzione della precipitazione di 13 mm. Il *range* delle proiezioni dei modelli al 2071-2100 in percentuale va da una diminuzione dell'8% a un aumento del 5%, con una diminuzione del 1.5% dell'*ensemble mean*; per tradurre i valori percentuali in millimetri, va considerato che il valore medio della precipitazione cumulata annuale in Italia dell'*ensemble mean* nel trentennio di riferimento è di circa 900 mm.

Anche nello scenario RCP8.5 (figura 4.1) tre modelli su quattro prevedono una diminuzione della precipitazione cumulata annuale in un secolo, compresa tra 74 e 117 mm; un modello prevede invece un aumento di 22 mm. La media tra i modelli indica una diminuzione di 71 mm. Il *range* delle proiezioni dei modelli in percentuale va da una diminuzione del 15% a un aumento del 2%, con una diminuzione dell'8% dell'*ensemble mean*.

In entrambi gli scenari, nel corso di quasi tutto il secolo le variazioni si mantengono negative per tre modelli e positive per un modello, con un andamento più irregolare rispetto alla temperatura.

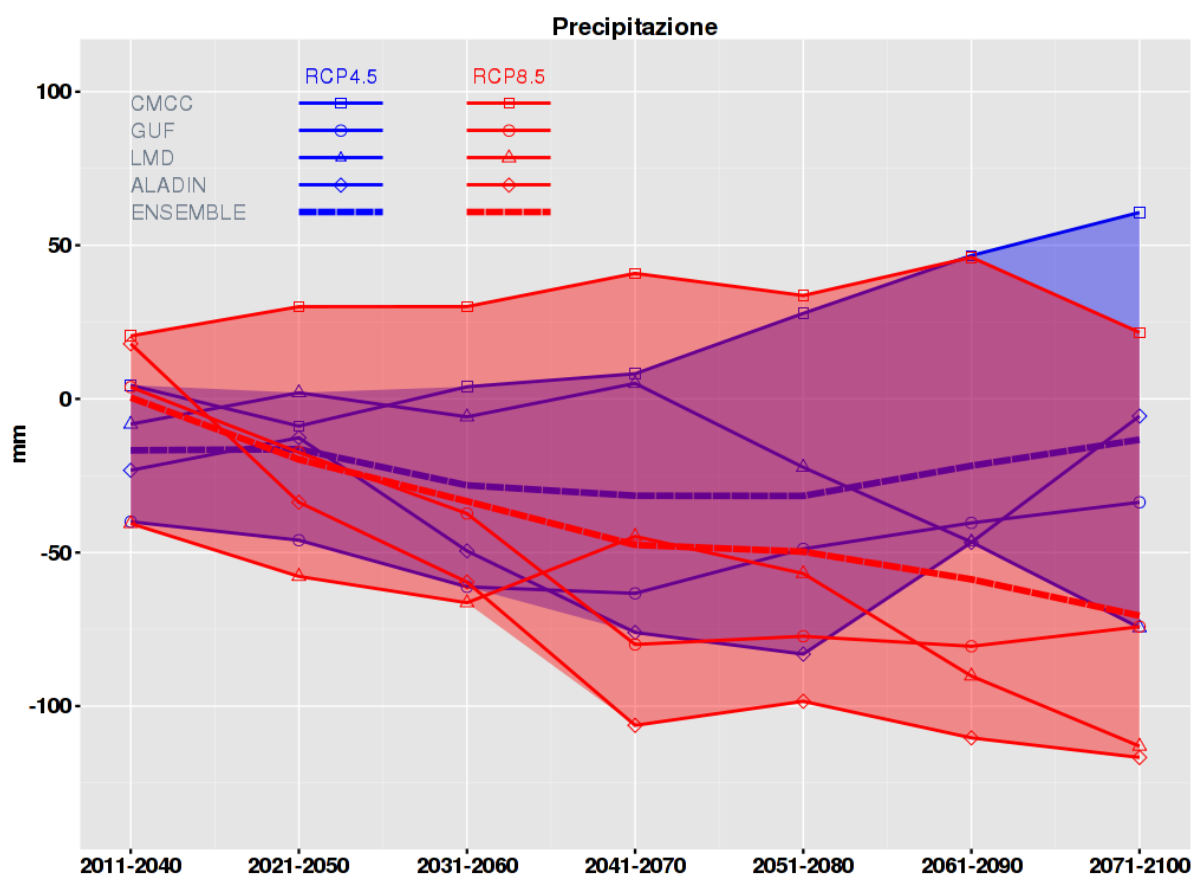


Figura 4.1 – Precipitazione cumulata. Variazioni rispetto alla media 1971-2000 dei valori previsti dai quattro modelli (media su periodi di 30 anni) nei due scenari RCP4.5 (blu) e RCP8.5 (rosso). L'area colorata rappresenta lo spread delle previsioni dei modelli mentre la linea tratteggiata indica la media delle variazioni previste dai modelli (*ensemble mean*).

4.1.2 Distribuzione spaziale

Diversamente dalla temperatura, l'andamento nel tempo e la distribuzione delle precipitazioni cumulate annuali sono piuttosto diversificati da modello a modello (figura 4.2). Al primo orizzonte temporale (trentennio 2021-2050) solo un modello prevede una diminuzione delle precipitazioni su quasi tutto il territorio nazionale, più marcata sull'Italia settentrionale, con punte da 150 a 200 mm di diminuzione rispetto al 1971-2000. Per gli altri modelli, l'Italia si divide tra aree in cui si prevede una diminuzione e aree in cui si prevede un aumento della precipitazione, di entità debole o moderata (inferiore a 100 mm di variazione in valore assoluto). Le aree con variazione positiva o negativa sono diverse da modello a modello. Come *ensemble mean*, ne risulta una debole diminuzione della precipitazione piuttosto uniforme su tutto il territorio nazionale.

Il quadro cambia ulteriormente se si guarda all'ultimo orizzonte temporale (2061-2090) con un modello che prevede un aumento delle precipitazioni quasi ovunque, ad eccezione del versante tirrenico centrale, mentre gli altri prevedono una più diffusa diminuzione delle precipitazioni, di intensità debole o moderata. Anche in questo caso non c'è uniformità nella individuazione delle aree con le variazioni più marcate. La media delle variazioni previste dai quattro modelli (*ensemble mean*) è rappresentata ancora da una distribuzione abbastanza uniforme di valori prevalentemente negativi ma con segnale debole.

Anche nello scenario RCP8.5 i modelli forniscono indicazioni diverse riguardo alla distribuzione delle precipitazioni sul territorio (figura 4.3).

Al primo orizzonte temporale solo un modello prevede una diminuzione delle precipitazioni su quasi tutto il territorio nazionale; due modelli indicano una riduzione debole o moderata (inferiore ai 100 mm) su gran parte dell'Italia ed un debole aumento al nord-est; un modello mostra una prevalenza di aree caratterizzate da deboli aumenti delle precipitazioni, con valori più marcati sull'arco alpino orientale (variazioni superiori a 100 mm).

La mappa dell'*ensemble mean* mostra una debole diminuzione della precipitazione piuttosto uniforme su gran parte del territorio, ad eccezione dell'Italia nord-orientale per la quale risulta un debole aumento.

Al secondo (2041-2070) e al terzo orizzonte temporale (2061-2090) tre modelli mostrano una riduzione delle precipitazioni su quasi tutto il territorio nazionale, anche se con indicazioni discordanti sulle aree con diminuzione più marcata. Un modello prevede invece un aumento delle precipitazioni sull'arco alpino e sul versante adriatico e ionico. La media delle variazioni previste dai quattro modelli indica una diminuzione delle precipitazioni diffusa ma di entità debole o moderata per entrambi i trentenni.

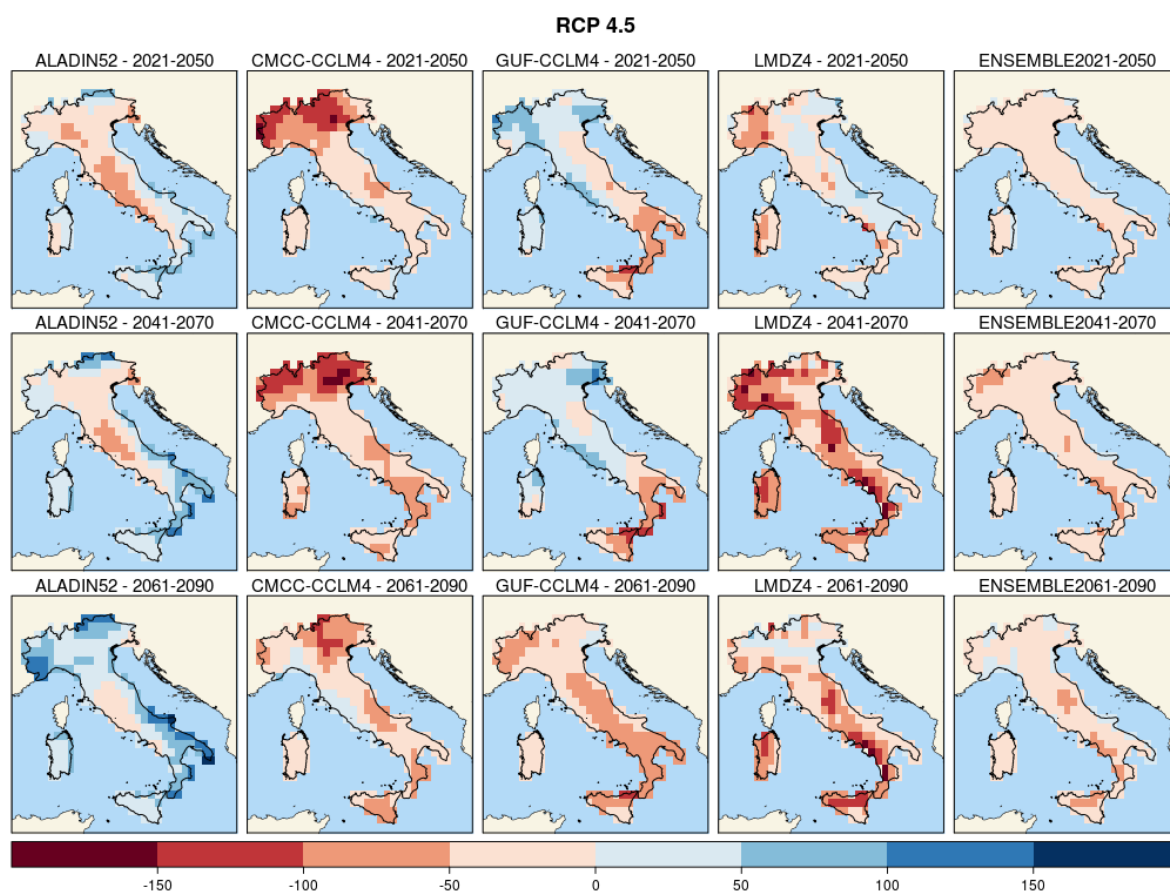


Figura 4.2 – Precipitazione cumulata (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

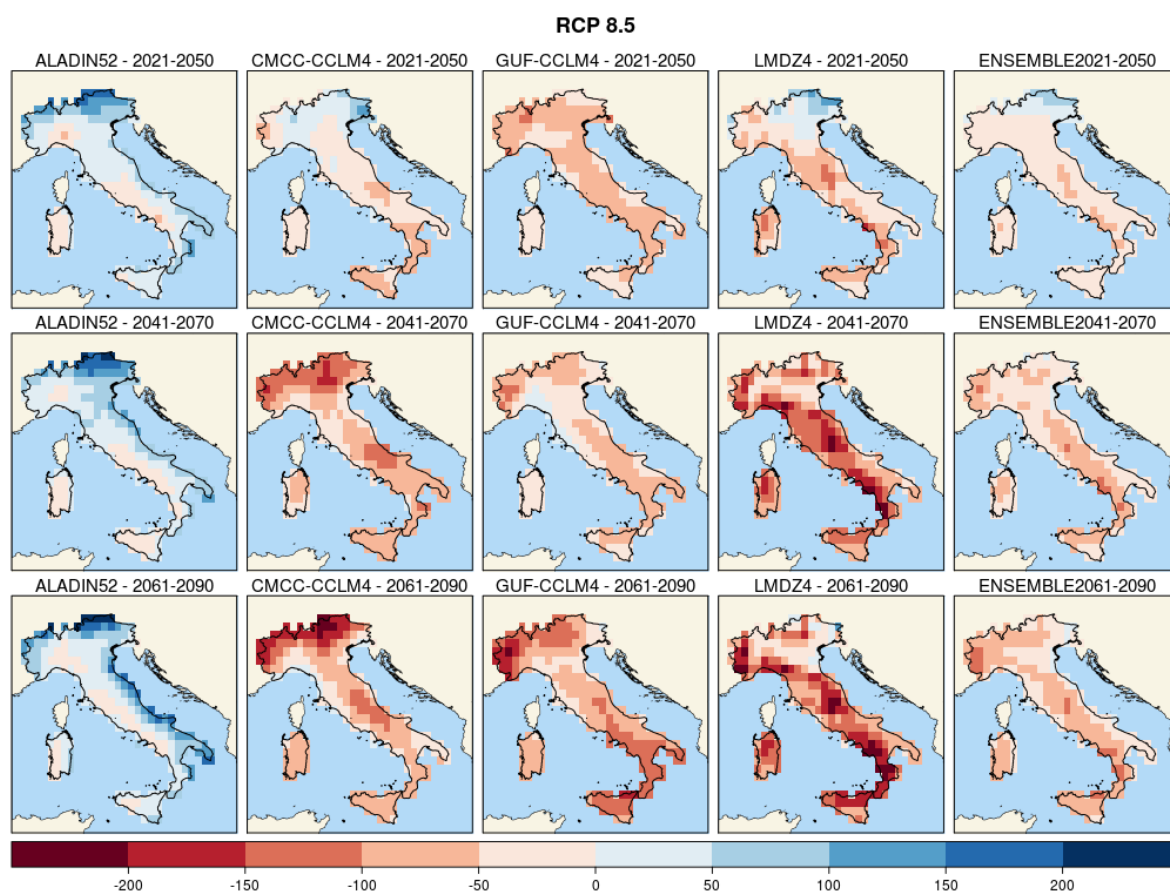


Figura 4.3 – Come in figura 4.2, per lo scenario RCP8.5.

4.1.3 Stagionalità

Le variazioni di precipitazione cumulata (media nazionale) previste dai modelli sono state analizzate aggregando i dati per stagione e quindi confrontando le variazioni previste (tabella 4.1).

L'inverno è l'unica stagione in cui si prevede un debole aumento della precipitazione cumulata: l'incremento dell'*ensemble mean* è di 22 mm in un secolo (con incrementi previsti dai modelli compresi fra 7 e 41 mm) nello scenario RCP4.5 e di 18 mm nello scenario RCP8.5 (con variazioni previste dai modelli comprese fra -3 e 51 mm). Nelle altre stagioni l'*ensemble mean* indica una diminuzione delle precipitazioni, più marcata per lo scenario RCP8.5 che per lo scenario RCP4.5. Tuttavia, l'intervallo delle variazioni previste dai modelli è piuttosto ampio e in diversi casi anche il segno della variazione è discordante.

Le riduzioni più significative dell'*ensemble mean* rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 si prevedono in primavera e in estate; nello scenario RCP4.5 in primavera (-17 mm in un secolo, cioè una diminuzione del 7% rispetto alla media 1971-2000), ma con un intervallo che va da un minimo di -27 mm previsto da un modello, a un massimo di +12 mm previsto da un altro modello; nello scenario RCP8.5 in estate (-39 mm in un secolo, cioè una diminuzione del 22% rispetto alla media 1971-2000), ma con un intervallo che va da un minimo di -67 mm previsto da un modello, a un massimo di +41 mm previsto da un altro modello.

Per ogni modello, la distribuzione delle variazioni stagionali medie sul territorio nazionale agli orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, è rappresentata graficamente tramite box-plot (figura 4.4 nello scenario RCP4.5 e figura 4.5 nello scenario RCP8.5).

Le variazioni della precipitazione cumulata annuale sono caratterizzate da un intervallo tra le due aree con variazioni estreme (positive o negative) dell'ordine di alcune centinaia di mm; le variazioni stagionali mostrano, in molti casi, la presenza contemporanea di aree in cui si prevede un aumento e aree in cui si prevede una diminuzione delle precipitazioni (come già evidente dalle mappe delle figure 4.2 e 4.3).

In entrambi gli scenari, l'inverno è la stagione per la quale le proiezioni dei modelli risultano maggiormente in accordo, mentre in estate si registrano le discrepanze più significative; in particolare, al secondo e terzo orizzonte temporale, in estate un modello prevede un prevalente aumento e gli altri tre una prevalente diminuzione delle precipitazioni.

Per un'analisi più quantitativa, nelle tabelle 4.2 (scenario RCP4.5) e 4.3 (scenario RCP8.5) sono riportati per ogni modello i valori medi stagionali e annuali previsti nei tre orizzonti temporali, insieme alla variazione dell'*ensemble mean* e alla minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

I valori medi nazionali risultano prevalentemente in modesta diminuzione in primavera, estate e autunno, e in modesto aumento in inverno. Localmente, la variazione della precipitazione cumulata assume valori di rilievo, fino a punte di riduzione di 150-200 mm in primavera o in estate, e di aumento di 100-150 mm in inverno.

Diversamente dalla temperatura, la distribuzione dei valori di precipitazione non presenta differenze molto marcate tra i due scenari. Per la cumulata annuale, al 2061-2090, il modello più "piovoso" prevede variazioni comprese tra -34 e +168 mm nello scenario RCP4.5, contro variazioni comprese tra -52 e +197 mm nello scenario RCP8.5. Analogamente, il modello più "secco" prevede variazioni comprese tra -225 e +54 mm nello scenario RCP4.5, contro variazioni comprese tra -347 e +108 mm nello scenario RCP8.5.

Tabella 4.1 - Variazioni (mm) della precipitazione cumulata stagionale (media nazionale) del trentennio 2071-2100 rispetto al trentennio 1971-2000.

	Scenario RCP4.5		Scenario RCP8.5	
	ΔP ensemble mean	Spread	ΔP ensemble mean	Spread
STAGIONE				
Primavera	-17	39	-32	27
Estate	-13	53	-39	80
Autunno	-6	53	-18	9
Inverno	+22	35	+18	33

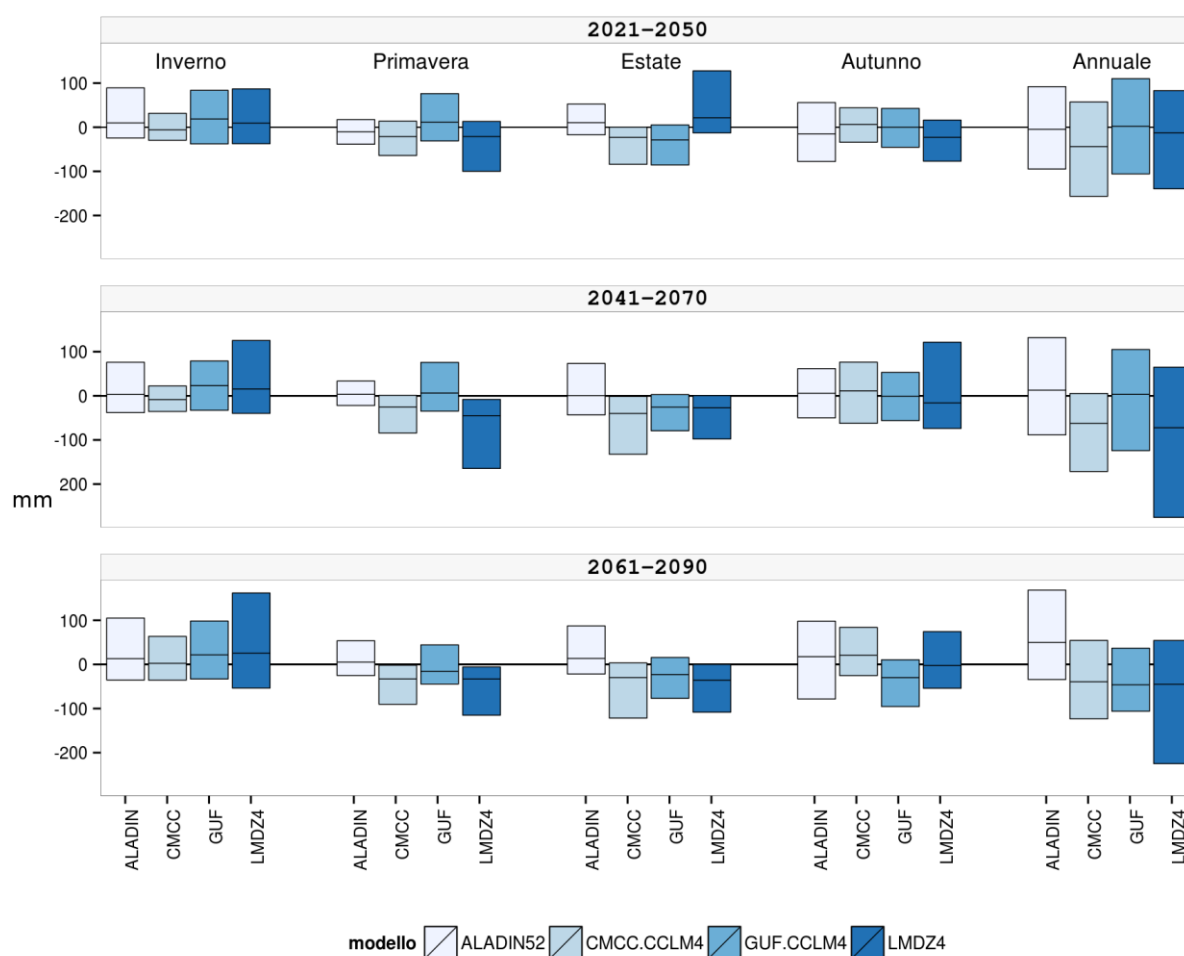


Figura 4.4 – Precipitazione cumulata (mm), scenario RCP4.5. Box-plot delle variazioni stagionali e annuali previste dai modelli ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090.

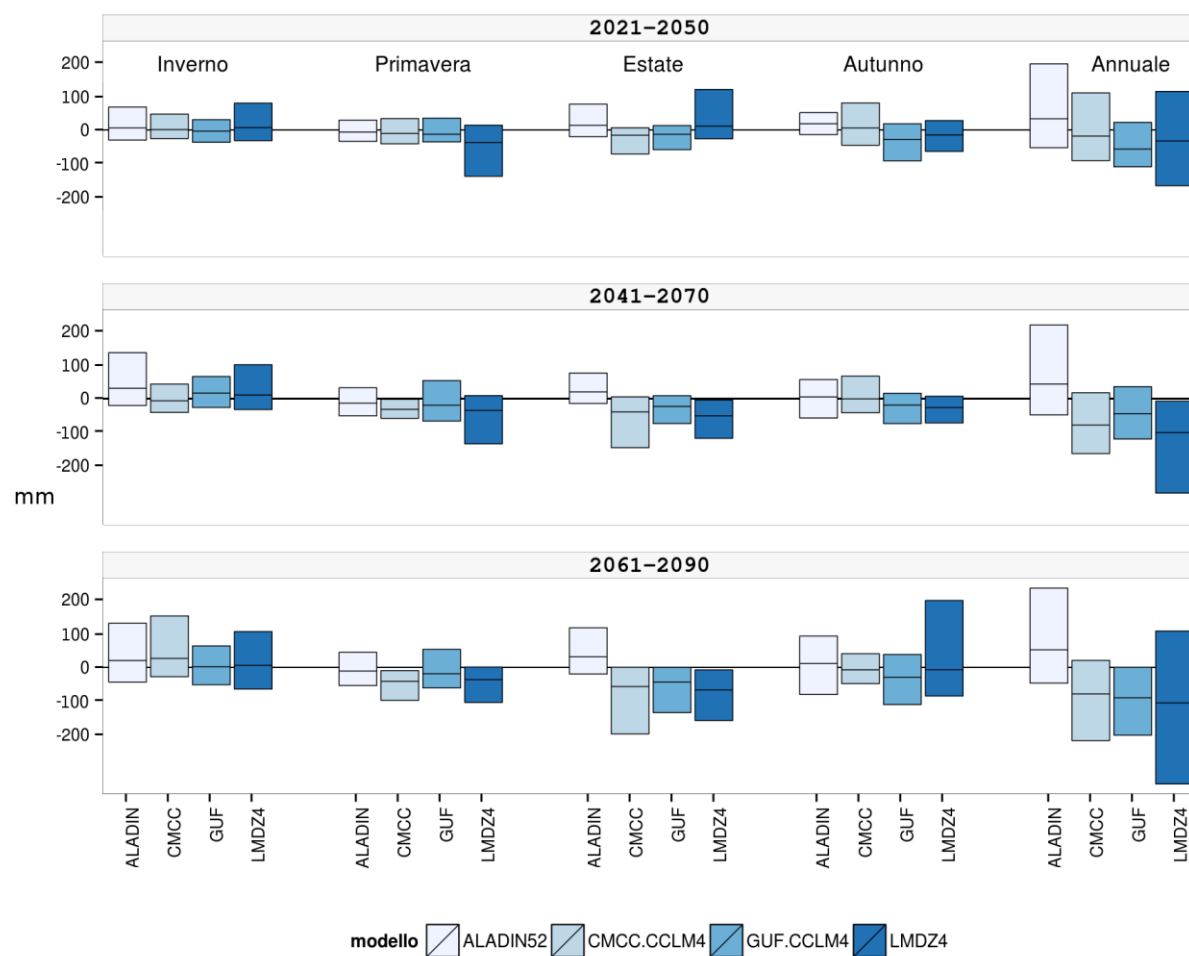


Figura 4.5 – Come in figura 4.4, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 4.2 – Precipitazione cumulata, scenario RCP4.5. Valori medi nazionali (mm) delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
2021-2050							
Inverno	10	-6	19	9	8	-38	89
Primavera	-10	-21	11	-21	-10	-100	76
Estate	10	-23	-29	21	-5	-85	128
Autunno	-15	6	0	-23	-8	-78	56
Annuale	-5	-44	2	-13	-15	-156	110
2041-2070							
Inverno	3	-8	23	15	8	-40	125
Primavera	3	-25	6	-45	-15	-165	76
Estate	1	-40	-26	-27	-23	-132	73
Autunno	6	11	-1	-16	0	-74	121
Annuale	13	-63	3	-72	-30	-275	132
2061-2090							
Inverno	13	2	22	26	16	-54	162
Primavera	5	-33	-16	-33	-19	-115	53
Estate	13	-30	-23	-36	-19	-122	87
Autunno	18	21	-30	-2	1	-95	98
Annuale	50	-39	-46	-45	-20	-225	168

Tabella 4.3 – Come in tabella 4.2, per lo scenario RCP8.5.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ4	Media nazionale-ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
2021-2050							
Inverno	6	2	-3	7	3	-36	80
Primavera	-6	-10	-12	-37	-16	-138	35
Estate	14	-15	-13	11	-1	-71	121
Autunno	19	6	-28	-15	-4	-91	81
Annuale	34	-18	-57	-32	-18	-166	197
2041-2070							
Inverno	31	-6	17	11	13	-41	137
Primavera	-14	-32	-20	-35	-25	-134	54
Estate	20	-40	-23	-51	-23	-146	76
Autunno	5	-1	-19	-26	-10	-74	67
Annuale	44	-78	-44	-101	-45	-281	219
2061-2090							
Inverno	20	26	2	6	13	-65	152
Primavera	-11	-42	-19	-37	-27	-105	53
Estate	31	-57	-44	-68	-34	-198	117
Autunno	11	-8	-30	-7	-8	-111	199
Annuale	52	-79	-91	-106	-56	-347	235

4.2 Variazione di intensità ed estremi

4.2.1 Intensità di precipitazione giornaliera

Le figure 4.6 e 4.7 mostrano la distribuzione spaziale dell'intensità di precipitazione giornaliera (SDII) rispettivamente per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

Nello scenario RCP4.5 al primo e al secondo orizzonte temporale un modello prevede un aumento dell'indice SDII su quasi tutto il territorio nazionale, più marcato sull'Italia centrale (fra 1 e 1.5 mm/giorno nel trentennio 2041-2070); gli altri tre modelli indicano aree in cui si prevedono aumenti o diminuzioni dell'intensità di precipitazione giornaliera, in prevalenza di debole entità.

Nel trentennio 2061-2090 tutti i modelli indicano un aumento più diffuso dell'indice SDII. Gli aumenti più marcati, compresi fra 1 e 1.5 mm/giorno sono previsti da uno dei modelli, sulle regioni nord-occidentali e sul versante tirrenico settentrionale e centrale.

Nello scenario RCP8.5 solo un modello prevede alcune aree soggette ad una riduzione dell'intensità di precipitazione giornaliera, mentre gli altri tre mostrano un generale aumento su quasi tutto il territorio nazionale. Il modello che mostra gli aumenti più consistenti, nel trentennio 2061-2090 indica un incremento compreso fra 1.5 e 2 mm/giorno sulla Liguria, sulle regioni dell'Alto Adriatico e sul versante tirrenico.

In entrambi gli scenari le mappe dell'*ensemble mean* indicano un debole aumento su quasi tutto il territorio nazionale al primo orizzonte temporale. Nei trentenni successivi alcune aree sono soggette ad aumenti più marcati. I valori medi nazionali al terzo orizzonte temporale (tabella 4.4) indicano aumenti di 0.4 e 0.6 mm/giorno rispettivamente negli scenari RCP4.5 e RCP8.5, che corrispondono al 5 e al 6% circa rispetto ai valori medi osservati nel periodo di riferimento 1971-2000.

Considerando che l'*ensemble mean* dei modelli mostra una diminuzione della precipitazione totale (figure 4.2 e 4.3), sebbene di debole entità, l'aumento dell'indice SDII indica una futura, progressiva concentrazione delle precipitazioni in eventi mediamente più intensi e meno frequenti.

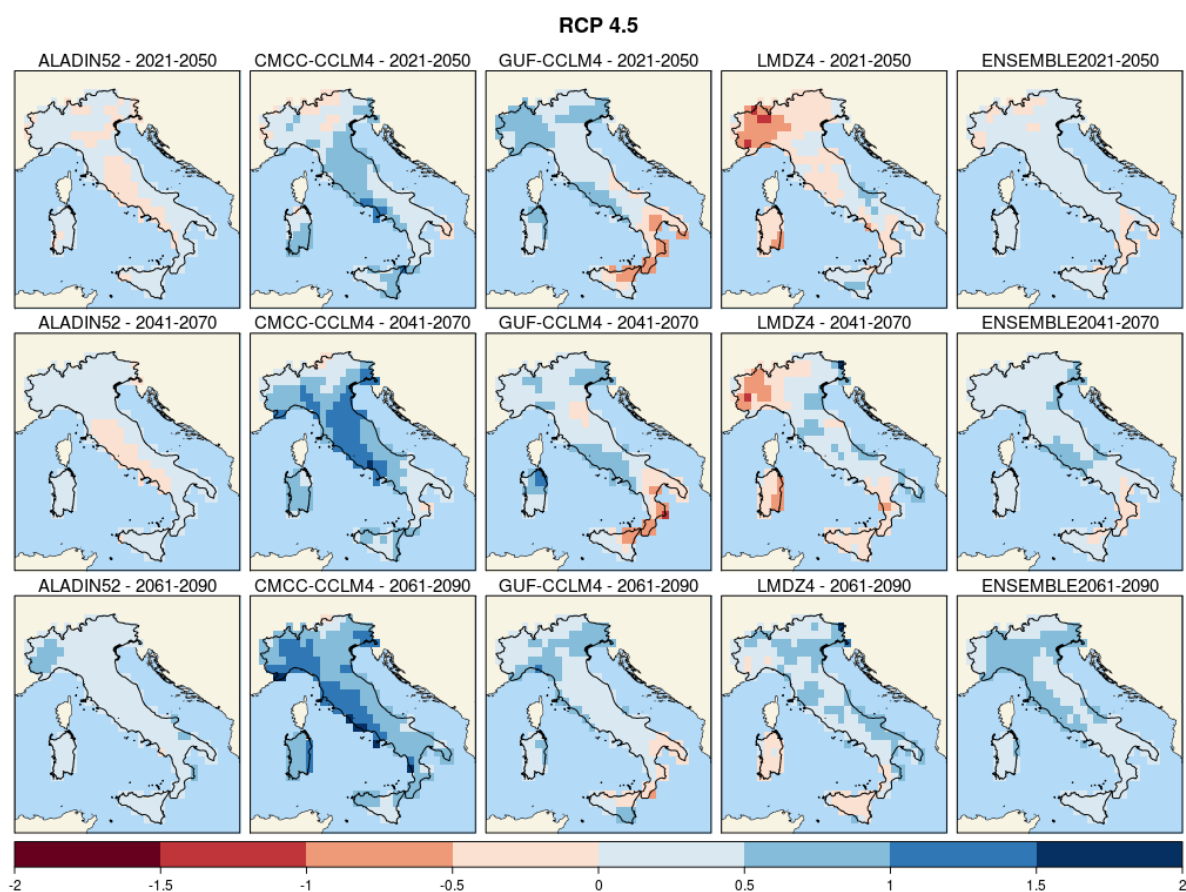


Figura 4.6 – Intensità di precipitazione giornaliera (mm/giorno), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

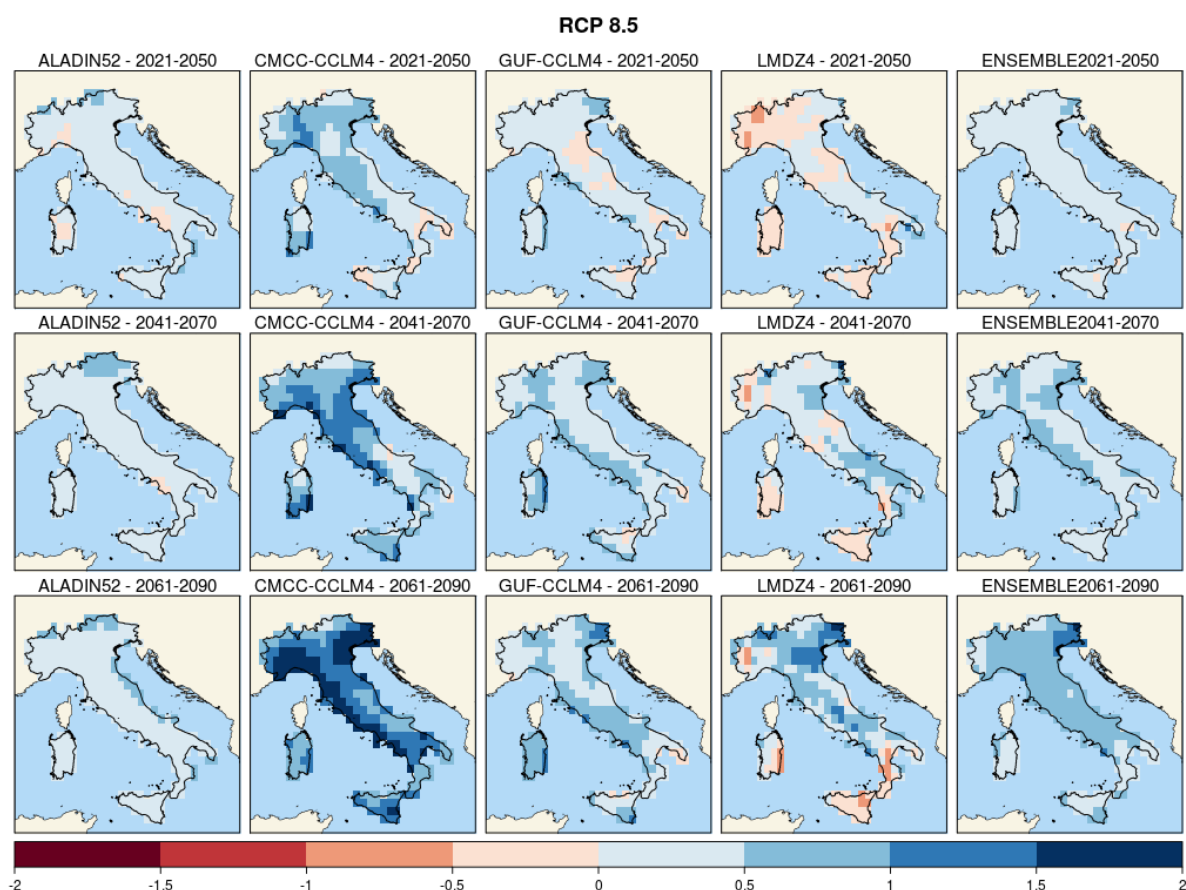


Figura 4.7 – Come in figura 4.6, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 4.4 – Intensità di precipitazione giornaliera (mm/giorno). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	0.1	0.4	0.3	-0.1	0.2	-1.1	1.5
2041-2070	0.1	0.7	0.3	0.1	0.3	-1.0	1.7
2061-2090	0.3	0.9	0.3	0.3	0.4	-0.5	2.0
RCP8.5							
2021-2050	0.2	0.5	0.2	0	0.2	-0.9	1.2
2041-2070	0.2	0.8	0.4	0.2	0.4	-0.9	2.2
2061-2090	0.3	1.3	0.5	0.4	0.6	-0.8	2.8

4.2.2 Precipitazione nei giorni molto piovosi

La variazione della precipitazione nei giorni molto piovosi (R95P) è mostrata nelle mappe delle figure 4.8 e 4.9, rispettivamente negli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

In entrambi gli scenari tutti i modelli mostrano un aumento dell'indice R95P rispetto al valore medio di riferimento 1971-2000, che non subisce variazioni rilevanti dal primo al terzo orizzonte temporale. L'entità delle variazioni previste varia da modello a modello, ma è quasi equivalente nei due scenari. Uno dei modelli prevede aumenti superiori a 15 mm (circa l'8% del valore medio osservato nel periodo di riferimento 1971-2000) su quasi tutto il territorio nazionale, con punte di oltre 20 mm, mentre gli altri modelli indicano aumenti medi nazionali inferiori a 15 mm (tabella 4.5). Le mappe mostrano differenze modeste fra diverse aree geografiche. Di conseguenza, anche l'*ensemble mean* indica un aumento dell'indice R95P piuttosto uniforme sul territorio nazionale, compreso fra 10 e 15 mm in entrambi gli scenari e per tutti e tre gli orizzonti temporali.

L'aumento dell'indice R95P mette in evidenza che per il futuro, accanto alla debole diminuzione delle precipitazioni totali e alla tendenza all'aumento dell'intensità media delle precipitazioni, si prevede un incremento del contributo alle precipitazioni totali da parte degli eventi più intensi.

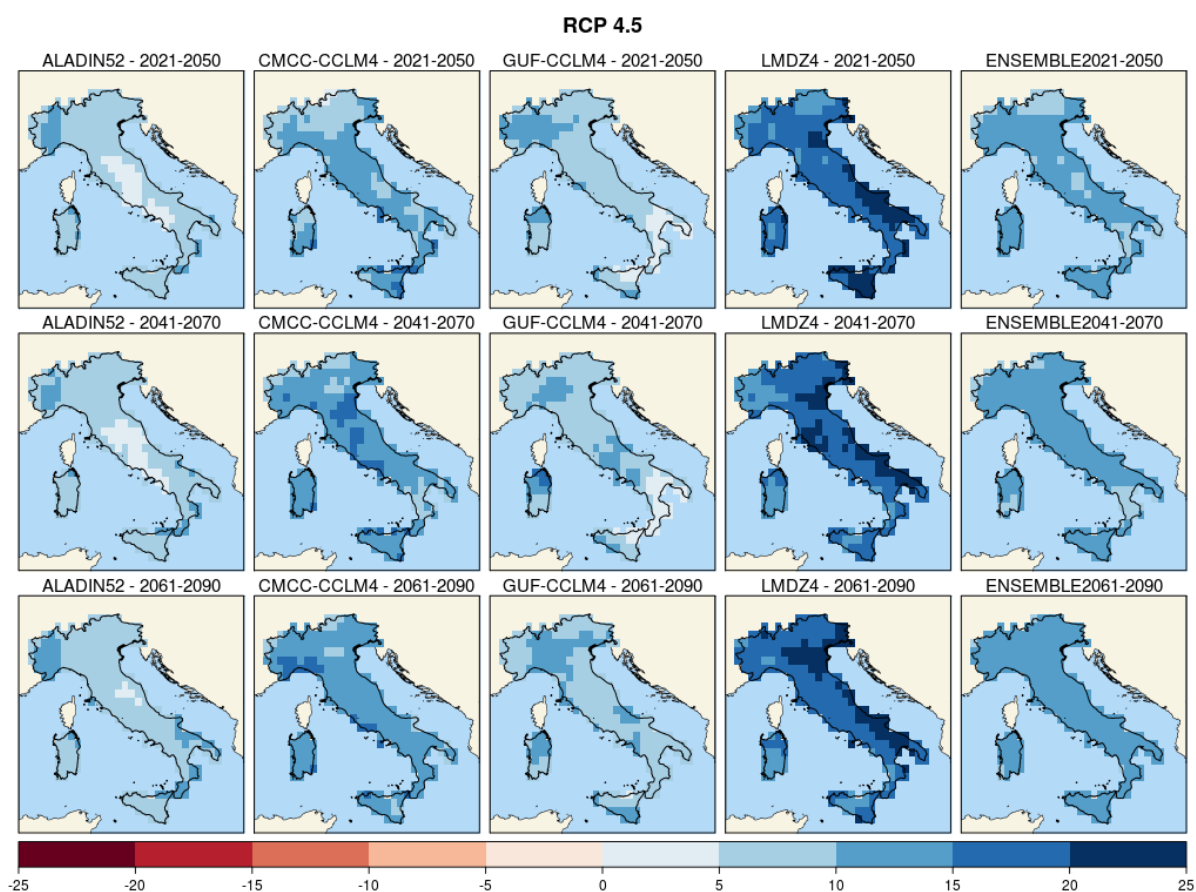


Figura 4.8 – Precipitazione nei giorni molto piovosi (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

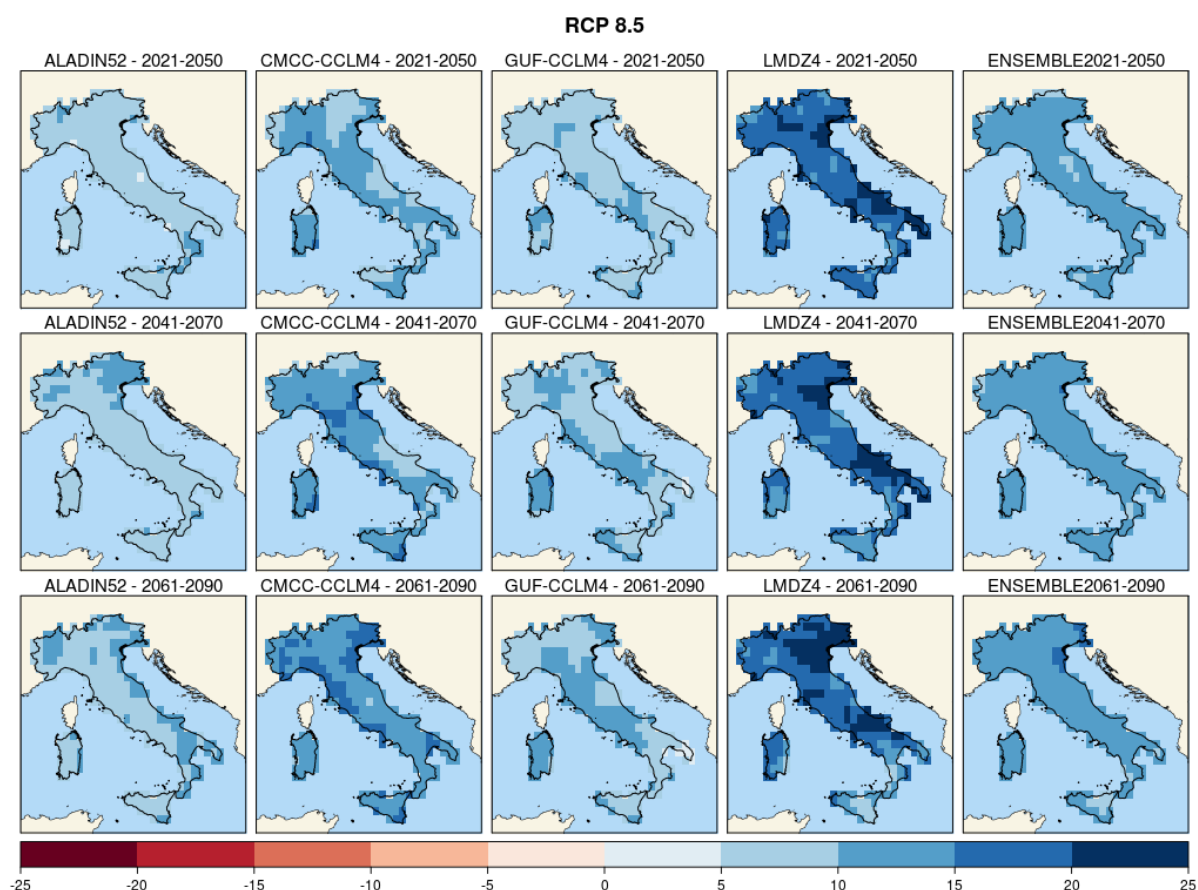


Figura 4.9 – Come in figura 4.8, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 4.5 – Precipitazione nei giorni molto piovosi (mm). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	7	11	8	18	11	1	26
2041-2070	7	12	8	17	11	0	25
2061-2090	8	13	9	18	12	4	24
RCP8.5							
2021-2050	8	11	9	18	11	4	23
2041-2070	9	12	9	17	12	4	25
2061-2090	9	14	10	17	13	3	27

4.2.3 Precipitazione massima giornaliera

Le figure 4.10 e 4.11 mostrano le mappe della variazione della precipitazione massima giornaliera (RX1day), rispettivamente negli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

In entrambi gli scenari due modelli indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte di 20 mm in alcune zone. Due modelli indicano invece anche aree soggette ad una riduzione dell'indice RX1day, prevalentemente di debole entità.

Le mappe dell'*ensemble mean* mostrano in prevalenza un lieve incremento della precipitazione massima giornaliera, in leggero aumento dal primo al terzo orizzonte temporale, con una distribuzione abbastanza uniforme sul territorio. Nel trentennio 2061-2090 per lo scenario RCP4.5 l'aumento medio previsto è di 5 mm (circa l'8% del valore medio osservato nel periodo di riferimento 1971-2000), con variazioni che vanno dal minimo di -13 mm a +37 mm (tabella 4.6). Per lo scenario RCP8.5 si prevede un aumento medio di 7 mm (10%), con variazioni superiori a 15 mm al Nord-Est.

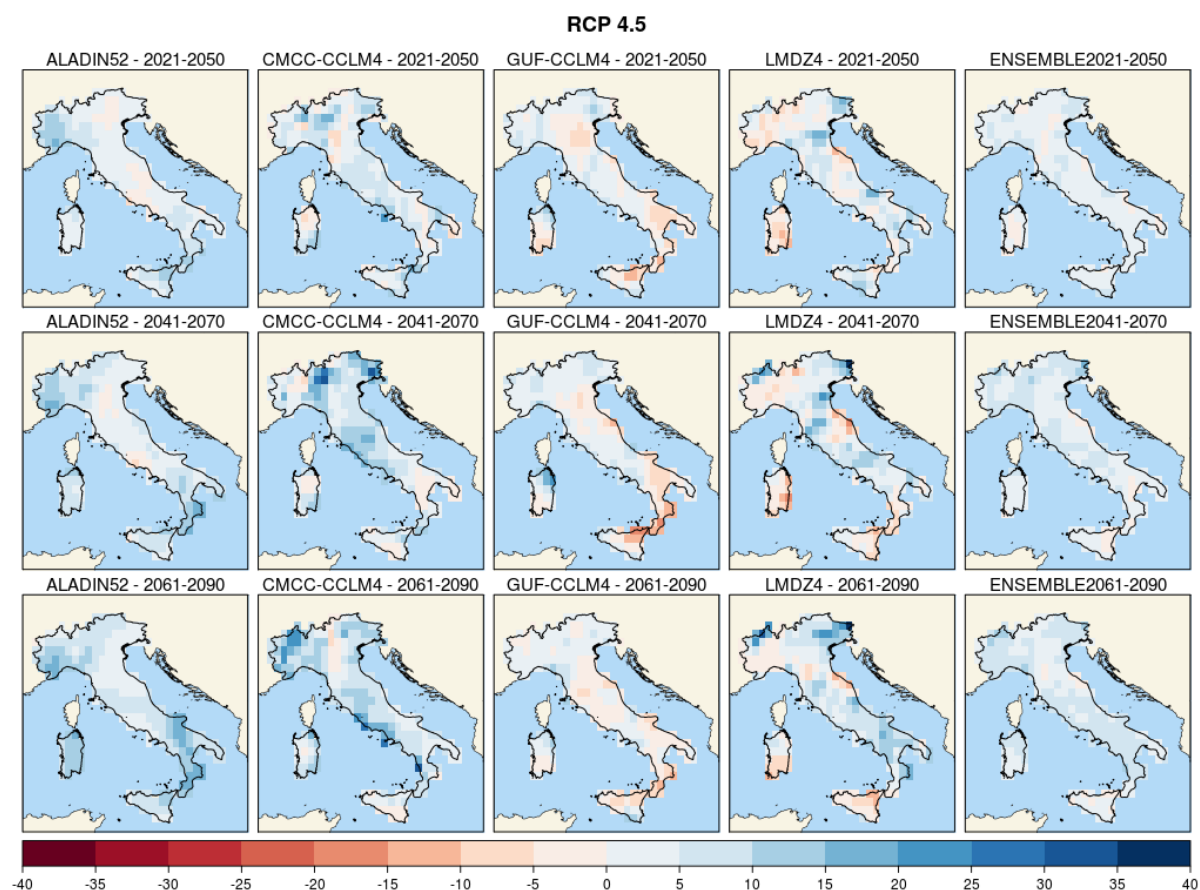


Figura 4.10 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

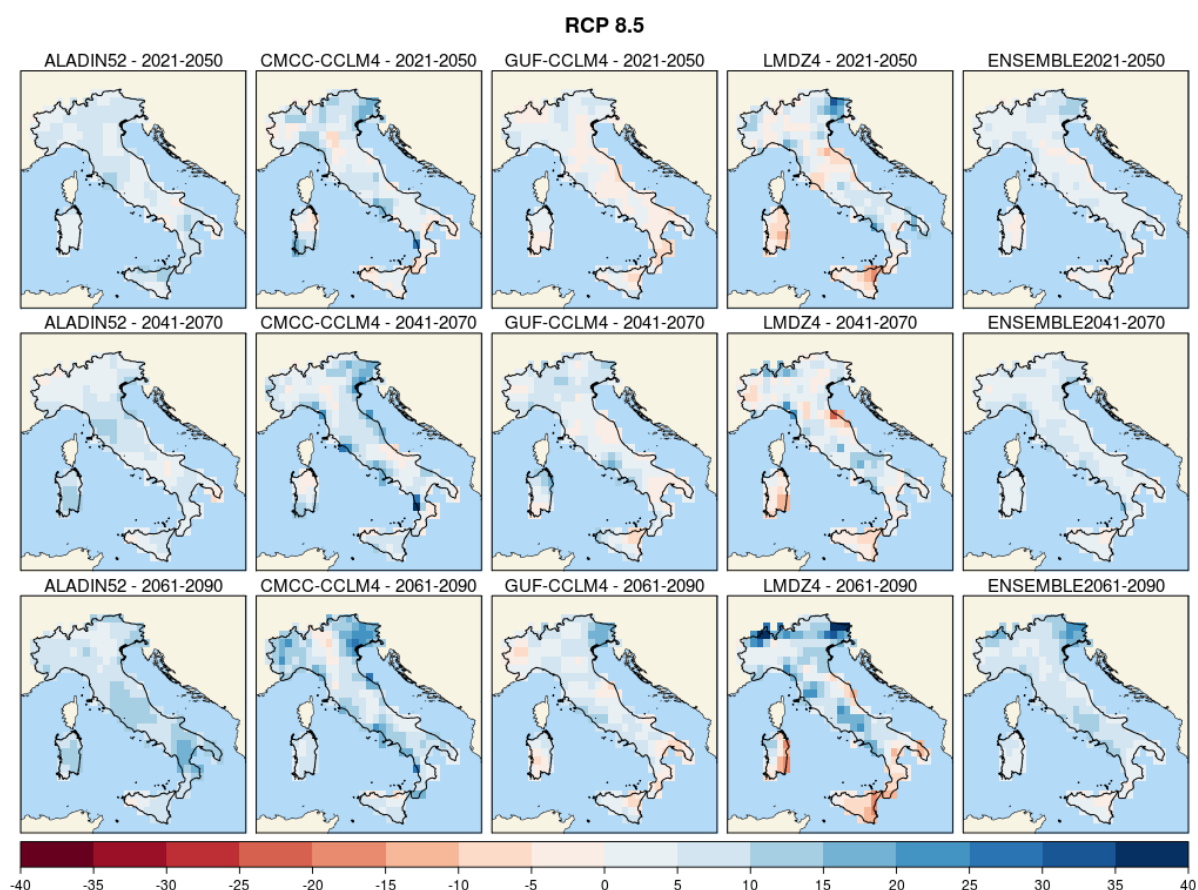


Figura 4.11 – Come in figura 4.10, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 4.6 – Precipitazione massima giornaliera (mm). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale- ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	4	4	1	2	3	-14	21
2041-2070	6	7	1	3	4	-19	55
2061-2090	8	8	0	4	5	-13	37
RCP8.5							
2021-2050	5	4	1	2	3	-17	30
2041-2070	5	7	4	2	4	-21	60
2061-2090	8	9	4	6	7	-18	52

4.2.4 Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia

Le mappe della variazione del numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (CDD) sono mostrate nelle figure 4.12 (scenario RCP4.5) e 4.13 (scenario RCP8.5).

In entrambi gli scenari solo un modello prevede variazioni molto deboli o nulle rispetto al valore medio 1971-2000 in tutti e tre gli orizzonti temporali. Gli altri modelli indicano un aumento dell'indice CDD su quasi tutto il territorio nazionale, con andamento crescente nel tempo. Gli aumenti sono più elevati per lo scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5.

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale, gli aumenti più marcati dell'indice CDD sono localizzati prevalentemente al Sud e sulle Isole; nel trentennio 2061-2090 due modelli prevedono aumenti di oltre 25 giorni nello scenario RCP4.5 e di oltre 35 giorni nello scenario RCP8.5.

Anche le mappe dell'*ensemble mean* indicano gli aumenti più consistenti al Sud, dove nel trentennio 2061-2090 l'indice CDD è maggiore di 10 giorni rispetto alla media del periodo di riferimento 1971-2000 nello scenario RCP4.5 e di 20 giorni (con punte superiori a 30 giorni) nello scenario RCP8.5.

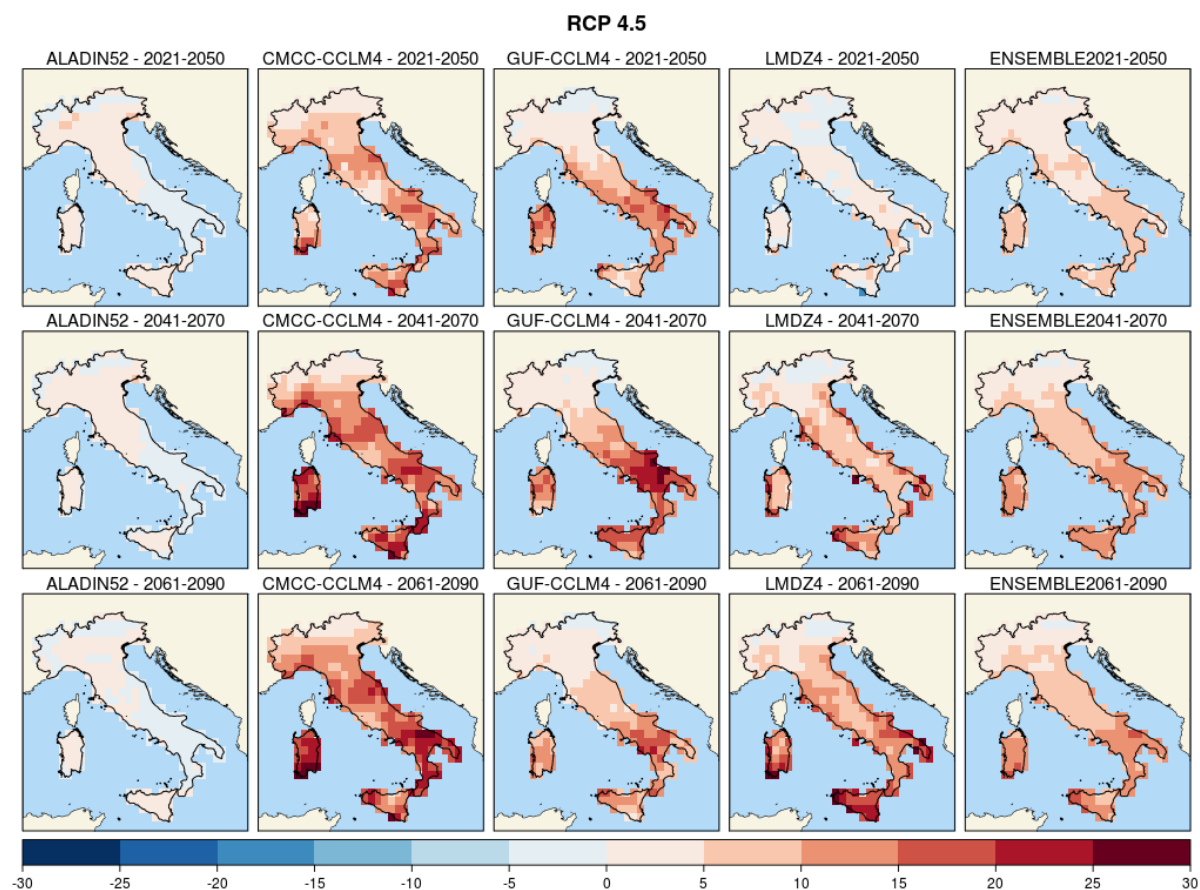


Figura 4.12 – Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (giorni), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

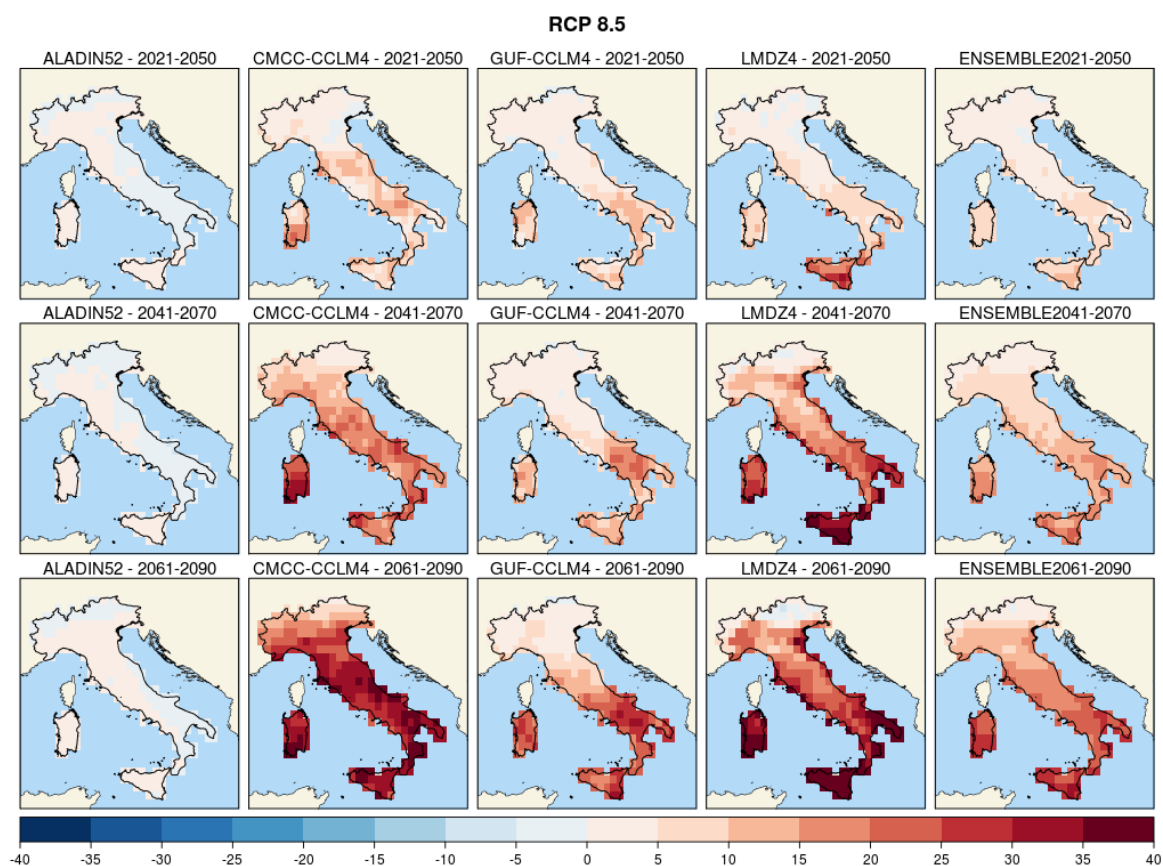


Figura 4.13 – Come in figura 4.12, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 4.7 – Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (giorni). Valori medi nazionali delle variazioni previste dai modelli ai tre orizzonti temporali; variazione dell'ensemble mean e minima e massima variazione prevista sul territorio nazionale tra tutti i modelli.

	ALADIN	CMCC	GUF	LMDZ	Media nazionale - ensemble	Minimo nazionale	Massimo nazionale
RCP4.5							
2021-2050	1	9	7	1	4	-15	22
2041-2070	0	13	9	7	7	-5	32
2061-2090	0	14	7	10	8	-4	36
RCP8.5							
2021-2050	0	6	4	6	4	-4	31
2041-2070	0	16	7	18	10	-5	53
2061-2090	0	27	13	25	16	-5	69

5. SINTESI E CONCLUSIONI

Allo scopo di acquisire dalle proiezioni dei modelli climatici gli elementi di conoscenza e di incertezza più significativi sull'evoluzione del clima futuro in Italia, sono stati analizzati i risultati delle simulazioni di quattro modelli climatici regionali, disponibili nell'ambito di Med-CORDEX.

Per quanto riguarda la temperatura, i modelli concordano nel prevedere un aumento piuttosto costante nel tempo, di entità all'incirca doppia nello scenario RCP8.5 rispetto all' RCP4.5. Nel corso di un secolo i quattro modelli prevedono un aumento della temperatura media in Italia compreso tra 1.8 e 3.1°C (*ensemble mean* 2.5°C) nello scenario RCP4.5 e tra 3.5 e 5.4°C nello scenario RCP8.5 (*ensemble mean* 4.4°C).

Il previsto aumento della temperatura media è attribuibile in modo più o meno equivalente sia all'aumento delle temperature massime diurne che delle temperature minime notturne.

Le variazioni previste dai modelli sono piuttosto uniformi nello spazio, in virtù del fatto che il riscaldamento ha origine da forzanti e dinamiche a grande scala e quindi interessa in modo abbastanza uniforme tutto il territorio nazionale.

L'aumento più marcato della temperatura media si prevede nella stagione estiva, con variazioni in un secolo comprese tra 2.5 e 3.6°C nello scenario RCP4.5 e tra 4.2 e 7.0°C nello scenario RCP8.5. In primavera si prevede l'aumento meno marcato, con variazioni in un secolo comprese tra 1.3 e 2.7°C nello scenario RCP4.5 e tra 2.8 e 4.8°C nello scenario RCP8.5. Il segno delle variazioni è positivo (aumento della temperatura) in tutte le stagioni e coerente per tutti i modelli, ma l'entità delle variazioni differisce spesso in modo significativo da un modello all'altro.

Gli indici degli estremi di temperatura mostrano variazioni ugualmente importanti e significative. Tutti i modelli sono concordi nell'indicare una riduzione dei giorni con gelo e un aumento di notti tropicali, giorni estivi e onde di calore, ma con differenze talvolta significative sull'entità delle variazioni. Le notti tropicali sono previste in consistente aumento: all'orizzonte temporale 2061-2090 si prevede un aumento medio nazionale dell'indice TR20 compreso tra 14 a 35 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e tra 23 a 59 giorni l'anno nello scenario RCP8.5. Analogamente, i giorni con gelo sono previsti in consistente diminuzione: all'orizzonte temporale 2061-2090 si prevede una riduzione media nazionale compresa tra 10 e 27 giorni l'anno nello scenario RCP4.5 e tra 18 e 39 giorni l'anno nello scenario RCP8.5. Si prevede altresì un aumento marcato dei giorni estivi e delle onde di calore: all'orizzonte temporale 2061-2090 è previsto un aumento medio nazionale dell'indice SU25 compreso tra 19 e 35 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 37 e 56 nello scenario RCP8.5 e un aumento medio nazionale dell'indice WSDI compreso tra 30 e 93 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 76 e 182 giorni nello scenario RCP8.5. I modelli indicano inoltre una forte riduzione delle notti e dei giorni freddi, e un marcato aumento delle notti e dei giorni caldi. Le variazioni medie nazionali delle notti e dei giorni freddi nel trentennio 2061-2090 sono comprese rispettivamente tra -6.4 e -9.4% (TN10P) e tra -6.0 e -9.0% (TX10P) nello scenario RCP4.5 e sono compresi tra -9.3 e -10% (TN10P) e tra -8.9 e -10% (TX10P) nello scenario RCP8.5. Analogamente, le variazioni delle notti e dei giorni caldi sono comprese rispettivamente tra +15.2 e +34.3% (TN90P) e tra +13.4 e +32.9% (TX90P) nello scenario RCP4.5 e variano da +32.6 a +54.6 (TN90P) e da +29.1 a +56.0% (TX90P) nello scenario RCP8.5.

Le proiezioni delle precipitazioni sono molto più incerte di quelle della temperatura e i due scenari non si possono distinguere con altrettanta chiarezza. Considerando la media nazionale della precipitazione cumulata annuale, nello scenario RCP4.5 tre modelli su quattro prevedono in un secolo una debole diminuzione e un solo modello un debole aumento delle precipitazioni. Complessivamente, le variazioni previste al 2061-2090 sono comprese tra una diminuzione di circa l'8% e un aumento del 5% circa; tenendo presente un valore medio in Italia di circa 900 mm della precipitazione cumulata annuale nel trentennio di riferimento, l'*ensemble mean* indica una riduzione dell'1.5% circa. Nello scenario RCP8.5 tale intervallo si allarga (risultando compreso tra -15% e +2%) e l'*ensemble mean* si sposta nel senso di una riduzione delle precipitazioni.

Anche la distribuzione spaziale delle variazioni previste è molto diversificata da un modello all'altro. Nell'insieme, emerge solo l'indicazione che dalla riduzione delle precipitazioni sarebbero più probabilmente esentate le regioni nord-orientali.

I valori medi nazionali risultano prevalentemente in modesta diminuzione in primavera, estate e autunno, e in modesto aumento in inverno. Localmente, la variazione della precipitazione cumulata assume valori di rilievo, fino a punte di riduzione di 150-200 mm in primavera o in estate, e di aumento di 100-150 mm in inverno. Diversamente dalla temperatura, la distribuzione dei valori di

precipitazione non presenta differenze molto marcate tra i due scenari. Per la cumulata annuale, al 2061-2090, il modello più “secco” prevede variazioni comprese tra -225 e +54 mm nello scenario RCP4.5, contro variazioni comprese tra -347 e +108 mm nello scenario RCP8.5.

Le proiezioni di alcuni indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e degli estremi di precipitazione indicano una futura, progressiva concentrazione delle precipitazioni in eventi più intensi e meno frequenti. L'entità di queste variazioni risulta comunque molto incerta e mediamente debole o moderata. Ad esempio, la più consistente variazione della precipitazione massima giornaliera nello scenario RCP8.5 è di circa 50 mm, a fronte di valori attualmente osservati dell'ordine di 300-400 mm. Infine, l'analisi dell'indice “giorni secchi consecutivi” indica un probabile aumento della durata dei periodi di siccità su quasi tutto il territorio nazionale, con aumenti più marcati nello scenario RCP8.5 e al Sud e sulle Isole (fino a +35 giorni in un secolo).

Le stime delle variazioni climatiche in Italia nei diversi scenari futuri, riportate in questo rapporto, potranno e dovranno essere ampliate ed approfondite grazie allo sviluppo, all'aggiornamento e a nuove applicazioni dei modelli climatici regionali ad alta risoluzione che comprendono l'Italia nel loro dominio di calcolo. Nell'interpretare e utilizzare le informazioni sintetizzate in questo rapporto, va tenuto presente che esse si riferiscono ai valori medi delle variabili climatiche su maglie alla risoluzione di circa 50 km, e che localmente le variazioni potrebbero essere più marcate e significative, in particolare per quanto riguarda gli indici estremi. Uno strumento utile per la correzione delle proiezioni climatiche e per l'ulteriore discesa di scala fino alla scala locale, è rappresentato dall'applicazione di modelli empirico-statistici che, almeno per alcune variabili climatiche, sono in grado di ridurre l'incertezza delle proiezioni qualora si disponga di lunghe serie storiche di osservazioni di qualità controllata per le singole località.

Le informazioni sul clima futuro prodotte dai modelli, insieme a quelle che derivano dall'analisi delle osservazioni e dalla stima delle tendenze in corso, sono e continueranno ad essere di fondamentale importanza per la stima degli impatti e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici e per la definizione delle strategie e l'implementazione dei piani di adattamento.

BIBLIOGRAFIA

- [1]
Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J. and Rose S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change*, 109: 5-31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.
- [2]
IPCC, SRES, 2000. In: Nakic'enovic' N, Swart R (eds) Special Report on Emissions Scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK.
- [3]
IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- [4]
IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- [5]
Olsson J., Yang W., Bosshard T., 2013. Climate model prediction in hydrological impact studies: limitations and possibilities. *Journal of Water Management and Research*, 69, 221-230.
- [6]
Ehret U., E. Zehe, V. Wulfmeyer, K. Warrach-Sagi and J. Liebert, 2012. Should we apply bias correction to global and regional climate model data? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3391–3404. doi:10.5194/hess-16-3391-2012.
- [7]
Giorgi F., Jones C., Asrar G.R., 2006. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *Bulletin World Meteorol. Organ.* 58:175–183.
- [8]
Peterson T.C., 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 rapports 1998–2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva.
- [9]
Klein Tank A. M.G., Zwiers F. W., Zhang X., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring WCDMP*, 72, WMO-TD N. 1500, 56pp.
- [10]
Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate* 16: 3665–3680. doi:10.1175/1520-0442.
- [11]
Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci

M., Vazquez-Aguirre J.L., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

[12]

Donat M.G., Alexander L.V., Yang H., Durre I., Vose R., Dunn R., Willett K., Aguilar E., Brunet M., Caesar J., Hewitson B., Jack C., Klein Tank A.M.G., Kruger A.C., Marengo J., Peterson T.C., Renom M., Oria Rojas C., Rusticucci M., Salinger J., Sekele S.S., Srivastava A.K., Trewin B., Villarreal C., Vincent L.A., Zhai P., Zhang X., Kitching S., 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, *J Geophys Res* 118: 2098-2118. doi: 10.1002/jgrd.50150.

[13]

Russo S. and Sterl A., 2011. Global changes in indices describing moderate temperature extremes from the daily output of a climate model. *J. Geophys. Res.* 116: D03104, doi:10.1029/2010JD014727.

[14]

Sillmann J., Roeckner E. , 2008. Indices for extreme climate events in projections of anthropogenic climate change. *Clim. Change*, 86: 83–104, doi:10.1007/s10584-007-9308-6.

[15]

Sillmann J., Kharin V.V., Zwiers F. W., Zhang X. and Bronaugh D., 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118: 2473–2493, doi:10.1002/jgrd.50188.

[16]

Jacob D. et al, 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* (2014) 14:563–578. doi 10.1007/s10113-013-0499-2.

[17]

Toreti A., Desiato F., 2008. Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *Int. J. Climat.*, 28, 733-745. doi: 10.1002/joc.1576.

[18]

Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2015. Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis, *Theor. Appl. Climatol.*, 119, doi: 10.1007/s00704-014-1362-1.