

Analisi degli scenari climatici futuri sul territorio della Provincia di Cuneo

Realizzato nell'ambito del progetto "CClimaTT - Cambiamenti Climatici nel Territorio
Transfrontaliero", programma Interreg VA Italia-Francia Alcotra 2014-2020

Struttura Meteorologia, Clima e Qualità dell'Aria
Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali
Arpa Piemonte

Dicembre 2019

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

1 SOMMARIO

| | | |
|-------|---|----|
| 2 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2.1 | Premessa | 3 |
| 2.2 | Obiettivi e scopo del documento..... | 3 |
| 2.3 | Pathway di scenario emissivo..... | 3 |
| 2.4 | Gli scenari climatici da modellistica | 4 |
| 2.5 | Metodologia di downscaling..... | 4 |
| 3 | SCENARI CLIMATICI FUTURI | 4 |
| 3.1 | Temperature trend..... | 4 |
| 3.1.1 | Anomalie annuali di temperatura | 5 |
| 3.1.2 | Anomalie stagionali di temperatura..... | 8 |
| 3.2 | Temperature – distribuzione territoriale | 10 |
| 3.2.1 | Temperatura massima e minima annuale | 10 |
| 3.2.2 | Temperatura massima e minima stagionale..... | 12 |
| 3.2.3 | Temperatura massima e minima stagionale nei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 | 13 |
| 3.2.4 | Notti tropicali..... | 15 |
| 3.2.5 | Giorni tropicali..... | 16 |
| 3.2.6 | Giorni di gelo | 17 |
| 3.3 | Precipitazioni | 18 |
| 3.3.1 | Precipitazioni annuali..... | 18 |
| 3.3.2 | Ciclo annuale della precipitazione..... | 20 |
| 3.4 | Precipitazioni – distribuzioni territoriali | 21 |
| 3.4.1 | Precipitazioni cumulate stagionali | 21 |
| 4 | IL CLIMA DELLA PROVINCIA DI CUNEO – EFFETTI..... | 23 |
| 4.1 | Indice siccità- numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia | 23 |
| 4.2 | Analisi della frazione neve/precipitazione totale..... | 24 |
| 5 | ANALISI SULLA CITTÀ DI CUNEO | 25 |

2 INTRODUZIONE

2.1 PREMESSA

Questo documento rappresenta la seconda parte dell'assessment climatico nell'ambito del progetto "CClimaTT - Cambiamenti Climatici nel Territorio Transfrontaliero", programma Interreg VA Italia-Francia Alcotra 2014-2020, nell'ambito del quale è finanziata l'analisi (WP 3 "Conoscere il cambiamento climatico nelle Alpi del Mediterraneo", attività 3.5 Definizione di scenari climatici territoriali e valutazione degli impatti). Il lavoro riguarda gli scenari futuri, realizzati attraverso l'applicazione ragionata al territorio di interesse del progetto di modelli climatici ad alta risoluzione.

2.2 OBIETTIVI E SCOPO DEL DOCUMENTO

Sono rappresentati gli scenari per le principali variabili meteorologiche, quali temperatura e precipitazione, sulla base delle quali è possibile valutare una serie di indicatori che danno conto delle possibili conseguenze del cambiamento climatico sul territorio regionale. Si tratta di una serie di indicatori di base necessari anche per la valorizzazione di ulteriori indicatori specifici sui diversi temi definiti dai partner del progetto.

2.3 PATHWAY DI SCENARIO EMISSIVO

L'utilizzo della modellistica climatica oceano-atmosfera per effettuare una stima delle variabili climatiche fino a fine secolo e oltre, deve tenere conto di quelli che sono e saranno gli scenari emissivi a livello globale, relativamente ai gas serra di origine antropica, che dipendono da una molteplicità di fattori politici, economici, geopolitici, di indirizzo che si darà allo sviluppo, all'evoluzione tecnologica e alle dinamiche demografiche e sociali. La dipendenza del riscaldamento globale dalle emissioni antropiche è incontrovertibile, pertanto gli impegni di riduzione delle emissioni a livello globale, regionale e locale sono molteplici, e anche di questi è necessario tenere conto nell'effettuare proiezioni climatiche.

In questa relazione sono stati considerati due scenari emissivi, identificati con il termine RCP (Representative Concentration Pathway): uno scenario tendenziale, l'RCP 8.5, che rappresenta uno scenario a elevate emissioni e porta la concentrazione di CO₂ in atmosfera a raggiungere i 1313 ppm al 2100, e uno scenario con l'applicazione di misure di riduzione dei gas serra, l'RCP 4.5, in cui la concentrazione di CO₂ raggiunge i 630 ppm attorno al 2070 e si stabilizza.

A questi diversi scenari emissivi corrispondono stime dell'incremento della temperatura media globale come mostrato dal rapporto dell'IPCC AR5 (Figura 1).

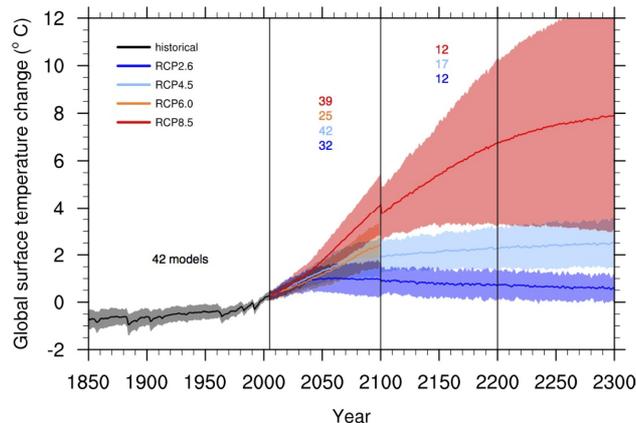


Figura 1 Proiezioni dell'incremento della temperatura media globale al 2100 e oltre, secondo gli scenari RCPs. Fonte IPCC, AR5.

2.4 GLI SCENARI CLIMATICI DA MODELLISTICA

Per le analisi climatiche sulla provincia di Cuneo relative al periodo futuro sono state utilizzate le simulazioni realizzate nell'ambito del consorzio CORDEX (www.cordex.org/) unitamente alle simulazioni del modello COSMO-CLM, adottate anche nel Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico messe a disposizione dal Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (www.cmcc.it/models/cosmo-clm-climate-limited-area-modelling-community). Per quanto riguarda il primo gruppo di modelli, si tratta di modelli ricavati attraverso un downscaling dinamico, ossia utilizzando modelli regionali ad alta risoluzione innestati sui due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 a partire da modelli climatici globali, con una risoluzione spaziale maggiore e un dominio limitato all'Europa. Anche il modello COSMO-CLM è un modello ad alta risoluzione a scala regionale innestato sul corrispondente modello climatico globale di riferimento CMCC-CM a sua volta forzato sui due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

2.5 METODOLOGIA DI DOWNSCALING

Tutte le simulazioni sono state adattate al territorio della provincia di Cuneo con opportune tecniche statistiche di rimozione degli errori sistematici, attraverso un confronto con i dati della rete osservativa nel recente passato, al fine di ottenere dati modellistici in grado di riprodurre con una buona affidabilità, il clima attuale. Per le analisi presentate è stato utilizzato un approccio detto *ensemble mean*: non si sono considerati separatamente i risultati forniti dai singoli modelli, ma quelli ottenuti dal valor medio di tutti i modelli selezionati. Questo consente di ridurre l'incertezza intrinseca delle proiezioni climatiche. Inoltre, per valutare la significatività delle variazioni previste tra il periodo futuro e il clima passato si è applicata una tecnica statistica non parametrica definita bootstrap.

L'analisi è stata effettuata considerando le variazioni dei periodi trentennali 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 rispetto al periodo detto di controllo 1976-2005, durante il quale i modelli regionali sono stati guidati dalle analisi.

3 SCENARI CLIMATICI FUTURI

3.1 TEMPERATURE TREND

Una prima analisi che riguarda l'andamento della temperatura negli scenari futuri è la ricerca di una tendenza statisticamente significativa nell'intero periodo di simulazione (2006-2100) a livello generale sulla regione. In

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

questa analisi vengono considerate le anomalie di temperatura, ossa le deviazioni rispetto alla media del periodo di controllo 1976-2005.

3.1.1 Anomalie annuali di temperatura

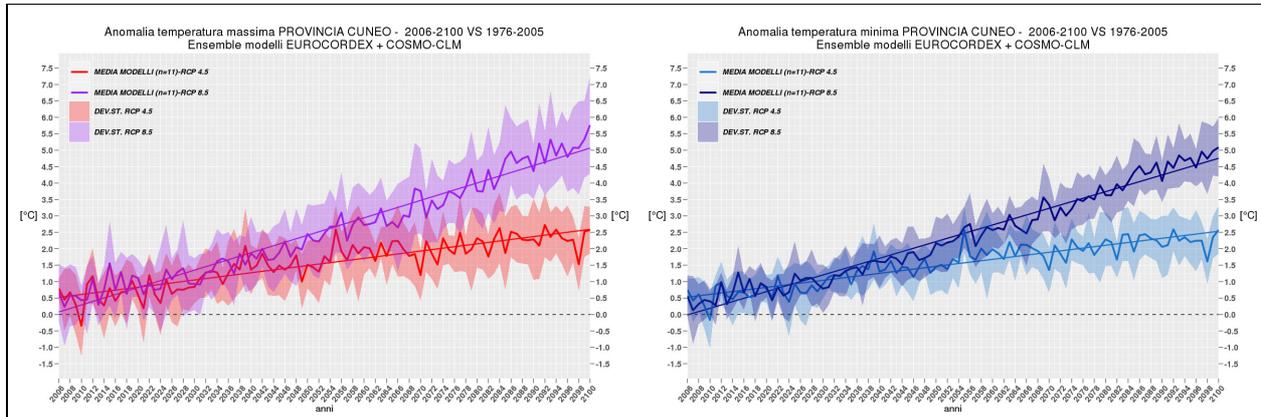


Figura 2 Andamento dell'anomalia della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulla provincia di Cuneo. Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni modellistiche (ensemble mean), le aree colorate rappresentano la deviazione standard tra le diverse simulazioni (l'incertezza del trend dipendente dai diversi modelli) e le rette le tendenze lineari.

Sia le temperature massime sia le minime mostrano un trend positivo delle anomalie, significativo dal punto di vista statistico, considerando l'intero periodo di simulazione 2006-2100. La variabilità attorno all'ensemble mean della temperatura massima è superiore a quello della temperatura minima, in particolare dalla seconda metà del secolo e per lo scenario RCP8.5. L'incremento della temperatura atteso a fine secolo è superiore alla varianza data dai diversi modelli, quindi il livello di confidenza attribuibile alla proiezione è elevato.

La tabella sottostante (Tabella 1) riassume i valori delle tendenze espressi come variazione in gradi centigradi in 10 anni, medi sul territorio della provincia di Cuneo.

| TEMPERATURE ANNUALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI (°C) | | | | | | | | |
|--|------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|
| | TUTTA LA REGIONE | | PIANURA | | MONTAGNA (>700) | | MONTAGNA (>1500) | |
| | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| MAX | 0,22 | 0,53 | 0,21 | 0,51 | 0,23 | 0,55 | 0,24 | 0,57 |
| MIN | 0,21 | 0,51 | 0,20 | 0,55 | 0,23 | 0,53 | 0,24 | 0,57 |

Tabella 1 Tendenza dell'anomalia della temperatura massima e minima in °C/10 anni per gli scenari emissivi RCP4.5 e RCP8.5 per il territorio della Provincia di Cuneo, per le sole zone di pianura, per le zone di montagna al di sopra dei 700m e per le altitudini maggiori, superiori ai 1500m.

Lo scenario RCP8.5 determina un aumento decisamente maggiore delle temperature, con incrementi in 10 anni che risultano più del doppio di quelli dello scenario RCP4.5. Non si rileva una differenza sostanziale nell'aumento delle massime rispetto alle minime, mentre in montagna il riscaldamento è leggermente più

importante. Le tendenze mostrate nella Tabella 1 sono confrontabili con i valori ottenuti dall'analisi regionale, ad eccezione dello scenario tendenziale, dove gli aumenti sono lievemente superiori.

Considerando la media di insieme delle simulazioni modellistiche, sono stati quantificati gli incrementi medi della temperatura media, minima e massima su tre periodi temporali trentennali (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), rispetto al valore nel periodo di controllo (1976-2005). Si osserva (Tabella 2) innanzitutto come non vi sia una grande differenza di incremento tra temperatura media, massima e minima, al contrario di quello che si è registrato nel passato. Solo la temperatura massima mostra valori lievemente superiori, di circa 2 decimi di grado. Gli incrementi risultano superiori ai 2°C a fine secolo anche considerando lo scenario con impegni di mitigazione importanti (RCP4.5), mentre per lo scenario tendenziale RCP8.5 gli incrementi superano i 4°C a fine secolo.

| | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | MEDIA | MASSIMA | MINIMA | MEDIA | MASSIMA | MINIMA |
| 2011-2040 | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 1,04 | 1,14 | 0,99 |
| 2041-2070 | 1,69 | 1,73 | 1,69 | 2,40 | 2,53 | 2,34 |
| 2071-2100 | 2,15 | 2,20 | 2,15 | 4,19 | 4,39 | 4,10 |

Tabella 2 Incrementi di temperatura media, massima e minima in °C nei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 rispetto al periodo 1976-2005 per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5

Se consideriamo solo le aree di pianura i valori degli incrementi sono lievemente più bassi per tutti i periodi considerati e tutte le variabili, arrivando al massimo a un paio di decimi di grado.

| | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | MEDIA | MASSIMA | MINIMA | MEDIA | MASSIMA | MINIMA |
| 2011-2040 | 0,88 | 0,90 | 0,88 | 1,00 | 1,12 | 0,91 |
| 2041-2070 | 1,64 | 1,69 | 1,62 | 2,29 | 2,45 | 2,14 |
| 2071-2100 | 2,06 | 2,13 | 2,03 | 4,02 | 4,23 | 3,80 |

Tabella 3 Incrementi di temperatura media, massima e minima in °C nei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 nelle zone di pianura, rispetto al periodo 1976-2005 per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5

Considerando la montagna (al di sopra dei 700 m di quota), gli incrementi sono superiori di circa 3 decimi di grado (Tabella 4).

| | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | MEDIA | MASSIMA | MINIMA | MEDIA | MASSIMA | MINIMA |
| 2011-2040 | 0,95 | 0,95 | 0,97 | 1,08 | 1,15 | 1,04 |
| 2041-2070 | 1,75 | 1,77 | 1,76 | 2,51 | 2,61 | 2,48 |
| 2071-2100 | 2,24 | 2,27 | 2,28 | 4,35 | 4,53 | 4,30 |

Tabella 4 Incrementi di temperatura media, massima e minima in °C nei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 nelle zone di montagna, rispetto al periodo 1976-2005 per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5

Alle quote più elevate (superiori ai 1500 m), gli incrementi sono ancora superiori rispetto alla pianura, arrivando a 0.23°C a fine secolo per la massima e 0.37°C per la minima nello scenario RCP4.5 e fino a 0.50°C per la massima e 0.77°C per la minima nello scenario RCP8.5.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

In generale, gli aumenti di temperatura attesi nel trentennio 2041-2070 nello scenario RCP8.5 sono confrontabili con quelli dello scenario RCP4.5 nell'ultimo trentennio.

Per evidenziare il comportamento delle altitudini maggiori, sono stati analizzate le tendenze delle temperature per le sole zone di montagna, superiori ai 700 m (Figura 3) e ai 1500 m (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) di quota.

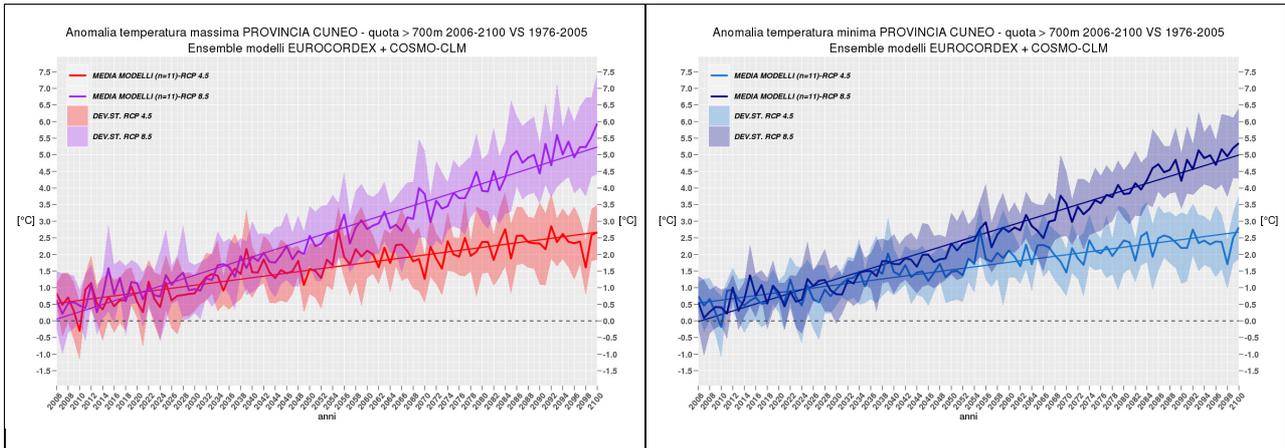


Figura 3 Andamento dell'anomalia della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le zone di montagna (quota superiore ai 700m). Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni modellistiche (ensemble mean), le aree colorate rappresentano la deviazione standard tra le diverse simulazioni (l'incertezza del trend dipendente dai diversi modelli) e le rette le tendenze lineari.

La variabilità attorno all'ensemble mean sembra lievemente maggiore per le zone di montagna, in particolare nella seconda metà del secolo e per lo scenario RCP8.5.

Per le quote più elevate, questo comportamento sembra ancora più accentuato.

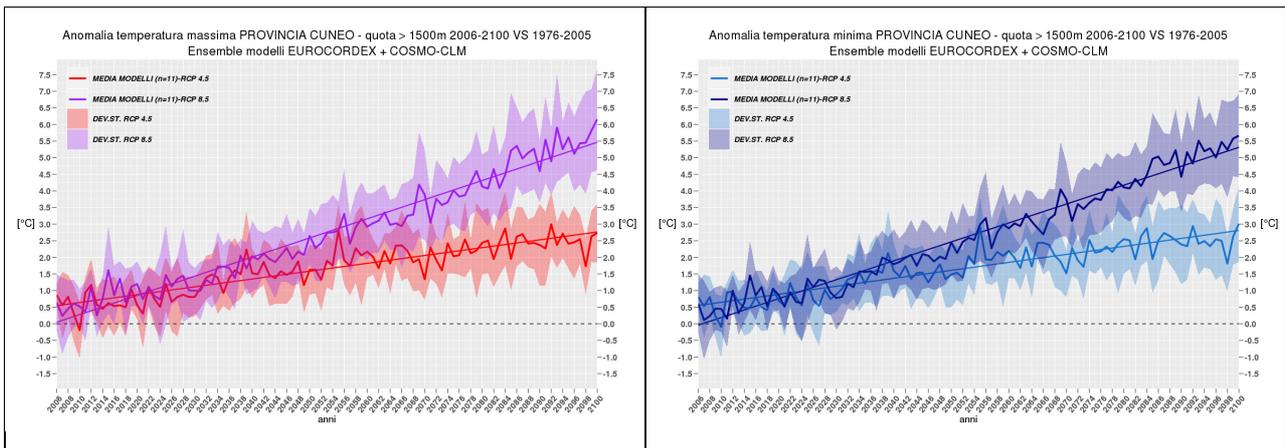


Figura 4 Andamento dell'anomalia della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le zone di alta montagna (quota superiore ai 1500 m). Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni modellistiche (ensemble mean), le aree colorate rappresentano la deviazione standard tra le diverse simulazioni (l'incertezza del trend dipendente dai diversi modelli) e le rette le tendenze lineari.

3.1.2 Anomalie stagionali di temperatura

Un'analisi stagionale delle tendenze consente di valutare le conseguenze degli incrementi dovuti principalmente al riscaldamento estivo e all'incremento delle temperature invernali, queste ultime connesse ai fenomeni nevosi.

Per lo scenario RCP4.5 si osserva come l'incremento della temperatura massima sia superiore in estate e in inverno rispetto alle stagioni intermedie (Figura 5). La variabilità nel corso dell'estate è maggiore rispetto alle altre stagioni.

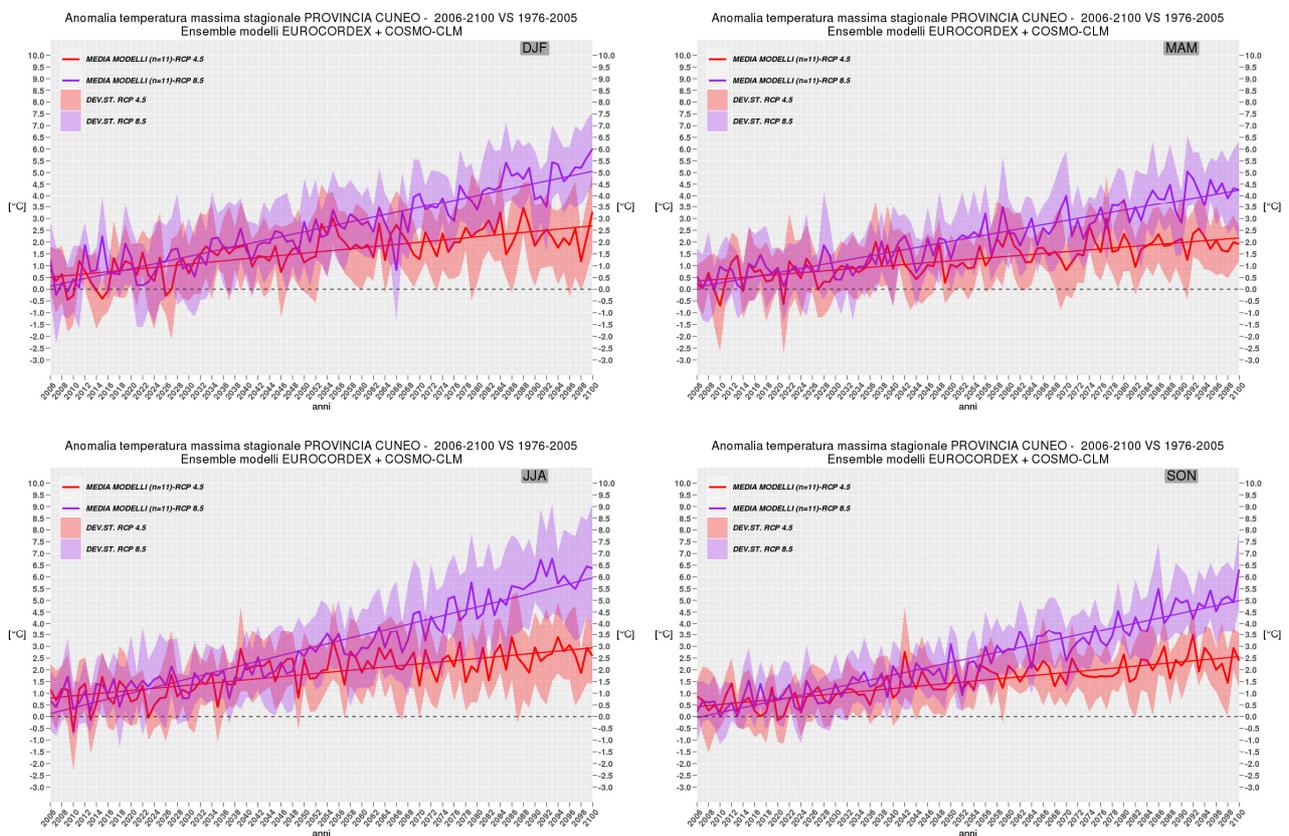


Figura 5 Andamento dell'anomalia della temperatura massima media stagionale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le diverse stagioni (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra) per lo scenario RCP4.5 (in rosso) e RCP8.5 (in lilla). Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni modellistiche (ensemble mean), le aree colorate rappresentano la deviazione standard tra le diverse simulazioni (l'incertezza del trend dipende dai diversi modelli) e le rette le tendenze lineari.

Considerando le sole zone di montagna, l'incremento della temperatura primaverile è superiore rispetto alla pianura.

Per quanto riguarda la temperatura minima l'incremento maggiore si ha nel corso dell'inverno (Figura 6), quando anche la variabilità risulta più elevata. A seguire, l'estate è la stagione dove gli incrementi sono maggiori.

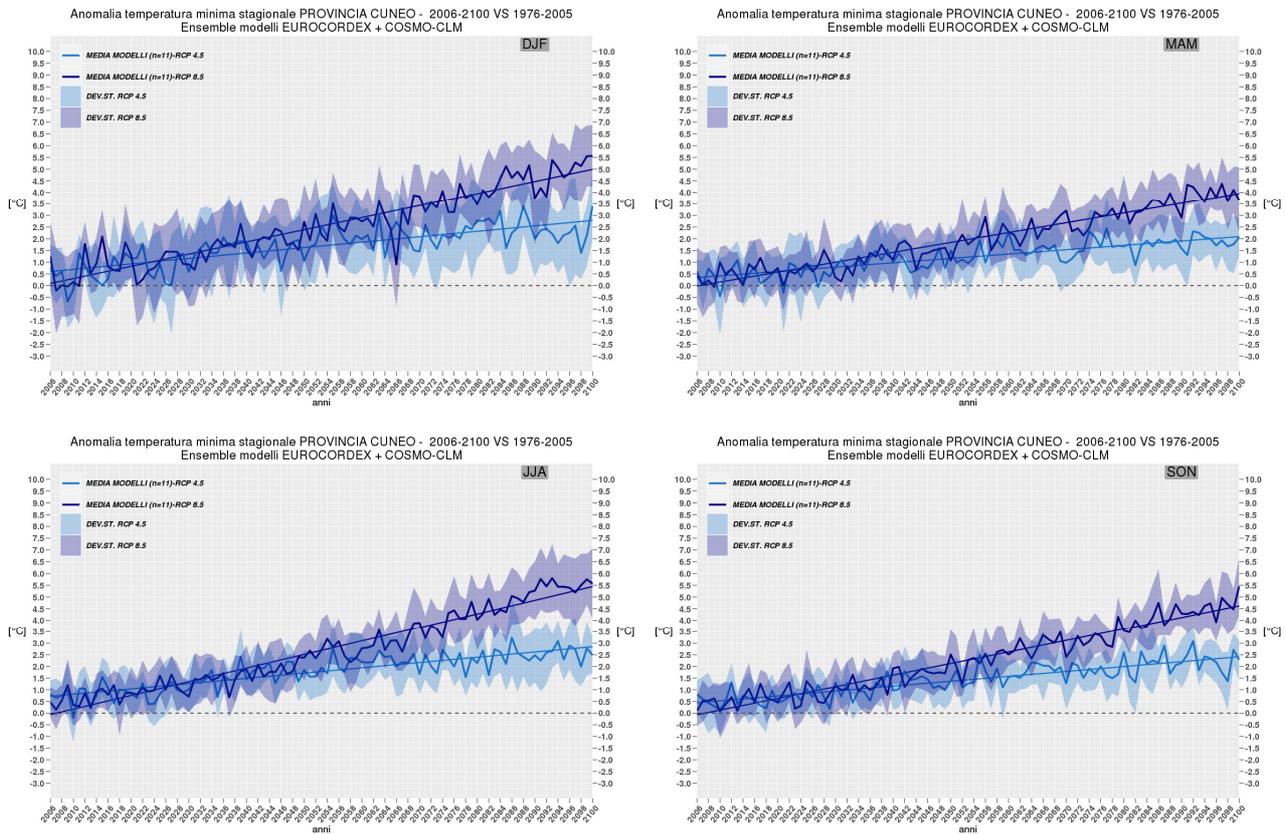


Figura 6 Andamento dell'anomalia della temperatura minima media stagionale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le diverse stagioni (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra) per lo scenario RCP4.5 (in rosso) e RCP8.5 (in lilla). Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni modellistiche (ensemble mean), le aree colorate rappresentano la deviazione standard tra le diverse simulazioni (l'incertezza del trend dipende dai diversi modelli) e le rette le tendenze lineari.

Questo incremento della temperatura minima invernale è maggiore se consideriamo le zone di montagna.

3.2 TEMPERATURE – DISTRIBUZIONE TERRITORIALE

Al fine di valutare le variazioni di temperatura per le diverse zone geografiche, sono state realizzate mappe a livello regionale mediate su periodi temporali differenti, in particolare sui trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Questo consente di evidenziare aree dove gli incrementi che abbiamo visto a livello medio sono maggiori o evidenziare eventuali compensazioni tra zone con incrementi e zone con decrementi.

3.2.1 Temperatura massima e minima annuale

Le mappe di temperatura massima e minima annuale dell'intero periodo 2006-2100 (Figura 7) evidenziano le influenze orografiche su questa variabile, che continuano a dominare rispetto ad altri fattori (latitudine, esposizione...).

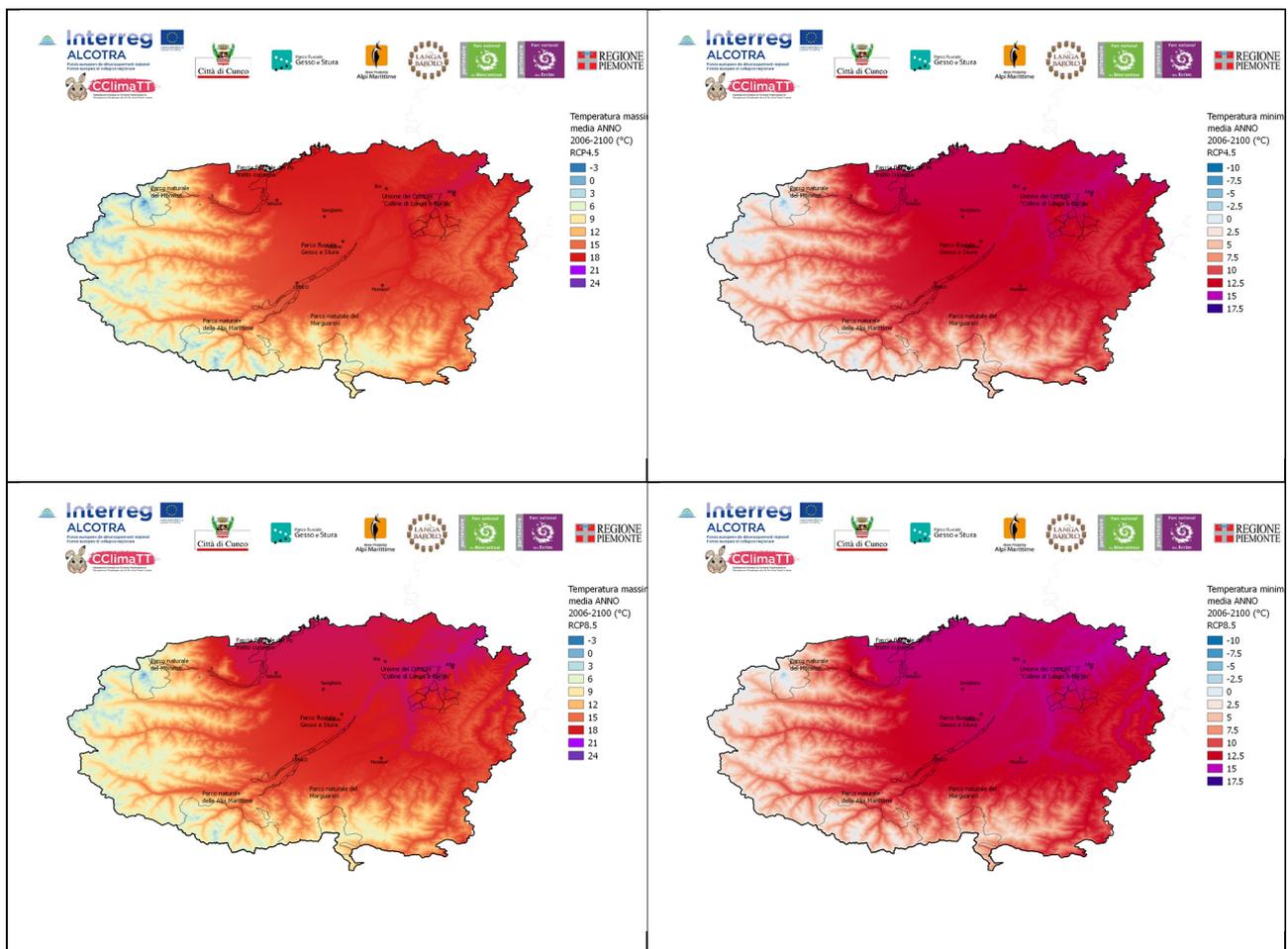


Figura 7 Temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale sul periodo 2006-2100 nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

Si evidenzia l'incremento maggiore per lo scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5, sulla pianura e nelle valli, in particolare nelle zone vallive prossime alle pianure. Sulle zone montuose, questa variazione è importante per la temperatura minima.

Per evidenziare meglio l'aumento di temperatura, sono state valutate le differenze nei diversi trentenni presi a riferimento per quanto riguarda la temperatura massima (Figura 8). Si osserva come, per lo scenario RCP4.5 (Figura 4, riga in alto), vi sia un incremento importante a metà secolo, mentre successivamente l'incremento è più modesto. Questo è coerente con lo scenario emissivo, che prevede una decisa riduzione delle emissioni a partire dal 2050 e, nei decenni successivi, una stabilizzazione del livello di CO₂ in atmosfera. Per lo scenario RCP 8.5 (Figura 8, in basso), l'incremento è continuo fino alla fine del secolo e decisamente importante per le zone di pianura, con temperature massime medie annuali che arrivano a 21°C.

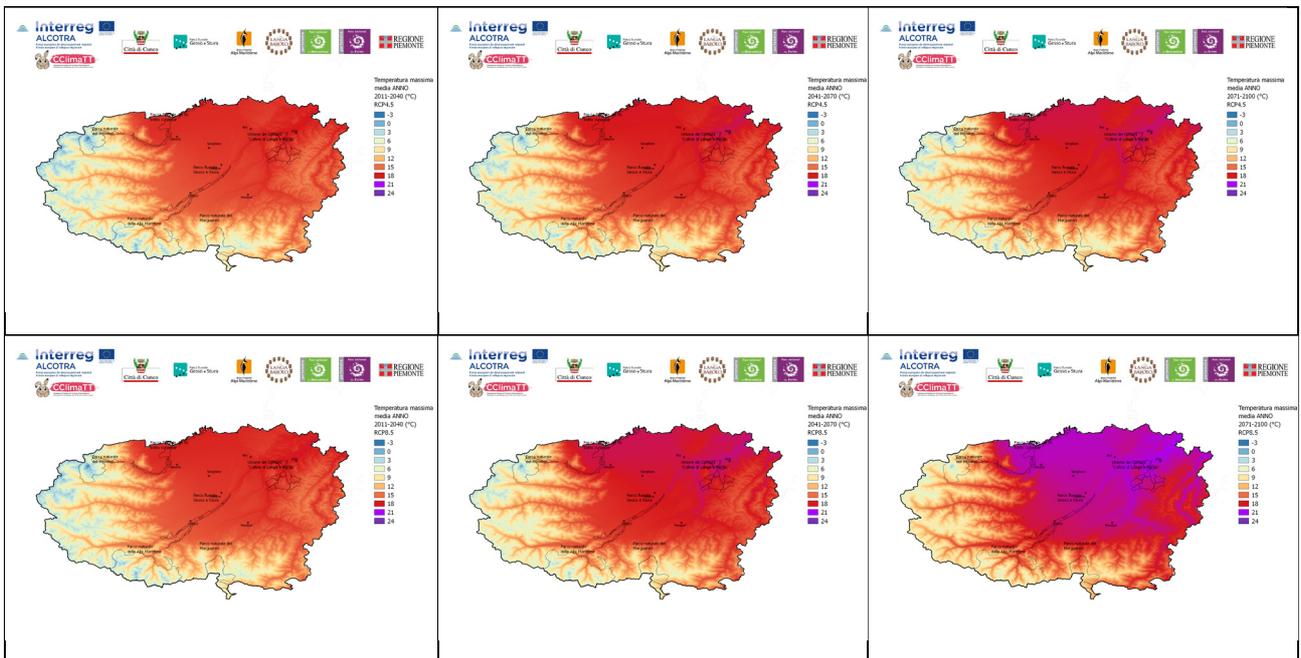
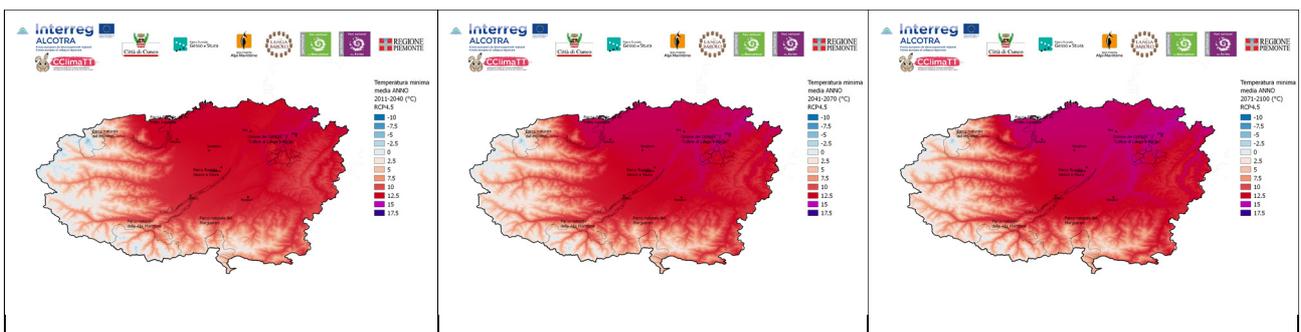


Figura 8 Temperatura massima media annuale nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

Un comportamento analogo si osserva per la temperatura minima (Figura 9), dove, per lo scenario RCP4.5, l'incremento risulta maggiore fino alla prima metà del secolo e per lo scenario RCP8.5 prosegue con la medesima intensità, portando a temperature minime medie di 15 °C nelle zone di pianura. Interessante è vedere come, nello scenario RCP8.5 la temperatura che si raggiunge nei fondovalle alpini è analoga a quella che si ha sulle pianure nel primo trentennio considerato.



ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017 - www.arpa.piemonte.it

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino – Tel. 01119681350 – fax 01119681341 – e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

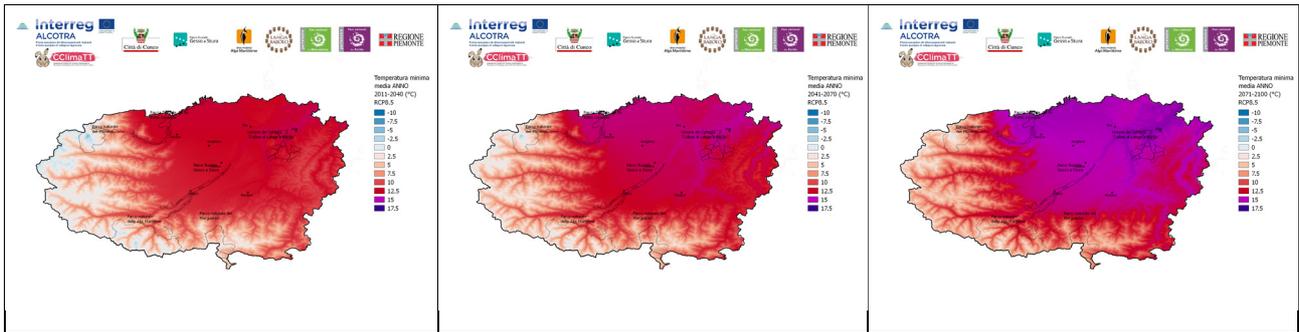


Figura 9 Temperatura minima media annuale nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

3.2.2 Temperatura massima e minima stagionale

Per analizzare se vi fosse un contributo alla variazione di temperatura annuale in funzione della stagione, sono state realizzate le mappe delle temperature massime (Figura 10) e minime stagionali (Figura 11) per i due scenari climatici futuri e rappresentate con quelle del clima di riferimento (1958-2018).

Per quanto riguarda la montagna, si evince un incremento maggiore della temperatura massima in inverno e primavera, più elevato per lo scenario RCP8.5 (Figura 10). Anche in autunno la temperatura massima aumenta, in particolare nelle valli a latitudini minori.

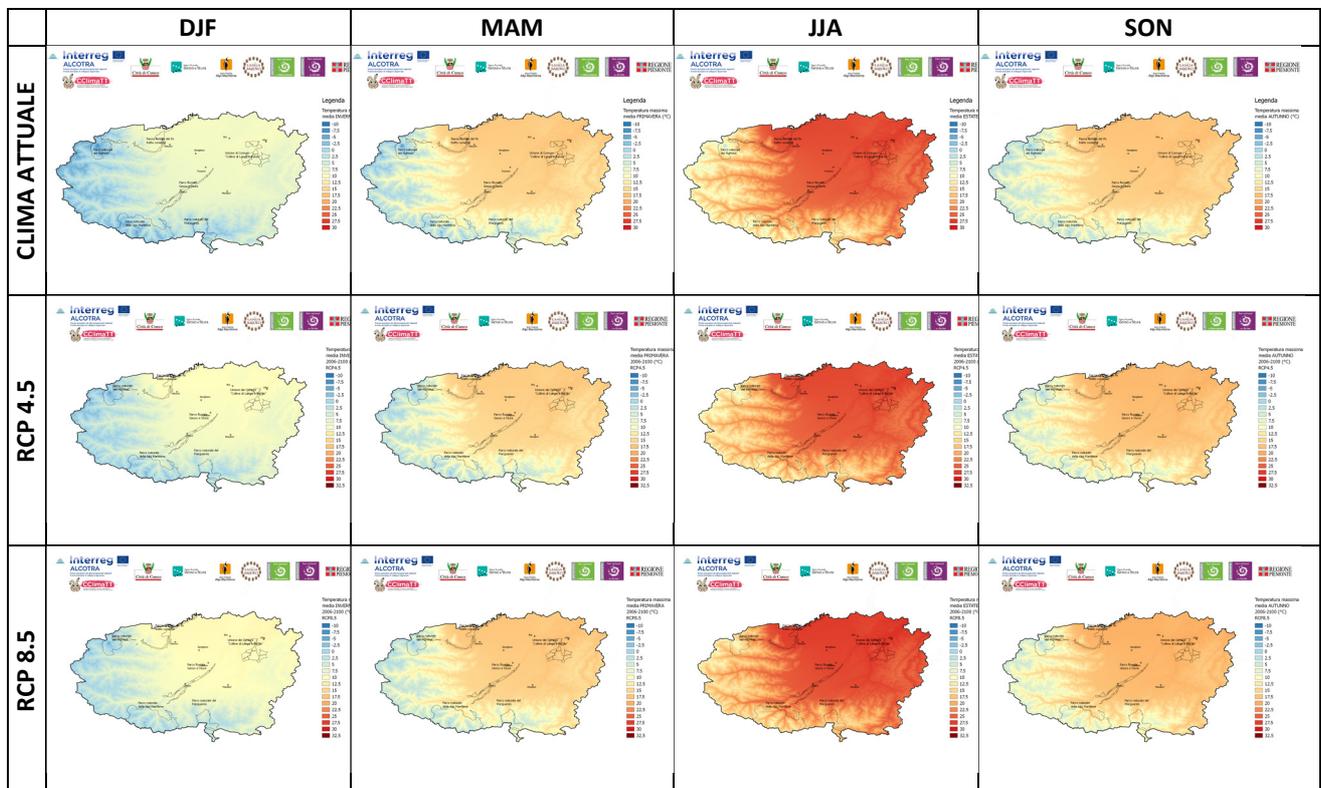


Figura 10 Temperatura massima stagionale del periodo 1958-2018 riga in alto, dal 2006-2100 nello scenario RCP4.5 (riga in mezzo), RCP8.5 (riga in basso), per le diverse stagioni da sinistra a destra (DJF, MAM, JJA, SON).

La medesima valutazione è stata fatta per la temperatura minima (Figura 11). L'incremento più evidente è in montagna in tutte le stagioni, in particolare in inverno e nelle stagioni intermedie, sulla pianura soprattutto durante l'estate. Da osservare che risulta più importante la variazione tra il clima attuale e lo scenario futuro piuttosto che la differenza fra i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

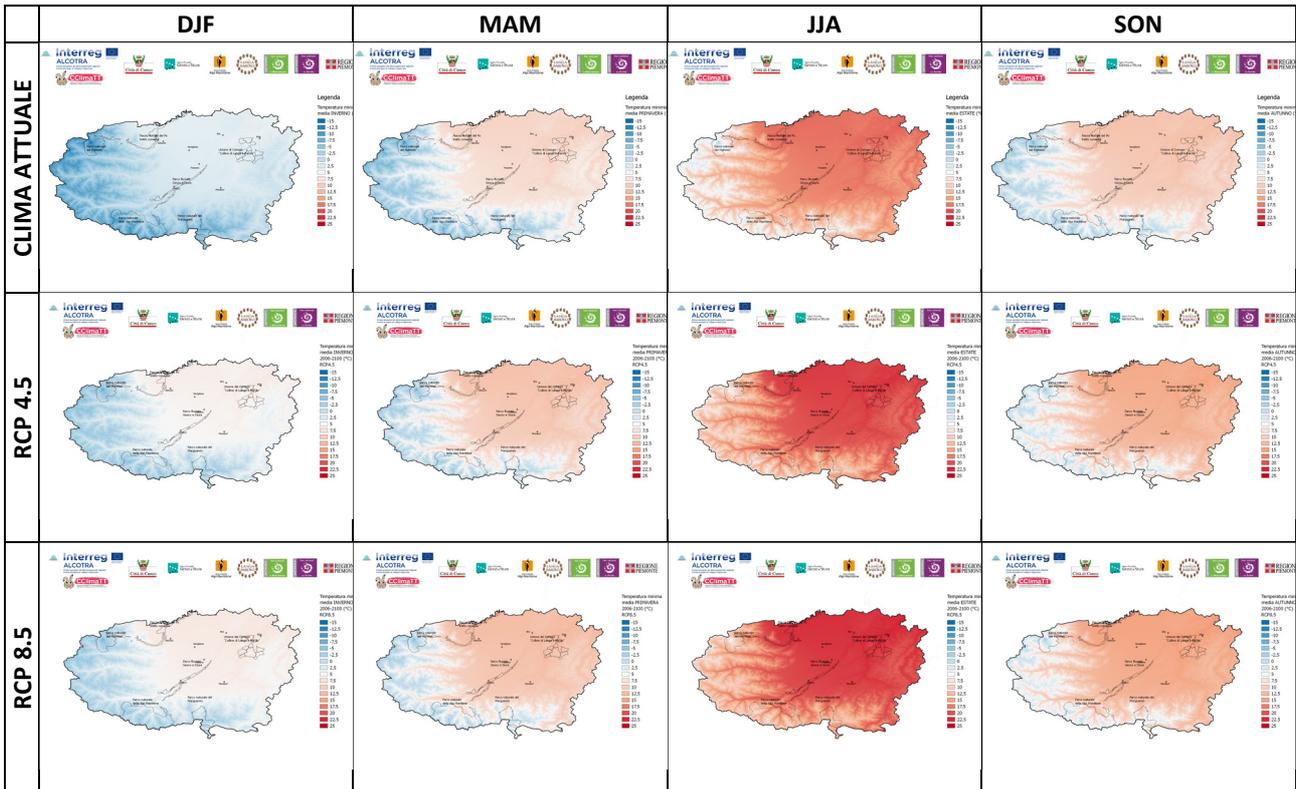


Figura 11 Temperatura minima stagionale del periodo 1958-2018 riga in alto, dal 2006-2100 nello scenario RCP4.5 (riga in mezzo), RCP8.5 (riga in basso), per le diverse stagioni da sinistra a destra (DJF, MAM, JJA, SON).

3.2.3 Temperatura massima e minima stagionale nei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100

L'analisi stagionale delle temperature massime e minime nei diversi trentenni, viene presentato solo per lo scenario RCP4.5. In questo scenario RCP4.5, per tutte le stagioni le temperature massime sembrano aumentare in modo graduale (Figura 12), con un incremento ridotto nell'ultimo periodo, ad eccezione per la temperatura invernale. In autunno aumentano le aree dove le temperature massime hanno le caratteristiche di quelle di pianura (autunni caldi sulle zone prealpine e lungo i pendii delle valli allo sbocco con la pianura).

| | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|--|-----------|-----------|-----------|
|--|-----------|-----------|-----------|

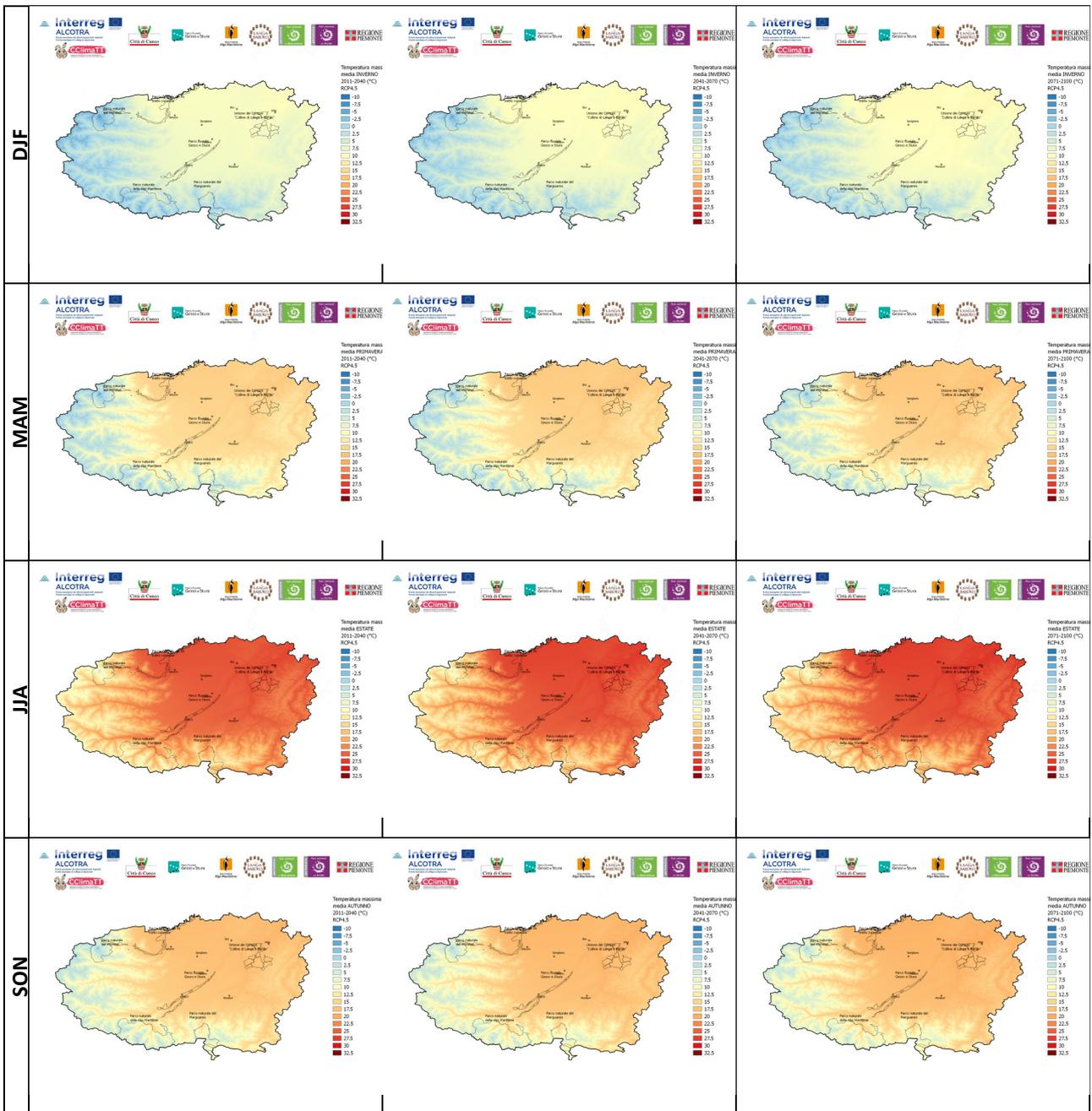


Figura 12 Temperatura massima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5. Scala di colori da -10°C a +32.5°C per tutte le stagioni.

Per quanto riguarda le temperature minime (Figura 13) un incremento si osserva anche nell'ultimo periodo durante l'inverno, meno accentuato nelle altre stagioni.

| | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|--|-----------|-----------|-----------|
|--|-----------|-----------|-----------|

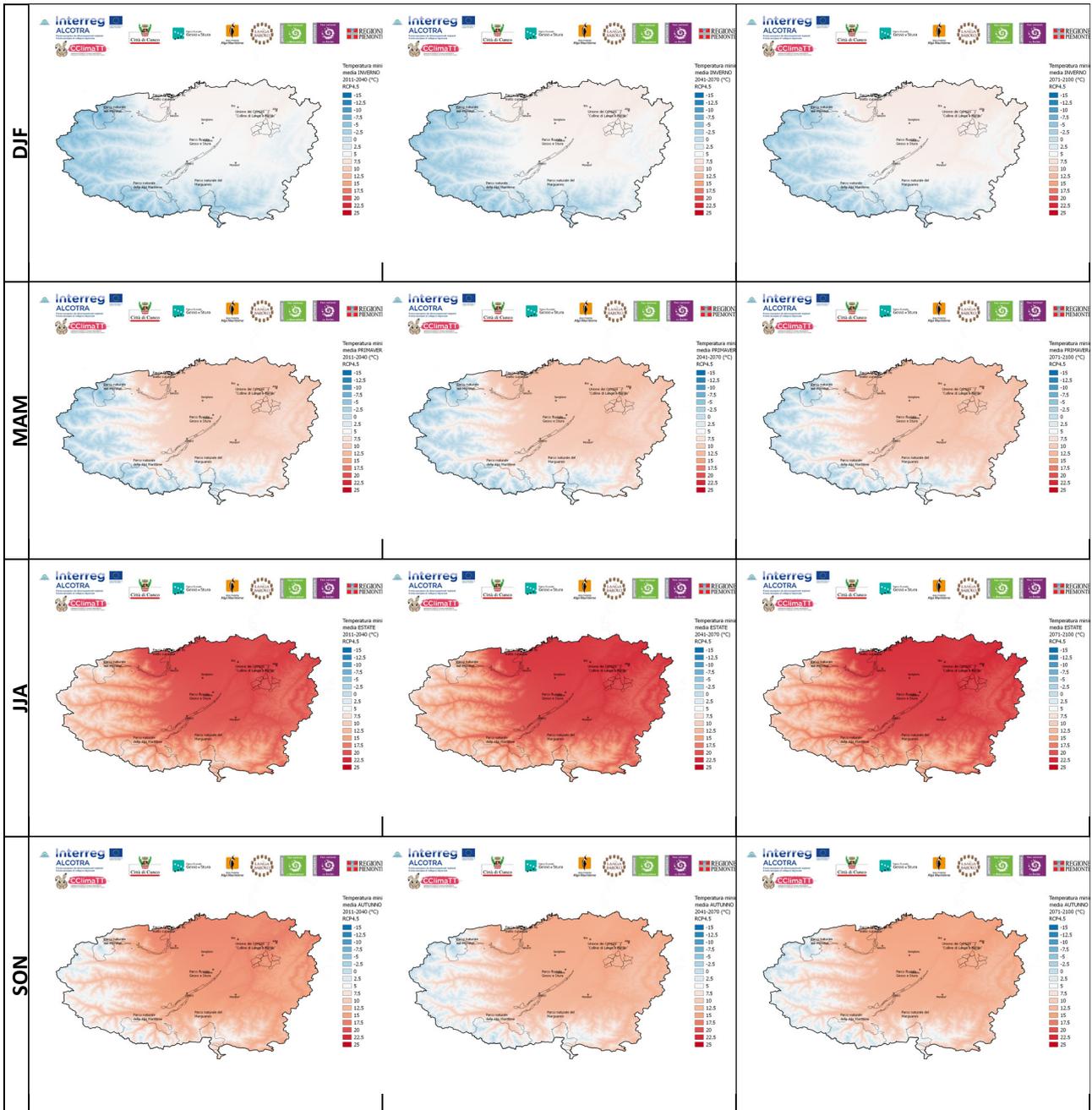


Figura 13 Temperatura minima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5. Scala di colori da -10°C a +25°C per tutte le stagioni.

3.2.4 Notti tropicali

Per avere indicazione del disagio notturno determinato da temperature elevate, un semplice indicatore è quello del numero di notti tropicali: notti in cui la temperatura minima è superiore ai 20°C. Si tratta dei giorni in cui la temperatura non scende mai sotto i 20°C. Spesso questo indicatore è connesso alla presenza di ondate di caldo.

Come rappresentazione più immediata dell'effetto del riscaldamento su questo indicatore, è stata calcolata la variazione del numero di notti tropicali per i diversi trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 ed è stata rappresentata sulla geografia della provincia.

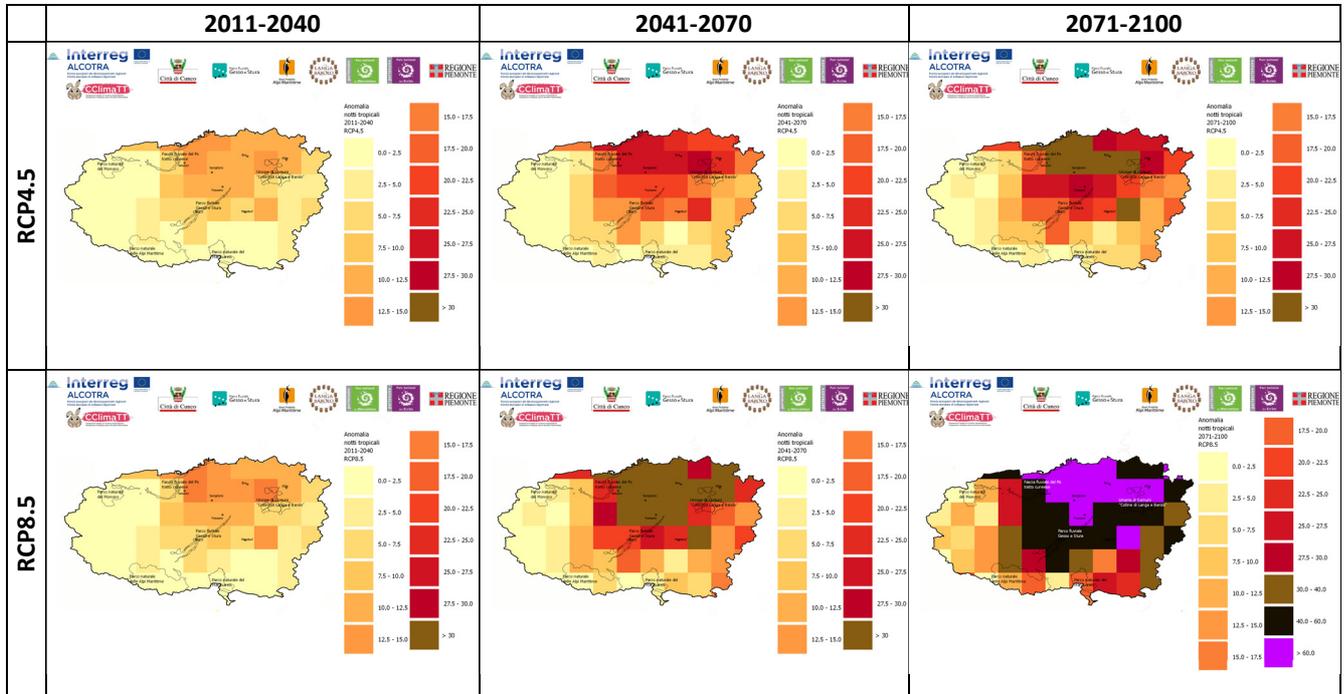


Figura 14 Variazione del numero di notti tropicali nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Si osserva un deciso aumento del numero di notti tropicali in entrambi gli scenari, con valori che superano i 30 giorni a fine secolo per lo scenario RCP4.5 e i 60 giorni per lo scenario RCP8.5.

Naturalmente questa variazione è superiore per le zone di pianura (del Saluzzese, limitatamente del Monregalese e del Roero) anche se alcune zone di fondovalle iniziano ad essere interessate a partire dalla metà del secolo.

3.2.5 Giorni tropicali

Un altro indicatore utilizzato per dare conto della distribuzione notte/giorno del riscaldamento è l'indicatore "giorni tropicali": viene valutato il numero di giorni in cui la temperatura massima è superiore ai 30°C. Spesso questo indicatore è connesso alla presenza di ondate di caldo.

Come rappresentazione più immediata dell'effetto del riscaldamento su questo indicatore, è stata calcolata la variazione del numero di giorni tropicali per i diversi trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 ed è stata rappresentata sulla geografia della provincia.

| | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| | | | |

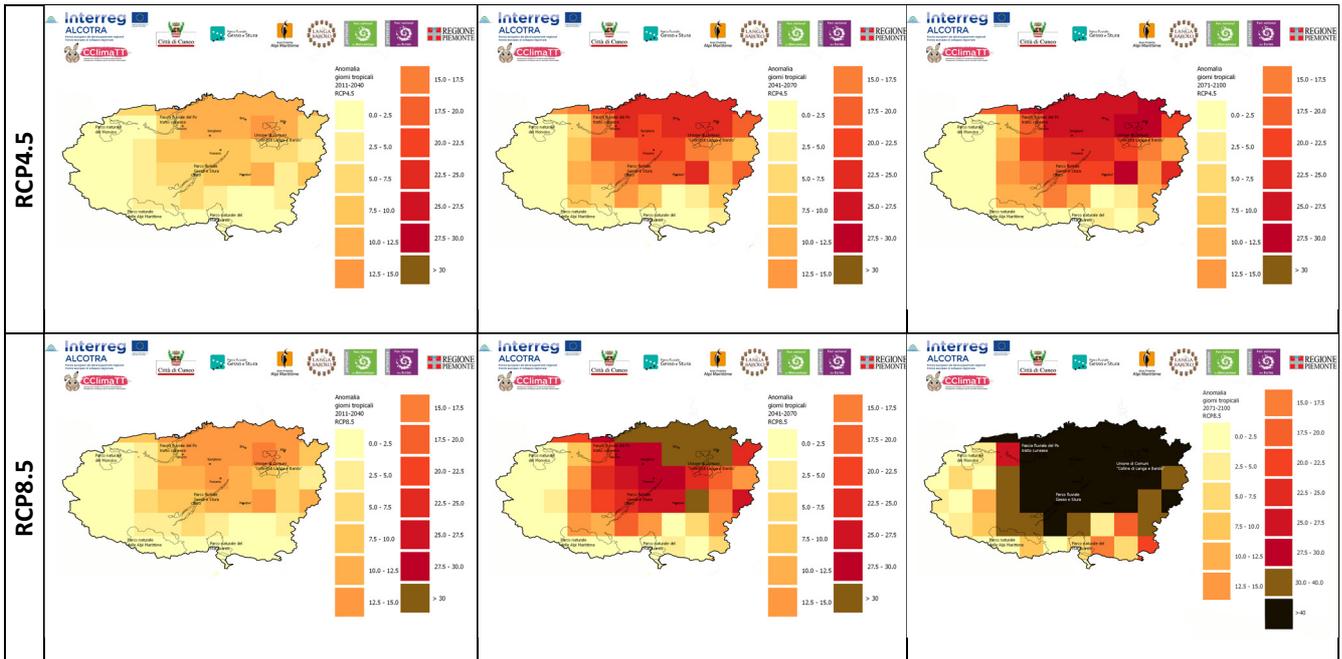


Figura 15 Variazione del numero di giorni tropicali nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Anche per questo indicatore si osserva un deciso aumento del numero in entrambi gli scenari, con valori che arrivano fino a 30 giorni a fine secolo per lo scenario RCP4.5 e superano i 60 giorni per lo scenario RCP8.5. Poiché si ipotizza che questo incremento sia legato principalmente alla stagione estiva, si può affermare che più della metà del periodo estivo a metà secolo sarà caratterizzato da giorni tropicali e quasi l'intera estate a fine secolo, in particolare nello scenario tendenziale.

Anche in questo caso la variazione è superiore per le zone di pianura anche se alcune zone di fondovalle iniziano ad essere interessate a partire dalla metà del secolo.

3.2.6 Giorni di gelo

Per quanto riguarda l'analisi della distribuzione del "freddo" sul territorio provinciale, è stato scelto l'indicatore giorni di gelo: ossia il numero di giorni in cui la temperatura minima scende al di sotto degli 0°C. Come rappresentazione più immediata dell'effetto del riscaldamento su questo indicatore, è stata calcolata la variazione del numero di giorni di gelo per i diversi trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 ed è stata rappresentata sulla geografia della provincia (Figura 16).

| | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|--|-----------|-----------|-----------|
|--|-----------|-----------|-----------|

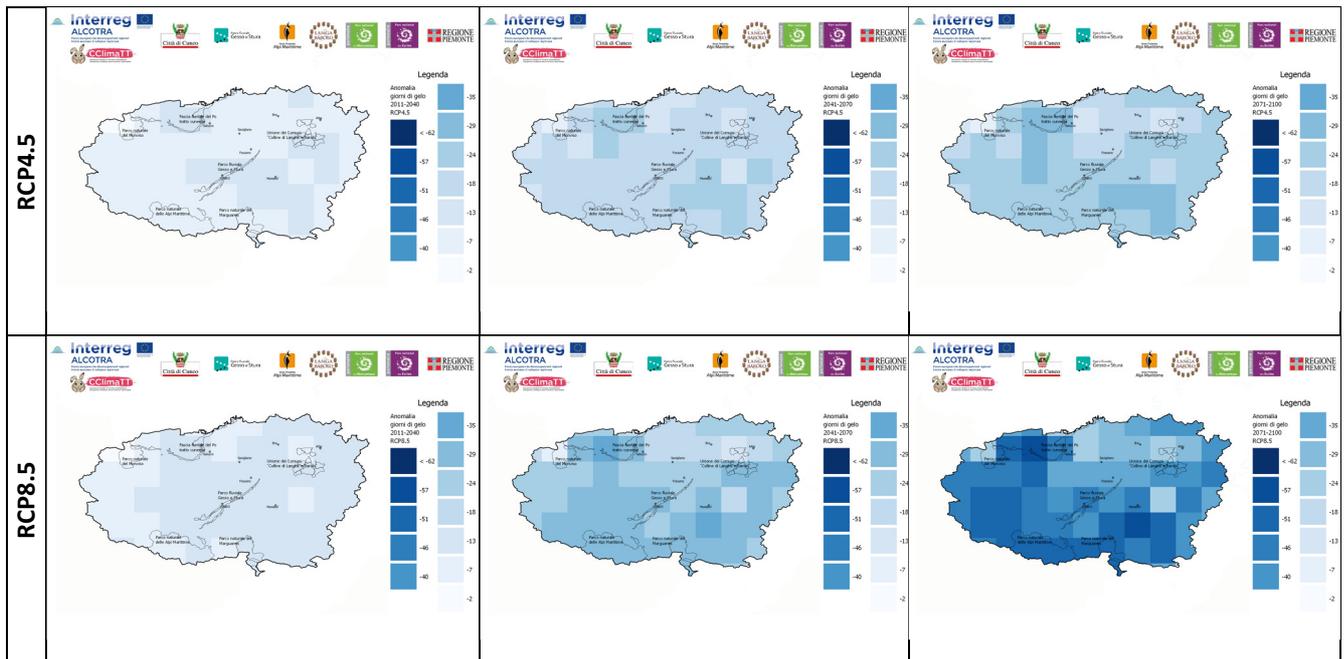


Figura 16 Variazione del numero di giorni di gelo nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Il numero di giorni di gelo tende a diminuire in entrambi gli scenari, in modo abbastanza graduale per lo scenario RCP4.5 raggiungendo anche valori di -30gg sulle zone prealpine a fine secolo. Per lo scenario RCP8.5 la variazione è via via più importante e raggiunge, a fine secolo, valori di -50gg. La diminuzione, in questo scenario, interessa dapprima le zone prealpine ma, a metà secolo, tutte le aree anche alle quote più elevate.

3.3 PRECIPITAZIONI

L'analisi delle variazioni della precipitazione nei valori medi ed estremi e nelle diverse stagioni rappresenta un elemento importante nelle proiezioni climatiche, perché da esse dipendono importanti settori economici. I valori estremi sono connessi al rischio idrogeologico e agli effetti e danni sul territorio, la quantità media alla disponibilità di riserva idrica e al settore agricolo, mentre la forma della precipitazione sotto forma di neve sia per l'alimentazione della risorsa disponibile, sia per l'economia turistica.

E' necessario premettere che le variazioni e le tendenze della precipitazione sono decisamente più incerte rispetto a quelle della temperatura, perché la precipitazione è frutto di processi atmosferici molto complessi che interagiscono fra loro in modo non lineare. Inoltre, la precipitazione è una variabile più discontinua, e non correla come la temperatura con fattori fisici del territorio quali quota, esposizione.... E' in ogni caso importante avere uno scenario di riferimento e individuare anche piccole o locali variazioni da cui possono derivare impatti importanti.

3.3.1 Precipitazioni annuali

Come prima elaborazione viene presentato l'andamento dell'anomalia della precipitazione cumulata annuale per la media di insieme dei modelli considerati per lo scenario RCP4.5 e RCP 8.5 (Figura 17).

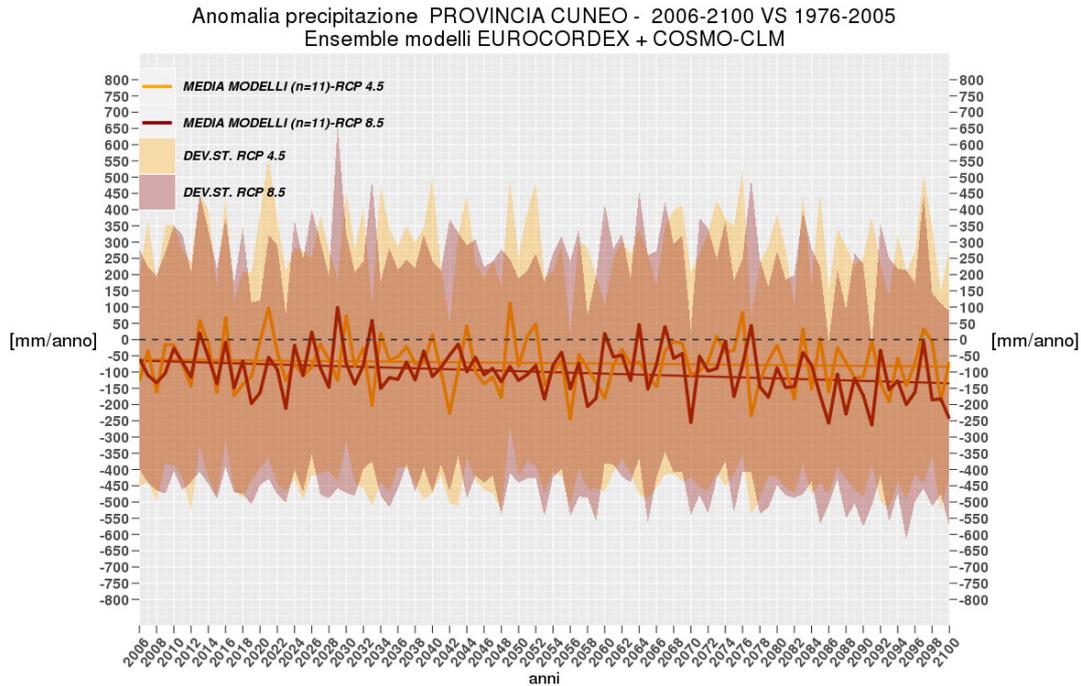


Figura 17 Andamento dell'anomalia della precipitazione cumulata annuale sulla provincia di Cuneo rispetto alla media del periodo di controllo 1976-2005, in arancione e rosso l'andamento per i diversi scenari RCP, con l'indicazione del trend lineare. Le aree colorate rappresentano l'intervallo di confidenza.

Come avviene a livello regionale complessivo le tendenze delle anomalie delle precipitazioni cumulate annuali mostrano tendenze negative per entrambi gli scenari, che però non risultano significative dal punto di vista statistico (Figura 17). Si evidenzia infatti una ampia banda che rappresenta la variabilità derivante dall'utilizzo dei diversi modelli. Questa informazione ci fa supporre una modalità uniforme di variazione di precipitazione che non sembra aumentare o diminuire in modo più marcato verso fine secolo. La variabilità inter-annuale rimane molto elevata e non si riscontrano, anche qualitativamente, delle periodicità.

L'analisi stagionale (Figura 18) mostra come nello scenario RCP4.5 ci sia una sostanziale stazionarietà della precipitazione, mentre nello scenario RCP8.5 il decremento della precipitazione sia maggiore in estate, autunno e primavera, ma anche in questo caso il segnale è molto debole e non statisticamente significativo. Da segnalare comunque una maggior incertezza tra i singoli modelli in primavera e in autunno, mentre in inverno e in estate la deviazione dal valore medio risulta più limitata.

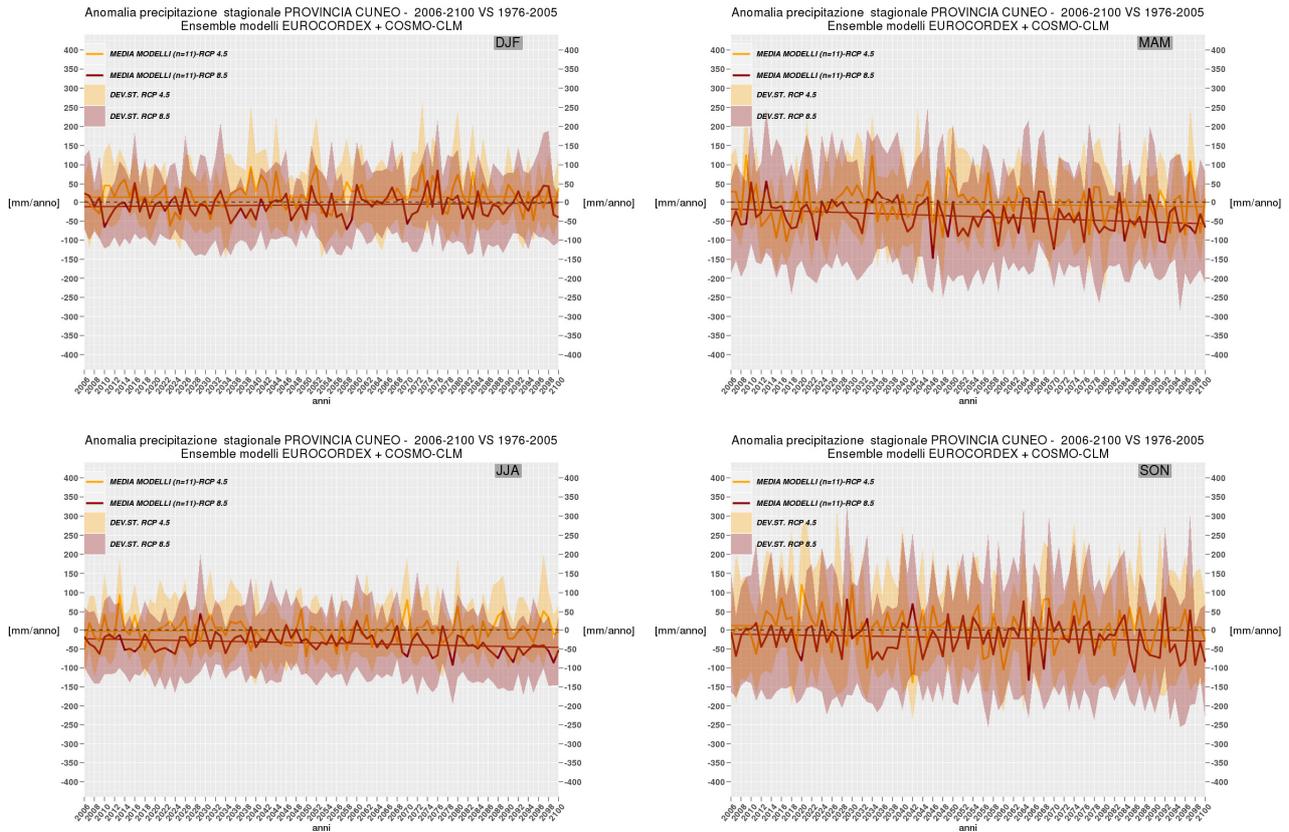


Figura 18 Andamento dell'anomalia della precipitazione cumulata stagionale sulla provincia di Cuneo rispetto alla media del periodo di controllo 1976-2005 (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra), in arancione e rosso l'andamento per i diversi scenari RCP, con l'indicazione del trend lineare. Le aree colorate rappresentano l'intervallo di confidenza.

3.3.2 Ciclo annuale della precipitazione

Sempre a livello della provincia di Cuneo, è stato analizzato il ciclo annuale della precipitazione, al fine di valutarne una eventuale modifica nel tempo. Se la precipitazione mediamente non fa evincere un trend significativo, è infatti possibile che la distribuzione nel corso dell'anno si sia modificata, in particolare nelle stagioni intermedie.

Dalla Figura 19 si conferma che il clima del Piemonte è di tipo temperato, con due massimi di precipitazione in autunno e primavera, e che questa caratteristica si mantiene nel tempo. Si osserva comunque una modifica del regime pluviometrico, con una diminuzione della precipitazione primaverile, che, nel corso del secolo tende a non essere più la stagione più piovosa, per entrambi gli scenari. Anche la precipitazione estiva, in particolare nei mesi di agosto e settembre tende a diminuire, in modo più marcato per lo scenario RCP8.5. In questo scenario tendenziale, anche la precipitazione del mese di luglio tende a diminuire. Il mese di luglio, risulta il secondo mese più asciutto dopo il minimo invernale di dicembre e tende, per entrambi gli scenari a diventare quello più secco dell'anno. Il mese di gennaio e febbraio insieme a ottobre, sono i mesi in cui si ha un lieve incremento di precipitazione distribuito diversamente nei diversi trentenni.

Nello scenario RCP8.5 la diminuzione della precipitazione primaverile è più graduale rispetto a quella dello scenario RCP4.5.

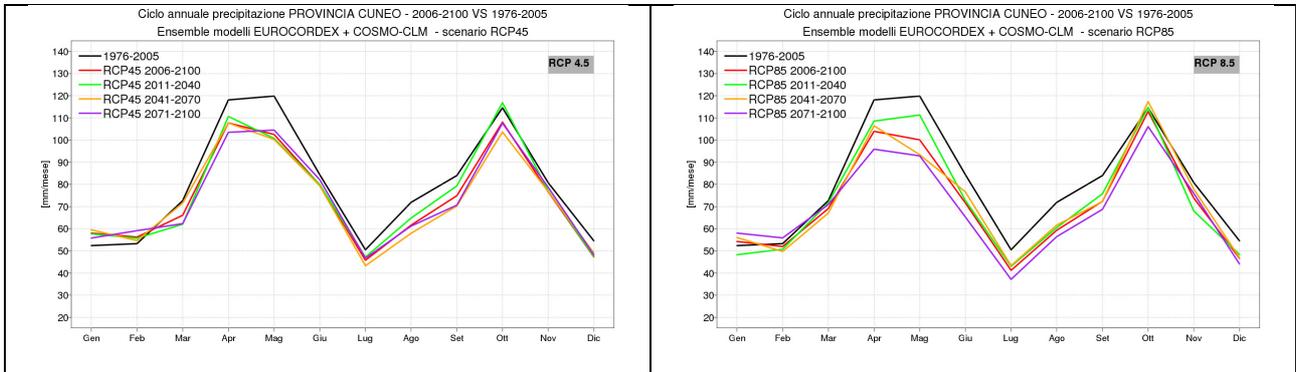


Figura 19 Ciclo annuale della precipitazione media mensile (mm/mese) per lo scenario RCP 4.5 (a sinistra) e lo scenario RCP8.5 (a destra). La linea nera rappresenta il ciclo annuale nel periodo di controllo, quella rossa nell'intero periodo simulato 2006-2100 e le linee verde, gialla e viola rappresentano il ciclo annuale dei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.

3.4 PRECIPITAZIONI – DISTRIBUZIONI TERRITORIALI

Nonostante a livello regionale non sia evidente una tendenza statisticamente significativa della precipitazione, interessante è analizzare la variazione della precipitazione cumulata stagionale nei tre trentenni di riferimento, per valutare eventuali differenze che risultano invece localmente o temporalmente significative.

3.4.1 Precipitazioni cumulate stagionali

La Figura 20 mostra le variazioni percentuali della precipitazione cumulata stagionale nei tre trentenni di riferimento rispetto al periodo di controllo 1976-2005, nello scenario RCP4.5.

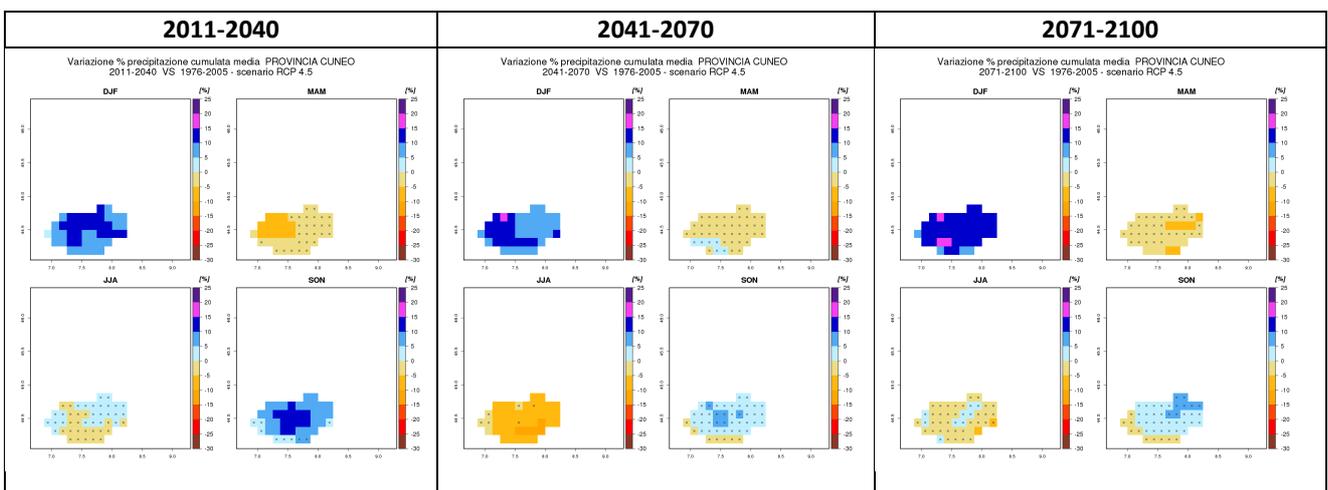


Figura 20 Variazione percentuale della precipitazione stagionale nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna) per lo scenario RCP4.5. I Pixel crocettati non sono significativi dal punto di vista statistico.

Si evince un aumento della precipitazione del periodo invernale, compresa tra il 10% e il 15%, che nel periodo intermedio e a fine secolo arriva localmente fino al 20% sulle zone montane. Un lieve aumento si evince nella

stagione autunnale, anche se significativo dal punto di vista statistico solo nel primo trentennio. L'estate vede invece una diminuzione nel periodo intermedio, che risulta statisticamente significativa.

Nello scenario RCP8.5 (Figura 21) si osserva un aumento della precipitazione invernale, anche consistente, solo nell'ultimo trentennio. L'estate vede una diminuzione graduale, che diventa molto severa nell'ultimo trentennio con un deficit che arriva fino al 30%. Anche la primavera vede una diminuzione significativa della precipitazione a partire da circa metà secolo.

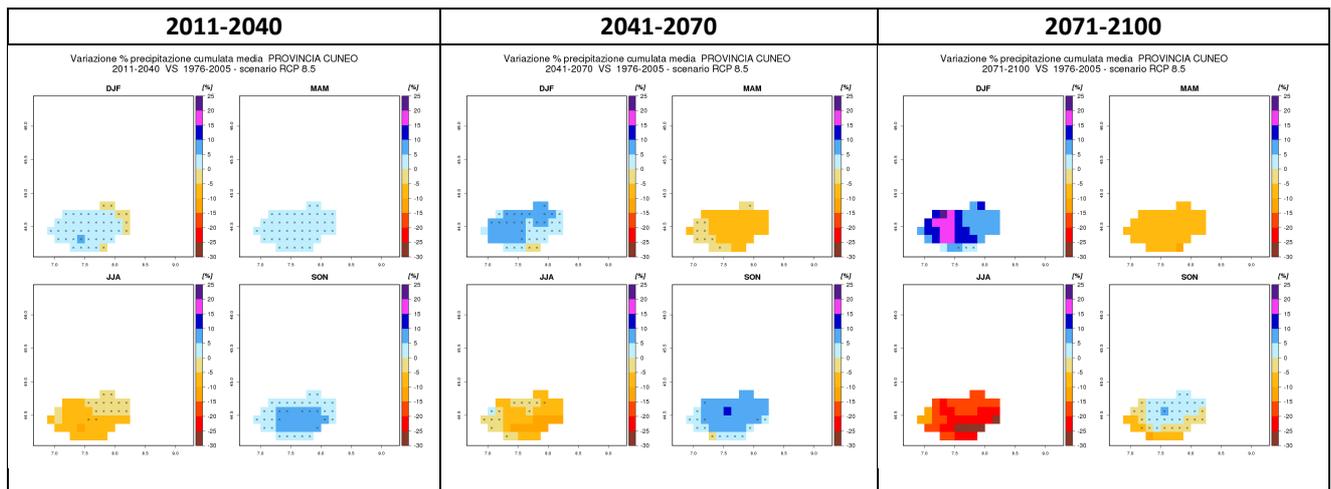


Figura 21 Variazione percentuale della precipitazione stagionale nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna) per lo scenario RCP8.5. I Pixel crocezzati non sono significativi dal punto di vista statistico.

Cercando di trarre un quadro riassuntivo sulle precipitazioni simulate dall'insieme dei modelli regionali per il futuro confrontate con il periodo di riferimento 1976-2005, verso fine secolo ci si attende un marcato aumento delle piogge in inverno secondo entrambi gli scenari, a cui si accompagna una leggera diminuzione in estate a metà secolo secondo lo scenario RCP 4.5 e una diminuzione sempre più accentuata verso fine secolo con le simulazioni ottenute nello scenario RCP 8.5. Queste variazioni rispetto al passato sono confermate dalla significatività statistica della differenza delle distribuzioni dei dati di precipitazione giornaliera tra periodo futuro e passato recente.

Se invece consideriamo la tendenza di queste variazioni in funzione del tempo, nei decenni futuri dal 2000 fino al 2100, esse si mantengono in un range sostanzialmente stazionario.

4 IL CLIMA DELLA PROVINCIA DI CUNEO – EFFETTI

4.1 INDICE SICITÀ- NUMERO MASSIMO DI GIORNI CONSECUTIVI SENZA PIOGGIA

Al fine di valutare le condizioni di siccità, e in particolare dell'episodio siccitoso più significativo dell'anno, è stato calcolato, per ogni punto griglia della provincia di Cuneo, la variazione del numero massimo di giorni consecutivi con assenza di precipitazione, per ogni anno dal 2006 al 2100 rispetto ai valori medi del periodo di controllo 1976-2100 (Figura 22 e Figura 23).

Variatione numero massimo annuale giorni secchi consecutivi PROVINCIA CUNEO
2006-2100 rispetto al periodo 1976-2005

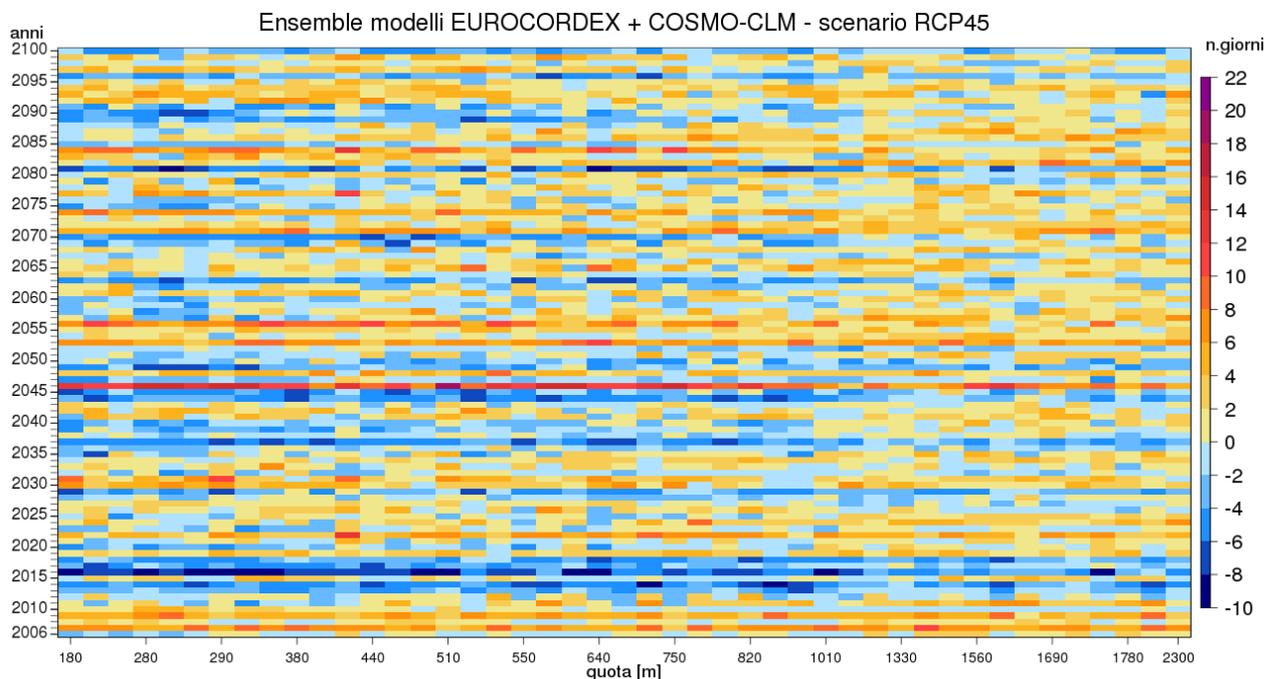


Figura 22 Variazione del numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione, per ogni anno (ordinate) e per ogni punto di griglia ordinati secondo la quota, dalle più basse alle più elevate (ascisse). La variazione è calcolata rispetto al valore medio del periodo 1976-2005, per lo scenario RCP4.5.

Per quanto riguarda lo scenario RCP4.5 (Figura 22), si evince qualitativamente una tendenza all'aumento della durata dei periodi secchi alle quote di montagna, anche se permane una discreta variabilità fino a fine secolo, che alterna periodi più piovosi a periodi secchi pluriannuali. L'incremento si ha soprattutto dopo la metà del secolo.

Per quanto riguarda lo scenario RCP8.5 (Figura 23) la tendenza all'aumento della massima lunghezza dei periodi secchi è ancora più evidente a partire dalla seconda metà del secolo con valori che, a partire dal 2070 diventano sempre più importanti e diffusi sul territorio. La frequenza degli anni siccitosi estremi aumenta e l'interessamento delle quote più alte. Dal 2080 la possibilità di avere anni più piovosi tenderà a ridursi significativamente.

Variazione numero massimo annuale giorni secchi consecutivi PROVINCIA CUNEO
2006-2100 rispetto al periodo 1976-2005

Ensemble modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM - scenario RCP85

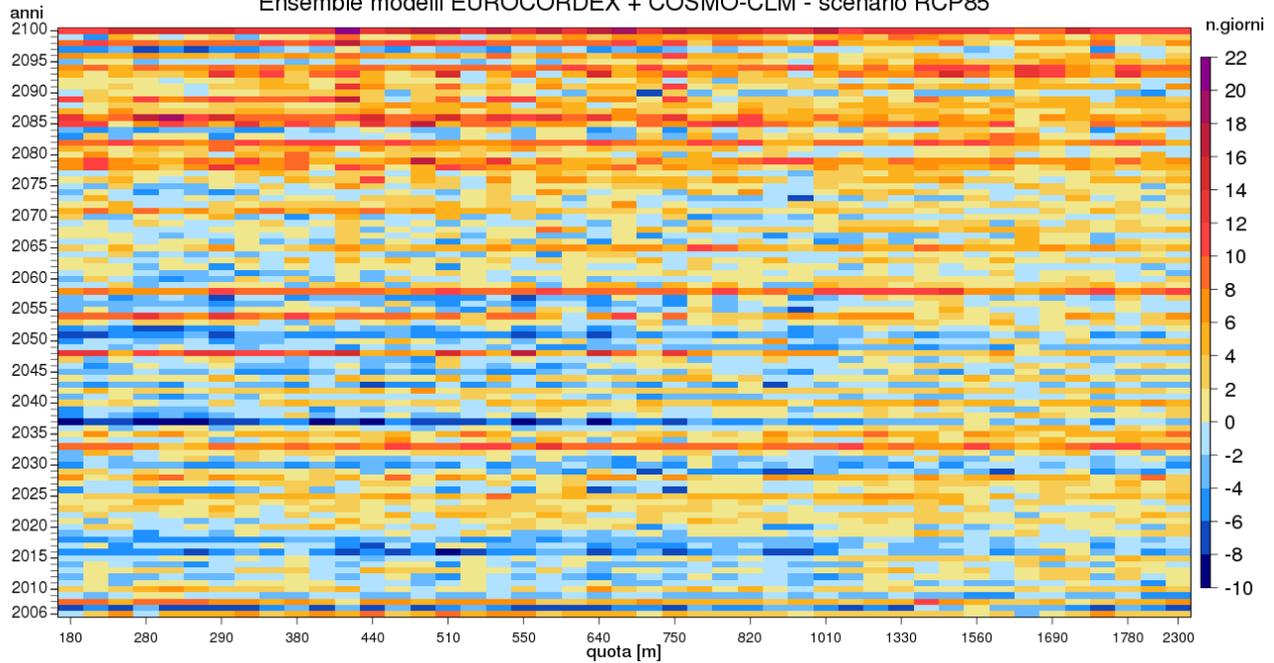


Figura 23 Variazione del numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione, per ogni anno (ordinate) e per ogni punto di griglia ordinati secondo la quota, dalle più basse alle più elevate (ascisse). La variazione è calcolata rispetto al valore medio del periodo 1976-2005, per lo scenario RCP4.5.

4.2 ANALISI DELLA FRAZIONE NEVE/PRECIPITAZIONE TOTALE

Una delle analisi importanti per la valutazione dei possibili impatti del cambiamento climatico sul “sistema neve” nel suo complesso è la variazione del rapporto tra la componente nevosa della precipitazione e la precipitazione totale. Questo indicatore fornisce delle stime sul potenziale nevoso della regione e la sua variazione può essere considerata significativa anche quando non vi è una variazione sulle precipitazioni, o quando questa è caratterizzata da una maggiore incertezza. Per la valutazione di questo indicatore, al momento è stato utilizzato solo la simulazione del modello COSMO-CLM, utilizzato per la predisposizione del Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico e non l’insieme dei modelli. La frazione neve/pioggia diminuisce, nello scenario RCP4.5, dal 40-50% al 20-30% a metà secolo e tale si mantiene fino a fine secolo. Nello scenario RCP8.5 si riduce già da metà secolo al 10% sulle zone prealpine e al 20% sulle quelle più interne, per poi portarsi al 10% a fine secolo nelle testate delle valli e azzerarsi altrove.

5 ANALISI SULLA CITTÀ DI CUNEO

Alcuni indicatori specifici possono essere calcolati sulle aree urbane, per evidenziare come, a livello locale, si distribuisce il riscaldamento che si evidenzia su un territorio più ampio. Questa valutazione è importante per quantificare gli impatti a livello urbano, dove le pianificazioni per l'adattamento possono essere molto efficaci se contestualizzate.

L'analisi è stata effettuata su Cuneo, calcolando le tendenze della temperatura, le differenze della precipitazione cumulata annuale e stagionale e dei giorni piovosi. Altri indicatori, maggiormente legati agli impatti, potranno essere presi in considerazioni per un'analisi di dettaglio in funzione delle problematiche locali.

In entrambi gli scenari (Figura 24 e Figura 25) si evidenzia l'incremento di temperatura massima e minima media annuale.

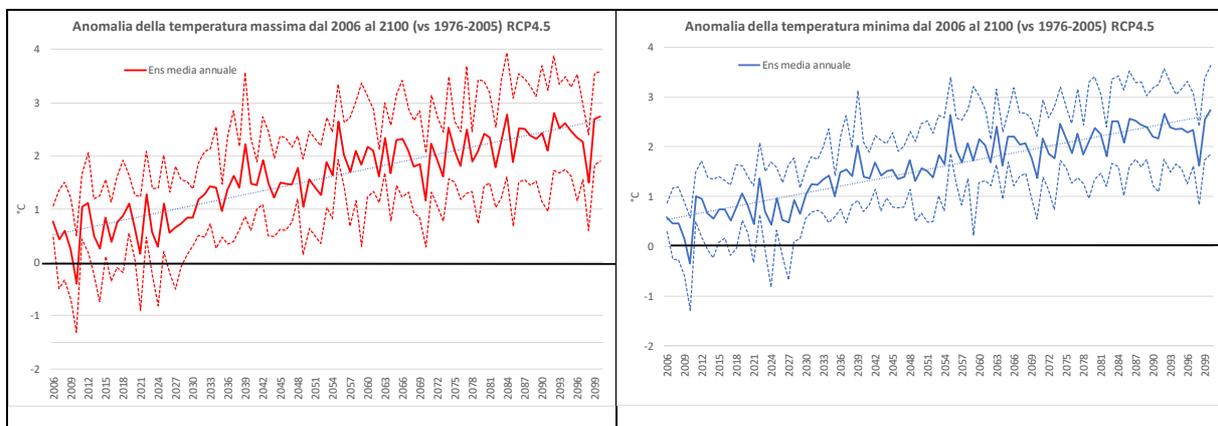


Figura 24 Andamento dell'anomalia della temperatura massima (a sinistra) e della temperatura minima (a destra) sulla città di Cuneo come derivata dall'ensemble mean delle diverse simulazioni (linee continue). Le linee tratteggiate rappresentano l'incertezza data dai diversi modelli in termini di deviazione standard. Per lo scenario RCP4.5.

L'aumento sia della temperatura massima sia della temperatura minima raggiunge e supera i 2°C nello scenario RCP4.5, con un tasso di incremento maggiore nei primi due trentenni e una successiva tendenza alla stabilizzazione nell'ultimo trentennio. Questo andamento è coerente con la stabilizzazione della concentrazione della CO₂ prevista in questo scenario. L'ampiezza della distribuzione intorno al valor medio (circa +/- 0.8°C per la massima, +/- 0.7°C per la minima), pur essendo consistente è inferiore all'incremento di temperatura stimato.

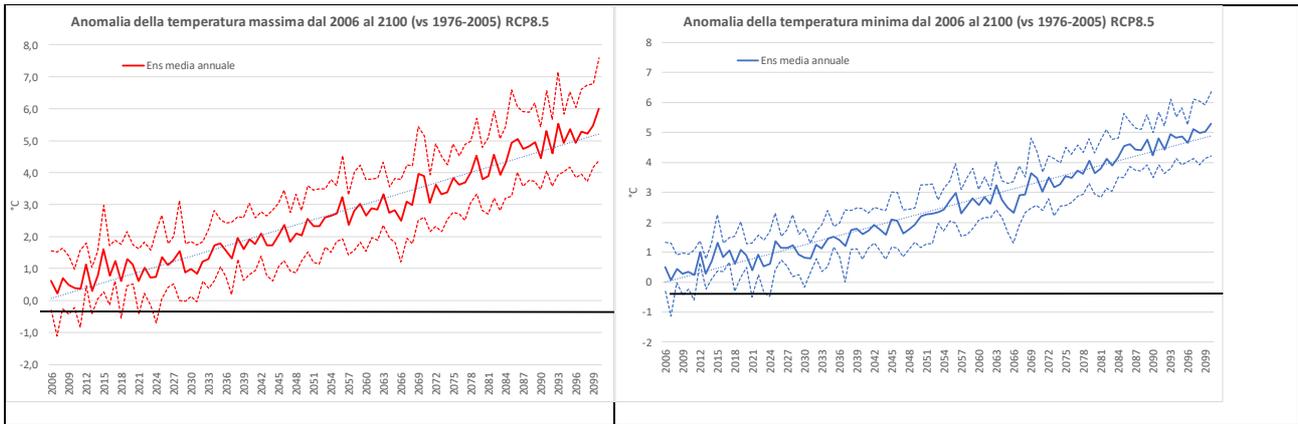
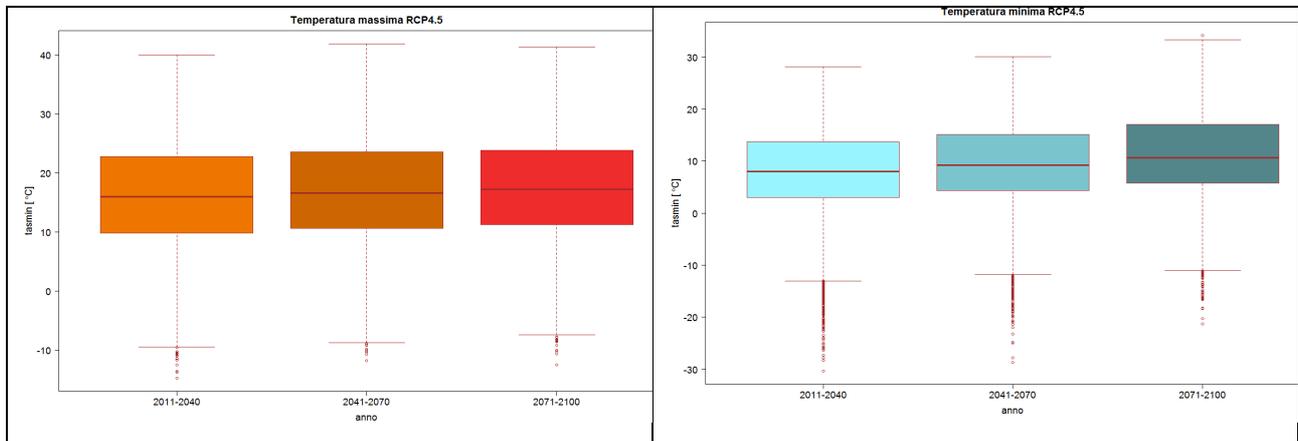


Figura 25 Andamento dell'anomalia della temperatura massima (a sinistra) e della temperatura minima (a destra) sulla città di Cuneo come derivata dall'ensemble mean delle diverse simulazioni (linee continue). Le linee tratteggiate rappresentano l'incertezza data dai diversi modelli in termini di deviazione standard. Per lo scenario RCP8.5.

L'incremento della temperatura nello scenario RCP8.5 è superiore a quello dello scenario RCP4.5, con le temperature massima e minima che a fine secolo mostra un incremento di circa 5°C. L'incremento è pressoché costante nel corso del secolo senza una tendenza alla stabilizzazione. La variabilità attorno alla temperatura minima è inferiore a quello della temperatura massima.

La dispersione ottenuta dai diversi modelli è pari a +/- 1°C per la temperatura massima e +/- 0.78°C per la temperatura minima. Questo risultato è interessante perché fornisce una maggior confidenza nella stima della temperatura nello scenario futuro e diminuisce la dipendenza dal tipo di modello utilizzato.

Per avere un maggior dettaglio sui tre diversi periodi temporali trentennali, sono stati realizzati i boxplot della distribuzione della temperatura massima giornaliera e minima giornaliera nei due scenari emissivi.



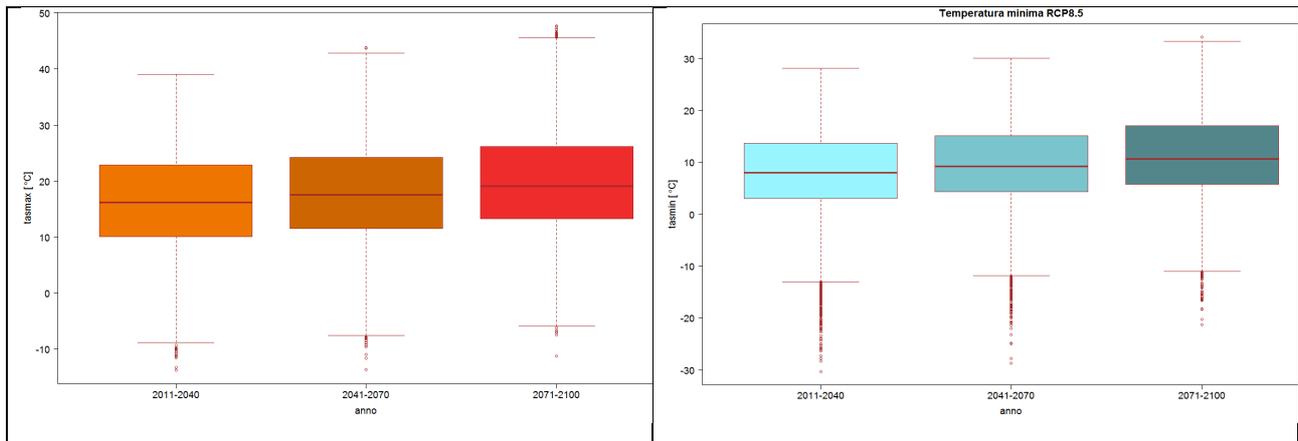


Figura 26 Boxplot della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) nei due scenari emissivi (RCP4.5 in alto e RCP8.5 in basso).

Si conferma la minore variabilità della temperatura minima (Figura 26) rispetto alla temperatura massima e una variazione dei percentili più alti e più bassi delle distribuzioni. Nello scenario RCP4.5 e per la temperatura massima aumenta fino a metà secolo il percentile più elevato della distribuzione, che si mantiene fino a fine secolo, mentre nello scenario RCP8.5 l'aumento è continuo. La temperatura minima vede un aumento fino a fine secolo dei percentili più elevati e più bassi della distribuzione in entrambi gli scenari.

Per l'analisi della precipitazione, che non mostra trend annuali statisticamente significativi, è stata confrontata la precipitazione cumulata annuale media nei tre trentenni, per i due scenari considerati (Figura 27).

Lo scenario RCP4.5 mostra una diminuzione della precipitazione annua nel trentennio intermedio, che risale lievemente nel trentennio finale, anche se non recupera il valore iniziale.

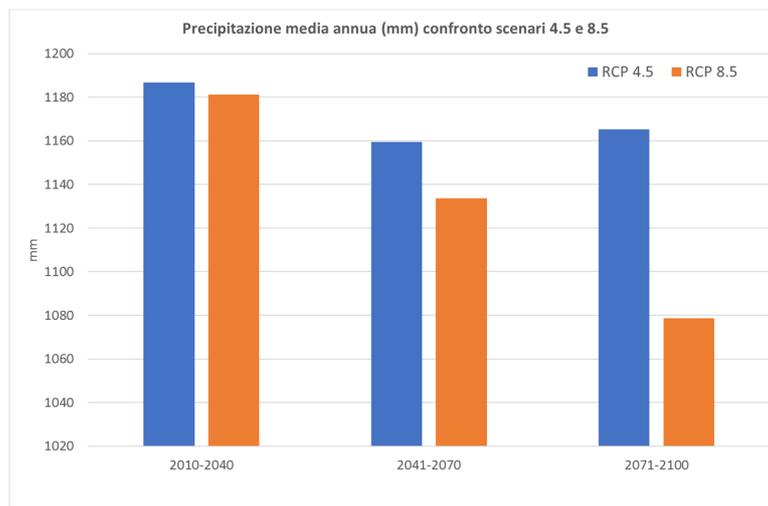


Figura 27 Precipitazione media annua su Cuneo media sul periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

La precipitazione nello scenario RCP8.5 mostra invece una diminuzione più evidente nel terzo trentennio.

La tendenza generale del numero di giorni piovosi mostra una lieve tendenza alla diminuzione in tutti gli scenari per l'intero secolo, più marcata nell'ultimo trentennio nello scenario RCP8.5, dove arriva al 10% (Figura 28).

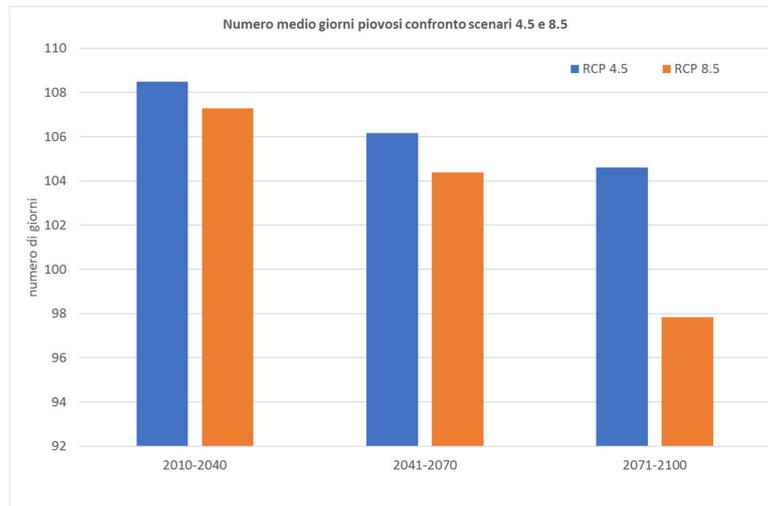


Figura 28 Numero di giorni piovosi su Cuneo medi sul periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.

L'analisi stagionale della precipitazione cumulata (Figura 29) mostra una diminuzione della precipitazione nel periodo estivo e una lieve variabilità nelle stagioni intermedie (MAM e SON), senza mostrare però trend significativi.

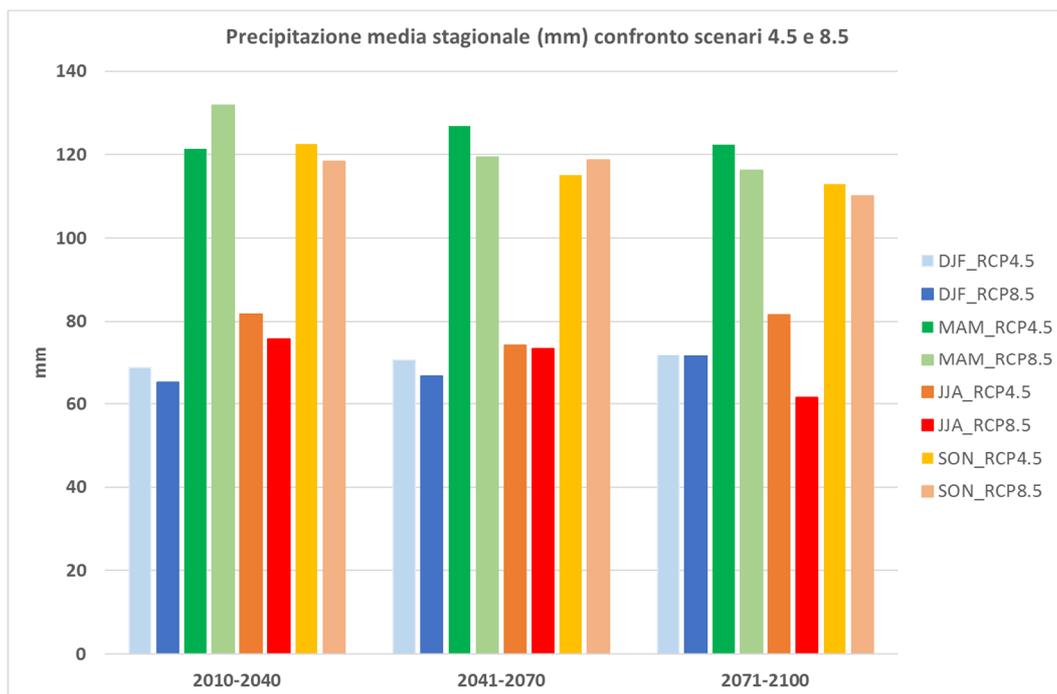


Figura 29 Precipitazione cumulata media stagionale (mm) su Cuneo sul periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 per lo scenario RCP4.5 e RCP8.5.