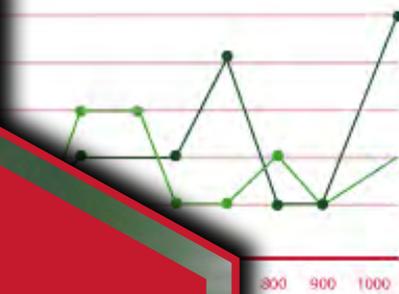
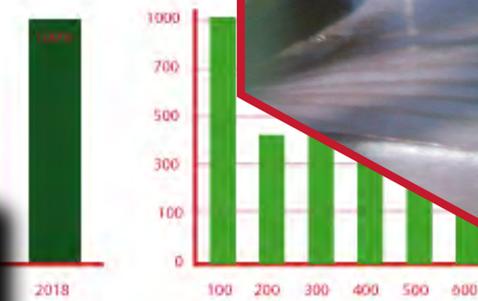


25%

50%



Analisi degli scenari di clima regionale del periodo 2011- 2100

Giugno 2020

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE.....	2
1.1 Premessa.....	2
1.2 Obiettivi e scopo del documento.....	2
1.3 <i>Pathway</i> di scenario emissivo.....	3
1.4 Gli scenari climatici da modellistica.....	5
1.5 Metodologia di downscaling sul territorio regionale.....	6
2 CLIMA REGIONALE - SCENARI FUTURI.....	8
2.1 Temperature trend.....	8
2.1.1 Anomalie annuali di temperatura.....	9
2.2 Temperature - distribuzione territoriale.....	13
2.2.1 Temperatura massima e minima annuale.....	13
2.2.2 Temperatura massima e minima stagionale.....	16
2.2.3 Notti tropicali.....	23
2.2.4 Giorni tropicali.....	24
2.2.5 Giorni di gelo.....	25
2.3 Precipitazioni.....	26
2.3.1 Precipitazioni annuali.....	27
2.3.2 Ciclo annuale della precipitazione.....	28
2.3.3 Precipitazioni - distribuzioni territoriali.....	29
2.3.4 Precipitazioni - numero di giorni piovosi.....	31
3 IL CLIMA REGIONALE - EFFETTI.....	36
3.1 Indice siccità - numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia.....	36
3.2 Indice siccità - <i>evapotraspirazione potenziale</i>	39
3.3 Indice siccità - SPI.....	41
3.4 Analisi della frazione neve/precipitazione totale.....	45
3.5 Gradi giorno di riscaldamento e raffrescamento.....	46
3.6 Indice di pericolo incendi boschivi.....	49
3.7 Ondate di calore.....	63
4 CREDITS.....	64

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Questo documento rappresenta la seconda parte dell'*assessment* climatico regionale che riguarda gli scenari futuri, realizzati attraverso l'applicazione ragionata al territorio regionale di modelli climatici ad alta risoluzione.

1.2 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 sul territorio regionale. Successivamente alla proposta metodologica preliminare, in questo documento sono rappresentati alcuni indicatori specifici per valutare potenziali impatti del cambiamento climatico atteso in diversi settori. Ulteriori indicatori potranno essere valorizzati sulla base delle indicazioni del Gruppo di Lavoro regionale sul cambiamento climatico e dei tavoli di lavoro tematici. Inoltre, la messa a disposizione delle informazioni sul Geoportale di Arpa Piemonte, prevista per il 2021, può facilitare la consultazione degli indicatori su ambiti ristretti o località specifiche. L'analisi sui capoluoghi di Provincia, tenendo conto degli impatti con caratteristiche urbane, verrà sviluppata in un rapporto successivo.

1.3 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, anche se al momento l'efficacia non risulta così evidente. Gli impegni di riduzione delle emissioni dei gas serra sono effettuati attraverso la definizione di target da raggiungere ad una certa data, di solito con un orizzonte temporale piuttosto lungo. L'importante non è solo la stima delle emissioni guidate dai diversi fattori socio-economici, di lungo periodo, ma anche la traiettoria che verrà seguita nel tempo per raggiungere i target. Per questo si parla di *pathway* emissivi.

Per definire dei possibili scenari di riscaldamento globale, viene effettuata una stima del forzante radiativo RF, cioè dello squilibrio radiativo al top dell'atmosfera, tra la radiazione solare in entrata e quella riemessa dal sistema terra-atmosfera. Una modifica di questo bilancio radiativo determina un riscaldamento o un raffreddamento del sistema. Il Panel Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici IPCC stima che l'incremento del forzante radiativo dovuto alle attività antropiche rispetto al 1750 fosse dell'ordine di 0,57 W/m² nel 1950 e sia salito a 2,29 W/m² nel 2011 (IPCC, AR5).

Per quanto riguarda il futuro, vengono prese a riferimento diverse traiettorie che questo fattore radiativo potrà assumere, sulla base di complessi modelli socio-economici. La Tabella 1 rappresenta schematicamente alcuni di questi possibili valori di squilibrio radiativo, che vengono identificati con il termine RCP (*Representative Concentration Pathway*), seguiti da un numero che rappresenta il valore dell'incremento dello squilibrio radiativo rispetto al 1750.

Representative Concentration Pathway (RCP)	Forcing compared to 1750 (Wm ⁻²)	Climate policy associated with scenario	CO ₂ Equivalent (ppm)	Projected global average temperature increase from 1986-2005 (°C)
2.6	2.6	Mitigation	475	1.0
4.5	4.5	Stabilization	630	1.8
6.0	6.0	Stabilization	800	2.2
8.5	8.5	None	1313	3.7

Tabella 1 - Caratteristiche principali degli RCP (IPCC Fifth Assessment Report Summary for Policymakers, Figure SPM.5 and Box SPM.1).

Il valore del forzante radiativo a una certa data e la traiettoria con cui verrà raggiunto determinano le condizioni di base per effettuare le simulazioni climatiche attraverso la modellistica. La Figura 1 rappresenta le traiettorie dei Representative Concentration Pathway selezionati e le emissioni di anidride carbonica coerenti per raggiungere quel determinato fattore radiativo.

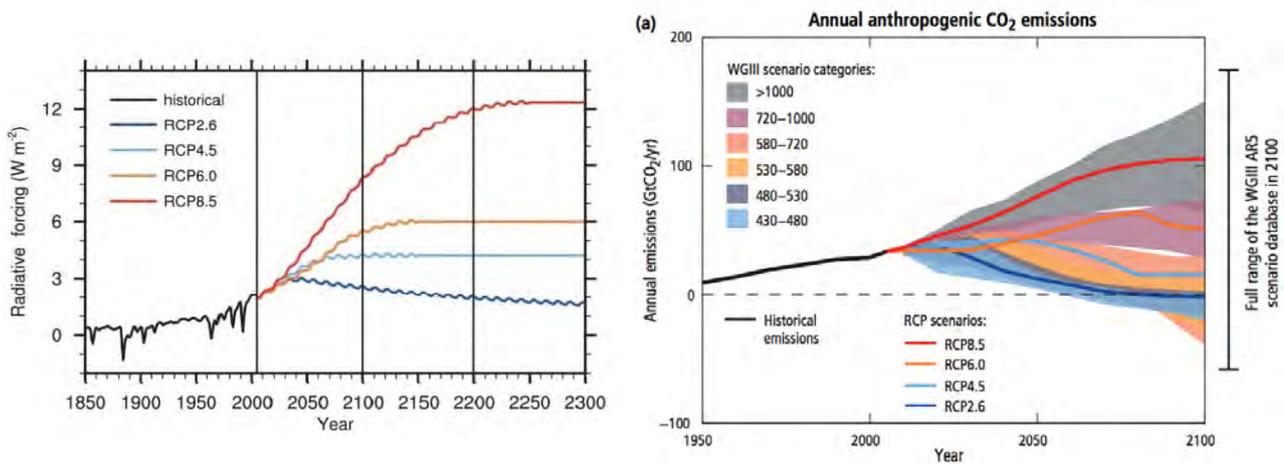


Figura 1 - Andamento stimato del forcing radiativo per gli scenari RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP2.6 (a sinistra). Andamento delle emissioni di anidride carbonica necessarie per raggiungere quel valore di fattore radiativo (a destra).
Fonte IPCC, AR5.

I modelli climatici vengono utilizzati con gli andamenti del forzante radiativo stimato e sono così in grado di riprodurre lo scenario climatico conseguente.

In questa analisi viene considerato lo scenario RCP8.5, che rappresenta uno scenario a elevate emissioni, che può essere considerato quello tendenziale senza politiche di mitigazione efficaci, e lo scenario RCP4.5 che rappresenta uno scenario con azioni di mitigazione anche importanti, legate, per esempio, agli impegni dell'Accordo di Parigi.

Per completezza del contenuto di questo paragrafo, riportiamo quanto mostrato dal rapporto dell'IPCC AR5, sulla stima dell'incremento della temperatura media globale, in funzione degli scenari RCPs (Figura 2).

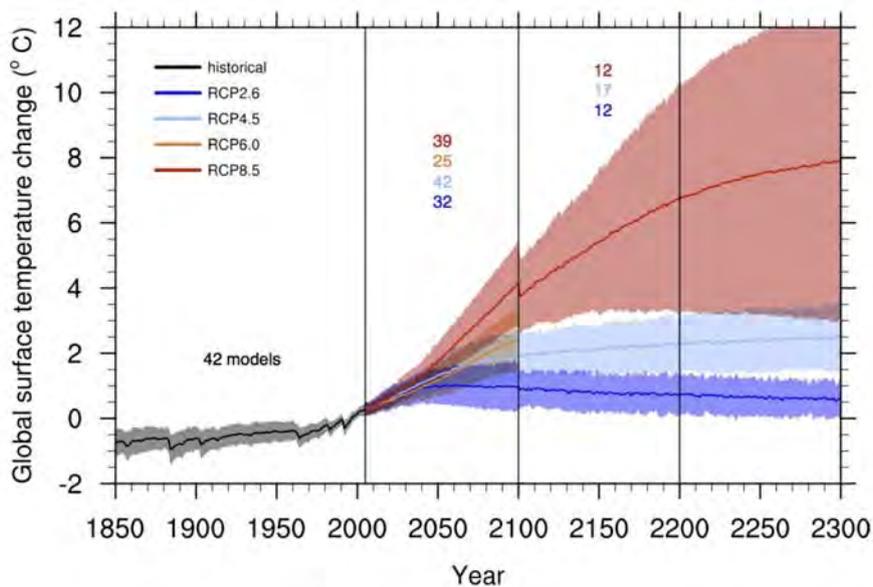


Figura 2 - Proiezioni dell'incremento della temperatura media globale al 2100 e oltre, secondo gli scenari RCPs.
Fonte IPCC, AR5.

1.4 GLI SCENARI CLIMATICI DA MODELLISTICA

Per le analisi climatiche sul Piemonte 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 RCP4.5 e RCP8.5 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 RCP4.5 e RCP8.5.

La tabella sottostante (Tabella 2) riassume le specifiche dei modelli.

MODELLO GLOBALE	MODELLO REGIONALE	CONSORZIO	RISOLUZIONE
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4	CORDEX	0,11 degree
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	SMHI-RCA4	CORDEX	0,11 degree
ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5	CORDEX	0,11 degree
ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM4	CORDEX	0,11 degree
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	CORDEX	0,11 degree
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4	CORDEX	0,11 degree
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	CORDEX	0,11 degree
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	CORDEX	0,11 degree
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4	CORDEX	0,11 degree
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	CORDEX	0,11 degree
CMCC-CM	COSMO-CLM	CMCC	0,08 degree

Tabella 2 - Elenco dei modelli utilizzati per le analisi del clima futuro.

1.5 METODOLOGIA DI DOWNSCALING SUL TERRITORIO REGIONALE

Tutte le simulazioni sono state ulteriormente adattate alla realtà regionale piemontese con opportune tecniche statistiche di rimozione degli errori sistematici, attraverso un confronto con i dati della rete osservativa piemontese nel recente passato, al fine di ottenere dati modellistici in grado di riprodurre il clima recente del territorio piemontese.

Per ottenere una valutazione più robusta delle variabili climatiche future simulate è consuetudine seguire un approccio chiamato “*ensemble mean*”. Per ogni analisi non si considerano separatamente i risultati forniti dai singoli modelli, ma quelli ottenuti dal valor medio di tutti i modelli selezionati. Questa tecnica consente di ridurre l'incertezza intrinseca tipica dei modelli di tipo climatico (legata alla stocasticità del sistema atmosferico di per sé e ad altre limitazioni dovute ad una rappresentazione delle caratteristiche della circolazione terrestre necessariamente approssimata), fornendo non solo la stima media della variabile prevista, ma anche la stima dell'incertezza su tale media. In tal modo si consegue un certo grado di informazione anche sulla affidabilità della stima futura attraverso la dispersione dei valori dei singoli modelli intorno al valor medio. Per quanto riguarda gli indicatori, essi sono stati calcolati singolarmente per ogni modello e solo successivamente si è provveduto a darne una versione d'insieme.

Quasi tutti gli indicatori sono stati calcolati sull'ensemble di modelli, dove erano necessari dati a maggiore risoluzione temporale (sub-giornaliera) o variabili particolari (quali vento o umidità relativa) gli indicatori sono stati calcolati solo sullo scenario fornito dal modello COSMO-CLM.

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.

Il confronto tra le simulazioni del periodo di controllo e i dati osservati ha consentito l'applicazione di tecniche di correzione degli errori.

Per la scelta delle simulazioni disponibili su CORDEX, sono stati selezionati i modelli in grado di riprodurre alcune caratteristiche macroscopiche del clima attuale, come il ciclo annuale della precipitazione.

L'analisi è stata effettuata considerando l'intero territorio regionale, fasce altimetriche differenti e, a livello puntuale, le singole aree urbane, non presentate in questo documento. Sono considerati valori annuali e stagionali (le stagioni sono così abbreviate: DJF inverno, MAM primavera, JJA estate e SON autunno).

Le rappresentazioni dei risultati sono disponibili sottoforma di grafici e mappe territoriali. Alle rappresentazioni sotto forma di mappa sono sottesi i confini degli Ambiti di Integrazione Territoriale (AIT) in modo che si possano evidenziare i valori e le tendenze per i singoli ambiti.



Figura 3 - Mappa degli AIT in cui è suddiviso il territorio regionale.

1 DOMODOSSOLA	12 SUSÀ	23 ACQUI TERME
2 VERBANIA LAGHI	13 MONTAGNA OLIMPICA	24 ASTI
3 BORGOMANERO	14 CHIERI	25 ALBA
4 NOVARA	15 CARMAGNOLA	26 CANELLI
5 BORGOSÉSIA	16 PINEROLO	27 BRA
6 BIELLA	17 VERCELLI	29 SAVIGLIANO
7 IVREA	18 CASALE MONFERRATO	30 FOSSANO
8 RIVAROLO CANAVESE	19 ALESSANDRIA	31 CUNEO
9 TORINO	20 TORTONA	32 MONDOVÌ
10 CIRIÈ	21 NOVI LIGURE	33 CEVA
11 CHIVASSO	22 OVADA	

Tabella 3 - Legenda con la denominazione degli AIT.

2 CLIMA REGIONALE - SCENARI FUTURI

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

2.1.1 Anomalie annuali di temperatura

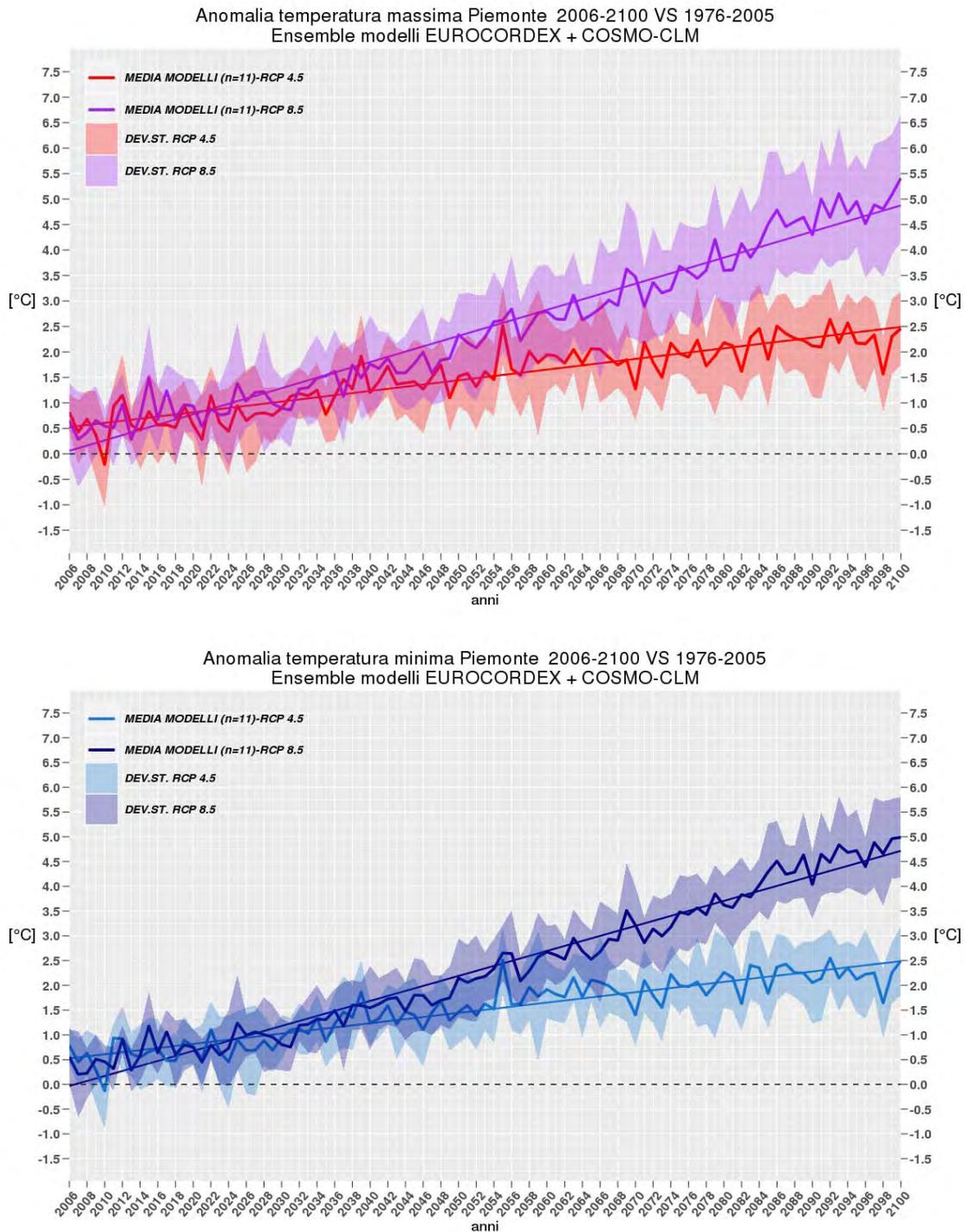


Figura 4 - Andamento dell'anomalia della temperatura massima (sopra) e minima (sotto) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sull'intera regione. Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue rappresentano il valor medio delle simulazioni 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. L'incremento della temperatura è superiore alla varianza data dai diversi modelli, quindi il livello di confidenza attribuibile alla proiezione è elevato.

La tabella sottostante (Tabella 4) riassume i valori delle tendenze, espressi come variazione in gradi centigradi in 10 anni, medi sull'intero territorio regionale.

TEMPERATURE ANNUALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI (°C)								
	TUTTA LA REGIONE		PIANURA		MONTAGNA (>700 m)		MONTAGNA (>1500 m)	
	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	0.21	0.51	0.20	0.50	0.23	0.55	0.23	0.57
MIN	0.21	0.51	0.19	0.47	0.23	0.54	0.24	0.57

Tabella 4 - Tendenza dell'anomalia della temperatura massima e minima in °C/10 anni per gli scenari emissivi RCP4.5 e RCP8.5 per tutto il territorio regionale, per le sole zone di pianura, per le zone di montagna al di sopra dei 700 m e per le altitudini maggiori, superiori ai 1500 m.

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.

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 5) 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. Gli incrementi risultano superiori ai 2 °C a fine secolo anche considerando lo scenario con impegni di mitigazione RCP4.5, mentre per lo scenario tendenziale RCP8.5 superano i 4 °C a fine secolo.

	RCP4.5			RCP8.5		
	MEDIA	MASSIMA	MINIMA	MEDIA	MASSIMA	MINIMA
2011-2040	0.89	0.89	0.90	1.01	1.08	0.96
2041-2070	1.65	1.68	1.67	2.34	2.42	2.32
2071-2100	2.10	2.13	2.12	4.09	4.23	4.07

Tabella 5 - 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 relativamente più bassi per tutti i periodi considerati e tutte le variabili, di circa un paio di decimi di grado. Considerando la montagna (al di sopra dei 700 m di quota), gli incrementi sono superiori di circa 3 decimi di grado. Alle quote più elevate (superiori ai 1500 m), gli incrementi sono ancora superiori, di quasi 1 decimo di grado nello scenario RCP4.5 e fino a 0,7-0,8 °C nell'ultimo trentennio.

Per evidenziare il comportamento delle altitudini maggiori, sono state analizzate le tendenze delle temperature per le sole zone di montagna, superiori ai 700 m (Figura 5) e ai 1500 m (Figura 6 pagina successiva) di quota.

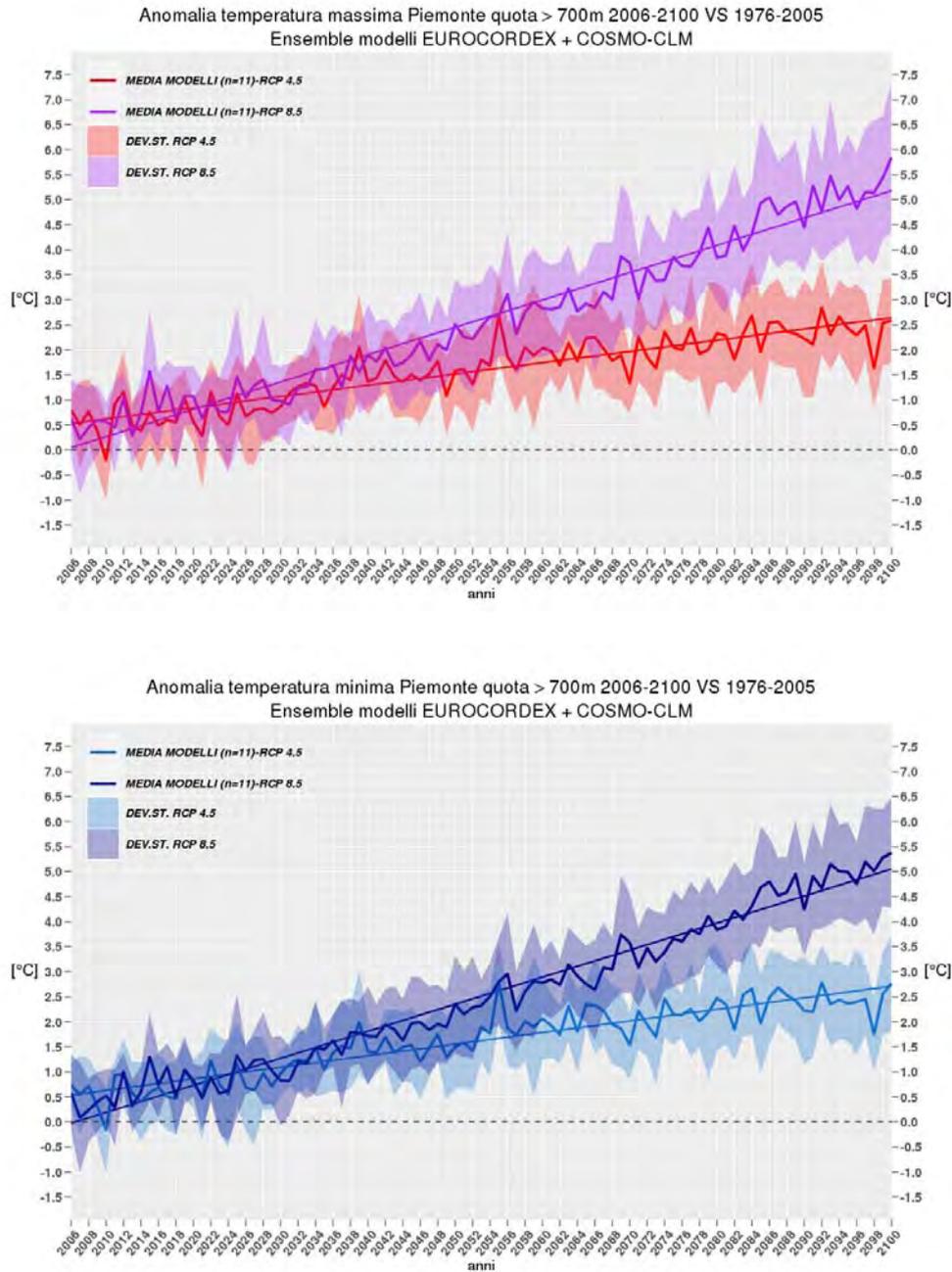


Figura 5 - Andamento dell'anomalia della temperatura massima (sopra) e minima (sotto) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le zone di montagna (quota superiore ai 700 m). Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue rappresentano 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.

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.

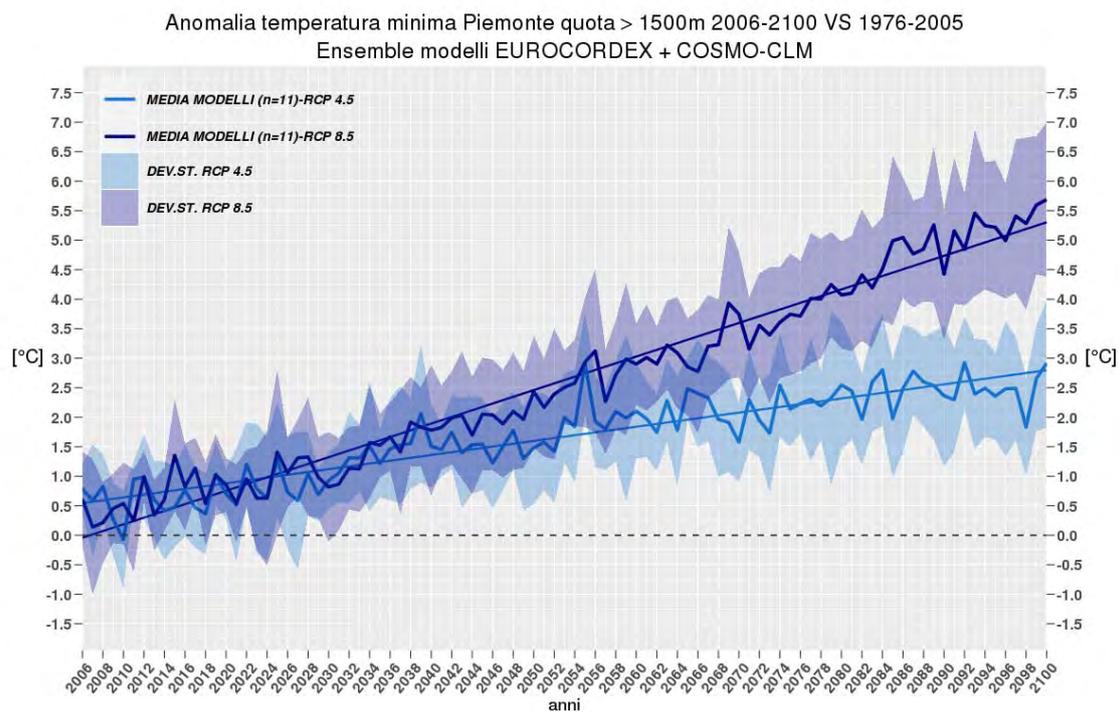
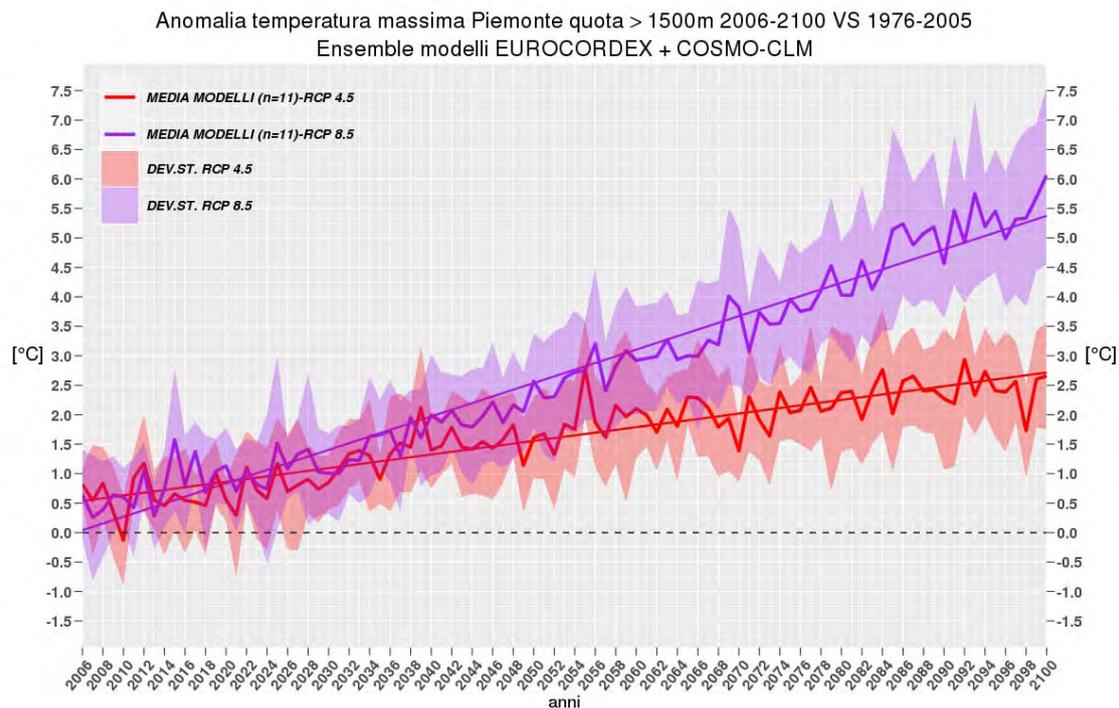


Figura 6 - Andamento dell'anomalia della temperatura massima (sopra) e minima (sotto) media annuale dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per le zone di alta montagna (quota superiore ai 1500 m). Le due curve sono rappresentative degli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le linee continue 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.

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

2.2 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 regionale, sono maggiori o evidenziare eventuali compensazioni tra zone con incrementi e zone con decrementi. La rappresentazione delle mappe su un sistema informativo geografico renderebbe maggiormente fruibili le informazioni contenute.

2.2.1 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...).

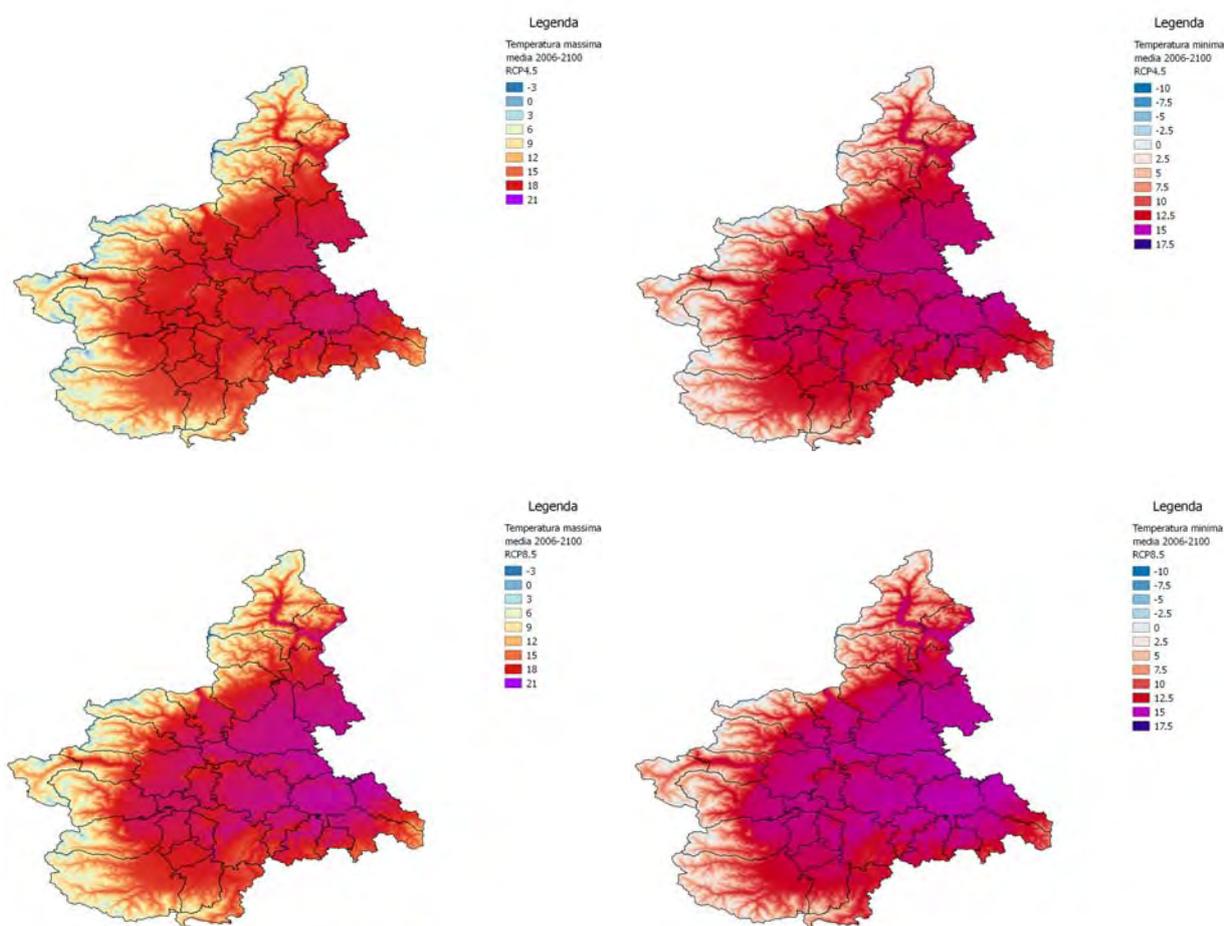


Figura 7 - Temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale sul periodo 2006-2100 nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

Si evidenzia l'incremento maggiore per lo scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5, sulla pianura e nelle valli, in particolare le zone più affacciate alle pianure. Una differenza importante, anche se difficile da apprezzare dalle immagini, è l'aumento della temperatura sulle zone alpine di confine.

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, 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.

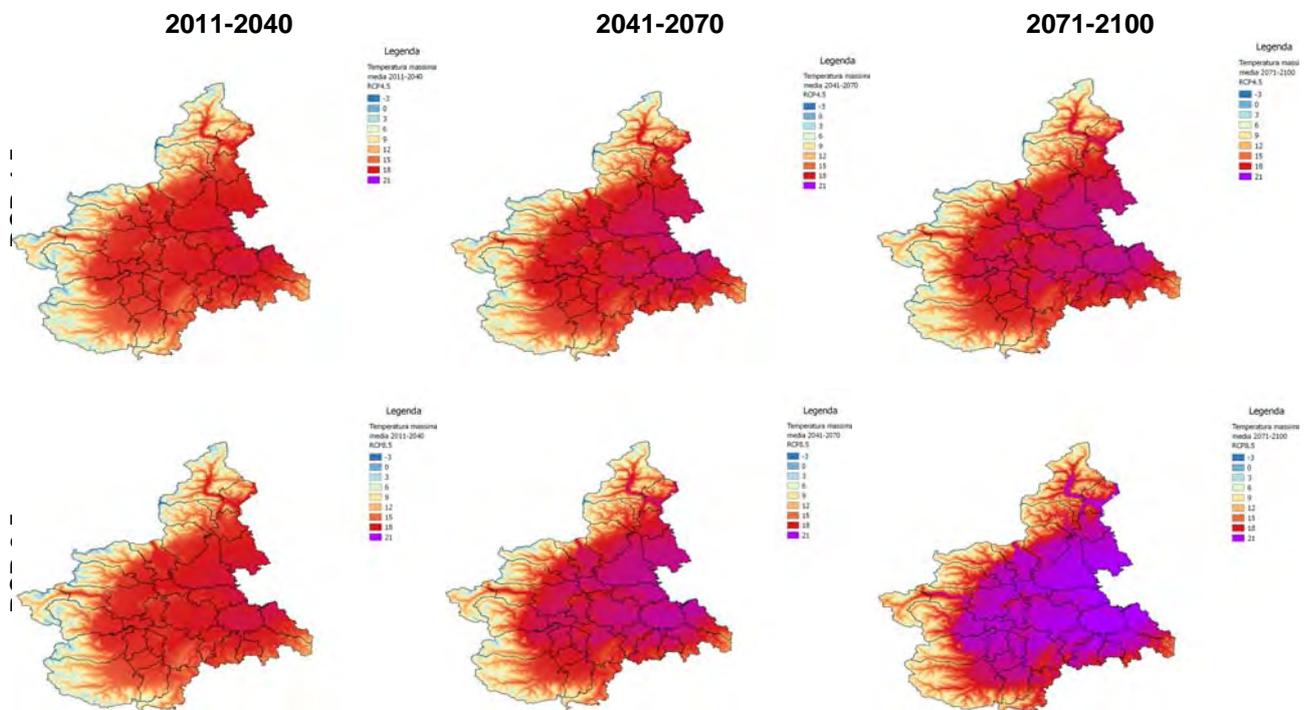


Figura 8 - Temperatura massima media annuale nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

Un comportamento analogo si osserva per la temperatura minima (Figura 9), dove, per entrambi gli scenari, sembra essere maggiore fino alla prima metà del secolo. Interessante è vedere come, nello scenario RCP8.5 la temperatura che si raggiunge nei fondovalle delle Alpi settentrionali è più elevata di quella che si ha sulle pianure nel primo trentennio considerato.

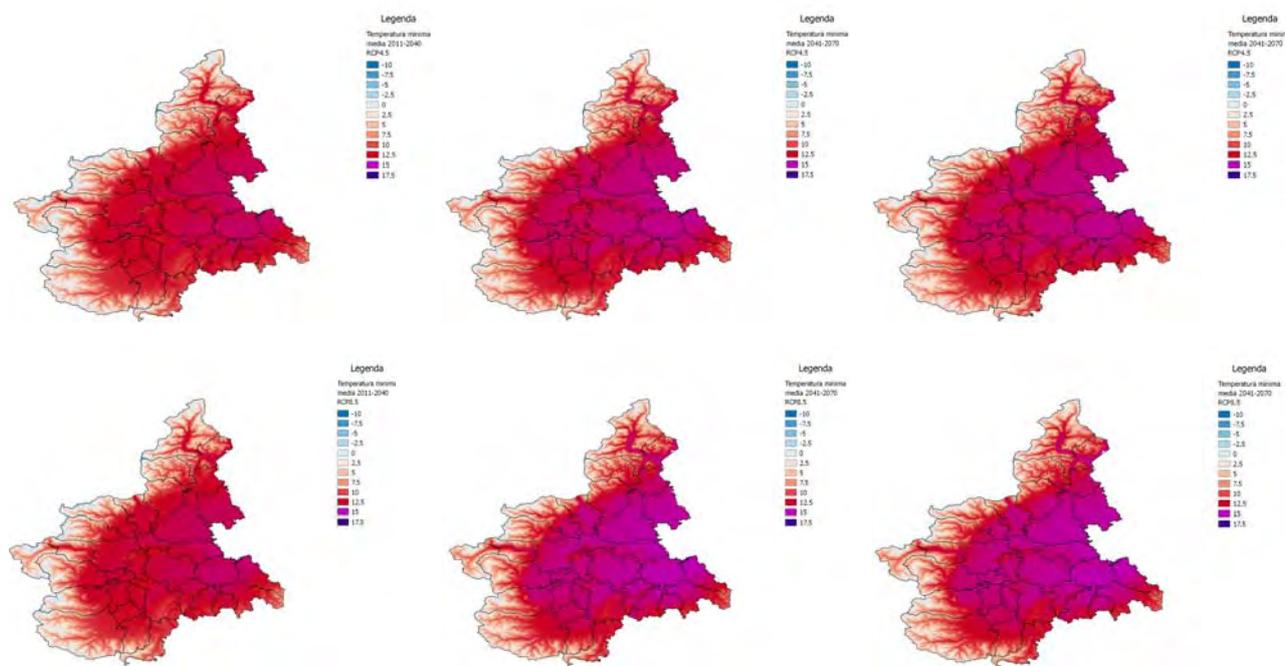


Figura 9 - Temperatura minima media annuale nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5 (riga in alto) e nello scenario RCP 8.5 (riga in basso).

2.2.2 Temperatura massima e minima stagionale

L'analisi stagionale delle temperature massime e minime e le variazioni della temperatura media stagionale vengono presentate per entrambi gli scenari e risultano utili per la valutazione dei singoli impatti.

Nello scenario RCP4.5, per tutte le stagioni le temperature massime sembrano aumentare in modo graduale (Figura 10), con un incremento ridotto nell'ultimo periodo, ad eccezione della temperatura invernale, in particolare nel settore alpino occidentale e settentrionale.

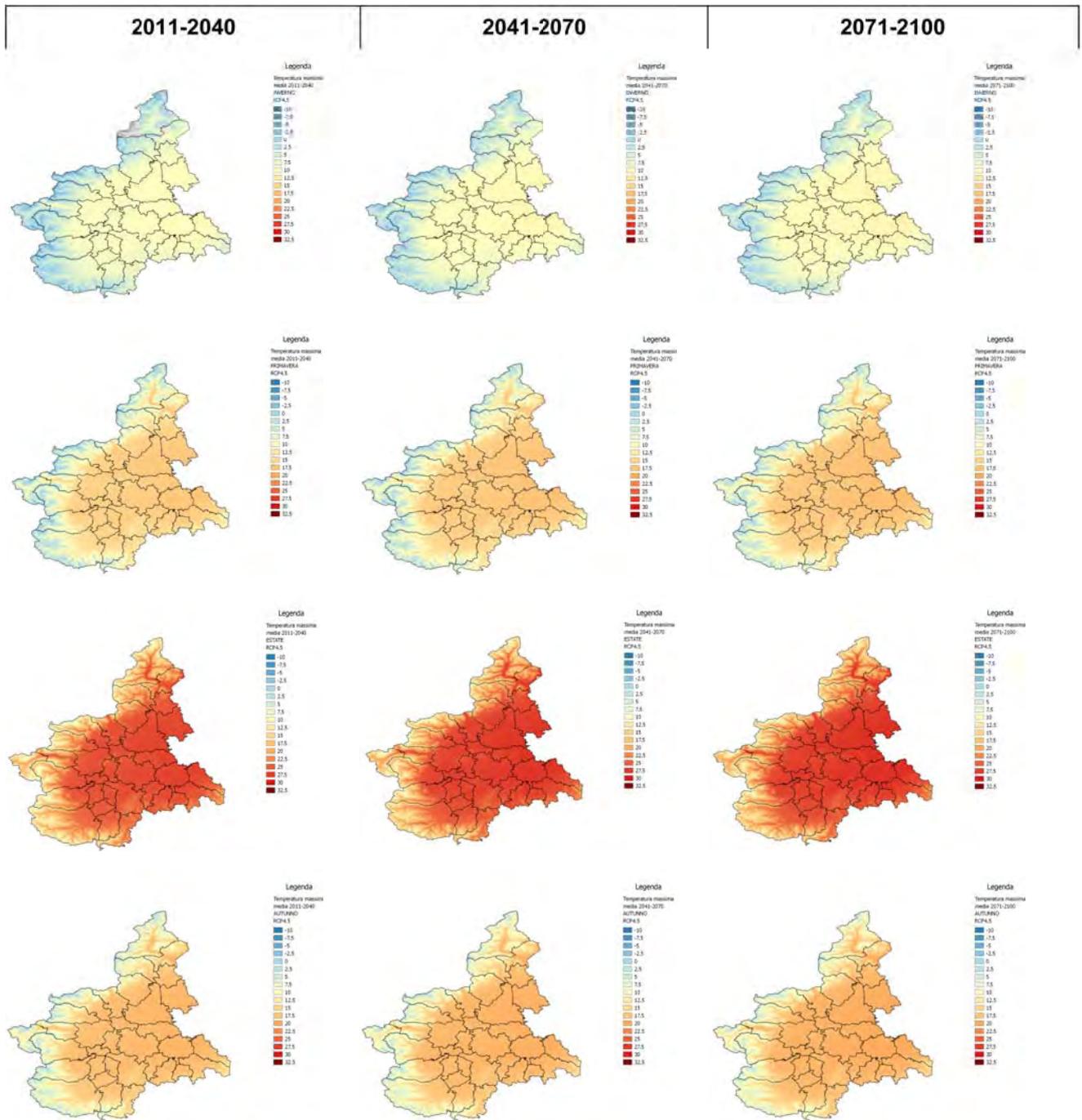


Figura 10 - Temperatura massima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5. Scala di colori da -10 °C a +32,5 °C per tutte le stagioni.

Per quanto riguarda le temperature minime (Figura 11) un incremento si osserva anche nell'ultimo periodo durante l'inverno, meno accentuato nelle altre stagioni.

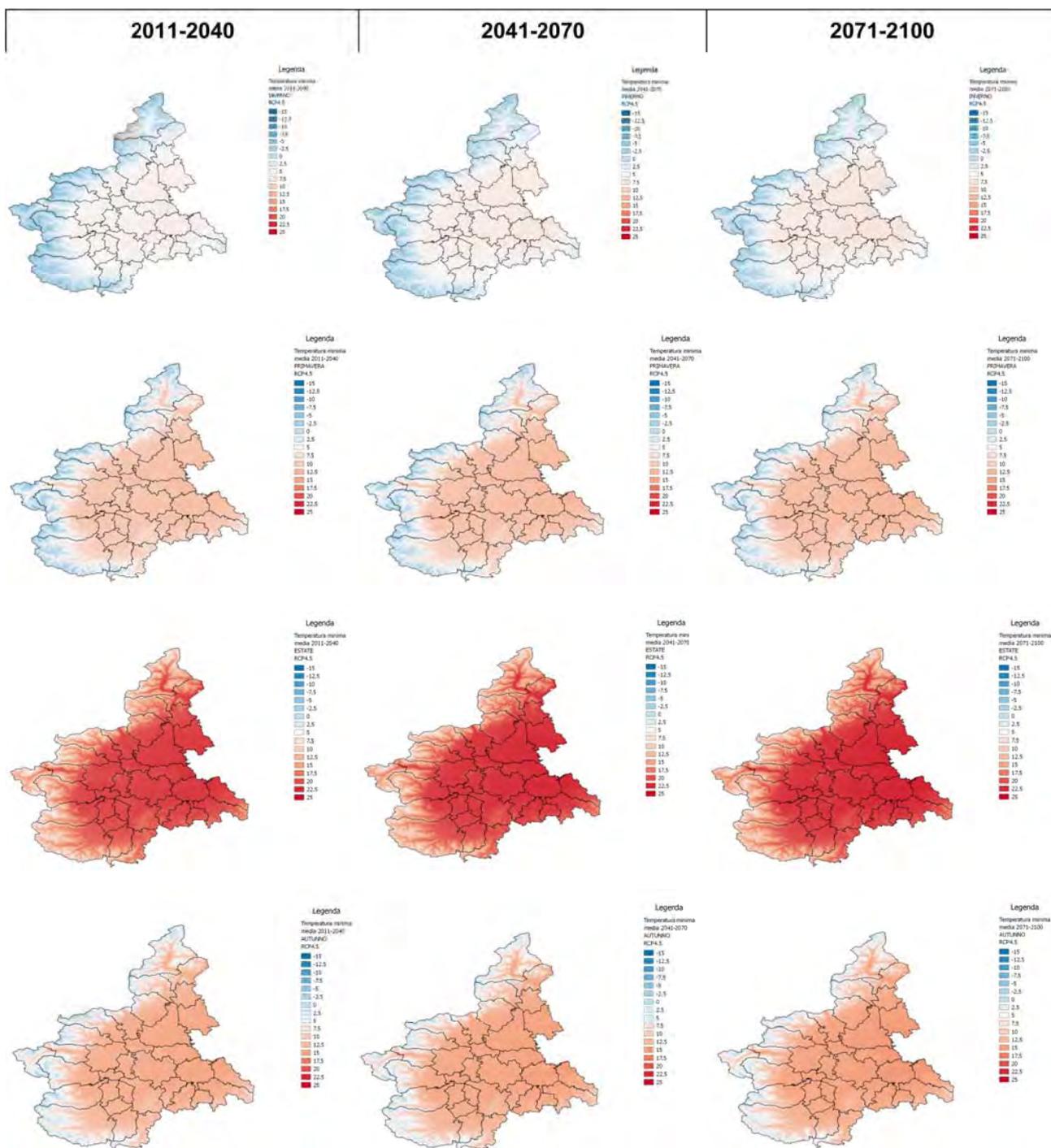


Figura 11 - Temperatura minima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP4.5. Scala di colori da -15 °C a +25 °C per tutte le stagioni.

Nello scenario RCP8.5, la temperatura massima (Figura 12) aumenta fino alla fine del secolo, con un incremento maggiore nell'ultimo trentennio, soprattutto in estate e in inverno. Durante l'estate la temperatura massima media in pianura arriva ad essere ovunque al di sopra dei 30 °C.

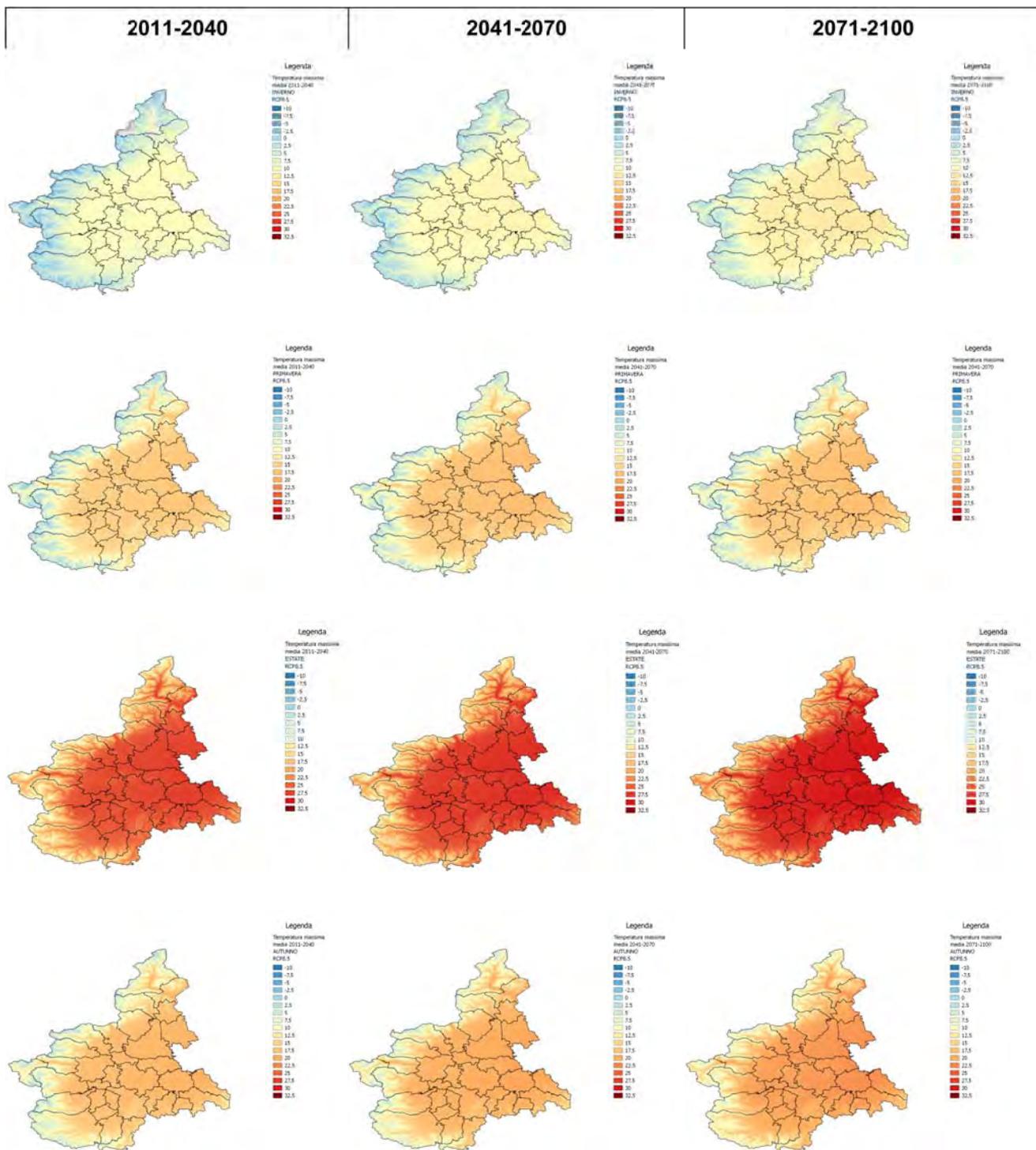


Figura 12 - Temperatura massima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP8.5. Scala di colori da -10 °C a +32,5 °C per tutte le stagioni.

Anche per quanto riguarda la temperatura minima, si riscontra un aumento che prosegue fino alla fine del secolo, che per alcune stagioni è proprio l'ultimo trentennio a mostrare un cambiamento importante. Nel corso dell'inverno la media della temperatura minima in pianura sarà intorno ai 10 °C, in primavera, in montagna non vi saranno aree con temperatura minima inferiore agli 0 °C, il riscaldamento estivo raggiungerà anche le quote più elevate e in autunno la temperatura minima media della zona prealpina risulterà uguale alla temperatura minima media estiva attuale.

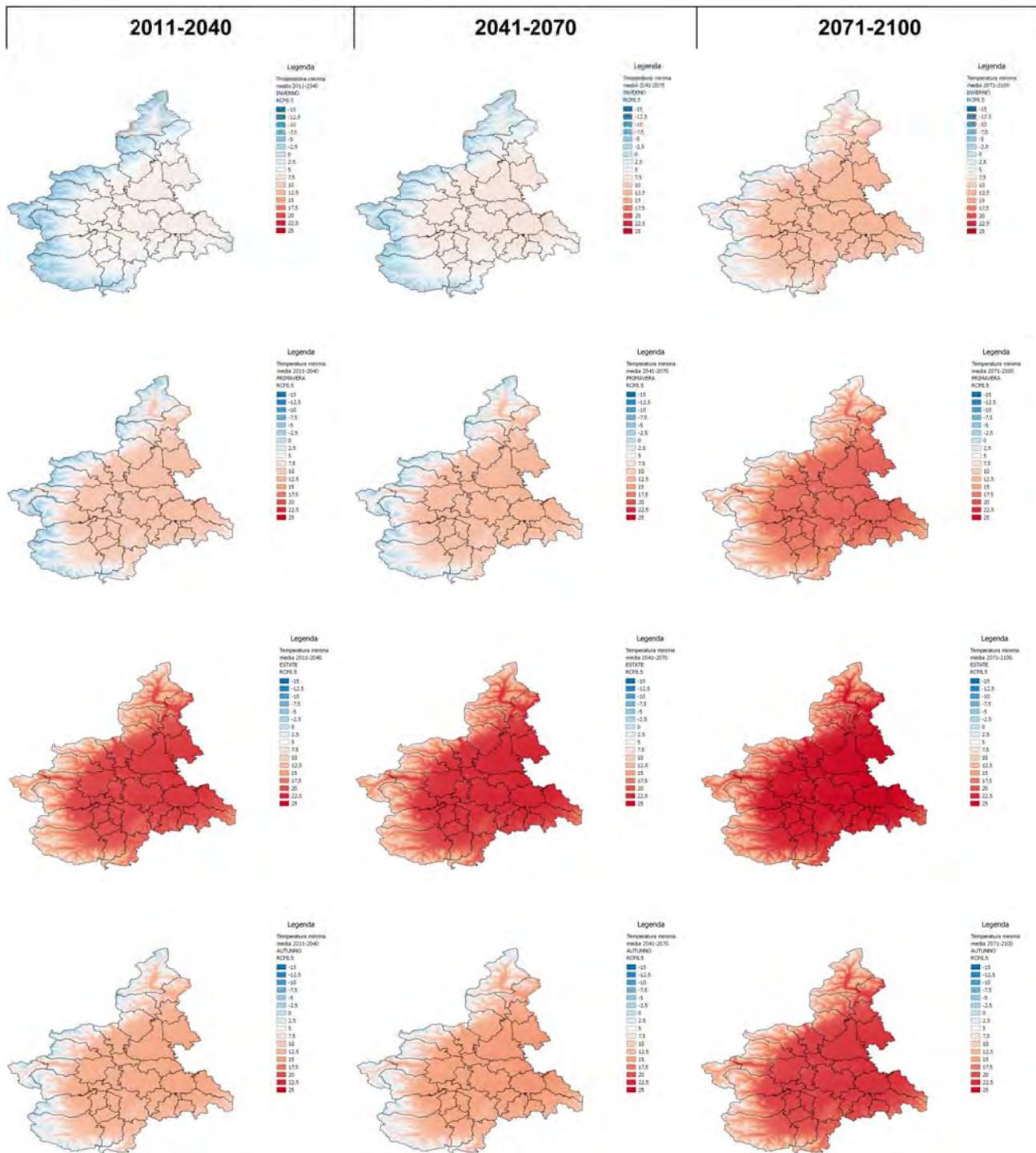


Figura 13 - Temperatura minima media per le diverse stagioni (DJF, MAM, JJA, SON dall'alto verso il basso) nel periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 da sinistra a destra nello scenario RCP8.5. Scala di colori da -15 °C a +25 °C per tutte le stagioni.

Al fine di evidenziare meglio come si distribuiscono le variazioni di temperatura, in modo sintetico, sui diversi trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 sulla geografia della regione sono state rappresentate delle mappe con i valori delle differenze della temperatura media rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per ogni stagione per entrambi gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 (Figura 14).

Nello scenario RCP4.5 si nota come l'incremento di temperatura sia distribuito in modo abbastanza uniforme fino al 2040, successivamente si accentua quello invernale, soprattutto in montagna, e in estate. Anche nell'ultimo trentennio del XXI secolo, estate e inverno vedono aumenti superiori, mentre anche in montagna in primavera e autunno gli aumenti sono superiori a quelli della pianura.

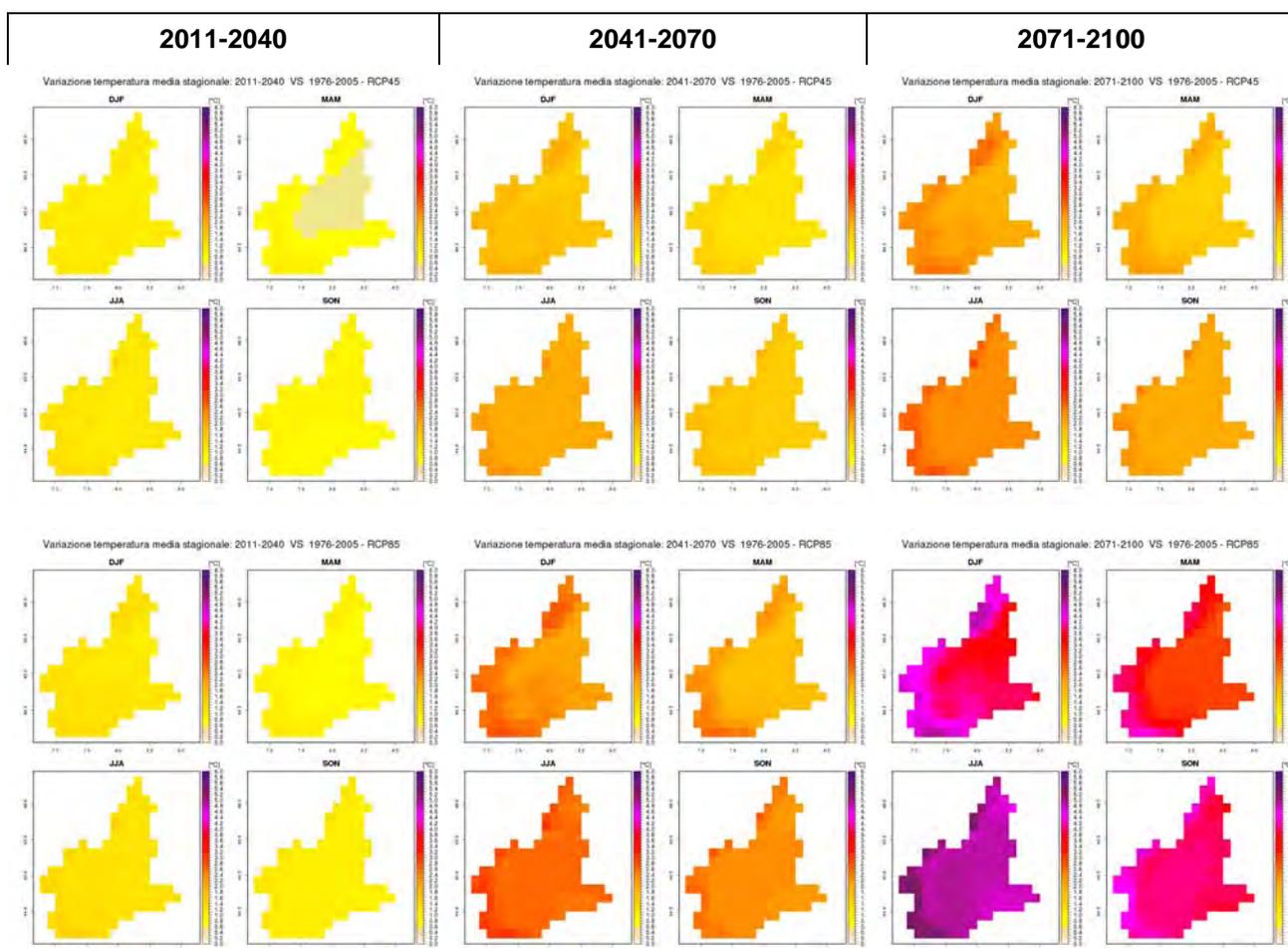


Figura 14 - Variazioni della temperatura media stagionale nel periodo 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Nello scenario RCP8.5 già nel trentennio intermedio molte zone della regione vedono un aumento superiore ai 3 °C, in particolare in montagna, più elevato in inverno e in estate. Nell'ultimo trentennio le variazioni superano 4 °C su gran parte della regione. Anche in questo scenario, in inverno in montagna e durante l'estate gli aumenti sono maggiori. Anche l'autunno, soprattutto in montagna, mostra valori molto elevati.

Per analizzare in dettaglio sul territorio regionale le due stagioni che appaiono particolarmente critiche (inverno ed estate) vengono presentate le mappe relative.

Per quanto riguarda l'inverno (Figura 15), si osserva come l'incremento sia importante a partire dal secondo trentennio soprattutto in montagna, dove l'incremento arriva a 2 °C nello scenario RCP4.5 e tra i 2 e 3 °C nello scenario RCP8.5. Tale aumento si conferma anche nell'ultimo trentennio, dove raggiunge, nello scenario tendenziale RCP8.5, valori molto significativi sull'intera regione, con valori estremi in montagna con punte fino a 6 °C.

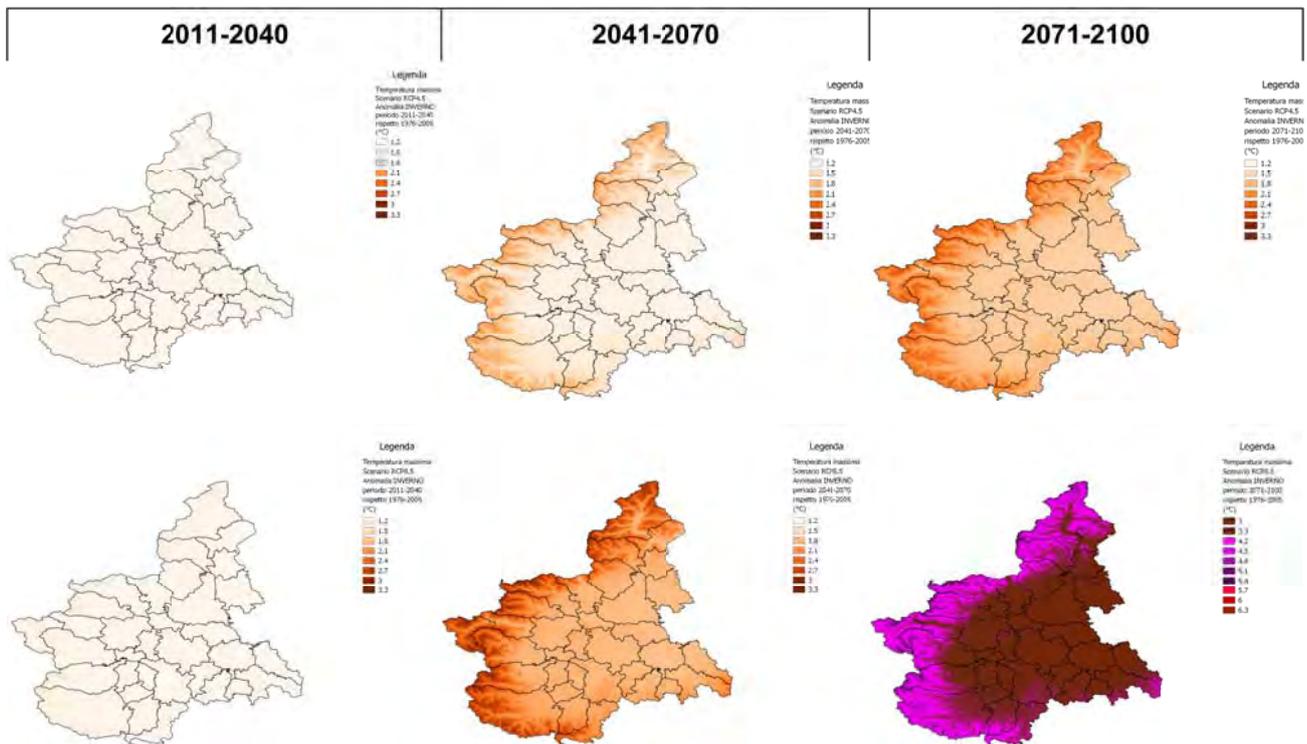


Figura 15 - Anomalia della temperatura massima dei trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 nella stagione invernale, per lo scenario RCP4.5 (in alto) e RCP8.5 (in basso). Da notare la scala di colori diversa per l'ultimo trentennio nello scenario RCP8.5.

Per quanto riguarda l'estate (Figura 16) si possono fare considerazioni analoghe, con un aumento contenuto nel primo trentennio distribuito in modo piuttosto uniforme sul territorio, con valori superiori in montagna, che arrivano fino a circa 3 °C nello scenario RCP8.5 nell'ultimo trentennio e a 6 °C nello scenario RCP8.5.

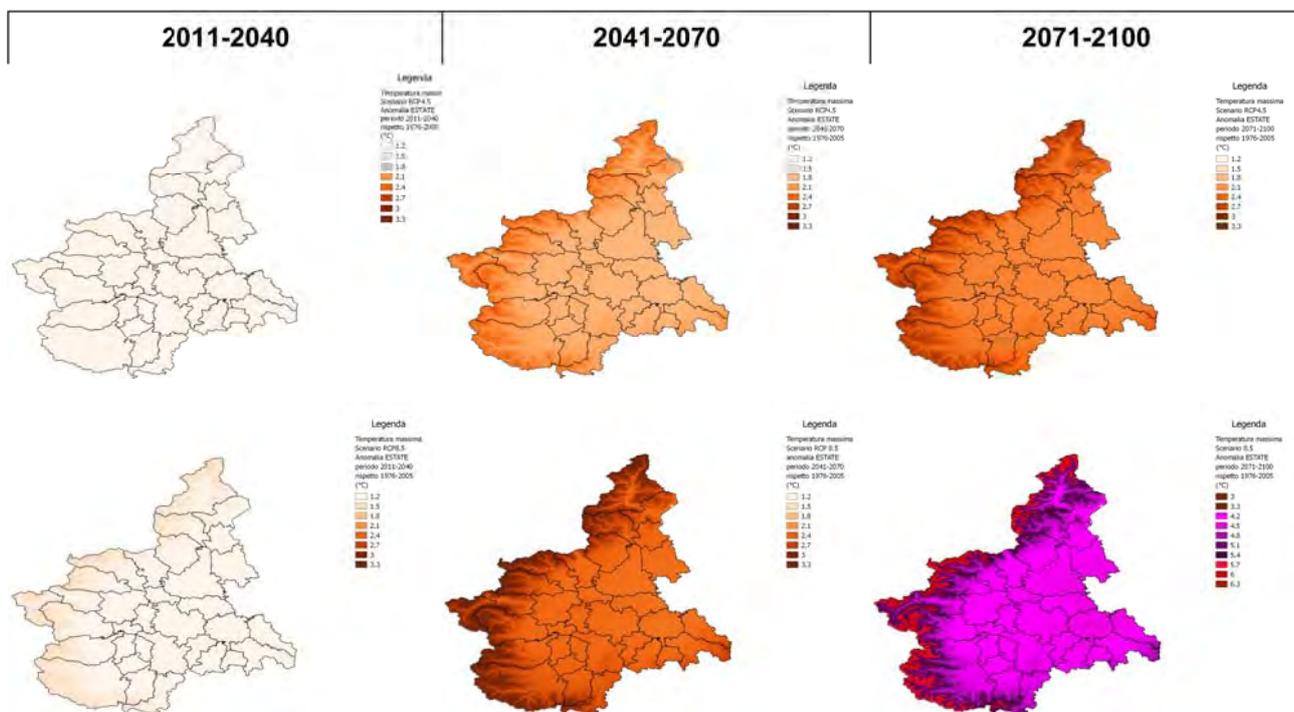


Figura 16 - Anomalia della temperatura massima dei trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 nella stagione estiva, per lo scenario RCP4.5 (in alto) e RCP8.5 (in basso).

2.2.3 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 regione.

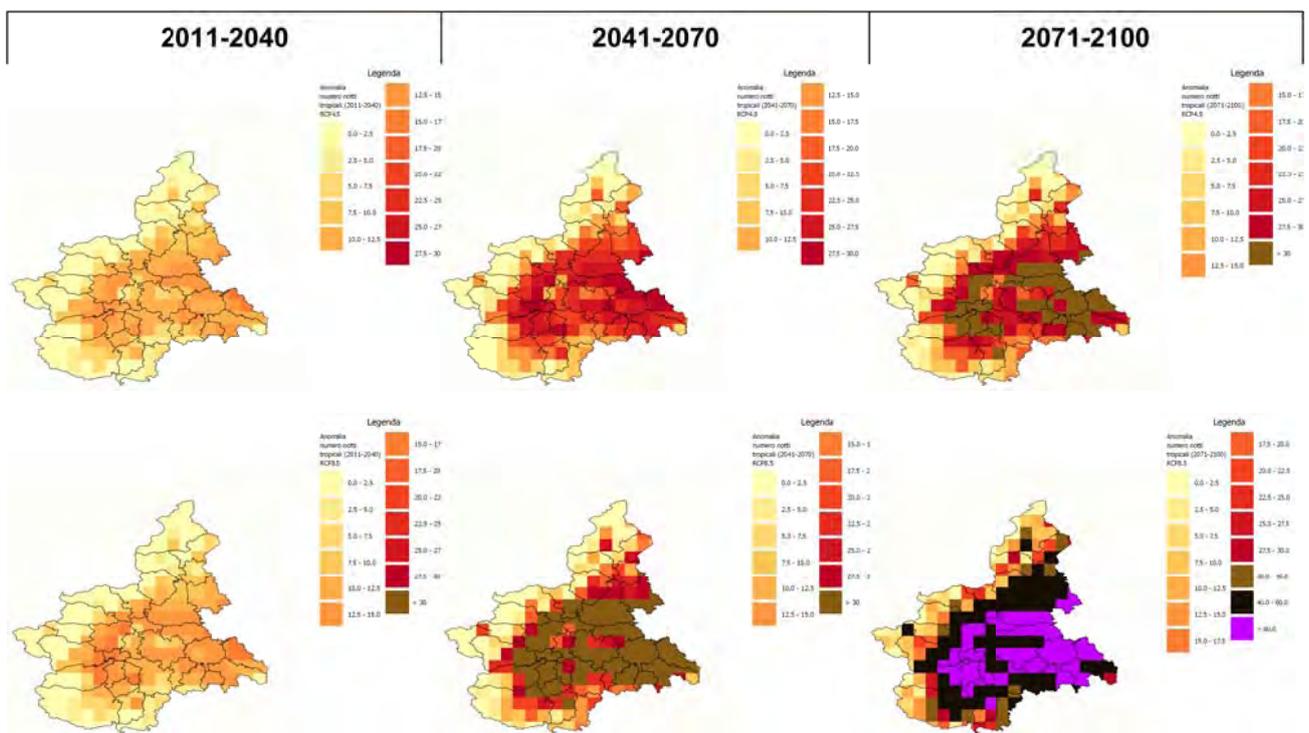


Figura 17 - Variazione del numero di “notti tropicali” nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario 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 anche se alcune zone di fondovalle iniziano ad essere interessate a partire dalla metà del secolo.

2.2.4 Giorni tropicali

Un altro indicatore utilizzato per dare conto della distribuzione notte/giorno del riscaldamento sulla regione 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 regione.

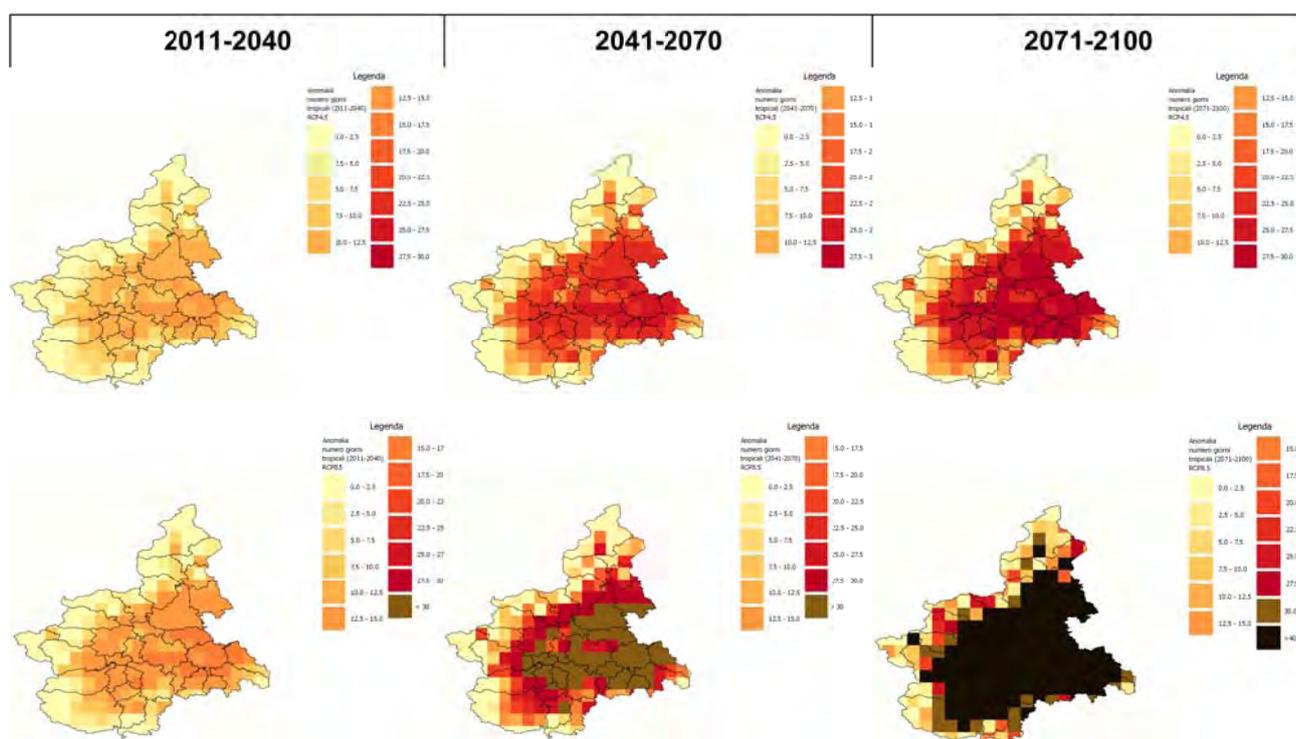


Figura 18 - Variazione del numero di "giorni tropicali" nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario 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.

2.2.5 Giorni di gelo

Per quanto riguarda l'analisi della distribuzione del "freddo" sul territorio regionale, 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 regione (Figura 19).

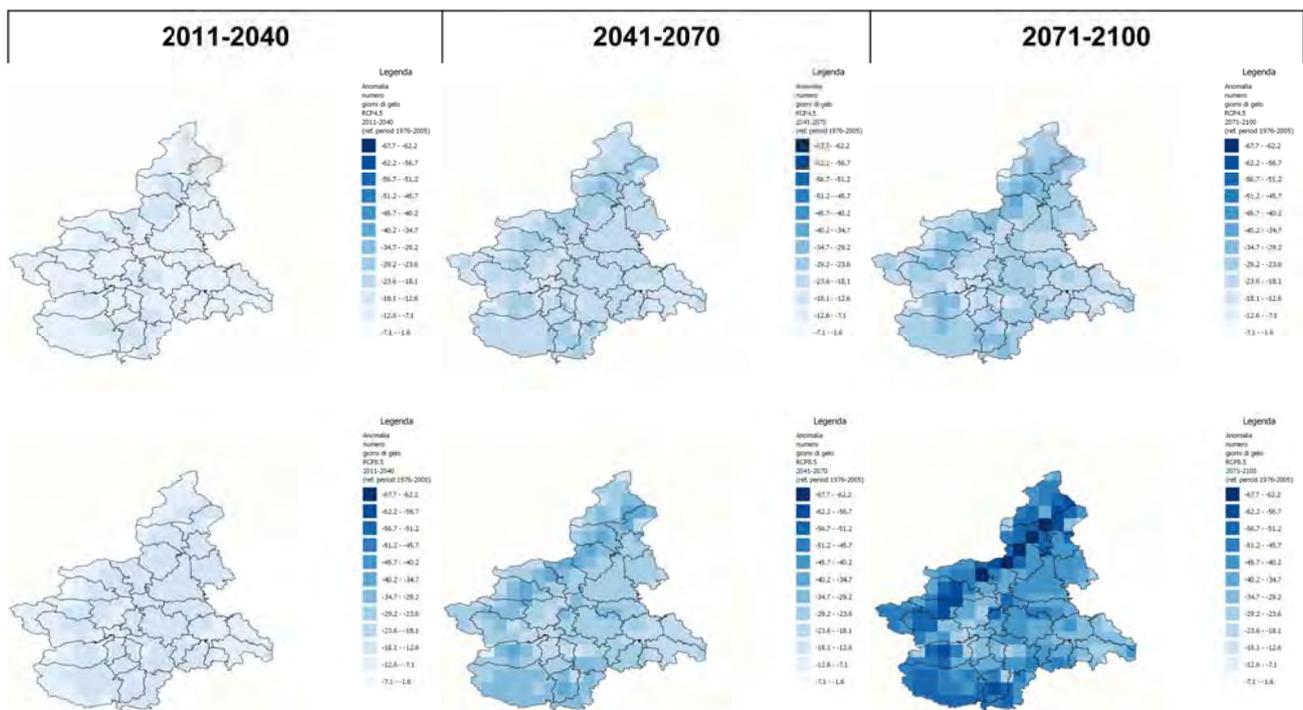


Figura 19 - Variazione del numero di "giorni di gelo" nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario 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 -40 gg (giorni) 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 -60 gg. La diminuzione, in questo scenario, interessa dapprima le zone prealpine ma, a metà secolo, tutte le aree anche alle quote più elevate.

2.3 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 all'alimentazione della risorsa disponibile, sia all'economia turistica.

È 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. È in ogni caso importante avere uno scenario di riferimento e individuare anche piccole o locali variazioni da cui possono derivare impatti importanti.

2.3.1 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 RCP8.5 (Figura 20).

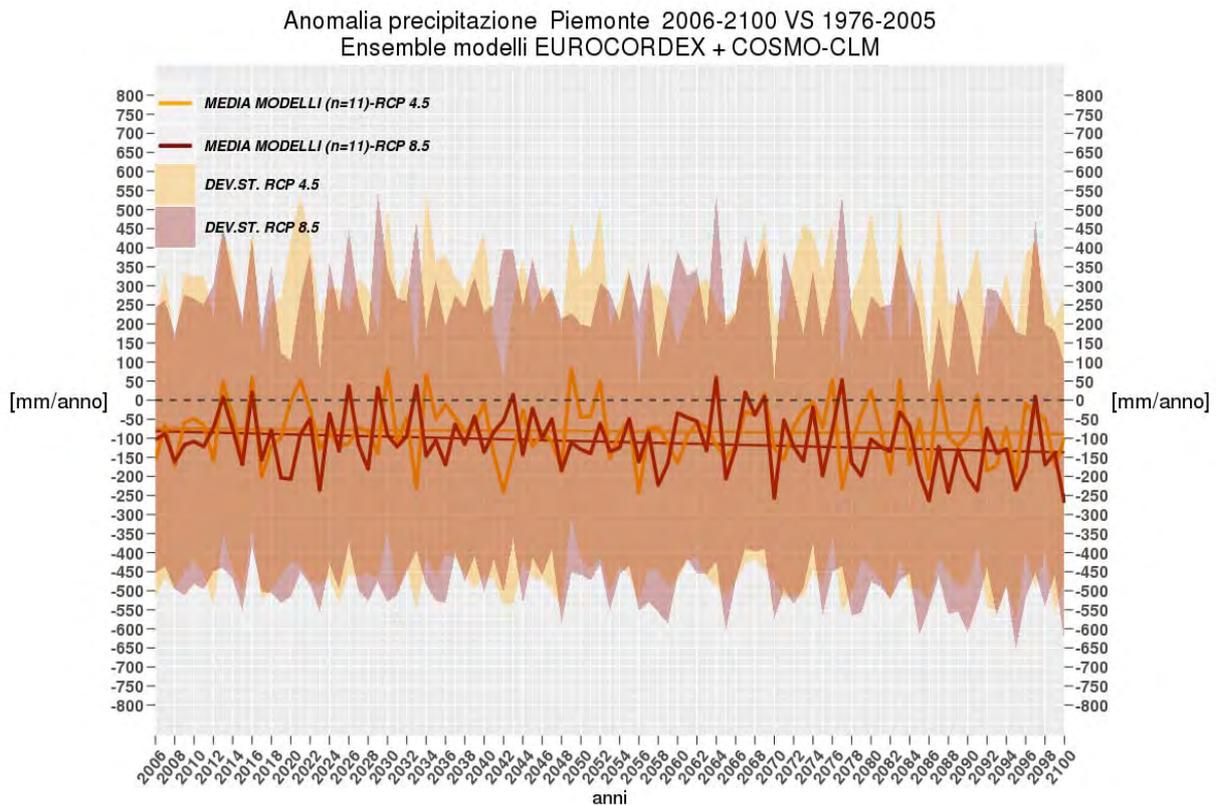


Figura 20 - Andamento dell'anomalia della precipitazione cumulata annuale rispetto alla media del periodo di controllo 1976-2005, in arancione e rosso l'andamento per i diversi scenari RCP, con l'indicazione del trend lineare. Le aree colorate rappresentano l'intervallo di confidenza in termini di una deviazione standard.

A livello regionale complessivo (Figura 20), le tendenze delle precipitazioni cumulate annuali mostrano tendenze negative per entrambi gli scenari, che però non risultano significative dal punto di vista statistico. Si evidenzia infatti una ampia banda che rappresenta la variabilità derivante dall'utilizzo dei diversi modelli.

La variabilità inter-annuale rimane molto elevata e non si riscontrano, anche qualitativamente, delle periodicità.

2.3.2 Ciclo annuale della precipitazione

Sempre a livello dell'intera regione, 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 21 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. Il mese di luglio risulta il secondo mese più asciutto, dopo il minimo invernale di dicembre. Il mese di gennaio e quello di febbraio, nel solo scenario RCP4.5, sono i mesi in cui si ha un lieve incremento di precipitazione.

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

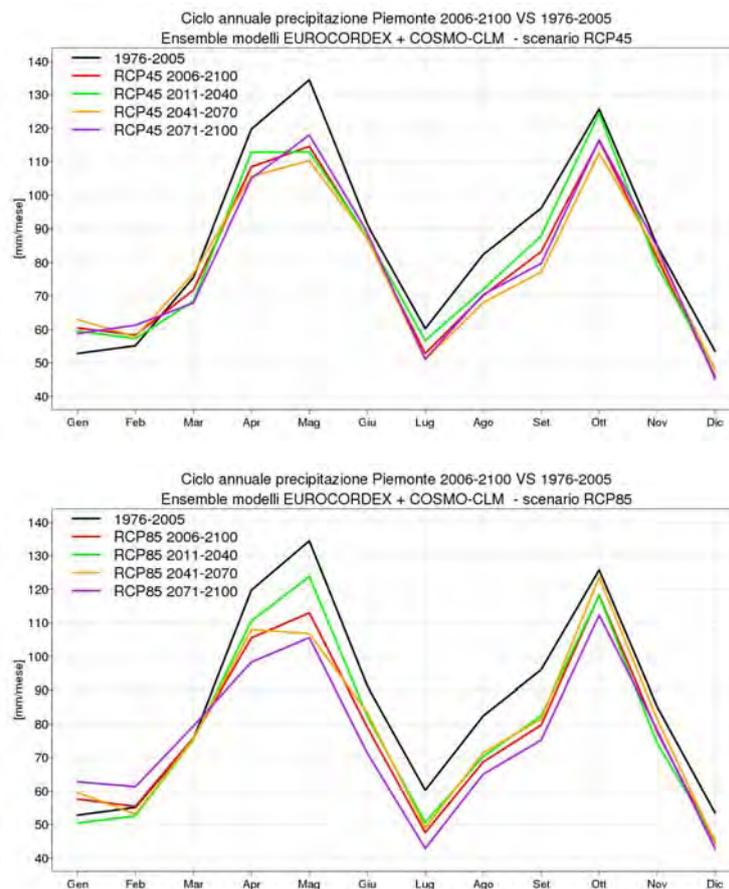


Figura 21 - Ciclo annuale della precipitazione media mensile (mm/mese) per lo scenario RCP4.5 (sopra) e per lo scenario RCP8.5 (sotto). La linea nera rappresenta il ciclo annuale nel periodo di controllo, quella rossa nell'intero periodo simulato 2006-2100 e le linee verde, gialla e viola rappresentano il ciclo annuale dei trentenni 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.

2.3.3 Precipitazioni - distribuzioni territoriali

Nonostante a livello regionale non sia evidente una tendenza statisticamente significativa sulla regione, 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.

2.3.3.1 Precipitazioni cumulate stagionali

La Figura 22 mostra le variazioni percentuali della precipitazione cumulata stagionale nei tre trentenni di riferimento rispetto al periodo di controllo 1976-2005, nello scenario RCP4.5.

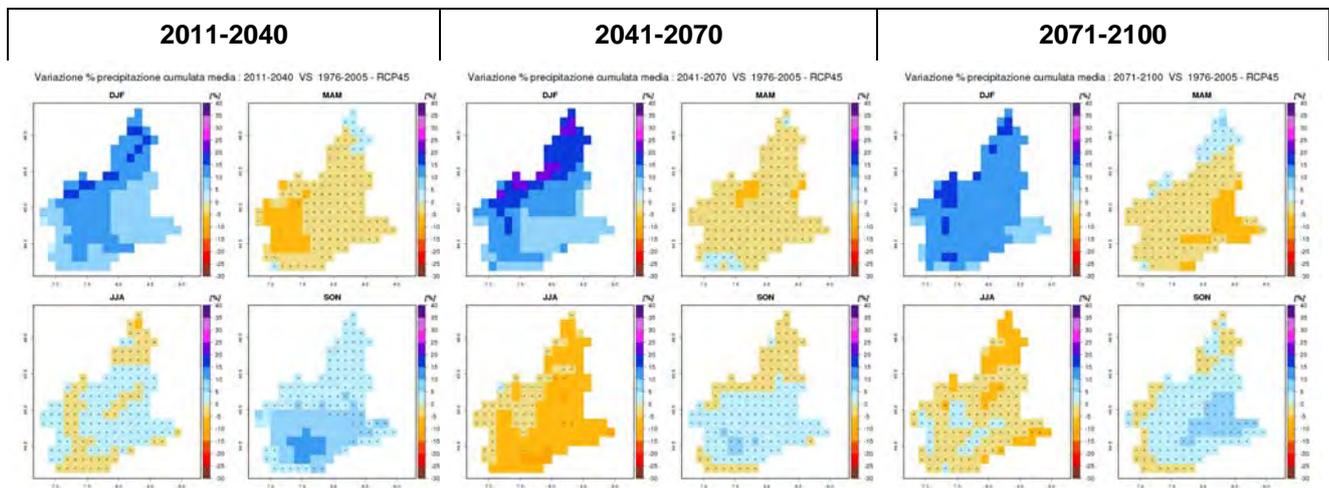


Figura 22 - Variazione percentuale della precipitazione stagionale nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna) per lo scenario RCP4.5. I pixel crocettati non sono significativi dal punto di vista statistico.

Si evince un aumento della precipitazione del periodo invernale, tra il 10 e il 15%, che nel periodo intermedio arriva fino al 20% sulle zone montane. L'estate vede una diminuzione, in particolare sulle pianure meridionali e sul Verbano. Nel primo trentennio risulta una lieve variazione positiva sul Cuneese.

Nello scenario RCP8.5 (Figura 23) si osserva un aumento della precipitazione invernale, anche consistente, solo nell'ultimo trentennio. L'estate vede una diminuzione graduale, già all'inizio sulla zona del Cuneese e successivamente su tutta la regione, con un deficit che arriva fino al 30% a fine secolo. Anche la primavera vede una diminuzione della precipitazione a partire da circa metà secolo.

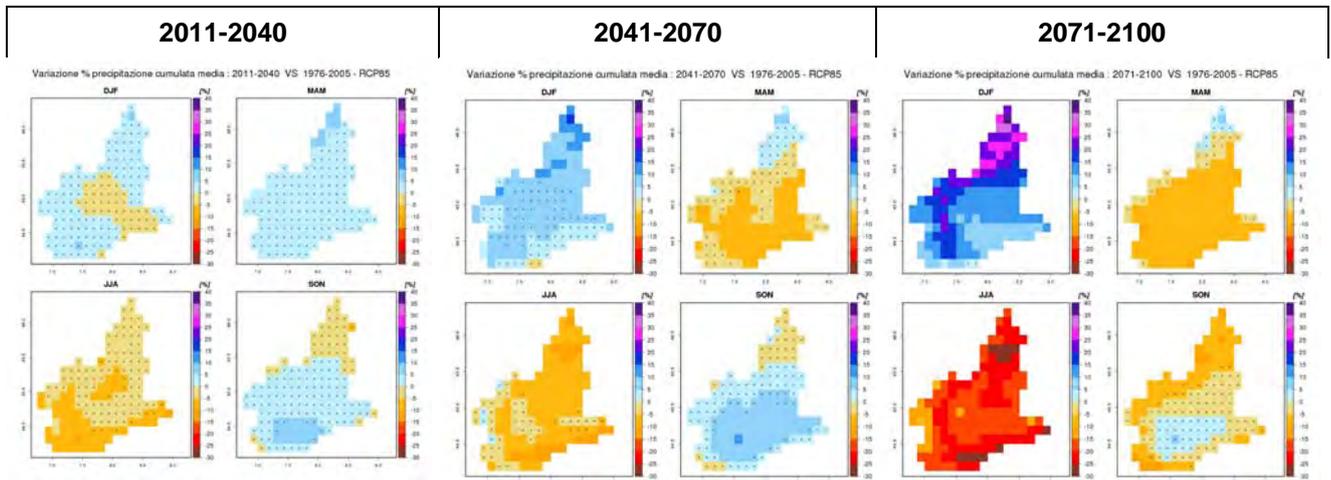


Figura 23 - Variazione percentuale della precipitazione cumulata stagionale nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna) per lo scenario RCP8.5. I pixel crocettati non sono significativi dal punto di vista statistico.

2.3.4 Precipitazioni - numero di giorni piovosi

La variazione del numero di giorni piovosi rappresenta un indicatore importante, da leggere insieme alle variazioni della precipitazione cumulata, per capire se quest'ultima tende a concentrarsi o a distribuirsi. Anche in assenza di un trend definito sulla precipitazione, una diminuzione del numero di giorni piovosi porta ad una maggior piovosità giornaliera.

Considerando la soglia di 1 mm per definire il giorno piovoso, sono state valutate le variazioni del numero di giorni piovosi rispetto al periodo di riferimento 1976-2005 (Figura 24, pagina seguente, riga in alto). Dall'immagine si evince una diminuzione in entrambi gli scenari emissivi, limitata per quanto riguarda lo scenario RCP4.5 a 4-5 giorni, più importante fino a 8-10 giorni nello scenario RCP8.5.

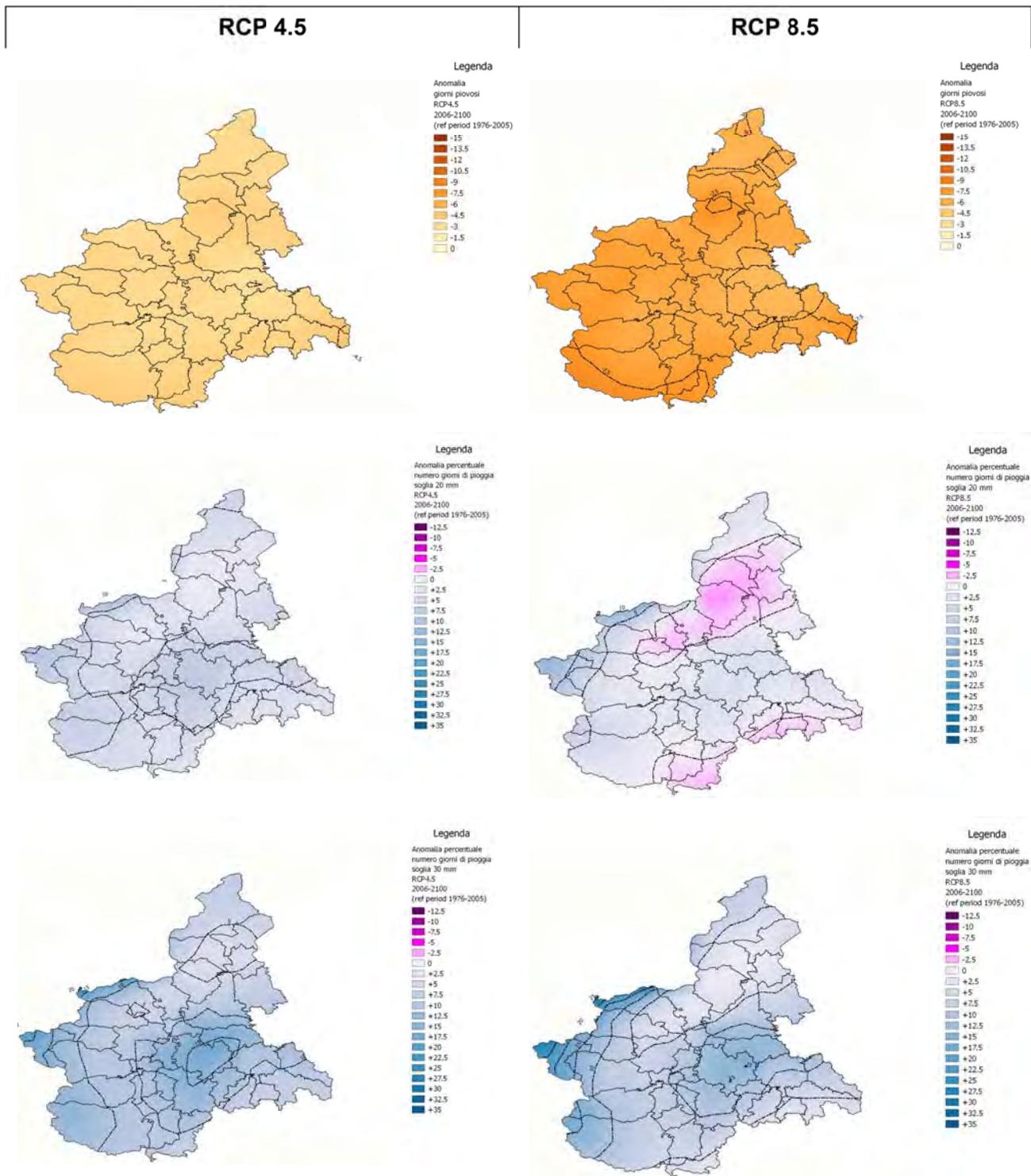


Figura 24 - Variazione del numero di giorni piovosi nel periodo 2006-2100 rispetto al periodo 1976-2005 nello scenario RCP4.5 (prima colonna) e nello scenario RCP8.5 (seconda colonna) per le soglie di 1 mm (prima riga), 20 mm (seconda riga) e 30 mm (terza riga).

Considerando soglie di precipitazione giornaliera maggiori, 20 mm e 30 mm (Figura 24, seconda e terza riga), si osserva un aumento nello scenario RCP4.5 che arriva fino a +30 gg con precipitazione superiore ai 30 mm sulle zone di pianura a sud del Po e sull'arco alpino occidentale di confine. Nello scenario RCP8.5, si osserva una diminuzione dei giorni con piovosità di 20 mm e un aumento di quelli con precipitazione superiore ai 30 mm. In questo scenario quindi, oltre ad una diminuzione della precipitazione cumulata in alcune stagioni, che si concentra in altre, si ha una maggiore frequenza di eventi più intensi.

Analizzando i singoli periodi trentennali (Figura 25), si osserva come la diminuzione del numero di giorni piovosi sia distribuita uniformemente nel corso del secolo in entrambi gli scenari e arrivi a diminuire, nell'ultimo trentennio, rispettivamente di 8-9 giorni nello scenario di mitigazione e fino a 15 giorni nello scenario tendenziale (soprattutto sui rilievi alpini e appenninici).

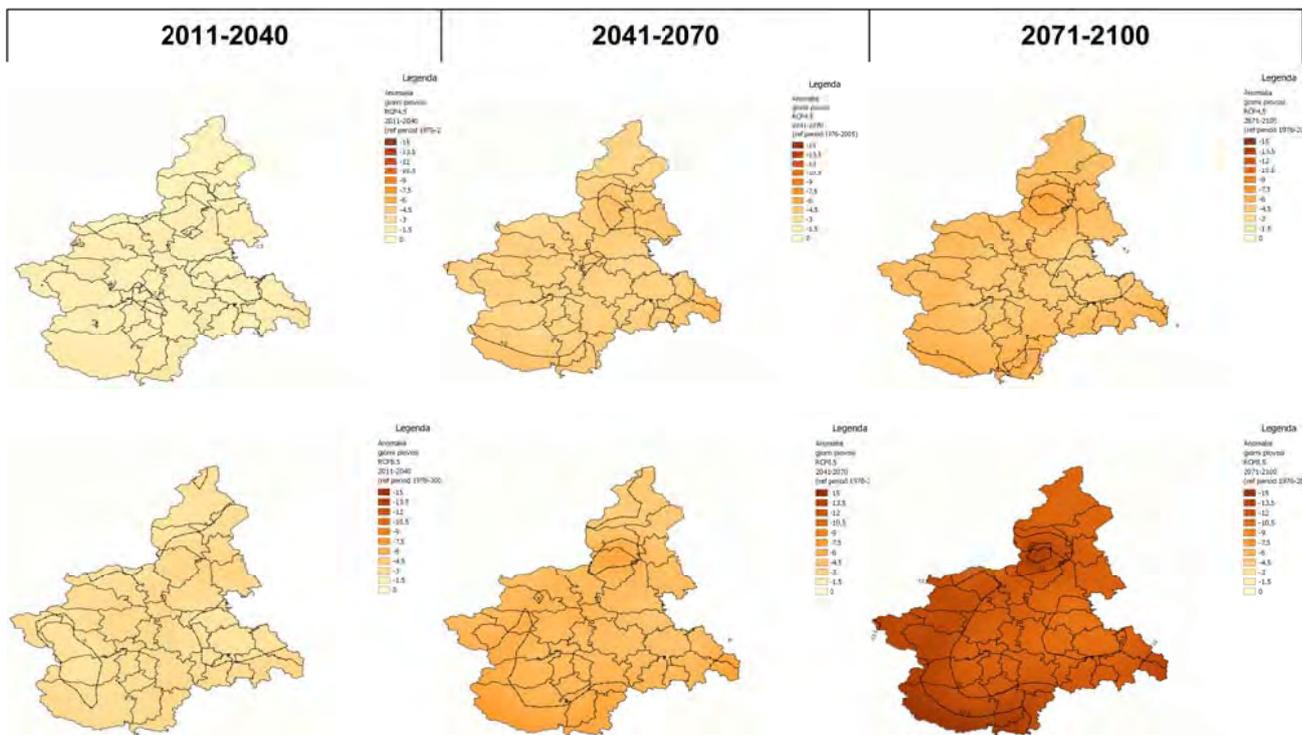


Figura 25 - Variazione del numero di giorni piovosi nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Considerando soglie di precipitazione superiori (20 mm nella Figura 26) si osserva un lieve aumento nello scenario RCP4.5 e una decisa diminuzione nello scenario RCP8.5 nell'ultimo trentennio nelle zone prealpine nordoccidentali e sulla zona Appenninica.

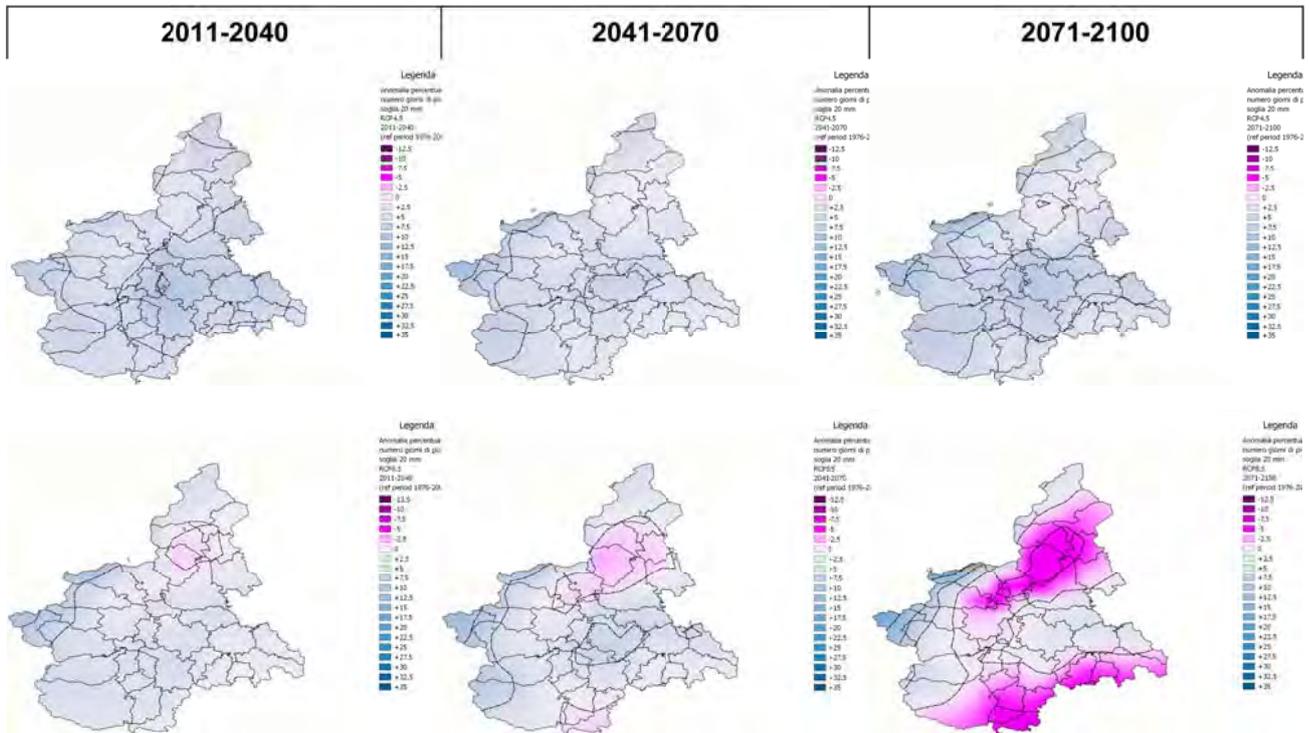


Figura 26 - Variazione del numero di giorni con pioggia cumulata superiore a 20 mm nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Considerando soglie ancora più elevate (30 mm nella Figura 27) si osserva un aumento per entrambi gli scenari in quasi tutti i trentenni, con un incremento più importante sulle Alpi Occidentali di confine e sulla pianura alessandrina. Poiché si tratta di una media di insieme di più modelli, il valore di pioggia giornaliera di 30 mm è rappresentativo degli eventi meteorologici più intensi, che sono visti aumentare in alcune aree del territorio, in modo più importante per lo scenario tendenziale.

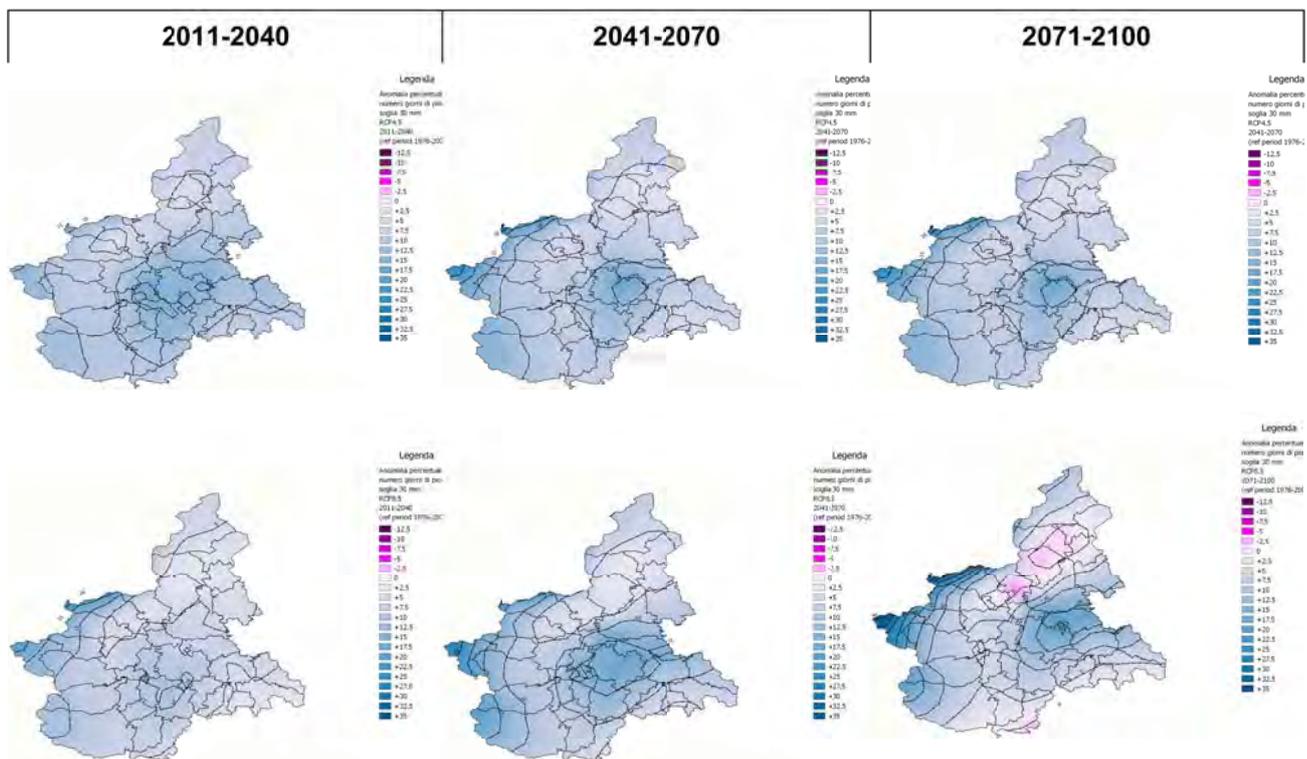


Figura 27 - Variazione del numero di giorni con pioggia cumulata superiore a 30 mm nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

3 IL CLIMA REGIONALE - EFFETTI

3.1 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, 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 28 e Figura 29).

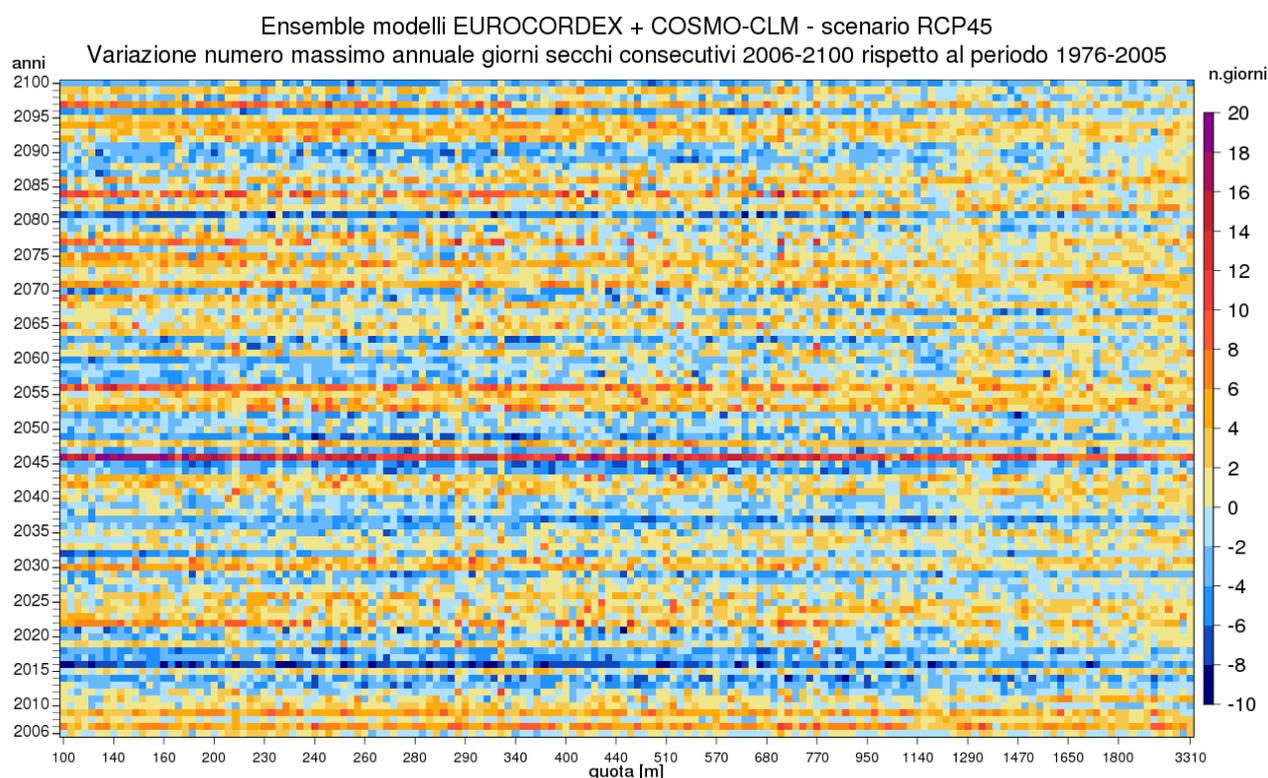


Figura 28 - Variazione del numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione, per ogni anno (ordinate) e per ogni punto di griglia ordinati secondo la quota, dalle più basse alle più elevate (ascisse). La variazione è calcolata rispetto al valore medio del periodo 1976-2005, per lo scenario RCP4.5.

Per quanto riguarda lo scenario RCP4.5 (Figura 28), si evince una generale tendenza all'aumento della durata dei periodi secchi, 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, dove interessa anche le quote più elevate, che sembrano soffrire di una diminuzione dei periodi piovosi più accentuata.

Per quanto riguarda lo scenario RCP8.5 (Figura 29) questa tendenza è ancora più evidente a partire dalla seconda metà del secolo con valori che, a partire dal 2070 diventano più importanti, così come la frequenza degli anni siccitosi e l'interessamento delle quote più alte. Dal 2080 la possibilità di avere anni più piovosi tenderà a ridursi significativamente.

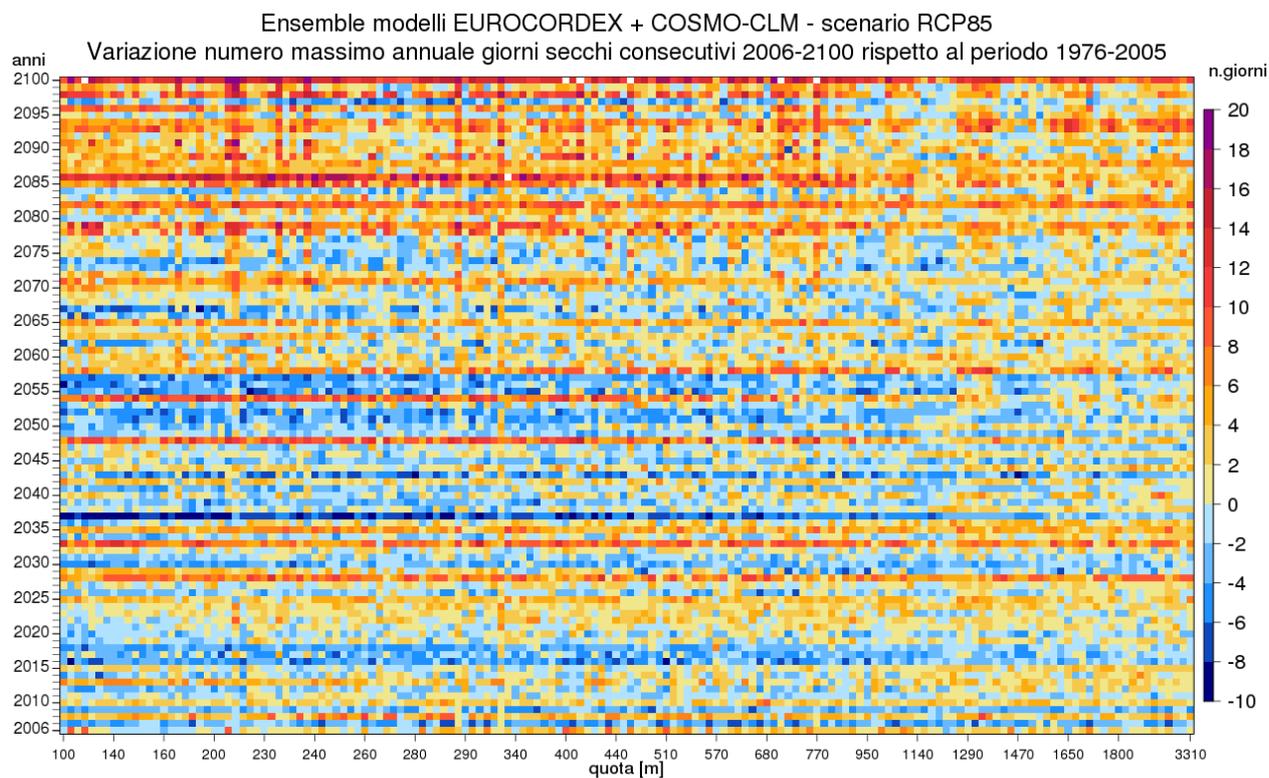


Figura 29 - Variazione del numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione, per ogni anno (ordinate) e per ogni punto di griglia ordinati secondo la quota, dalle più basse alle più elevate (ascisse). La variazione è calcolata rispetto al valore medio del periodo 1976-2005, per lo scenario RCP8.5.

Sono anche state valutate le variazioni, in termini di giorni, della distribuzione sul territorio della massima lunghezza dei periodi secchi, per valutare quali sono le possibili conseguenze, per entrambi gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

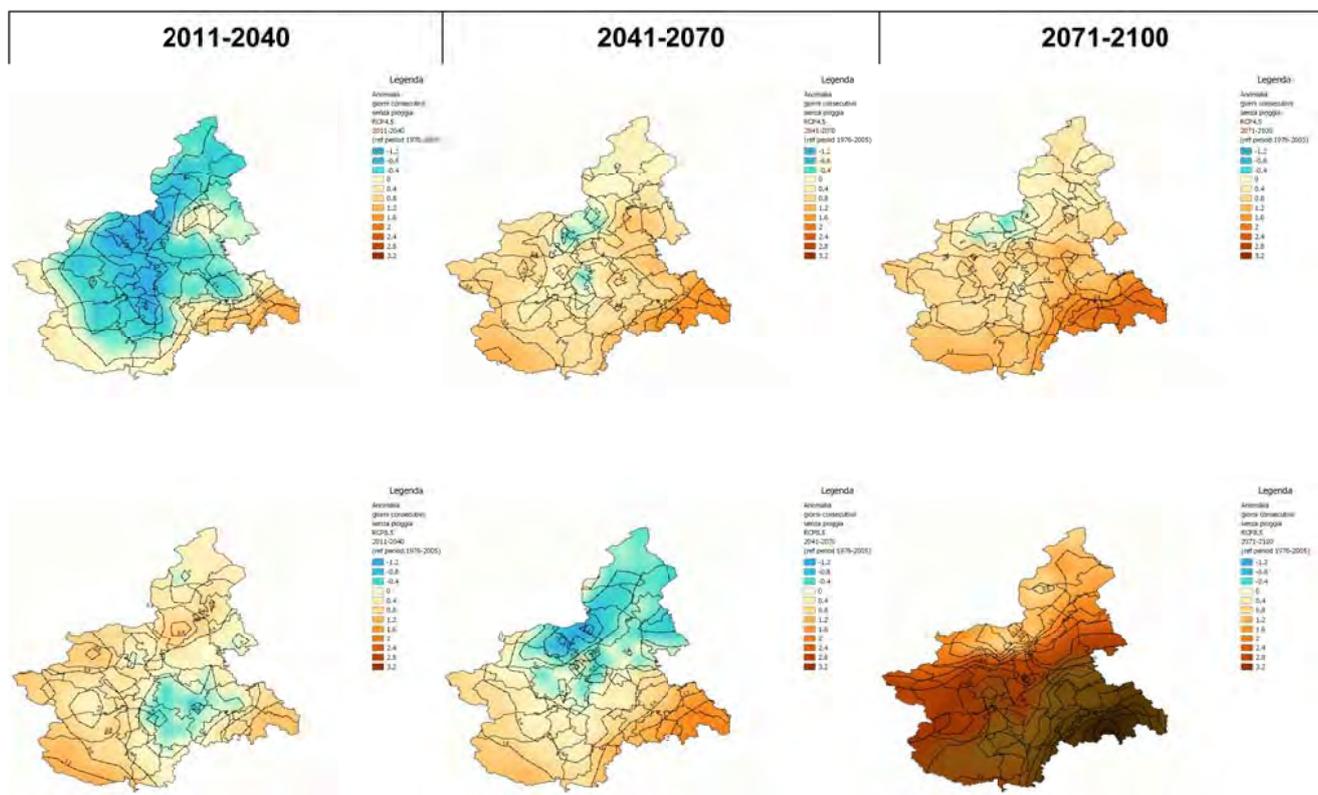


Figura 30 - Variazione assoluta della massima lunghezza annuale dei periodi secchi (senza precipitazione) nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna) e nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5. La grandezza rappresentata è il numero di giorni, su una scala da -1,2 a 3,2 uguale per tutti i periodi e gli scenari.

3.2 INDICE SICITÀ - EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE

Per analizzare le potenziali condizioni di siccità legate non solo alla precipitazione ma anche alla temperatura, è stata calcolata l'*evapotraspirazione potenziale*, che rappresenta la quantità di acqua che viene trasferita dal sistema suolo/vegetazione all'atmosfera attraverso i processi di evaporazione e traspirazione in condizioni "ottimali", ovvero quando il contenuto idrico del suolo non costituisce un fattore limitante. Questa grandezza rappresenta un buon indicatore per quanto riguarda l'impatto del cambiamento climatico sull'agricoltura. L'indicatore è fortemente dipendente dalla temperatura che regola sia i processi evaporativi che traspirativi.

Le analisi mostrano un incremento dell'evapotraspirazione in entrambi gli scenari emissivi (Figura 31). Nello scenario di mitigazione RCP4.5, l'evapotraspirazione potenziale aumenta con un trend di +133 mm ogni 10 anni e nello scenario tendenziale di +34,6 mm ogni 10 anni nel periodo 2006-2100. L'incremento complessivo nel corso del secolo è, in media, di circa l'8% nello scenario RCP4.5 e del 15% nello scenario RCP8.5.

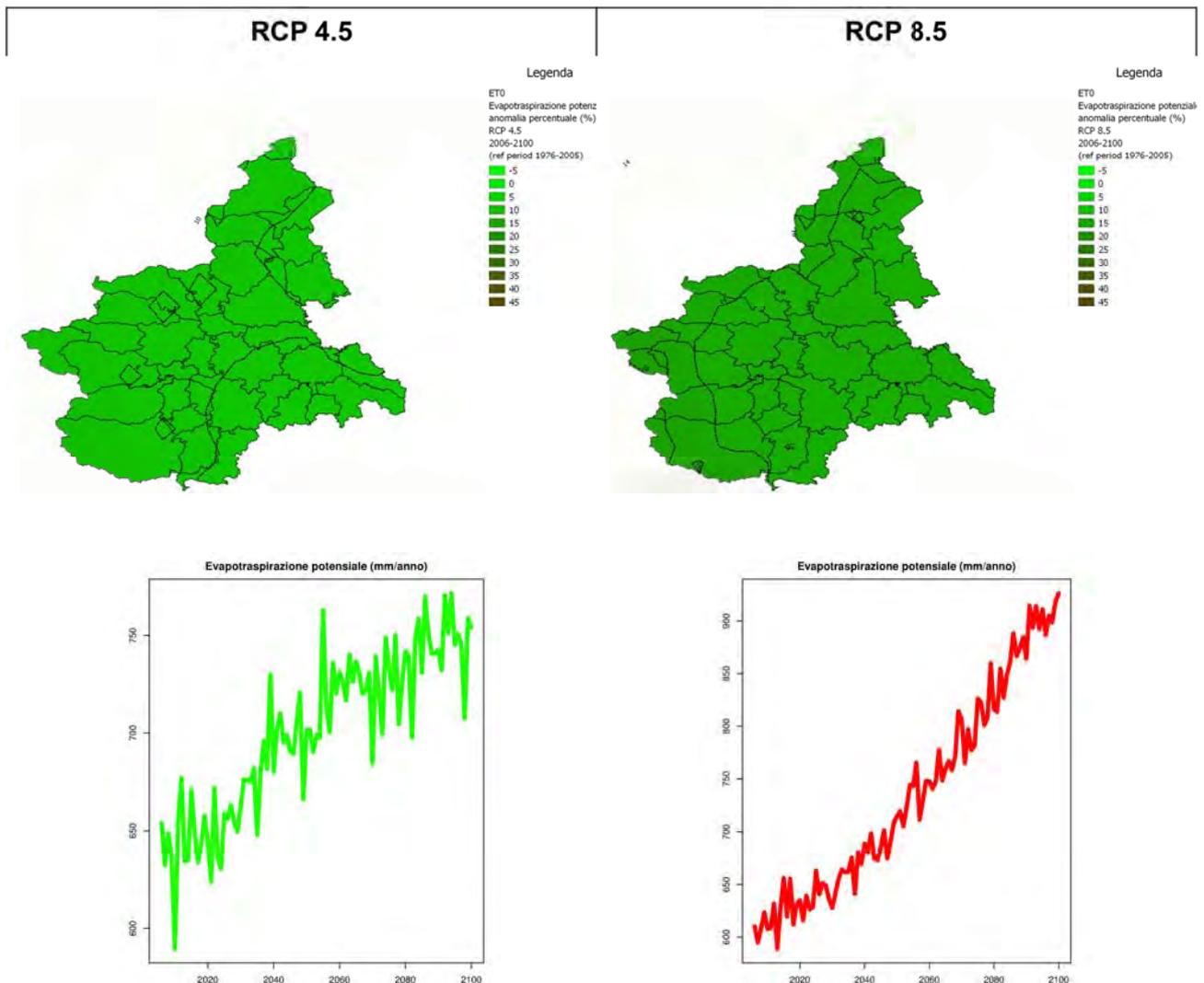


Figura 31 - Variazione percentuale dell'evapotraspirazione potenziale nel periodo 2006-2100 rispetto al periodo 1976-2005 (prima riga) nello scenario RCP4.5 (prima colonna) e nello scenario RCP8.5 (seconda colonna). Nella seconda riga è riportato il trend dell'evapotraspirazione potenziale mediata sulla regione nel periodo 2006-2100.

Se consideriamo solo l'ultimo trentennio del secolo (2071-2100) queste percentuali salgono rispettivamente al 15% e tra il 30% ed il 35% (Figura 32). Interessante notare come, nello scenario tendenziale, si raggiungano valori molto elevati lungo l'arco alpino nell'ultimo trentennio (fino al 45%) con un gradiente in accordo con la quota. Questo a conferma dell'effetto importante del riscaldamento in montagna.

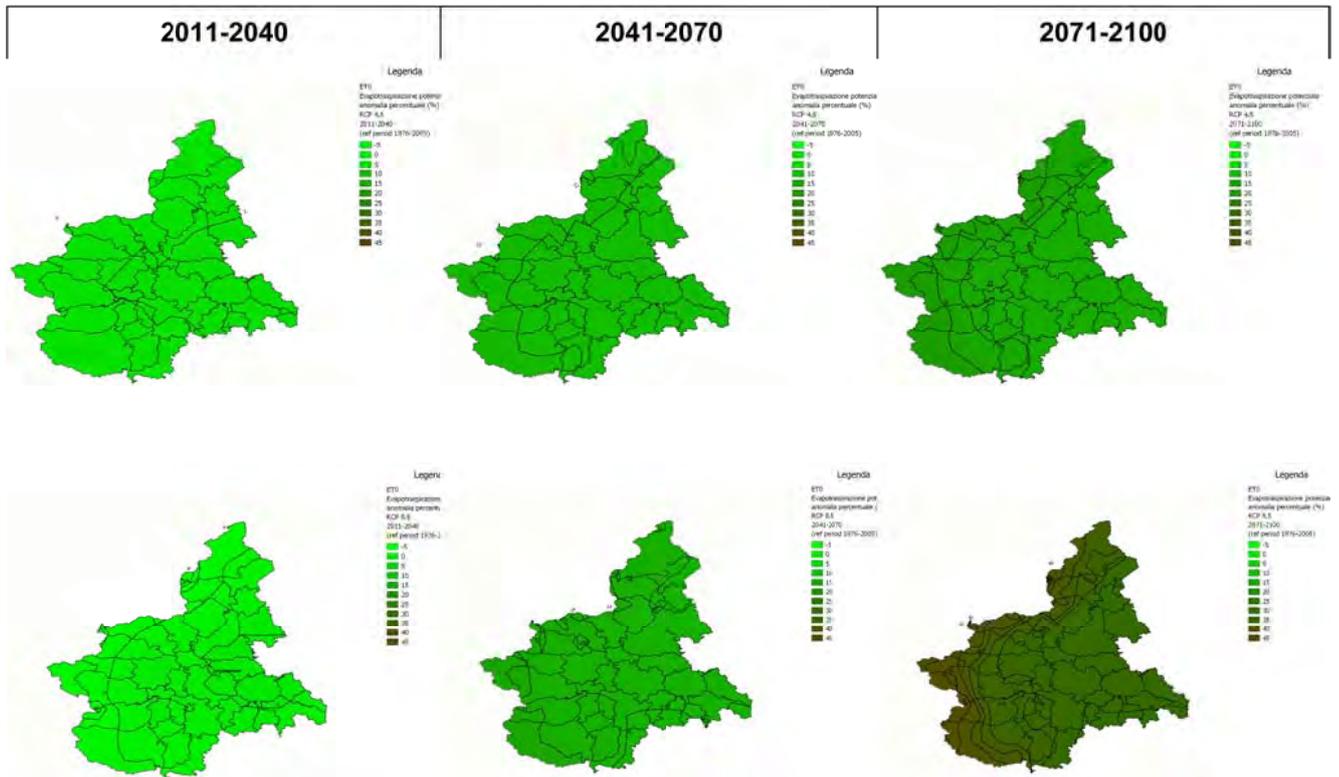


Figura 32 - Variazione percentuale dell'evapotraspirazione potenziale nei trentenni 2011-2040 rispetto al 1976-2005 (prima colonna), nel periodo 2041-2070 rispetto al 1976-2005 (seconda colonna), nel periodo 2071-2100 rispetto al 1976-2005 (terza colonna). La prima riga per lo scenario RCP4.5, la seconda per lo scenario RCP8.5.

Trattandosi di un valore potenziale, l'indicatore non tiene conto della reale disponibilità idrica del terreno, quindi la perdita di acqua dovuta a tali incrementi potrebbe essere compensata da aumenti della precipitazione, che però dalle analisi non si evincono, facendo ipotizzare un aumento delle condizioni di siccità per la componente agricola.

3.3 INDICE SICITÀ - SPI

Un altro indicatore largamente utilizzato per evidenziare le situazioni di deficit o di surplus di precipitazione di un determinato periodo temporale è lo *Standard Precipitation Index* (SPI) che esprime la deviazione della precipitazione cumulata rispetto a quella di un periodo di riferimento, in termini di deviazioni standard. L'indice fornisce infatti il numero di deviazioni standard da cui si discosta una serie temporale di precipitazione rispetto a una media climatologica di riferimento (riportata a media nulla e deviazione standard pari a 1), aggregando i dati su diverse scale temporali.

Proprio perché lavora sulle distribuzioni, risulta comparabile anche in zone caratterizzate da una diversa pluviometria ed è l'indicatore maggiormente utilizzato a livello internazionale per caratterizzare la siccità meteorologica.

A scopo di analisi climatiche, il periodo di aggregazione più ragionevole è l'anno o multipli superiori. Sulle scale più brevi (3-6 mesi) l'SPI è descrittivo delle condizioni di umidità del suolo, mentre su periodi più lunghi (1-2 anni) è connesso alla riserva idrica in termini di falde sotterranee o ricarica degli invasi.

Il limite principale di questo indicatore è quello di non tenere in considerazione l'evapotraspirazione e quindi l'effetto dell'incremento di temperatura sull'umidità del suolo. È tuttavia un indice abbastanza robusto per comparare ambiti territoriali differenti.

L'analisi è stata effettuata su periodi di 12, 24 e 48 mesi. L'indice è stato suddiviso in classi che corrispondono a diverse situazioni di siccità/piovosità, come riportato nella Figura 33.

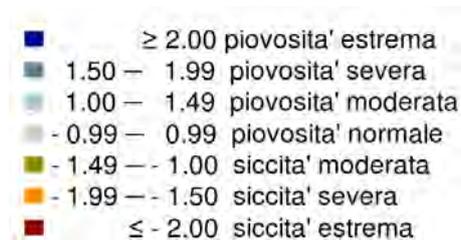


Figura 33 - Classificazione delle condizioni di siccità/piovosità in funzione del valore dell'indice SPI (corrispondente alla deviazione standard) in 7 classi.

Dall'esame delle serie temporali dell'indice SPI a 12 mesi (su base mensile, Figura 34) mediato sull'intero territorio, si osserva una grande variabilità inter-annuale dell'indice nello scenario RCP4.5, con valori dei periodi piovosi e siccitosi che sembrano raggiungere estremi più importanti. Nello scenario RCP8.5, si evidenzia invece una tendenza alla siccità nell'ultimo trentennio del secolo, per intensità e durata. Valori estremi di siccità si riscontrano comunque già a metà del secolo, quando prevale ancora un'alternanza di periodi secchi e periodi piovosi.

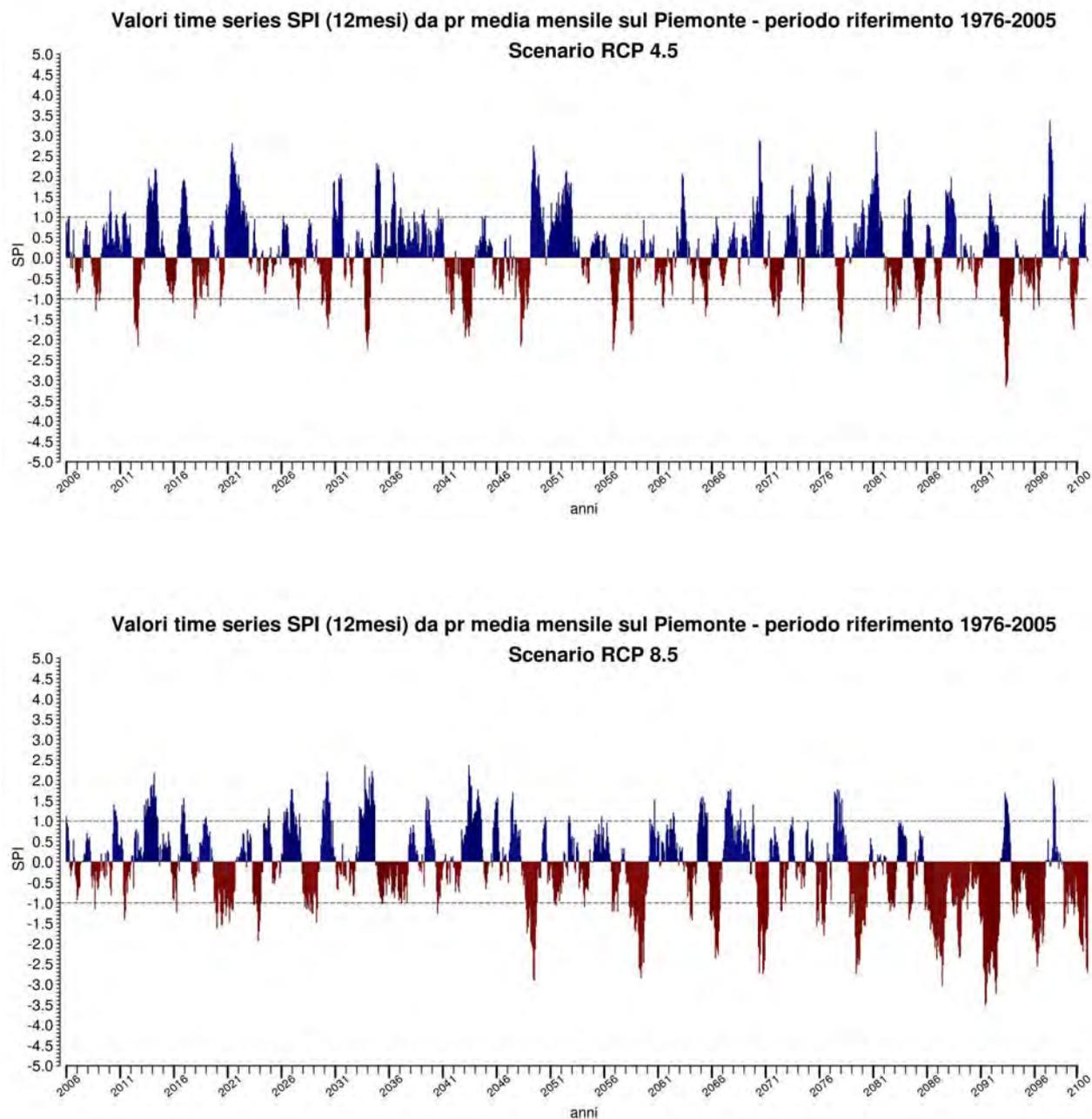


Figura 34 - Serie temporale dell'indice SPI calcolato mensilmente sui 12 mesi precedenti, calcolato nello scenario RCP4.5 (in alto) e RCP8.5 (in basso) dal 2006 al 2100 rispetto al periodo di riferimento 1976-2000. In rosso i periodi con un deficit di precipitazione, in blu i periodi con un surplus di precipitazione.

Oltre al valore medio, interessante è capire quale percentuale del territorio regionale si trovi in una determinata classe, per capire se gli anni in cui prevale una condizione estrema, questa sia equamente distribuita. In Figura 35, per lo scenario RCP4.5, oltre alla mancanza di una tendenza, si osserva che negli anni estremamente siccitosi, tale condizione è uniforme sul territorio regionale, mentre negli anni piovosi, parte del territorio può trovarsi in condizioni di siccità anche estrema.

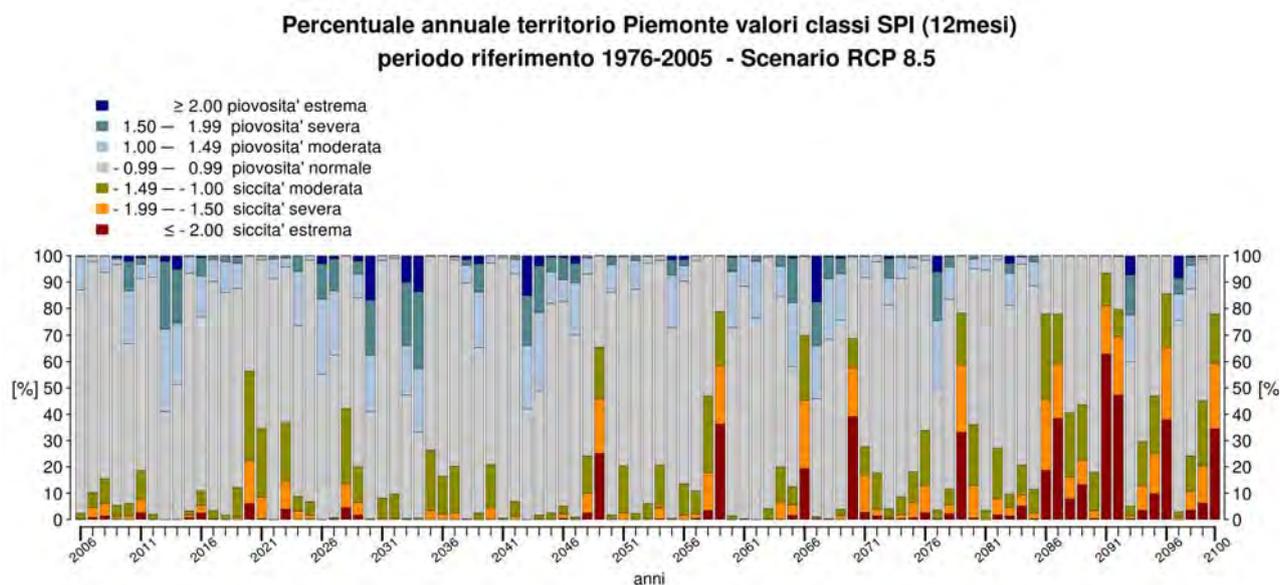
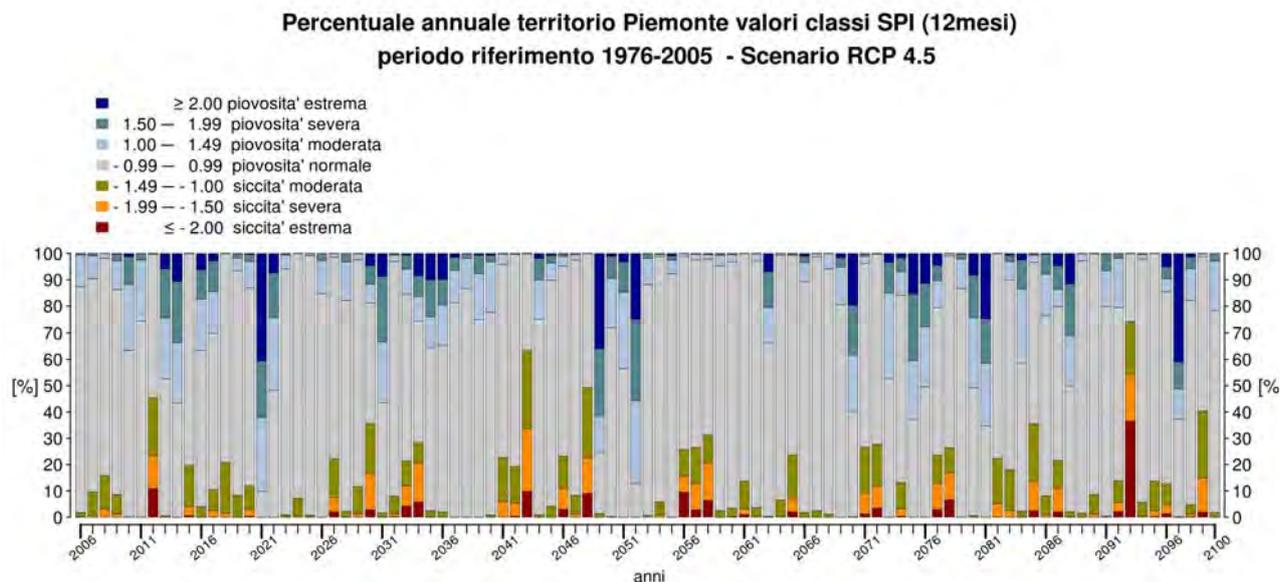


Figura 35 - Percentuale del territorio regionale che si trova nelle diverse classi di siccità/piovosità secondo l'indice SPI a 12 mesi per gli anni dal 2006 al 2100, sopra nello scenario RCP4.5 e sotto nello scenario RCP8.5.

Nello scenario RCP8.5 si osserva invece una tendenza all'aumento delle condizioni di siccità che interessano gran parte del territorio regionale, a scapito di una diminuzione degli anni più piovosi della norma nella seconda metà del secolo. La percentuale del territorio che si trova in una situazione di siccità estrema è vista aumentare in modo netto.

Interessante è la distribuzione territoriale delle condizioni siccitose nell'ultimo trentennio del secolo nello scenario RCP8.5 (Figura 36), lo scenario che mostra le principali variazioni. Si osserva una situazione di siccità diffusa, ma più intensa sul settore meridionale della regione. Considerando un periodo temporale maggiore (2 anni) la siccità si estremizza e si distribuisce in aree identificabili: il settore meridionale più prossimo al confine e la zona prealpina nordoccidentale. Su un periodo ancora più lungo, si ritrovano le medesime aree con indicatore che raggiunge classi di siccità estrema.

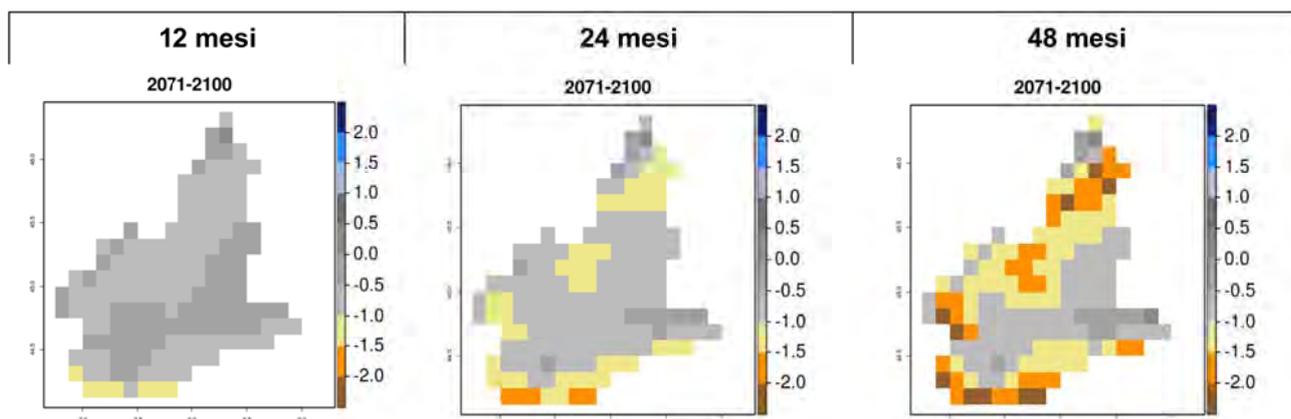


Figura 36 - Valore dell'indice SPI a 12 mesi (a sinistra), 24 mesi (in mezzo) e 48 mesi (a destra) nel periodo 2071-2100 nello scenario RCP8.5.

In generale si può affermare che le condizioni di siccità tenderanno ad aumentare, in particolare nello scenario tendenziale RCP8.5 dopo la prima metà del secolo, che tenderanno a divenire più intense e durature e interessare il settore meridionale e la zona prealpina nordoccidentale. Senza considerare l'evapotraspirazione, che invece assume un ruolo molto importante in entrambi gli scenari emissivi, la variabilità inter-annuale data dal solo indice SPI, rimane elevata. Si conferma inoltre che le condizioni di siccità, quando coinvolgono classi di intensità severa o estrema, sono diffuse all'intero territorio regionale. Le scale temporali più lunghe (48 mesi) mostrano una tendenza superiore e presentano condizioni di siccità importante, a dimostrazione che la variabilità climatica tenderà ad avere una minore frequenza e a colpire le riserve di acqua più remote (acque sotterranee).

Si ricorda che questo indice viene calcolato soltanto a partire dai dati di precipitazione, senza tenere conto delle variazioni attese di temperatura né di evapotraspirazione. Combinando, seppure qualitativamente, i valori di SPI dell'ultimo trentennio con le corrispondenti variazioni attese per le grandezze legate alla temperatura, sembra che la mancanza di precipitazione sarà accompagnata da anomalie di temperature ed evapotraspirazione molto marcata, fornendo uno scenario drammatico con impatti a vasta scala dalla risorsa idrica all'agricoltura, agli incendi boschivi, oltre che alle condizioni di salute.

3.4 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*.

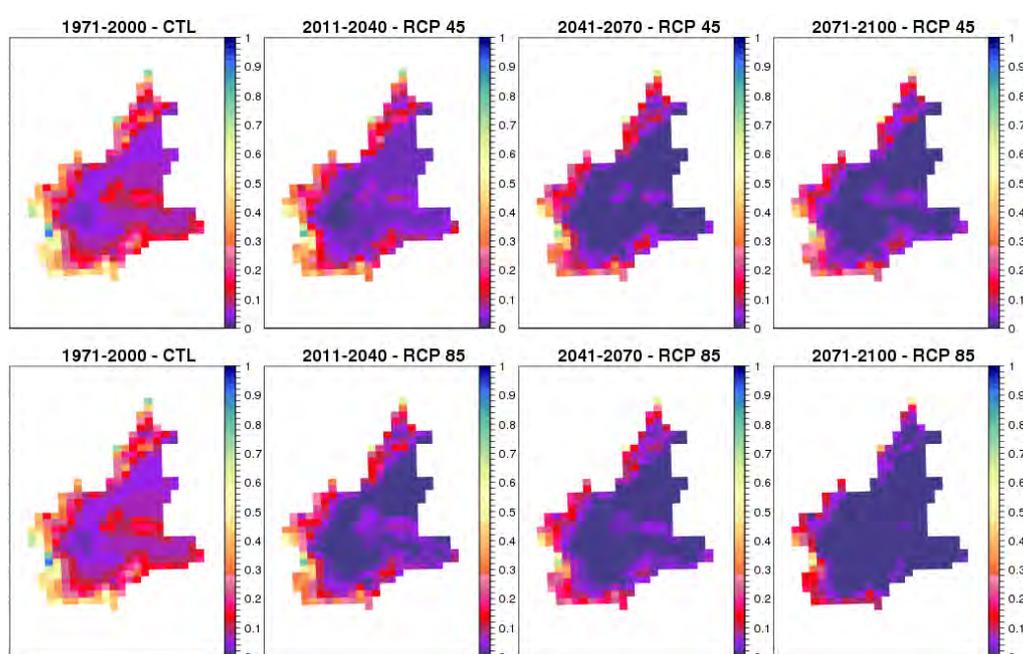


Figura 37 - Valore del rapporto tra la neve (stimata come precipitazione con temperatura al di sotto dei 2 °C) e la precipitazione totale cumulata nei mesi da novembre a maggio, mediata sul periodo di controllo 1971-2100 (prima colonna) e sui trentenni 2011-2040 (seconda colonna), 2041-2070 (terza colonna) e 2071-2100 (quarta colonna) per lo scenario RCP4.5 (riga in alto) e per lo scenario RCP8.5 (riga in basso).

Dalla Figura 37 si conferma la dipendenza orografica dell'indicatore anche riprodotto dalle simulazioni modellistiche, infatti le mappe della colonna più a sinistra sono confrontabili con quelle ottenute con i dati osservati. Si evince una tendenza alla diminuzione della frazione neve/pioggia in entrambi gli scenari, più marcata nello scenario RCP8.5.

I pixel a quote più elevate nelle zone di confine vedono ridotto questo rapporto da 0,5-0,7 a 0,2-0,3 già a metà secolo anche con lo scenario RCP4.5, con qualche punto isolato sulle zone più sudoccidentali, dove rimane a 0,4. A fine secolo, il numero di punti dove il rapporto rimane tra 0,2 e 0,3 sono molto limitati. Nello scenario peggiore, l'RCP8.5, tutta la fascia prealpina vede azzerare questo rapporto dalla seconda metà del secolo.

3.5 GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

Anche per gli scenari futuri sono stati calcolati i “gradi giorno di riscaldamento” (HDD *Heating Degree Days*) e i “gradi giorno di raffrescamento” (CDD *Cooling Degree Days*) a livello regionale, per valutare come l’aumento di temperatura atteso incida sulle necessità di riscaldamento invernale e di raffrescamento durante l’estate.

I “gradi giorno di riscaldamento” HDD sono un parametro empirico utilizzato per il calcolo del fabbisogno termico di un edificio e rappresentano la somma delle differenze tra la temperatura dell’ambiente riscaldato (convenzionalmente 20 °C) e la temperatura media esterna; la differenza viene conteggiata solo se positiva. I gradi giorno di riscaldamento sono stati calcolati nel periodo novembre-maggio con una soglia di 20 °C.

Ricordiamo che Il D.P.R. 412/93 e s.m.i. definisce le fasce climatiche in cui viene suddiviso il territorio italiano, mentre il D.P.R. 74/2013 definisce le tempistiche di accensione degli impianti di riscaldamento, secondo la tabella sottostante.

Fasce climatiche	D.P.R. 412/93 e s.m.i.	D.P.R. 74/2013
A	gradi giorno tra 0 - 600	ore 6 giornaliere dal 1° dicembre al 15 marzo
B	gradi giorno tra 600 - 900	ore 8 giornaliere dal 1° dicembre al 31 marzo
C	gradi giorno tra 900 - 1400	ore 10 giornaliere dal 15 novembre al 31 marzo
D	gradi giorno tra 1400 - 2100	ore 12 giornaliere dal 1° novembre al 15 aprile
E	gradi giorno tra 2100 - 3000	ore 14 giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile
F	gradi giorno maggiore di 3000	nessuna limitazione

Per quanto riguarda i gradi giorno di riscaldamento (Figura 38), si evince una diminuzione del valore percentuale in entrambi gli scenari, più marcato per lo scenario RCP8.5 a fine secolo. Nello scenario RCP4.5 la variazione, nell'ultimo trentennio, raggiunge al massimo il 15-20%. Questo comporterebbe una variazione della fascia climatica limitata ad alcune zone di pianura dalla E alla D e alcune aree fino alla fascia prealpina dalla fascia climatica F alla E. Nessun cambiamento di fascia climatica è atteso invece per le zone di montagna, dove, tra l'altro, la variazione percentuale è inferiore.

Nello scenario tendenziale, la variazione percentuale del 15-20% si ha nel secondo trentennio, intorno alla metà del secolo, mentre nell'ultimo trentennio, la variazione raggiunge il 25-30%. Questo comporterebbe una variazione di classe per la maggior parte del territorio regionale, ad eccezione delle zone montane, dove, attualmente, i gradi giorno sono superiori a 4000. Le variazioni attese sono dalla classe F alla E, e dalla E alla D. Nessun punto del territorio è stimato arrivare ad una classe climatica inferiore alla D.

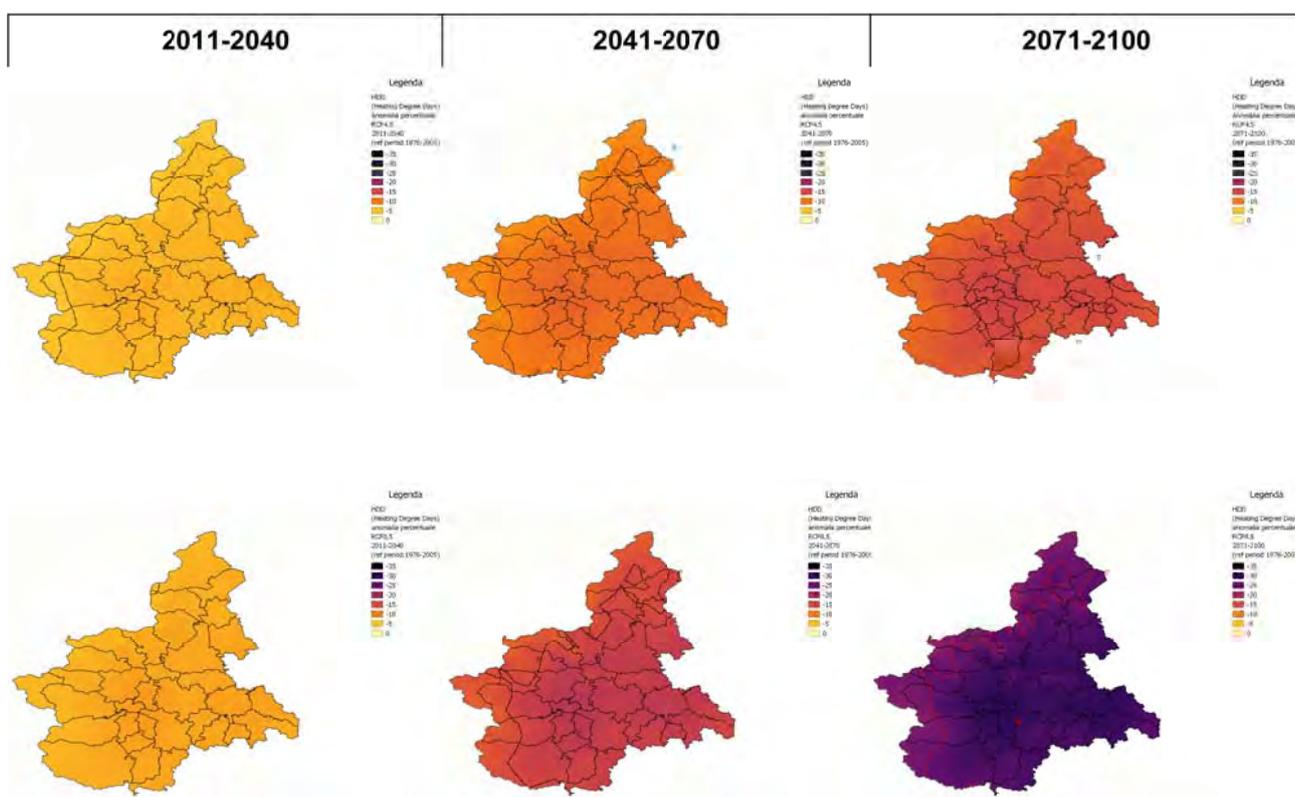


Figura 38 - Variazione percentuale dei “gradi giorno di riscaldamento” HDD calcolati da novembre a maggio, nei trentenni 2011-2040 (prima colonna), 2041-2070 (seconda colonna) e 2071-2100 (terza colonna) rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per lo scenario RCP4.5 (riga in alto) e per lo scenario RCP8.5 (riga in basso).

I “gradi giorno di raffrescamento” CDD sono calcolati in modo analogo, come somma delle differenze tra la temperatura media esterna e la temperatura di comfort climatico (non superiore ai 21 °C); la differenza viene conteggiata solo se la temperatura media esterna supera i 24 °C. I “gradi giorno di raffrescamento” sono calcolati nel periodo giugno-settembre.

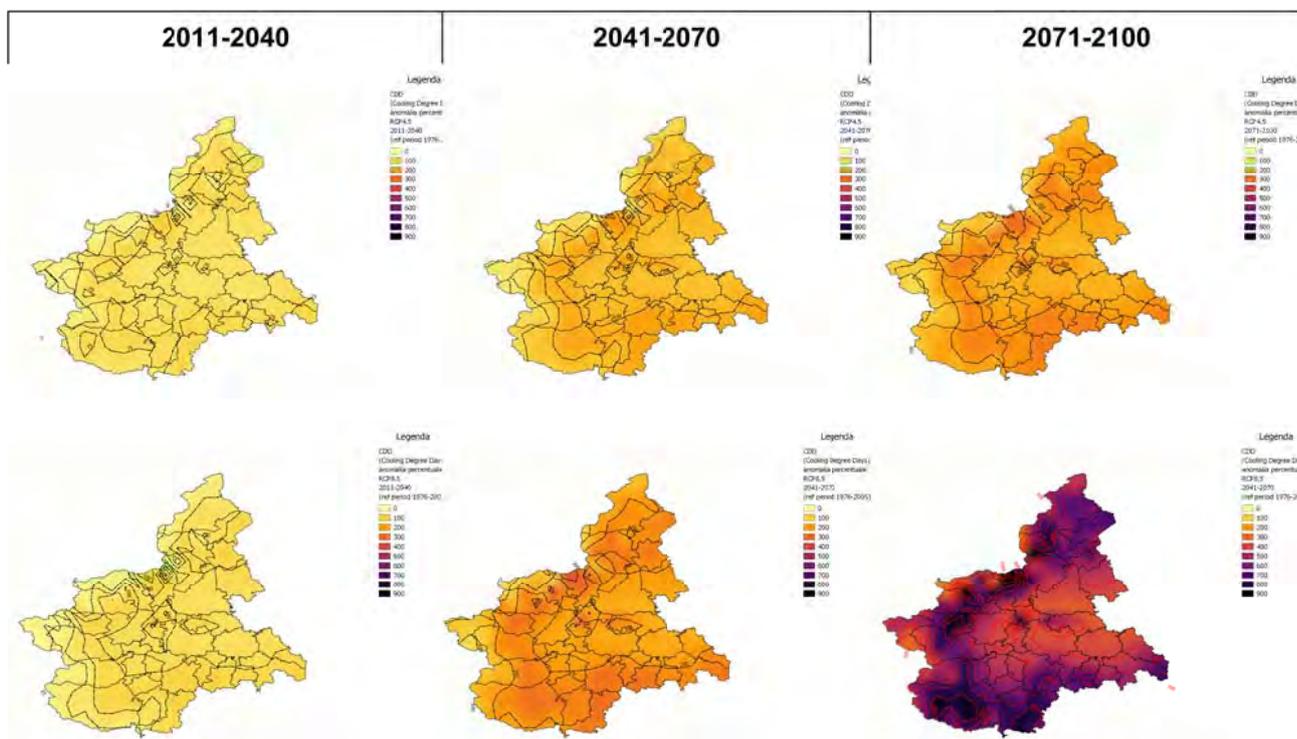


Figura 39 - Variazione percentuale dei “gradi giorno di raffrescamento” (CDD) calcolati da giugno a settembre, nei trentenni 2011-2040 (prima colonna), 2041-2070 (seconda colonna) e 2071-2100 (terza colonna) rispetto al periodo di controllo 1976-2005, per lo scenario RCP4.5 (riga in alto) e per lo scenario RCP8.5 (riga in basso).

Nello scenario RCP4.5 (Figura 39), gli aumenti vanno dal 75% nel primo trentennio, al 150% nel secondo, fino al 200-300% nell'ultimo trentennio, dove i valori più elevati riguardano la fascia prealpina. Nello scenario tendenziale RCP8.5 i valori sono superiori, arrivando al 100% nel primo trentennio, tra il 150% e il 200% nel secondo trentennio, con valori superiori al 200% sulla fascia prealpina e, nell'ultimo trentennio i valori sono intorno al 400% in pianura e sulle zone montane di confine, superando il 600-700% nella fascia prealpina. Questo significa che la necessità di raffrescamento per adattarsi alle nuove temperature estive aumenterà fino a triplicare rispetto alle attuali nello scenario con iniziative di mitigazione, e fino a 8-9 volte rispetto alle attuali nello scenario tendenziale.

In generale si può affermare, come già espresse nel Piano Nazionale, che la necessità energetica per esigenze di raffrescamento supererà il risparmio derivante da minore esigenze di riscaldamento.

3.6 INDICE DI PERICOLO INCENDI BOSCHIVI

Per capire come le condizioni climatiche influiscono sul potenziale di incendio boschivo, è stato utilizzato l'indice FWI *Fire Weather Index*, che fornisce una indicazione sulle difficoltà operative di spegnimento dell'incendio, basata sulle condizioni meteorologiche che influenzano lo stato dei combustibili e lo sviluppo e propagazione dell'incendio. L'indicatore scelto è basato esclusivamente su dati meteorologici, così da poter essere agevolmente utilizzato anche per gli scenari futuri.

Il *Fire Weather Index* (FWI) si basa sulle condizioni meteorologiche predisponenti l'innescò e la propagazione degli incendi boschivi, in base allo stato di idratazione degli strati di combustibile forestali e dalla variabilità climatica in atto, valutando il contenuto di umidità di questi strati insieme all'azione del vento, che vengono sintetizzate da un valore numerico che può essere spazializzato in funzione di esigenze specifiche. Nel caso della Regione Piemonte, l'indice viene spazializzato sulle Aree di Base che vengono utilizzate dal punto di vista operativo dal sistema *Antincendio Boschivo* (AIB).

Un vantaggio dato dall'utilizzo di questo indicatore per la valutazione dell'effetto del cambiamento climatico sugli incendi boschivi, è dovuto al fatto che questo indicatore è alla base del sistema operativo di previsione del pericolo, finalizzato alla prevenzione e gestione del sistema AIB sul territorio regionale, dal 2007. Esiste pertanto un'expertise consolidata e una classificazione dei valori dell'indice che, a livello mensile, identifica il pericolo su una scala a 5 livelli (Figura 40) "molto basso", "basso", "moderato", "elevato", "molto elevato", che dipendono dalle condizioni predisponenti l'innescò di incendio boschivo e il comportamento potenziale del fuoco.

LIVELLO DI PERICOLO	INNESCO POTENZIALE	COMPORAMENTO POTENZIALE DEL FUOCO
Molto basso 1	L'innescò è difficile, se non in presenza di materiale altamente infiammabile	Pennacchio di fumo bianco. Velocità di diffusione del fuoco molto bassa. Spotting non significativo.
Basso 2	Bassa probabilità di innescò	Pennacchio di fumo bianco e grigio. Velocità di diffusione del fuoco bassa. Spotting di bassa frequenza.
Moderato 3	Una singola fiammella può causare un incendio	Colonna di fumo grigio con base scura. Velocità di diffusione del fuoco moderata. Spotting di media intensità.
Elevato 4	Una singola fiammella causa sicuramente un incendio	Colonna di fumo rossiccia e nera. Velocità di diffusione del fuoco alta. Spotting elevato.
Molto elevato 5	Una singola scintilla può causare un incendio	Colonna di fumo nero. Velocità di diffusione del fuoco molto alta. Spotting intenso.

Figura 40 - Scala di pericolo di incendio boschivo utilizzata dal sistema AIB piemontese.

I valori soglia per la definizione della scala sono stati calcolati sulla base di un dataset storico di dati di FWI e dati di incendi boschivi sulla base di un rapporto costi/benefici.

A partire dai dati giornalieri di temperatura, vento, umidità e precipitazione, l'algoritmo valuta una serie di sottoindici, utili per separare il contributo delle diverse variabili climatiche:

- tre sottoindici primari che rappresentano l'umidità del combustibile e seguono i cambiamenti giornalieri dei contenuti di umidità di tre classi di combustibile con diversi tassi di essiccaamento
 - FFMC: contenuto di umidità dei combustibili leggeri (lettiera)
 - DC: strato più profondo di materia organica compattata (indice di secchezza)
 - DMC: contenuto di umidità della materia organica in decomposizione, poco compattata (humus)

- due sottoindici intermedi che rappresentano il tasso di dispersione e il consumo del combustibile disponibile
 - ISI: indice di propagazione iniziale
 - BUI: indice del combustibile disponibile

Successivamente, la combinazione dei diversi sottoindici permette di calcolare l'indice FWI complessivo, che rappresenta l'intensità dell'incendio come tasso di energia uscente per unità di lunghezza del fronte dell'incendio ed è utile soprattutto per la parte operativa, più che per l'analisi climatica (Figura 41).

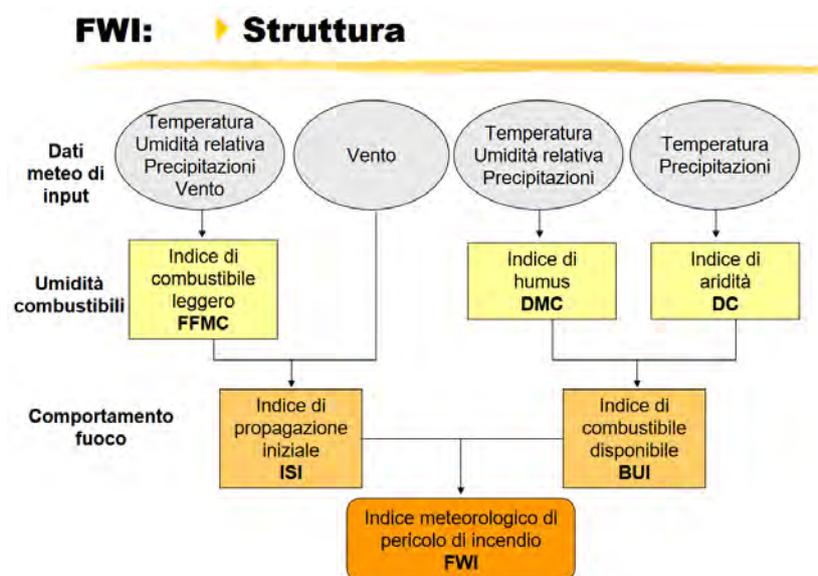


Figura 41 - Rappresentazione dello schema di calcolo dell'indice FWI e dei sottoindici relativi.

I 3 codici di umidità del combustibile possono essere in fase di bagnamento (aggiungono umidità al combustibile a seguito della precipitazione) o in fase di essiccaamento (sottraggono umidità al combustibile per ciascun giorno secco). In particolare, il *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) è un indicatore numerico del contenuto idrico dei combustibili fini (lettiera e ramaglia a terra) e riflette la facilità con cui si infiammano. Il *Duff Moisture Code* (DMC) è un indicatore numerico del contenuto idrico medio degli strati organici moderatamente profondi compattati grossolanamente. Il *Drought Code*

(DC) rappresenta lo strato profondo di materia organica compattata. I tre sottoindici primari sono utilizzati per formare due indici intermedi che, combinati tra di loro, portano al calcolo dell'indice finale FWI. Lo *Initial Spread Index* (ISI) è una combinazione di vento e FFMC e rappresenta il tasso di dispersione senza l'influenza delle quantità variabili del combustibile. Il *Buildup Index* (BUI) è una combinazione pesata di DMC e DC, media armonica dei contenuti di umidità dei due strati più profondi di combustibile. Il *Fire Weather Index* (FWI) combina l'informazione derivata da ISI e BUI, fornendo una stima numerica del grado di pericolo d'incendio boschivo più probabile.

Questo metodo si adatta con risultati soddisfacenti all'ambiente alpino e alle sue specifiche condizioni climatiche: l'insieme dell'indice FWI e dei sottoindici è quello che meglio individua le situazioni di potenziale pericolo elevato ed è flessibile per effettuare la previsione del pericolo per tutti i mesi dell'anno, sia nella stagione non vegetativa sia in quella vegetativa.

Al fine di caratterizzare le diverse aree di base dal punto di vista della climatologia delle condizioni predisponenti agli incendi boschivi, è stata effettuata una dettagliata analisi statistica dell'indice FWI basato sui dati storici, in base alla distribuzione geografica e alle stagioni meteorologiche (DJF, MAM, JJA, SON) e per la stagione vegetativa (maggio-ottobre) e non vegetativa (novembre-aprile). L'inverno risulta la stagione in cui l'FWI assume valori più bassi, mentre la stagione con valori più elevati di FWI risulta essere l'estate, soprattutto per le aree di base situate in pianura e sulle zone pedemontane. La primavera e l'autunno sono stagioni intermedie in cui si sono registrati valori di FWI più elevati sulle zone pianeggianti rispetto alle zone montane.

Un indicatore che caratterizza condizioni di pericolo elevato è rappresentato dal valore del 90° e del 99° percentile dell'indice FWI. Nell'analisi a livello regionale, è stato calcolato il valore di tali percentili sul periodo di controllo 1976-2005 e nei diversi trentenni fino al 2100, valutando l'evoluzione a livello mensile (Figura 42).

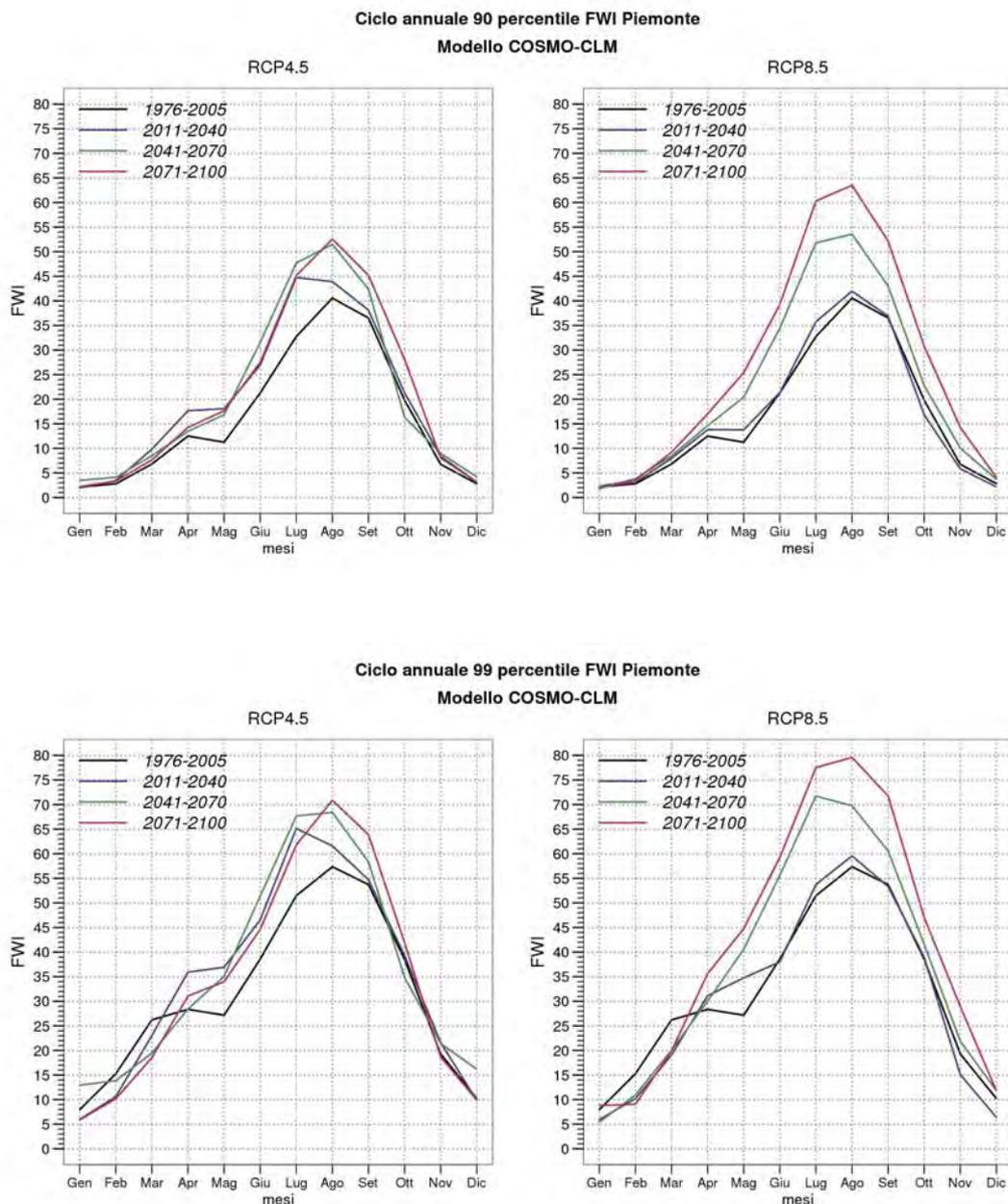


Figura 42 - Ciclo annuale del 90° percentile (in alto) e del 99° percentile (in basso) della distribuzione dell'indice FWI nel periodo di controllo 1976-2005 e nei tre trentenni di riferimento 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Si osserva come vi sia un incremento molto importante del valore del 90° percentile (che corrisponde al valore che viene superato solo il 10% dei casi) soprattutto nella stagione vegetativa, a partire dal mese di aprile, con un incremento superiore nello scenario a emissioni elevate. In quest'ultimo aumenta significativamente anche il valore del 90° percentile di FWI nella stagione autunnale e all'inizio dell'inverno, comportamento che si è verificato diversi anni negli ultimi 20. Il 99° percentile (che corrisponde al valore che viene superato solo l'1% dei casi, quindi molto estremo) mostra un comportamento simile, anche se più rumoroso, perché la statistica è meno significativa.

Al fine di individuare le aree del territorio regionale maggiormente esposte all'incremento del pericolo incendi boschivi, sono state realizzate le mappe di probabilità di superamento del valore del 90° percentile del periodo di controllo (valore che viene superato solo il 10% dei giorni) nei tre trentenni futuri.

Nello scenario RCP4.5 (Figura 43) si osserva un generale incremento della probabilità di superamento che arriva fino a circa il 25% nella stagione non vegetativa e al 30% nella stagione vegetativa. L'incremento maggiore nella stagione non vegetativa si ha intorno alla metà del secolo, e sui rilievi prealpini. In queste aree i giorni con pericolo estremo sono attesi raddoppiare negli scenari futuri. Nella stagione vegetativa invece l'incremento del pericolo si evidenzia fino a fine secolo, quando triplica, in particolare sul settore prealpino dalle Alpi Cozie fino alle Alpi Lepontine.

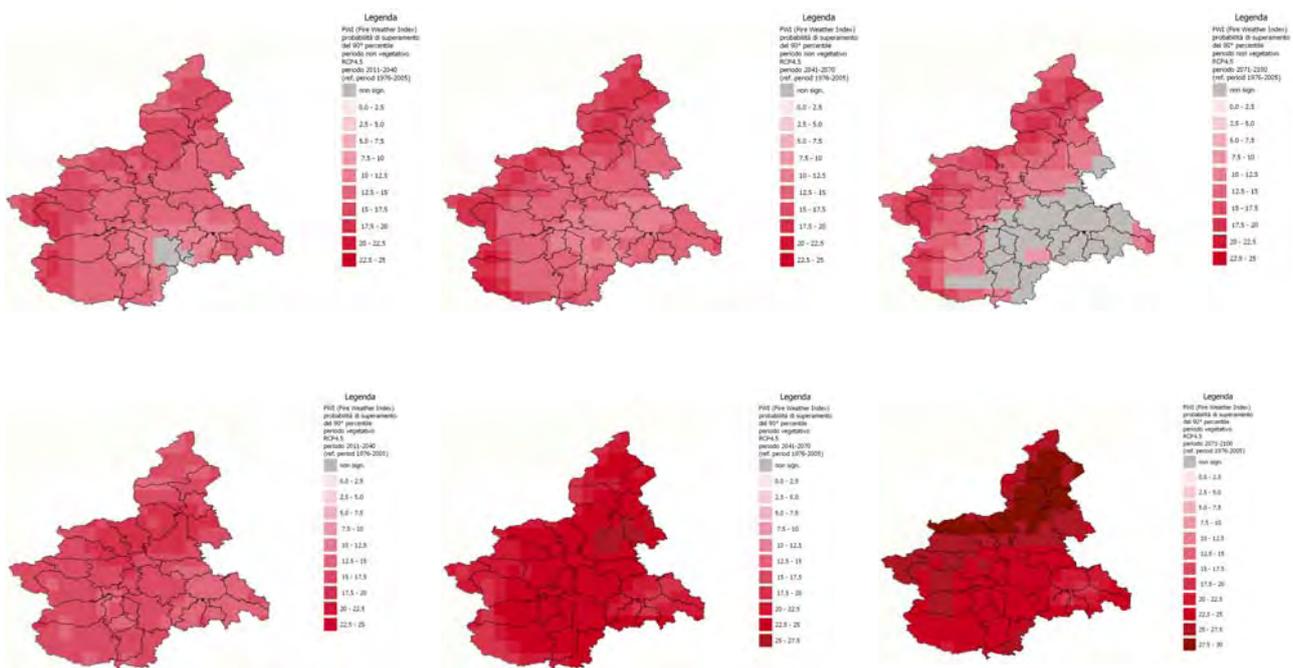


Figura 43 - Probabilità del superamento del valore del 90° percentile della distribuzione di FWI del periodo di controllo nei tre trentenni futuri (2011-2040 prima colonna, 2041-2070 seconda colonna e 2071-2100 terza colonna), nella stagione non vegetativa (in alto) e vegetativa (in basso), nello scenario RCP4.5. In grigio i valori non significativi.

Analizzando le diverse componenti dell'indice FWI, si osserva che nella stagione non vegetativa il contributo maggiore si ha dall'indice DC, che rappresenta l'umidità dei combustibili più profondi, più marcato sulle zone prealpine fino al 25-30% nella zona del Biellese e della Valle Ossola. Il valore dell'indice DMC, relativo all'humus e al materiale in decomposizione invece rimane stazionario. Nella stagione vegetativa (Figura 44) tutti i sottoindici forniscono un valore in crescita: FFMC aumenta a partire dalla pianura per poi assumere valori rilevanti a fine secolo anche in montagna, l'indice DC aumenta fino al 40% nella zona prealpina settentrionale, mentre il contributo del DMC è inferiore ad eccezione dell'ultimo trentennio.

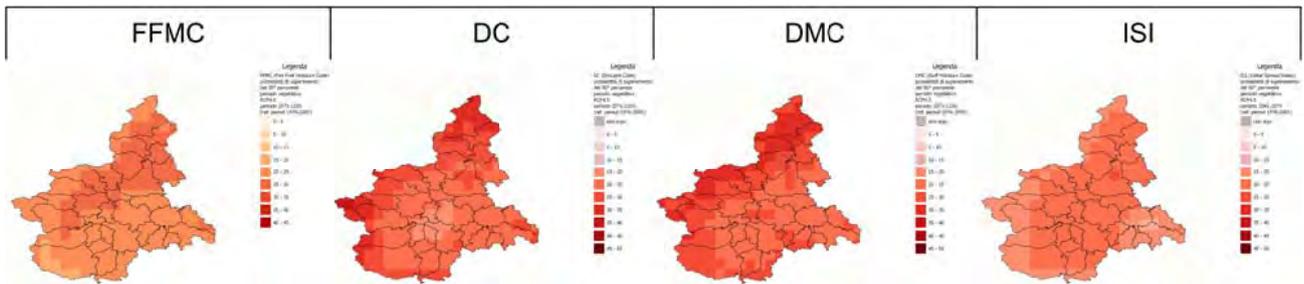


Figura 44 - Probabilità del superamento del valore del 90° percentile della distribuzione degli indici FFMC, DC, DMC e ISI del periodo di controllo (1976-2005) nell'ultimo trentennio del secolo (2071-2100), nella stagione vegetativa, nello scenario RCP4.5. In grigio i valori non significativi.

Nello scenario RCP8.5 (Figura 45) si osserva un incremento della probabilità di superamento solo nell'ultimo trentennio nella stagione non vegetativa, che arriva fino a circa il 20-25% sull'intero settore alpino e prealpino; l'incremento è più costante e graduale nella stagione vegetativa arrivando fino al 40-45% su gran parte della regione, in particolare sul settore prealpino dalle Alpi Cozie fino alle Alpi Lepontine. In queste aree i giorni con pericolo estremo sono attesi triplicare a fine secolo.

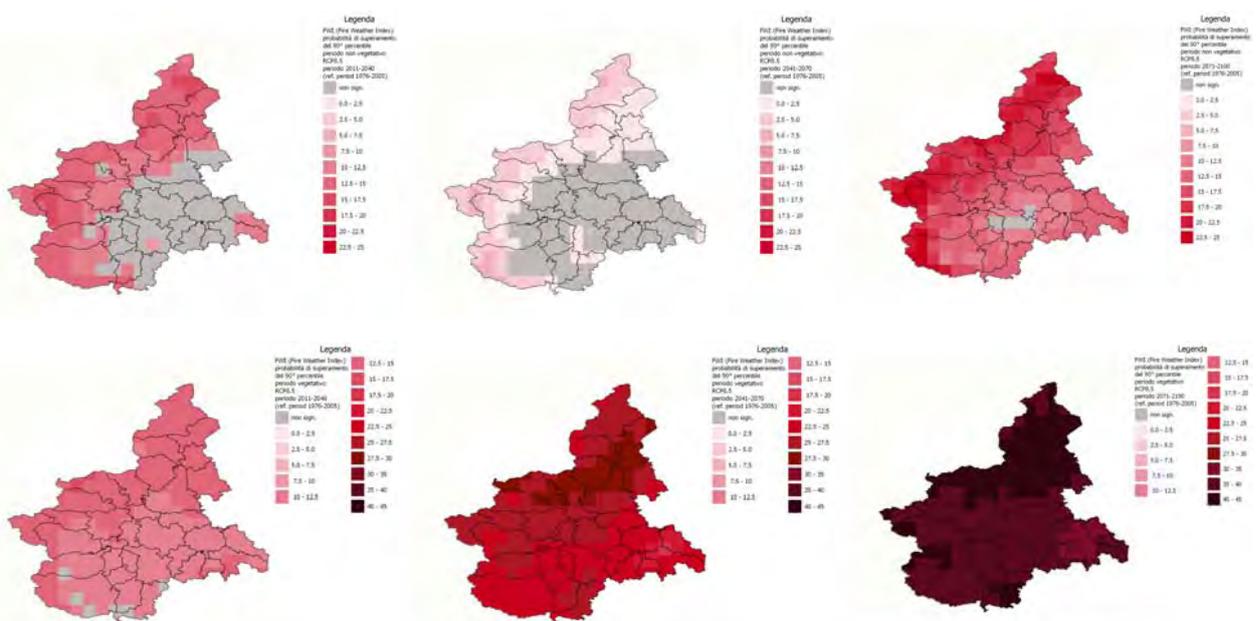


Figura 45 - Probabilità del superamento del valore del 90° percentile della distribuzione di FWI del periodo di controllo nei tre trentenni futuri (2011-2040 prima colonna, 2041-2070 seconda colonna e 2071-2100 terza colonna), nella stagione non vegetativa (in alto) e vegetativa (in basso), nello scenario RCP8.5. In grigio i valori non significativi.

In questo scenario emissivo, l'incremento di tutti gli indici è graduale nel corso del XXI secolo e assume valori importanti nell'ultimo trentennio (Figura 46). Nella stagione non vegetativa FFMC aumenta fino al 15-20% nell'ultimo trentennio, DC fino al 40% e DMC fino al 30-35%. Nella stagione vegetativa, la probabilità di occorrenza arriva al 40-45% per FFMC, supera il 50% per DC e DMC, con un forte gradiente altitudinale.

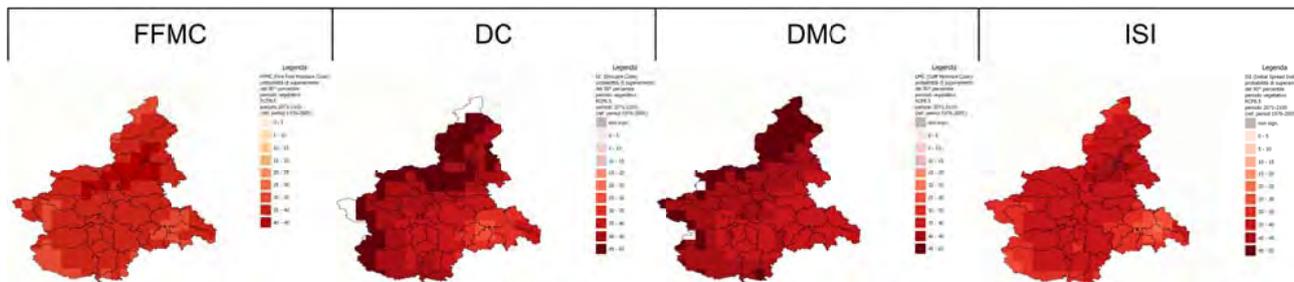


Figura 46 - Probabilità di superamento del 90° percentile per gli indici FFMC, DC, DMC e ISI nell'ultimo trentennio 2071-2100 nello scenario RCP 4.5.

Cercando di calare l'informazione del pericolo a livello territoriale, e quindi utilizzando le aree di base e la scala di pericolo incendi come definita per l'operatività del sistema di previsione del pericolo incendi, è possibile analizzare come varia negli scenari futuri la distribuzione dei giorni nelle diverse classi di pericolo.

Nello scenario di mitigazione (RCP4.5) si osserva come la distribuzione dei giorni nelle diverse classi di pericolo non vari in modo sostanziale nella stagione non vegetativa mentre mostra un aumento nella stagione vegetativa, delle classi di pericolo elevato e molto elevato. Si evince comunque una grande variabilità inter-annuale.

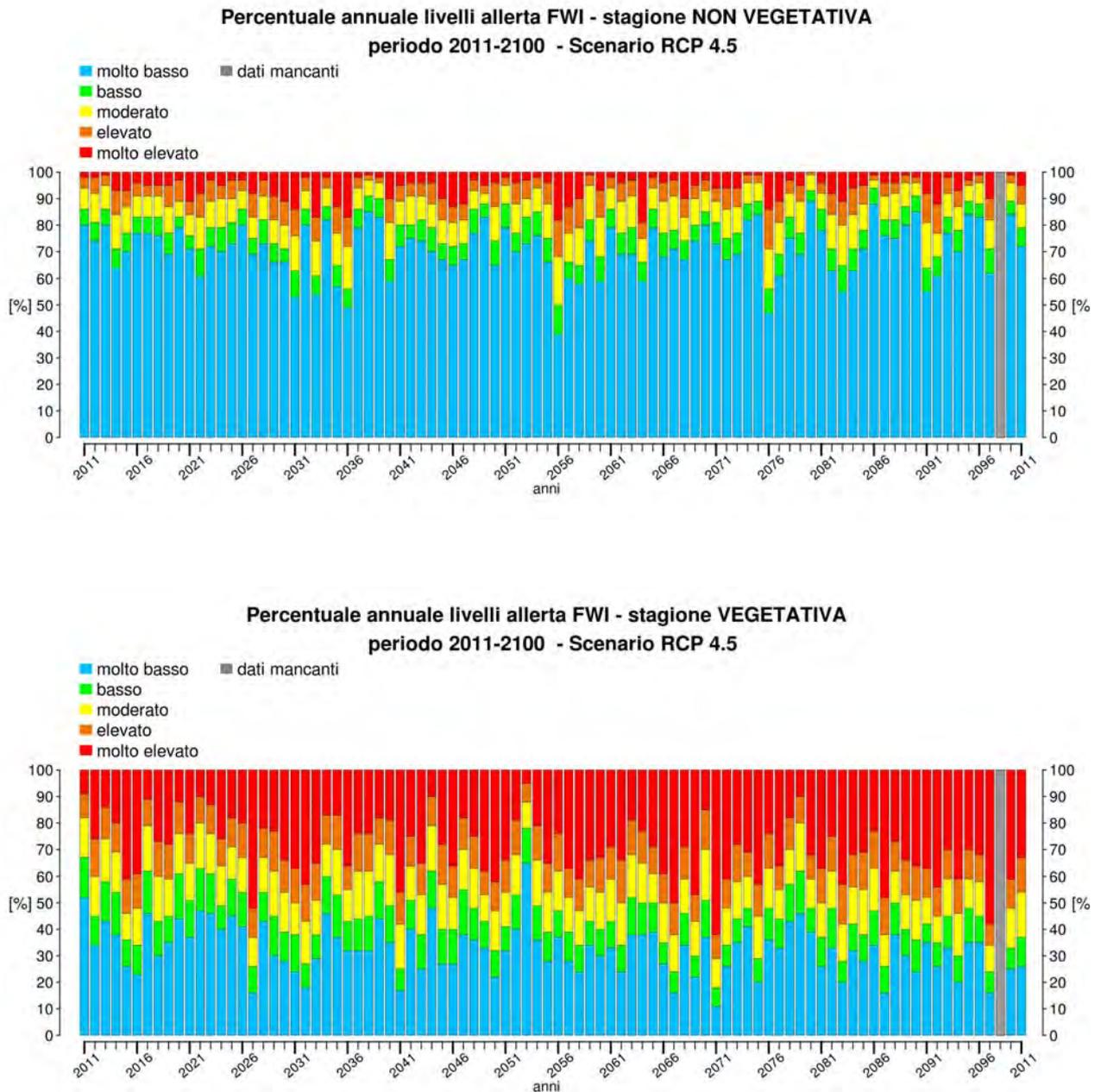


Figura 47 - Percentuale della frequenza di occorrenza dei diversi livelli di pericolo di incendio boschivo in ogni anno, dal 2011 al 2100, nella stagione non vegetativa (in alto) e vegetativa (in basso), nello scenario emissivo RCP4.5.

Nello scenario altamente emissivo (RCP8.5) si osserva come, nella stagione non vegetativa, pur con una lieve tendenza all'incremento del numero di giorni con indice "moderato"/"elevato"/"molto elevato" a discapito delle classi più basse, si mantiene tuttavia una discreta variabilità inter-annuale. Nella stagione vegetativa invece questo aumento è rilevante già dalla prima metà del secolo e la frequenza delle due classi di pericolo più elevato arriva a coprire il 60% dei giorni a fine secolo (Figura 48). Nell'ultimo trentennio del XXI secolo il 30-40% dei giorni si trova nella classe di pericolo molto elevato.

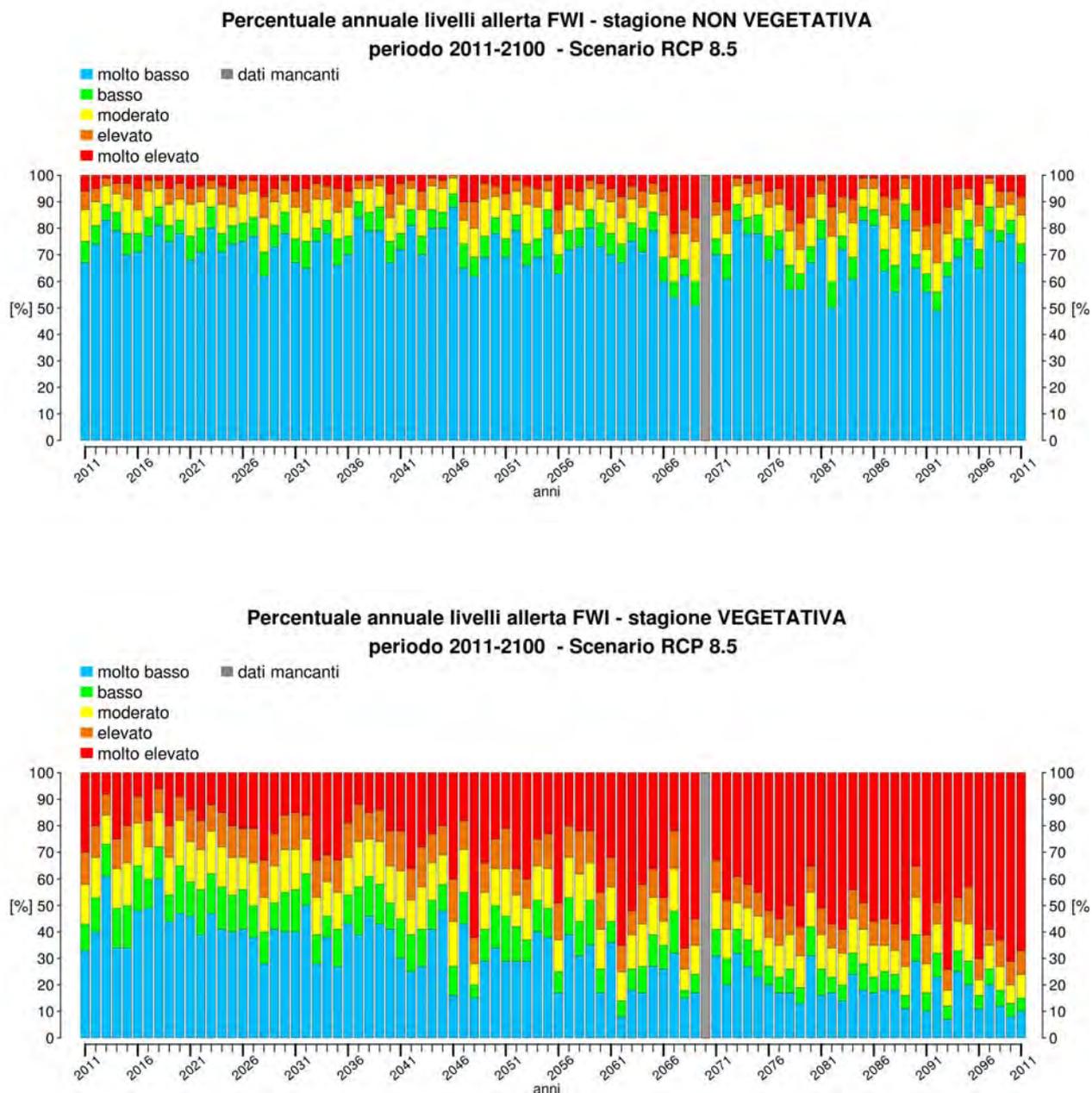


Figura 48 - Percentuale della frequenza di occorrenza dei diversi livelli di pericolo di incendio boschivo in ogni anno, dal 2011 al 2100, nella stagione non vegetativa (in alto) e vegetativa (in basso), nello scenario emissivo RCP8.5.

Al fine di individuare le aree del territorio che diventeranno maggiormente predisposte sono state analizzate le differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 (“elevato” e “molto elevato”) nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base.

Si conferma un incremento del numero di giorni con condizioni meteorologiche favorevoli allo sviluppo degli incendi boschivi, in particolare nella stagione vegetativa. Nello scenario RCP4.5 (Figura 49, Figura 50 e Figura 51) tale aumento è decisamente importante fino al 2070, poi tende a stabilizzarsi. Nei mesi di luglio e agosto arriva ad essere di 16 giorni, il che significa che circa metà mese in più rispetto al periodo attuale si trova in condizioni favorevoli allo sviluppo e alla propagazione degli incendi boschivi. Il mese di ottobre presenta una diminuzione nella prima metà del secolo nell’Alessandrino (fino al 2070), dovuta probabilmente all’incremento delle piogge di quel mese. Da metà secolo anche i mesi invernali vedono un incremento delle condizioni di pericolo potenziale.

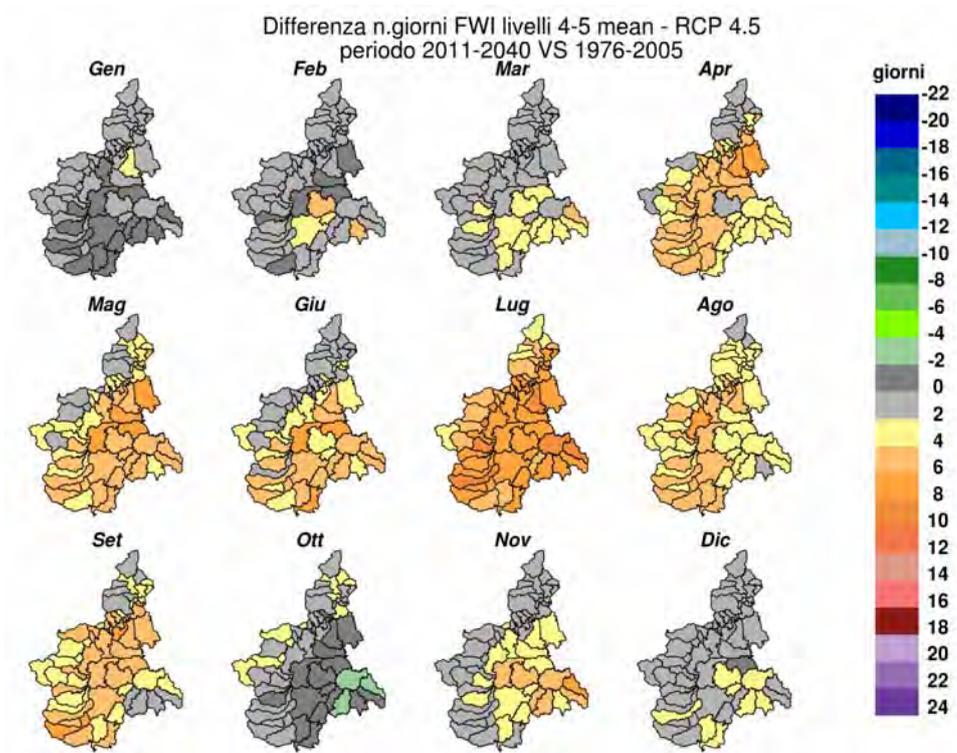


Figura 49 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 (“elevato” e “molto elevato”) nel trentennio 2011-2040 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP4.5.

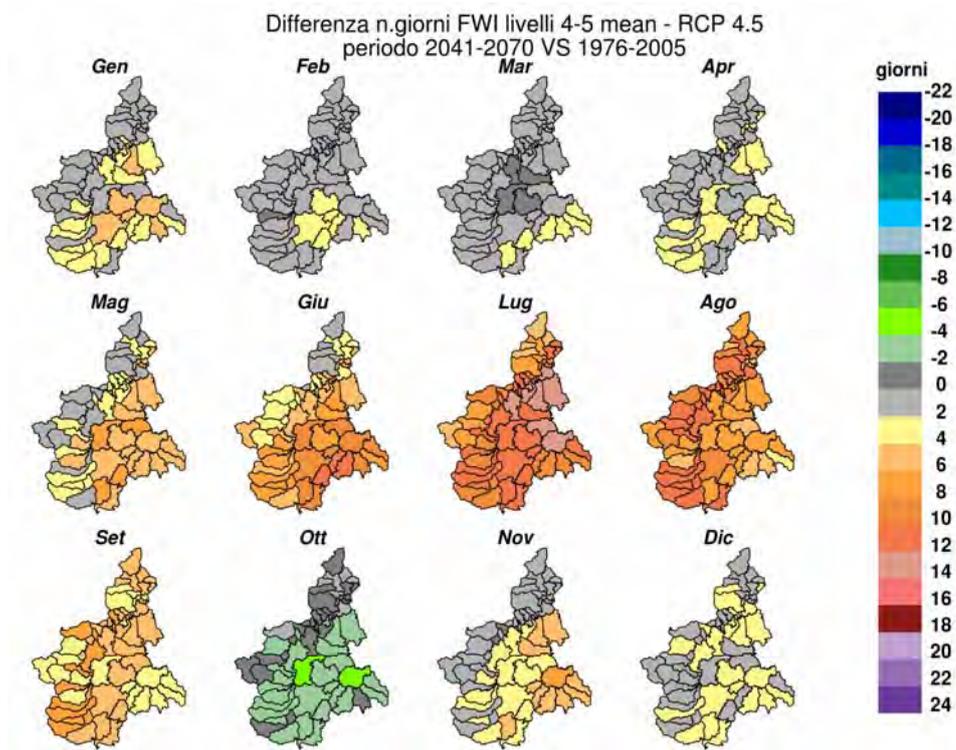


Figura 50 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 (“elevato” e “molto elevato”) nel trentennio 2041-2070 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP4.5.

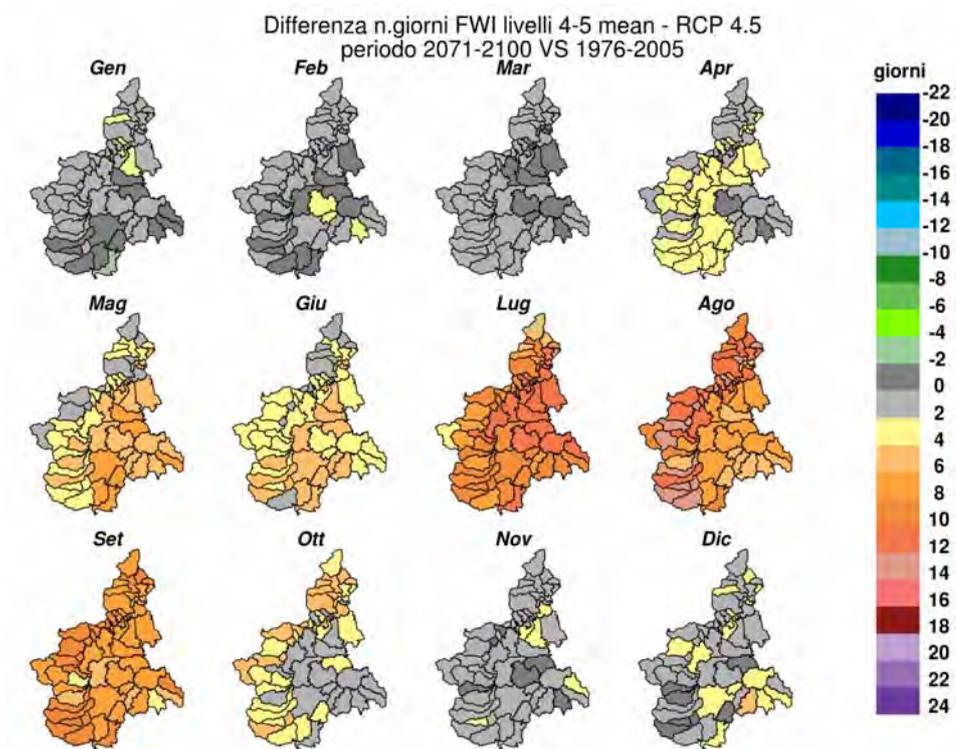


Figura 51 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 (“elevato” e “molto elevato”) nel trentennio 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP4.5.

Nello scenario tendenziale RCP8.5 (Figura 52, Figura 53 e Figura 54) l'incremento è decisamente più graduale nel primo trentennio, ma diventa estremamente significativo nel periodo successivo, fino ad arrivare a 16 giorni nel secondo trentennio e a 24 giorni nell'ultimo su diverse aree di base nei mesi di luglio e agosto. Anche in questo scenario si evince una lieve diminuzione nel mese di ottobre limitatamente al primo trentennio considerato, mentre anche i mesi autunnali vedono un incremento importante delle condizioni di pericolo nell'ultimo trentennio.

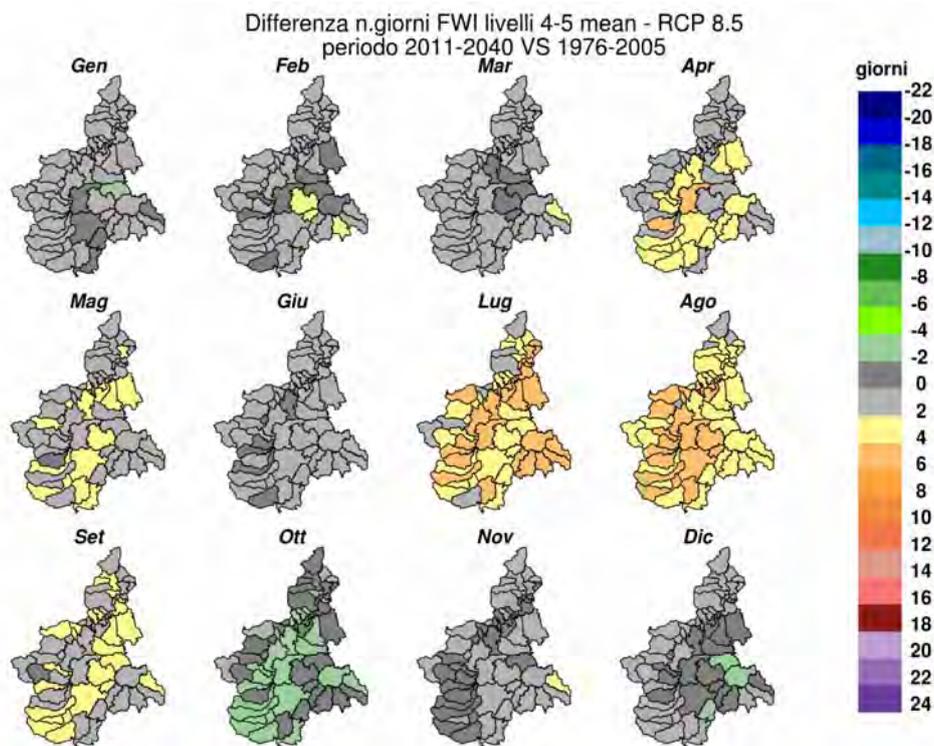


Figura 52 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 ("elevato" e "molto elevato") nel trentennio 2011-2040 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP8.5.

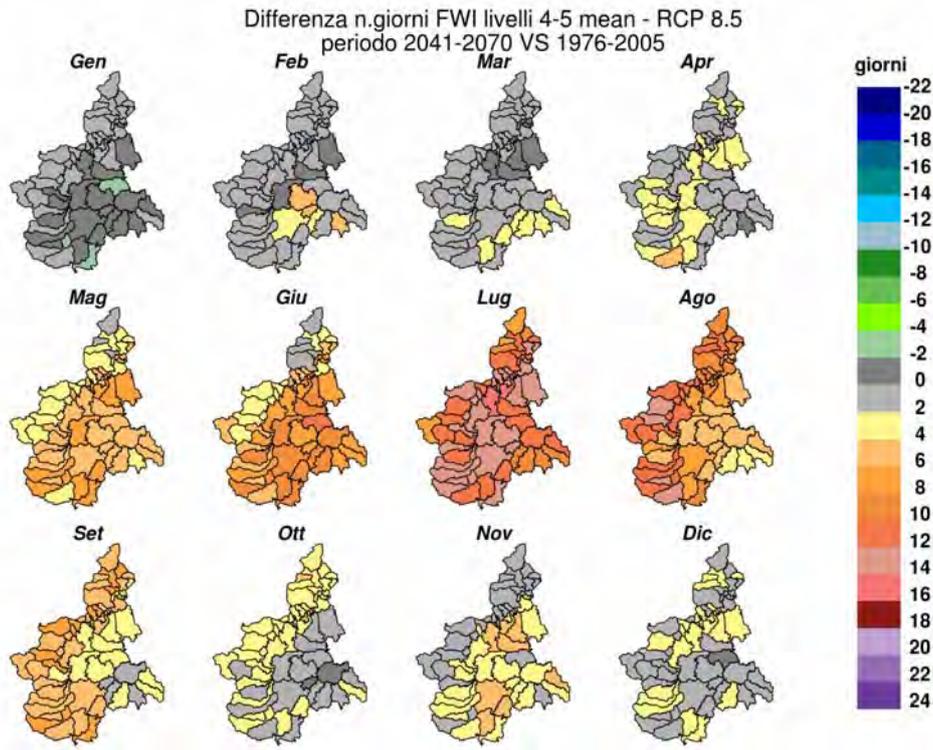


Figura 53 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 ("elevato" e "molto elevato") nel trentennio 2041-2070 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP8.5.

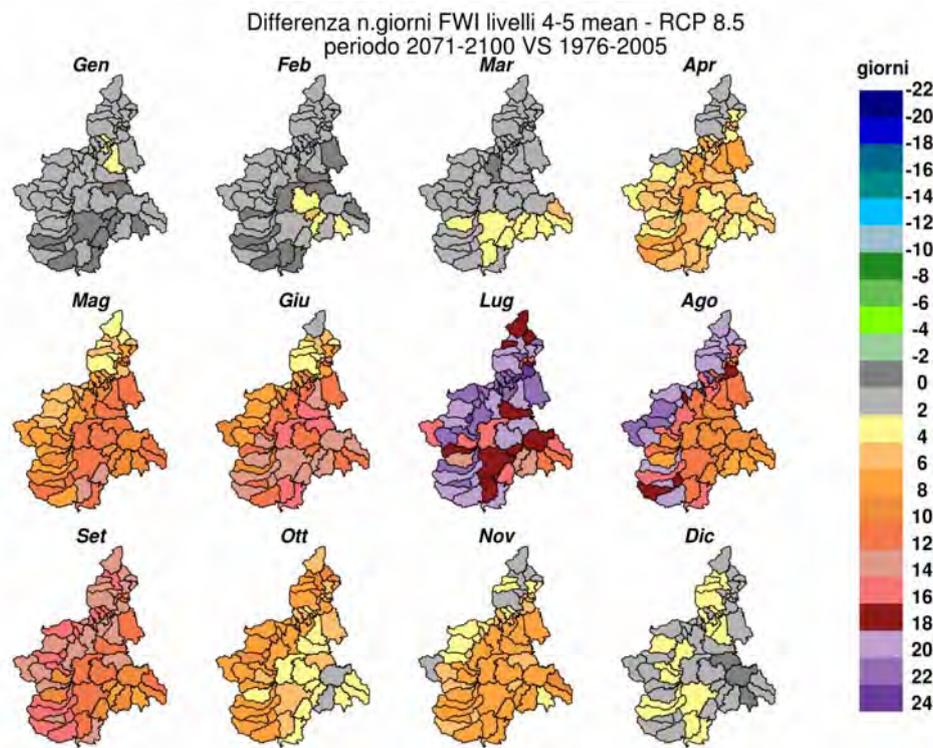


Figura 54 - Differenze del numero di giorni con livello di pericolo 4 e 5 ("elevato" e "molto elevato") nel trentennio 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005, sulle aree di base, per lo scenario RCP8.5.

Le considerazioni sopra esposte devono tenere conto che si tratta di un indicatore di pericolo potenziale, in quanto l'evento dipende dall'innescò. L'indicatore non tiene inoltre conto dell'evoluzione della vegetazione, sia in termini di distribuzione areale, tipologia o condizioni di salute (il cambiamento climatico potrebbe infatti incrementare malattie o la proliferazione di insetti dannosi e rendere più fragile la popolazione arborea e quindi renderla maggiormente pronta all'incendio). Gli aspetti non climatici, e in particolare la disponibilità sempre maggiore di combustibile all'interno dei boschi, rappresentano un fattore predisponente importante, insieme alle pratiche gestionali che verranno adottate. L'impatto degli incendi boschivi non deve essere sottovalutato poiché coinvolge molti comparti differenti, oltre a costituire una alterazione non naturale del patrimonio forestale con diminuzione delle capacità di assorbimento dell'anidride carbonica, attraverso l'incremento delle emissioni sia di gas serra sia di polveri provocando episodi acuti di inquinamento dell'aria, un aumento del rischio idrogeologico e valanghe, un impatto sulla biodiversità e sugli habitat di molti ecosistemi, un degrado dei servizi degli ecosistemi.

L'espansione e la mancata gestione (abbandono) del bosco aumentano la disponibilità di combustibile e quindi favoriscono l'alimentazione degli incendi boschivi. La diminuzione delle risorse dedicate allo spegnimento o le stesse difficoltà di spegnimento a causa di fattori climatici favoriscono un approccio alla gestione dell'incendio boschivo, con il risultato di incrementare l'estensione delle aree bruciate.

La variazione climatica attesa, soprattutto nel periodo vegetativo, si traduce in un incremento molto marcato del numero di giorni in cui si verificano condizioni favorevoli all'innescò dell'incendio boschivo, estendendo l'attenzione verso una stagione che non è quella tipica degli incendi boschivi in Piemonte. Complessivamente ci si attende un aumento marcato non soltanto nel numero di giorni con condizioni predisponenti l'innescò, ma anche degli incendi boschivi ad alta velocità di propagazione, persistenti e caratterizzati da difficoltà di spegnimento.

3.7 ONDATE DI CALORE

L'aumento delle temperature e dei valori estremi, in corso e atteso negli scenari futuri, determinerà un incremento della frequenza, dell'intensità e della durata delle ondate di calore. Le ondate di calore hanno effetti molto importanti sulla salute, ma determinano anche impatti sugli ecosistemi, sulle risorse idriche e sui diversi settori economici, nonché sulle condizioni di vita sociale. L'impatto è importante sulle città, ma anche a livello regionale è importante avere un quadro delle aree del territorio che saranno maggiormente interessate dal fenomeno.

Per la definizione di ondata di calore è stato utilizzato l'indice WSDI (*Warm Spell Duration Index*) calcolato nel periodo maggio-settembre, che considera il numero di giorni in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico di riferimento, per almeno 6 giorni consecutivi. I valori dei percentili sono calcolati su una finestra di 5 giorni centrata su ogni giorno dell'anno. Tale indice è rappresentativo delle variazioni del clima locale.

La Figura 55 mostra la variazione, per i due scenari emissivi, del numero di giorni estivi caratterizzati da ondata di calore nel corso dei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005.

Si osserva come tale aumento sia limitato nel primo trentennio e tenda successivamente ad aumentare fino ad arrivare, nello scenario RCP4.5, a 25-35 giorni in ondata di calore in più a fine secolo, mentre tale incremento è già raggiunto a metà secolo nello scenario tendenziale RCP8.5, che vede, nell'ultimo trentennio circa due mesi in più in ondata di calore su tutta la pianura.

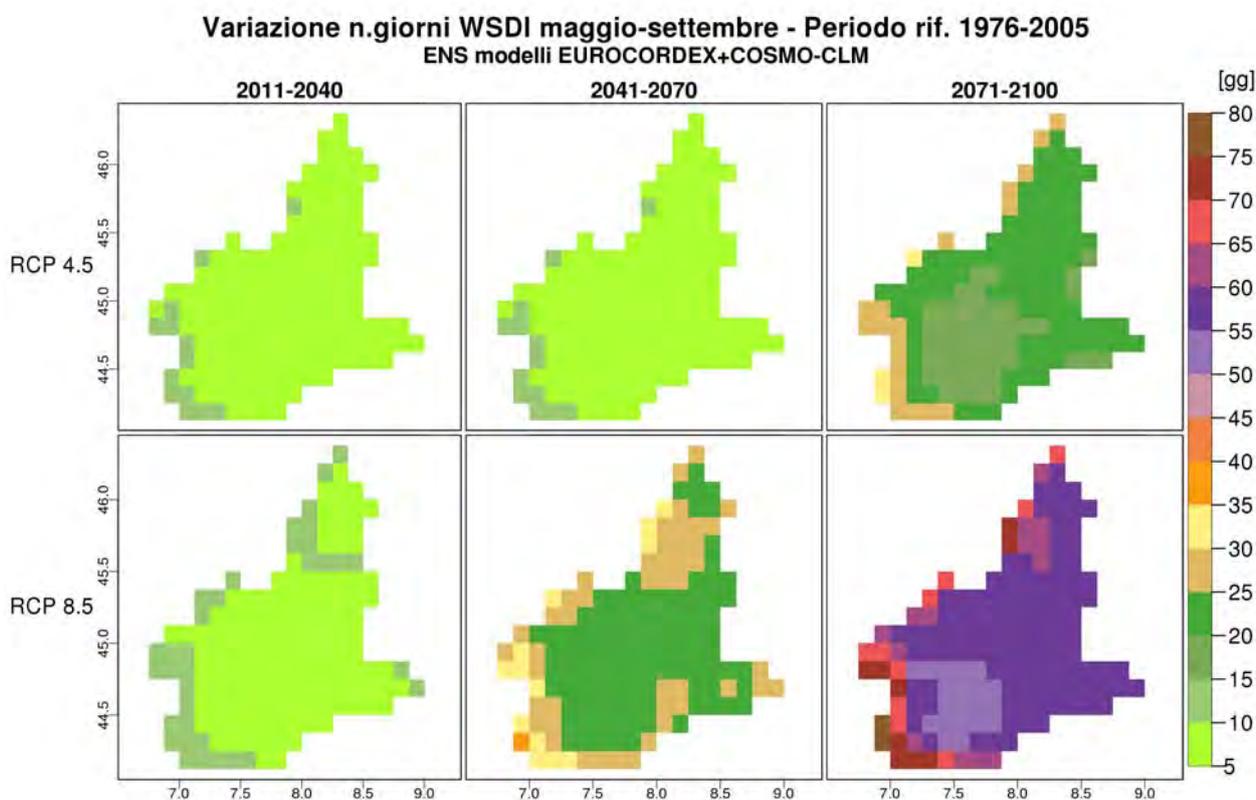


Figura 55 - Variazione del numero di giorni in ondata di calore nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al periodo di controllo 1976-2005 per lo scenario RCP4.5 (riga sopra) e RCP8.5 (riga sotto).

4 CREDITS

ARPA PIEMONTE

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali e Dipartimento Sistemi Previsionali
Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - Tel. 01119681350 - fax 01119681341
e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it
www.arpa.piemonte.it

REGIONE PIEMONTE

Direzione Ambiente, Energia e Territorio
Settore Progettazione Strategica e Green Economy
Corso Bolzano, 44 - 10121 Torino
e-mail: cambiamento.climatico@regione.piemonte.it
www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/cambiamento-climatico