



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e
Ambientali

**Proiezione climatica dell'evapotraspirazione potenziale
mediante modellistica ad alta risoluzione: applicazione
alla pianura veneta**

Relatore/Supervisor

Dott. Dallan Eleonora

Co-supervisor

Prof. Borga Marco

Laureando

Tobia Fregona

Matricola

2045578

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

Riassunto	1
Abstract	3
1. Introduzione e obiettivi.....	5
2. Area di studio	10
2.1.1. Inquadramento generale	10
2.1.2. Uso del suolo	12
2.1.3. Aspetti morfologici.....	13
2.1.4. Caratteristiche climatiche	14
2.1.5. Inquadramento idrologico.....	18
3. Materiali	21
3.1.1. Modelli climatici	21
3.1.2. Modelli “GCM” e “RCM”.....	23
3.1.3. Modelli regionali “EURO-CORDEX”	24
3.1.4. Modello ‘Convection Permitting Model’ (CPM).....	26
3.1.5. Scenari di emissione del “National Centre for Climate Service” (NCCS).....	28
3.1.6. Dati	30
3.1.7. Dati termometrici osservati delle temperature.....	30
3.1.8. Dati termometrici da modello CPM	33
4. Metodologie.....	35
4.1.1. Analisi preliminari.....	35
4.1.2. Serie di misurazioni ARPAV (1995- 2010)	35
4.1.3. Serie storica (1995- 2010) e Serie completa RCP4.5 ed RCP8.5 (1995- 2070) da modello CPM.....	36
4.1.4. Valutazione delle distorsioni del modello CPM e calcolo dei fattori correttivi ...	38

4.1.5. Implementazione finestra mobile per lo studio dei “trend”.....	40
4.1.6. Modello di “Hargreaves” per il calcolo dell’evapotraspirazione di riferimento (ET ₀)	43
4.1.7. Analisi statistica delle tendenze future dei dati di temperatura ed evapotraspirazione (ET ₀).....	47
4.1.8. Test “Mann-kendall”	47
4.1.9. “Sen’s Slope”.....	49
5. Risultati.....	51
5.1.1. Analisi delle distorsioni del modello e calcolo del fattore correttivo.....	52
5.1.2. Applicazione del fattore correttivo alla nuova serie derivante dalla media mobile su finestra di 15 anni.....	58
5.1.3. Calcolo di ET ₀ mediante l’equazione di “Hargreaves”	62
5.1.4. Studio delle tendenze future delle temperature e dell’evapotraspirazione di riferimento	64
5.1.5. Tendenze annuali delle temperature	65
5.1.6. Tendenze mensili delle temperature	74
5.1.7. Tendenze annuali dell’evapotraspirazione potenziale (ET _p)	92
5.1.8. Tendenze mensili dell’evapotraspirazione potenziale (ET _p)	97
6. Conclusioni.....	106
BIBLIOGRAFIA	124
SITOGRAFIA:	129
SOFTWARE.....	129
RINGRAZIAMENTI	130

Riassunto

Le sempre più frequenti manifestazioni delle conseguenze ai cambiamenti climatici a scala globale hanno conferito a questo tema un ruolo centrale e di estrema attualità nella società moderna, portando ad una canalizzazione di ingenti risorse economiche sulla ricerca scientifica in questo tema, finalizzata alla comprensione delle dinamiche e delle tendenze future. Anche l'Italia non è esente da tali conseguenze, con lunghi periodi siccitosi estivi ed eventi pluviometrici estremi sempre più frequenti ed intensi.

In quest'ottica sono nati e si sono susseguiti numerosi modelli climatici: dai modelli globali (GCM) a bassa risoluzione, ora impiegati come condizioni al contorno ai più recenti modelli a convezione permessa (CPM) con risoluzioni spaziali chilometriche che permettono di simulare le caratteristiche climatiche presenti e future delle diverse regioni del globo terrestre.

Questo studio si concentra sugli impatti dei cambiamenti climatici sui valori delle temperature (medie, minime e massime) e sui conseguenti valori di evapotraspirazione potenziale che ne conseguono, nell'area della bassa pianura veneta. Si è scelta quest'area in quanto la sua forte vocazione agricola irrigua rende necessaria la comprensione delle tendenze future di temperature ed evapotraspirazione al fine di stimare la disponibilità idrica futura, permettendone così una gestione ottimale in risposta a tali cambiamenti. L'obiettivo generale dello studio è quindi quello di valutare la presenza di trend nelle temperature e nei valori di evapotraspirazione per il periodo futuro, simulato da modelli a convezione permessa. Gli obiettivi specifici sono quindi: i) la correzione della distorsione delle temperature simulate, ii) la valutazione dei trend nelle temperature per il periodo futuro, per due scenari di emissione, iii) la valutazione dei valori di evapotraspirazione futuri e del loro trend.

Lo studio in oggetto considera 24 stazioni di misurazione della temperatura dell'aria a 2 m di altezza dell'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) dalle quali sono state ricavate le serie storiche (1995-2010). Dalle coordinate WGS84 di queste stazioni e considerando il punto griglia più vicino ad ognuna di esse, è stato possibile estrarre le serie riferite alle proiezioni "VHR-PRO_IT" del modello COSMO-CLM per ogni stazione. Nello specifico una prima serie riferita allo scenario storico (1995- 2005) ed una seconda riferita allo scenario futuro (2010-2070)

considerando entrambi gli scenari di emissioni disponibili nel modello (RCP 4.5 ed RCP 8.5), indicati nel quinto rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change I.P.C.C.” (AR5).

Dal confronto tra le due serie riferite al periodo storico, misurazioni ARPAV e simulazione da modello CPM, sono state valutate le distorsioni del modello climatico ed è stato possibile calcolare un fattore correttivo additivo a scala mensile per ogni stazione e per ognuno dei parametri di temperatura, da applicare successivamente ai valori mensili delle serie CPM future al fine di adattarle sulla base delle distorsioni rilevate.

Per avere una stima più robusta del trend e meno soggetta alle variazioni interannuali, i valori di interesse sono stati mediati con finestra mobile di 15 anni che restituisce un dataset composto da un valore medio per ogni anno dal 2002 al 2063.

I valori mediati di temperatura simulata, unitamente al calcolo della radiazione extraterrestre che interessa l'area di studio, vengono impiegati per calcolare l'evapotraspirazione potenziale secondo l'equazione di “Hargreaves”.

Infine, si utilizza il test statistico non parametrico di “Mann-Kendall” e lo stimatore della pendenza di “Sen” per comprendere l'esistenza o meno di una tendenza statisticamente significativa nei dati e l'entità di tale tendenza.

Lo studio evidenzia la tendenza all'aumento delle temperature, con incrementi importanti per le temperature minime, e di conseguenza un aumento dell'evapotraspirazione potenziale, in entrambi gli scenari futuri. Interessante per quest'area è la stagionalità delle variazioni, che appaiono accentuate nella stagione primaverile ed estiva.

Abstract

The increasingly frequent manifestations of the consequences of climate change on a global scale have given this topic a central and extremely topical role in modern society, leading to a channelling of huge economic resources on scientific research in this topic, aimed at understanding the dynamics and of future trends. Even Italy is not exempt from these consequences, with long summer dry periods and increasingly frequent and intense extreme rainfall events.

From this perspective, numerous climate models were born and have followed one another: from low resolution global models (GCMs), now used as boundary conditions, to the most recent permitted convection models (CPMs) with kilometric spatial resolutions which allow the simulation of the characteristics present and future climates of the different regions of the globe.

This study focuses on the impacts of climate change on temperature values (average, minimum and maximum) and on the resulting potential evapotranspiration values in the area of the lower Venetian plain. This area was chosen because its strong irrigated agricultural vocation makes it necessary to understand future trends in temperatures and evapotranspiration in order to estimate future water availability, thus allowing optimal management in response to such changes. The general objective of the study is therefore to evaluate the presence of trends in temperatures and evapotranspiration values for the future period, simulated by convection-permitted models. The specific objectives are therefore: i) the correction of the distortion of the simulated temperatures, ii) the evaluation of temperature trends for the future period, for two emission scenarios, iii) the evaluation of future evapotranspiration values and their trend.

The study in question considers 24 air temperature measurement stations at a height of 2 m of the ARPAV (Regional Agency for Environmental Prevention and Protection of Veneto) from which the historical series (1995-2010) were obtained. From the WGS84 coordinates of these stations and considering the grid point closest to each of them, it was possible to extract the series referring to the "VHR-PRO_IT" projections of the COSMO-CLM model for each station. Specifically, a first series referring to the historical scenario (1995-2005) and a second referring to the future scenario (2010-2070) considering both

emission scenarios available in the model (RCP 4.5 and RCP 8.5), indicated in the fifth Intergovernmental report Panel on Climate Change I.P.C.C.” (AR5).

From the comparison between the two series referring to the historical period, ARPAV measurements and CPM model simulation, the distortions of the climate model were evaluated and it was possible to calculate an additive correction factor on a monthly scale for each station and for each of the temperature parameters, to be subsequently applied to the monthly values of future CPM series in order to adapt them based on the distortions detected.

To have a more robust estimate of the trend and less subject to interannual variations, the values of interest were averaged with a 15-year moving window which returns a dataset composed of an average value for each year from 2002 to 2063.

The averaged simulated temperature values, together with the calculation of the extraterrestrial radiation affecting the study area, are used to calculate the potential evapotranspiration according to the "Hargreaves" equation.

Finally, the "Mann-Kendall" non-parametric statistical test and the "Sen" slope estimator are used to understand the existence or otherwise of a statistically significant trend in the data and the extent of this trend.

The study highlights the trend towards increasing temperatures, with important increases in minimum temperatures, and consequently an increase in potential evapotranspiration, in both future scenarios. Interesting for this area is the seasonality of the variations, which appear accentuated in the spring and summer seasons.

CAPITOLO 1

1. Introduzione e obiettivi

Negli ultimi anni, di pari passo ad una maturata consapevolezza delle dinamiche atmosferiche e dei sistemi climatici globali, si è sviluppata una diffusa preoccupazione ed interesse nei confronti del tema dei cambiamenti climatici accompagnata da un acceso dibattito sulle cause ed effetti per le società, cercando di comprendere fin dove questi possano influire sulla capacità di adattamento dell'uomo e delle specie animali e vegetali che popolano il globo.

Secondo il quinto rapporto dell' "Intergovernmental Panel on Climate Change I.P.C.C." (AR5) "con il termine cambiamento climatico ci si riferisce a un cambiamento dello stato del clima che persiste per un periodo di tempo prolungato (solitamente di decenni o più), e identificabile (per esempio, attraverso l'uso di test statistici) da cambiamenti della media e/o della variabilità delle sue proprietà". Tali cambiamenti possono avere origine in seguito a processi naturali interni, come le eruzioni vulcaniche ed i cicli solari, oppure da forzanti esterne, come i ripetuti cambiamenti antropogenici della composizione dell'atmosfera o dell'uso del suolo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Nello specifico, tra le maggiori fonti di preoccupazione vi sono i cambiamenti climatici globali causati dalle crescenti concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica e altri gas ad effetto serra. Questi gas, principalmente anidride carbonica (CO₂), protossido di azoto (N₂O), metano (CH₄) e clorofluorocarburi (CFC), alterano l'equilibrio termico della Terra, modificando il flusso radioattivo da e verso l'atmosfera terrestre ed in particolare, aumentando la quantità di onde lunghe emesse dalla Terra che vengono trattenute dall'atmosfera determinandone un surriscaldamento.

Numerosi studi concordano sul fatto che una delle conseguenze più importanti dei cambiamenti climatici futuri saranno le alterazioni dei cicli idrologici regionali e i conseguenti effetti sulla quantità e qualità delle risorse idriche ad essi associati determinando sempre più frequenti eventi pluviometrici eccezionali, modificazioni dei regimi pluviometrici, aumento dei periodi siccitosi, scioglimento dei ghiacciai e modificazioni nei livelli dei mari e dei laghi. Va sottolineato che tali fenomeni non

risultano uniformi su tutto il globo, ma vi è una naturale variabilità dovuta alla localizzazione ed i rispettivi processi climatici a scala globale e locale. Un simile scenario aumenta la possibilità di drammatici sconvolgimenti ambientali e socioeconomici con implicazioni diffuse per la futura pianificazione e gestione delle risorse idriche (Gleick, 1989).

Pertanto, è di fondamentale importanza eseguire una precisa valutazione del cambiamento a scala regionale finalizzata alla stima dei potenziali impatti futuri, allo sviluppo di strategie e politiche di adattamento ed alla valutazione dell'importanza delle misure di mitigazione (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

In quest'ottica, uno strumento importantissimo a disposizione per la rappresentazione del clima futuro è costituito dai modelli climatici: che teorizzando le leggi fisiche alla base dei processi essenziali, permettono di rappresentare, caratterizzare o simulare caratteristiche o meccanismi essenziali relativi al clima sulla terra (Edwards, 2011).

Uno dei fattori che maggiormente differenzia i vari modelli esistenti è la risoluzione spaziale, che esprime la dimensione (X; Y) delle celle sulle quali il modello esegue la modellazione, derivanti dalla suddivisione della superficie terrestre tramite una griglia tridimensionale. Esistono modelli a scala globale (GCM) con una risoluzione tipica di 100 km, anche detti a maglia grossolana, che permettono una rappresentazione dei processi a scala continentale non rappresentando accuratamente le aree ad orografia complessa. Esistono poi i modelli climatici regionali (RCM), che attraverso un "downscaling" dinamico, ovvero, utilizzando i GCM come condizioni al contorno e condizioni iniziali, riescono ad aumentare di un ordine di grandezza la risoluzione spaziale e quindi a descrivere meglio i processi a scala regionale (Giorgi and Lionello, 2008; Torma et al., 2015).

Infine, vi sono i Modelli a Convezione Permessa (CPM) che grazie ad una spaziatura orizzontale della griglia (Δx) inferiore ai 4 Km, sono in grado di rappresentare dettagliatamente i fenomeni convettivi atmosferici aventi luogo a scala ridotta come la convezione profonda, senza ricorrere alla parametrizzazione tipica dei modelli GCM. Inoltre, secondo Prein et al., 2013 il valore aggiunto delle simulazioni CPM deriva dal miglioramento della risoluzione dell'orografia a piccola scala che permette una rappresentazione più accurata della variabilità spaziale delle temperature a 2 m di altezza, tanto più nelle aree ad orografia complessa, a diverso uso del suolo o nel voler simulare

eventi estremi. Questo li rende strumenti promettenti per l'indagine delle conseguenze future dei cambiamenti climatici sulle caratteristiche climatiche con proiezioni a scala regionale-locale. A tale scopo sono nate numerose iniziative e progetti di ricerca, tra cui il progetto "Highlander", attinente all'ambito dell'iniziativa CORDEX, che ha prodotto VHR-PRO_IT (Very High-Resolution PROjections for ITaly), una proiezione climatica oraria con risoluzione di circa 2.2 Km (su scala convettiva) che copre la penisola italiana e alcune aree limitrofe.

La cui forzante globale viene fornita dal modello climatico regionale COSMO-CLM, sviluppato inizialmente dal Servizio meteorologico tedesco (DWD) e poi dal Consorzio europeo COSMO ed ora gestito dalla CLM-Community in collaborazione con il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC). Quest'ultimo considera la composizione atmosferica naturale e antropica osservata per il periodo 1981-2005 e le traiettorie di concentrazione di gas serra degli scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5, per il periodo 2006-2070. I Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (RCP) rappresentano l'ultima generazione di scenari di emissione intesi come rappresentazioni plausibili del futuro sviluppo dei gas a effetto serra e degli aerosol ed espressi in termini di concentrazioni di gas serra, sviluppati dal "*National Centre for Climate Service* (NCCS) della confederazione Svizzera, ponendosi alla base delle proiezioni future a scala locale dei modelli climatici.

Tomozeiu et al., 2014, nello studio "Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2070-2099" affermano che le proiezioni climatiche future a scala locale per il Nord Italia, indicano altamente probabile un cambiamento significativo delle temperature durante tutte le stagioni, con una distribuzione delle temperature minime e massime "traslata" verso valori più caldi, tanto più nei mesi estivi, con aumenti previsti di tali valori di circa 2°C nel periodo 2021-2050 e tra 2,5 e 4,5°C nel periodo 2071-2100, rispetto al periodo 1961-1990.

Tali cambiamenti climatici determinano delle ripercussioni importanti sul ciclo idrogeologico che necessitano di un'analisi approfondita, per questo è ampiamente utilizzata l'evapotraspirazione in quanto unico parametro di collegamento tra bilancio energetico e quello idrico di fondamentale importanza idrologica per molti aspetti come la futura gestione dell'acqua per l'irrigazione, nei conseguenti potenziali agricoli ed ai fini della modellazione idrologica (Dong et al., 2020).

L'evapotraspirazione (ET) è il trasferimento simultaneo di acqua nell'atmosfera tramite evaporazione e traspirazione e per esprimerla in modo convenzionale si utilizza il concetto di “evapotraspirazione di riferimento” (ET_0), che, secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO), rappresenta il potere evapotraspirativo dell'atmosfera della superficie di riferimento ovvero un'ipotetica coltura erbacea di riferimento con un'altezza presunta della coltura di 0,12 m, una resistenza superficiale fissa di 70 sm^{-1} e un'albedo di 0,23.

Ben Hamouda et al., 2021, hanno studiato le conseguenze del cambiamento climatico con particolare attenzione all'effetto combinato della temperatura e delle elevate concentrazioni di CO_2 sull'evapotraspirazione di riferimento (ET_0). Questa, calcolata mediante l'equazione di Penman-Monteith (FAO) a partire da modelli climatici regionali (RCM) EURO-CORDEX e secondo diversi scenari di emissione (RCP4.5 e RCP8.5), in cinque località della regione Emilia-Romagna (Italia settentrionale) durante il periodo 2021-2050. rispetto al periodo di riferimento 1981-2005. Prevedono variazioni assolute dall' ET_0 di riferimento annuale ed estivo per tutte le località comprese tra il 3,5 e il 5,7% per un aumento della temperatura media da 1 a 1,5 °C, che rappresenta un aumento medio dal 4 al 5,4% rispetto al periodo di riferimento 1981-2005.

Lo studio in oggetto si focalizza sulla bassa pianura veneta e considera 24 stazioni di misurazione della temperatura dell'aria a 2 m di altezza dell'ARPAV dalle quali sono state ricavate le serie storiche (1995-2010). Dalle coordinate di queste stazioni e considerando il punto griglia più vicino ad esse per ogni stazione, è stato possibile estrarre le serie riferite alle proiezioni “VHR-PRO_IT” del modello COSMO-CLM e nello specifico, una prima riferita allo scenario storico (1995- 2005) ed una seconda riferita allo scenario futuro (2010-2070) considerando entrambi gli scenari di emissioni disponibili nel modello (RCP4.5 ed RCP8.5).

Partendo da questi dati e mediante un solido approccio scientifico che prevede una valutazione delle distorsioni del modello e la successiva correzione basata sul confronto tra le serie storiche e la successiva applicazione a quelle future, si pone come obiettivo quello di indagare le conseguenze del cambiamento climatico, ed in particolare della forzante indotta dall'aumento delle concentrazioni dei gas serra (esprese mediate gli scenari RCP 4.5 ed RCP 8.5), sui valori di temperatura ed evapotraspirazione potenziale e, quindi, comprenderne le ripercussioni in termini di gestione della risorse idriche future

nella bassa pianura veneta, area a forte vocazione agricola irrigua. A tal proposito, partendo dall'estrazione ed elaborazione dei valori di temperatura, si passa al calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento mediante il modello di "Hargreaves", basato appunto sui soli dati di temperatura e sulla radiazione extraterrestre nell'area di studio. Infine, si vuole comprendere l'esistenza o meno di un trend dei cambiamenti in atto e la rispettiva significatività, optando per il test di Mann-Kendall e lo stimatore della pendenza di "Sen".

Gli obiettivi del presente studio possono essere riassunti nel:

- 1) Trovare le distorsioni del modello e procedere alla correzione.
- 2) Comprendere i cambiamenti climatici attesi in termini di temperature (media, minima e massima) ed evapotraspirazione di riferimento (ET_0).
- 3) Studiarne le tendenze future, crescenti o decrescenti, e la determinazione della significatività mediante indicatori statistici.
- 4) Confrontare i risultati per i due scenari di emissione RCP 4.5 e RCP 8.5.

CAPITOLO 2

2. Area di studio

2.1.1. Inquadramento generale

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel Nord- Est dell'Italia nella parte meridionale della regione Veneto, comprendendo parti del territorio delle provincie di Verona, Vicenza, Padova e Venezia. Più precisamente è confinata a Nord dai monti Berici, ad Est, seguendo il tracciato dal fiume Brenta, arriva a comprendere la città di Padova e lambisce quella di Venezia, mentre, ad ovest ed a sud, è delimitata dal tracciato del fiume Adige fino ad arrivare a Chioggia. La quasi totalità della superficie, pari a circa 1822 km², è costituita dalla Pianura Padana veneta con una quota media di circa 13 m s.l.m., minime negative fino a -3 m s.l.m. in prossimità della costa e massima di circa 500 m s.l.m. vicino ai colli Euganei.

L'inquadramento dell'area deriva dal perimetro del Consorzio L.E.B. (Lessino Euganeo Berico) ed escludendo le aree montuose dei monti Lessini e Berici poste a Nord e ricadenti principalmente nelle provincie di Vicenza e Verona (Figura 1). Tale scelta dipende dalla natura stessa dello studio che prevede l'analisi dei fenomeni evapotraspirativi dei terreni irrigui a vocazione agricola della pianura; pertanto, sono state considerate le sole aree del comprensorio con tali caratteristiche. Fanno eccezione i colli Euganei, posti a Sud- Ovest di Padova, che si presentano come corpi isolati all'interno della pianura e le cui quote oscillano tra i 400 ei 500 m s.l.m. fino a raggiungere i 600, i quali ricadono parzialmente nell'area oggetto di studio.

Il consorzio L.E.B. è un ente pubblico economico, costituito in seguito al D.P.R. del 09/12/1958, formato dai consorzi Adige- Euganeo, Alta Pianura Veneta e Bacchiglione che gestisce l'opera di canalizzazione L.E.B. della lunghezza di 44 km.

Dal punto di vista tecnico è un'opera a servizio di un comprensorio nel quale ricadono più di cento comuni, 103 per l'esattezza, facenti parte delle regioni precedentemente indicate per un territorio di 349.826 Ha di superficie, dei quali, più di 140.000 rappresentano la superficie totale irrigabile e circa 100.000 rappresentano la superficie attualmente irrigata.

Al fine di ricavare i dati di temperatura, che rappresentano il parametro fondamentale dell'analisi in oggetto, sono state individuate tutte le stazioni termometriche dell'A.R.P.A.V. (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) ricadenti nell'area anzidetta con un "buffer" di 5 chilometri. Tali aspetti verranno meglio trattati in seguito nel capitolo dedicato all'analisi dei dati (3.1.7.).

Nell'immagine seguente (Figura 1) è raffigurata la localizzazione dell'area oggetto di studio nella regione Veneto, oltre che i confini provinciali ed il Modello Digitale del Terreno (DTM) che ne indica le quote.

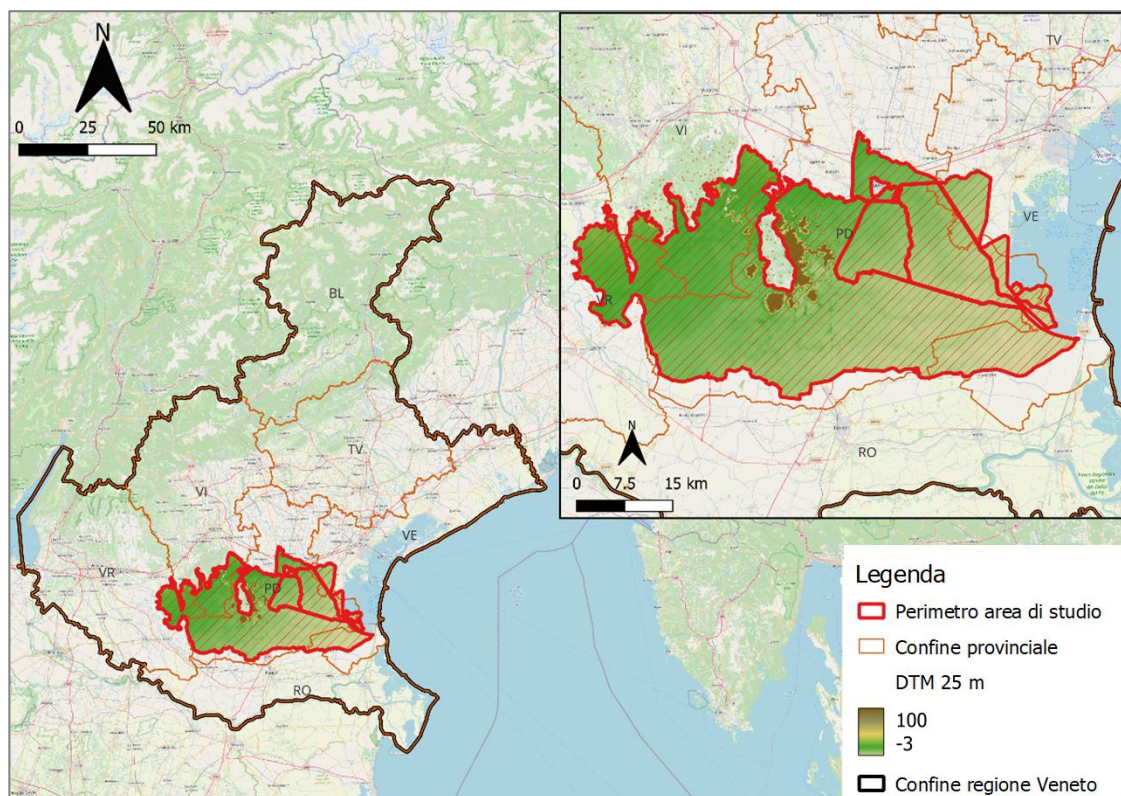


Figura 1: Perimetrazione area di studio con indicazione dei confini provinciali e modello digitale del terreno.

2.1.2. Uso del suolo

Come precedentemente accennato, l'uso del suolo prevalente della bassa pianura veneta è quello agricolo con vaste estensioni di terreni a seminativo su aree irrigue e gestione estensiva. Le colture prevalenti sono il mais, la soia ed il frumento, mentre una quota minore è dedicata ai fruttiferi che riguardano per lo più i meleti ed i vigneti. Inoltre, nelle aree limitrofe ai Colli Euganei, si rilevano formazioni boschive di latifoglie con rilevante presenza di castagneti. Tale caratterizzazione è favorita dalla morfologia pianeggiante del territorio che offre terreni pianeggianti e facilmente lavorabili, oltre all'elevata disponibilità idrica garantita dai fiume Brenta ed Adige nonché dalla presenza dell'opera di canalizzazione L.E.B.. L'assetto agricolo del territorio si interseca molto spesso con un tessuto urbano molto esteso e sviluppato, che si concentra soprattutto in prossimità delle grandi vie di comunicazione e nell'intorno delle città metropolitane. Inoltre, negli ultimi decenni si è assistito ad un'intensa cementificazione a discapito dei terreni agricoli che ha portato ad evidenti problematiche connesse al dissesto idrogeologico.

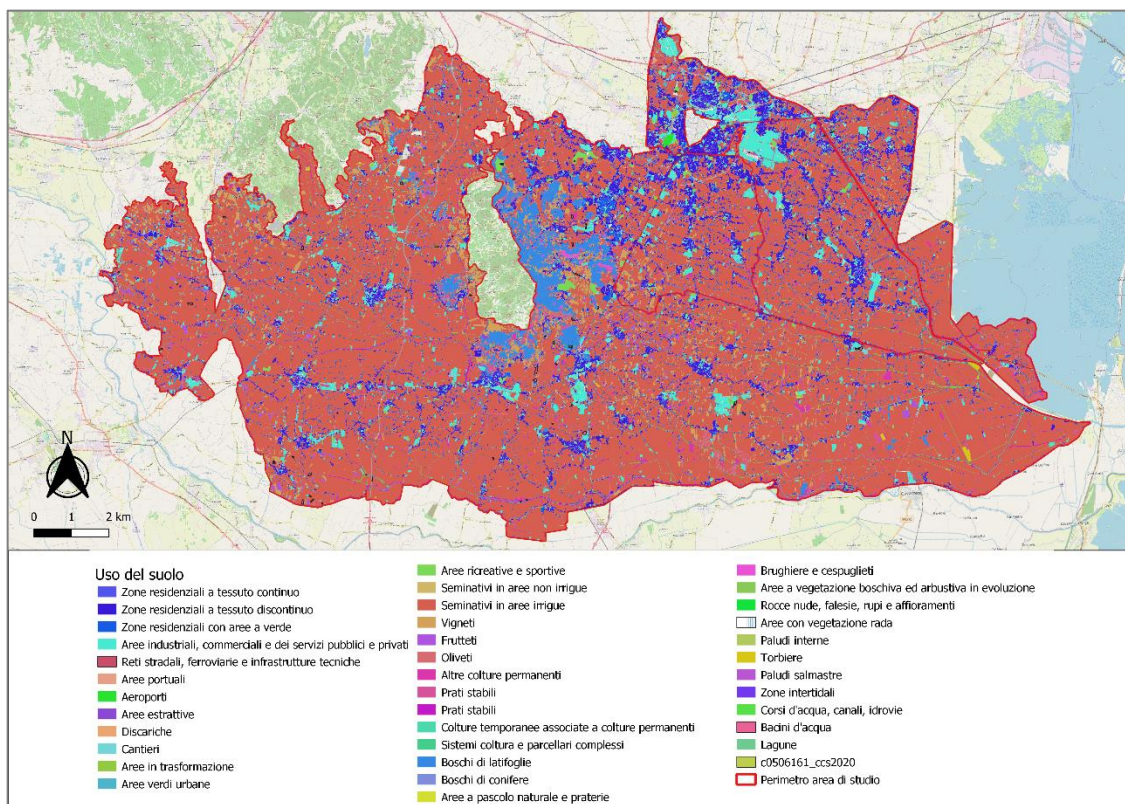


Figura 2: Uso del suolo dell'area oggetto di studio.

2.1.3. Aspetti morfologici

Nella bassa pianura veneta, le caratteristiche morfologiche derivano principalmente dall'evoluzione del sistema idrografico che a sua volta è dipeso dall'andamento climatico e dalle strutture geologiche del sottosuolo. Più specificatamente, la genesi della Pianura Padana ha riguardato numerosi cicli di sommersione ed emersione dovuti alle fluttuazioni eustatiche del livello marino, a loro volta connesse alle variazioni climatiche. Infatti, durante le glaciazioni si verificano delle regressioni (abbassamenti del livello marino) dovute alla maggior quantità d'acqua stoccata appunto nei ghiacciai, seguite, nelle fasi interglaciali, da successive fasi di trasgressione (innalzamento del mare) con ingenti quantitativi di sedimenti trasportati dai fiumi che si depositavano in prossimità della costa favorendone un progressivo avanzamento.

Essendo il clima il principale volano dei fenomeni geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione dei fiumi, ne consegue che tali processi risultino all'origine dell'evoluzione della rete idrografica padana. In particolare, si deve all'ultima glaciazione, detta wurmiana, verificatasi nel Pleistocene, l'attuale forma ed assetto morfologico della Pianura Padana di chiara origine alluvionale, con i corsi d'acqua formatesi in seguito allo scioglimento dei ghiacciai che scendevano verso valle accompagnati da una grande capacità erosiva e successivamente sedimentavano ingenti quantità di materiale (Paganin S. et al., 2015).

Attualmente, nella bassa pianura, il sottosuolo è costituito da un'alternanza di materiali a granulometria fine (limi, argille e frazioni intermedie) con sabbie a percentuale variabile di materiale più fine (sabbie limose, sabbie debolmente limose, limi sabbiosi ecc.). Ne derivano acquiferi artesiani a bassa permeabilità contenenti falde a bassa potenzialità e ridotta estensione (Area Tecnico Scientifica - Servizio Acque Interne, 2008).

A sud- ovest di Padova, si ergono i Colli Euganei, rilievi collinari originatisi a seguito prima di eruzioni vulcaniche sottomarine con effusione di lava basaltica durante l'Eocene superiore ed a seguire, nell'Oligocene, dall'attività magmatica con conseguente formazione di depositi di trachite.

2.1.4. Caratteristiche climatiche

Dal punto di vista climatico il Veneto presenta delle caratteristiche peculiari dovute a diversi fattori distinti a seconda della scala spaziale di influenza:

- **Macroscale:** riferendosi alla posizione geografica a livello continentale, il Veneto, è localizzato nella zona di transizione tra l'areale continentale centro-europeo e quello mediterraneo, ne consegue una vicinanza alle "regioni sorgenti" di masse d'aria, nonché subisce l'influenza delle grandi strutture circolatorie atmosferiche.
- **Mesoscale e microscale:** l'appartenenza al grande bacino padano, delimitato a nord dalla catena alpina ed a sud da quella appenninica con uno sbocco sul Mare Adriatico così come la presenza di rilievi (alpini e prealpini) e di grandi masse d'acqua e, infine, la variabilità spaziale della copertura e dell'uso del suolo determinano condizioni specifiche a scala minore dei diversi territori appartenenti alla regione.

Come risultato di questi fattori determinanti si riscontrano tre mesoclimi fondamentali: di pianura, prealpino ed alpino interno. Nello specifico, l'area di interesse ricade nel mesoclima della pianura, corrispondente all'area pianeggiante della regione, compresa tra la fascia litoranea e l'areale pedemontano, includendo i Colli Euganei e Berici, nella quale prevale un certo grado di continentalità con inverni relativamente rigidi seguiti da estati calde ed afose.

Considerando i dati delle temperature dell'aria registrati a 2 m di altezza nel periodo 1993-2020 e presentati dall'ARPAV nel "Report sul clima e cambiamenti climatici in Veneto del 15/12/2022, è possibile considerare temperature medi annue maggiori nelle zone limitrofe al Lago di Garda (+13.7 °C), presso la laguna e nell'area costiera meridionale (+14 °C) ed in quella centro-meridionale (+13.6 °C). Poco più fresca la pianura orientale (+13.3 °C), mentre decisamente inferiori più in quota presso la Valbelluna (+10.7 °C) (Figura 3).

È possibile, inoltre, osservare le mappe delle temperature medie suddivise per stagione meteorologica (Figura 4) dalla quale si evidenzia una forte escursione termica annuale tra stagione invernale ed estiva vicino ai 20 °C nell'area pianeggiante. In quest'area, in inverno, si registrano i valori minori presso la Valbelluna (+1.2 °C), sulla pianura occidentale (+3.5 °C), sulle zone di entroterra della pianura orientale e centro meridionale

(+3.6 °C). Temperature più calde lungo la fascia costiera (+4.6 °C), nell'area dei colli (+4.1 °C) e sulla pedemontana orientale e sul Lago di Garda (4.4 °C).

Durante il trimestre estivo con i mesi di giugno, luglio ed agosto, la mappa della temperatura media trentennale mostra sulla Pianura Veneta una distribuzione differente a quanto si era osservato in inverno: l'area con le temperature più elevate comprende l'intera pianura sud-occidentale (+23.6/24.0 °C); seguono l'area costiera (+23.4/23.7 °C) e la pianura centrale (+23.0/23.4 °C); più fresca invece la pianura orientale (+22.8/23.1 °C).

Dal canto delle precipitazioni mensili e stagionali, queste presentano una distribuzione abbastanza uniforme durante l'anno con valori totali annui che raggiungono i 700/1000 millimetri con una distribuzione spaziale crescente partendo dalla costa e dalla bassa pianura meridionale, fino all'alta pianura orientale (Figura 5).

Analizzando la stagionalità delle precipitazioni (Figura 6), si evidenzia come il regime pluviometrico determinato da un lato dalla penetrazione delle precipitazioni atlantiche in primavera ed autunno e, dall'altro, dai temporali di origine termoconvettiva in estate. Mediamente l'inverno è la stagione più secca, mentre le stagioni intermedie sono caratterizzate dalle perturbazioni atlantiche e mediterranee con eventi pluviometrici anche intensi con l'autunno che si conferma essere la stagione con gli apporti maggiori. Distribuiti in modo irregolare, ma molto frequenti, sono gli eventi temporaleschi estivi accompagnati frequentemente da grandine e di rado da trombe d'aria. Anche nella tarda estate ed inizio autunno, soprattutto nelle zone di pianura prospicienti la costa, non di rado si verificano eventi pluviometrici a forte componente convettiva che talvolta possono risultare intensi ed abbondanti, causati dall'influsso relativamente caldo proveniente dal mare che, unitamente all'azione dei venti a scala locale, favoriscono la formazione ed il persistere di tali fenomeni intensi (Arpav, 2022).

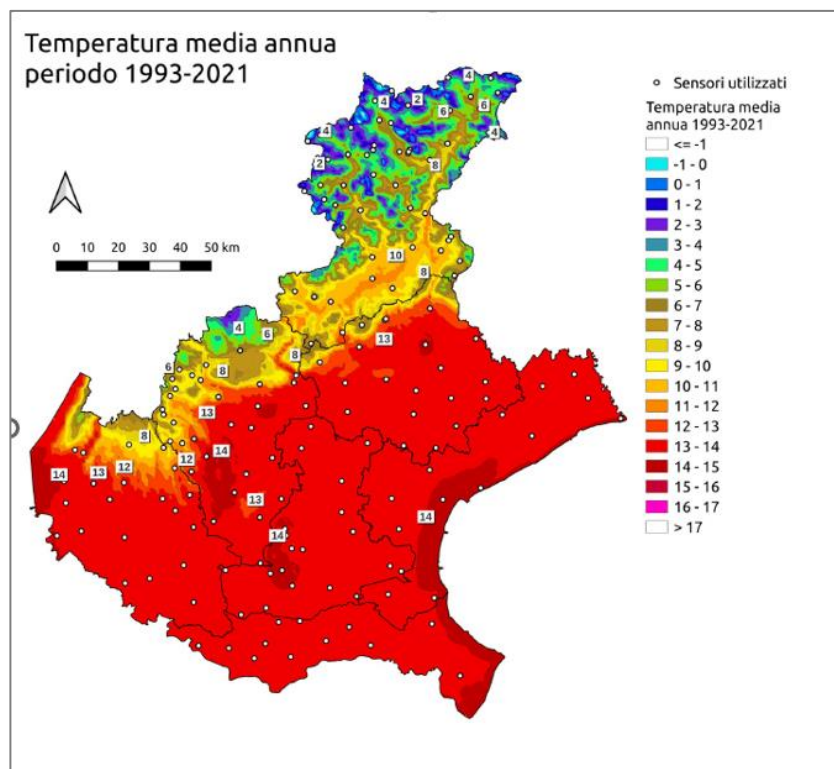


Figura 3: temperature medie annue ($^{\circ}\text{C}$) sul Veneto del periodo 1993- 2021 dal “Report sul clima e cambiamenti climatici in Veneto del 15/12/2022” dell’ARPAV.

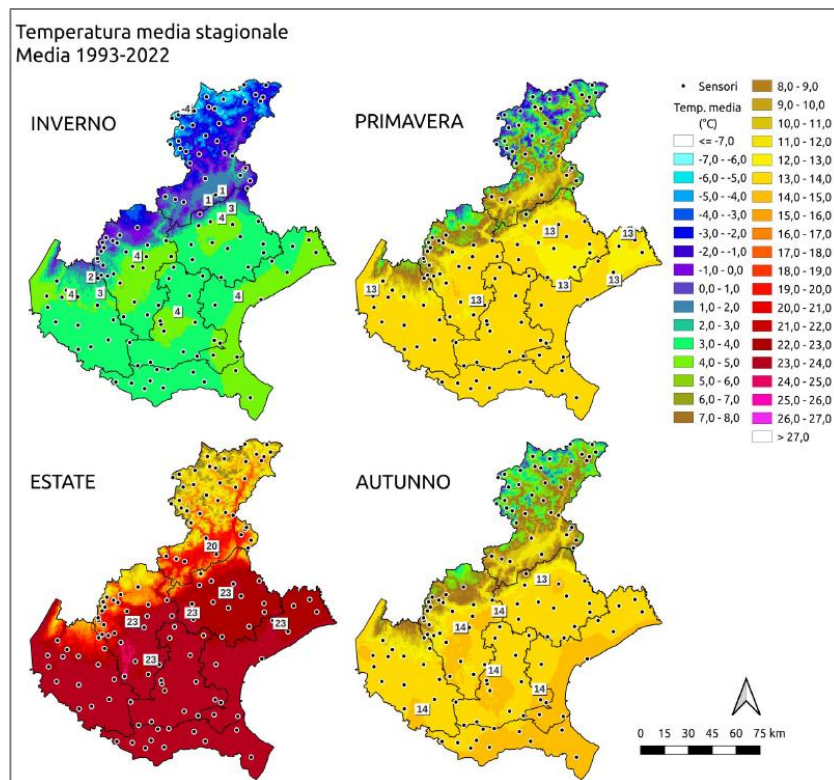


Figura 4: temperature medie stagionali ($^{\circ}\text{C}$) sul Veneto del periodo 1993- 2022 dal “Report sul clima e cambiamenti climatici in Veneto del 15/12/2022” dell’ARPAV.

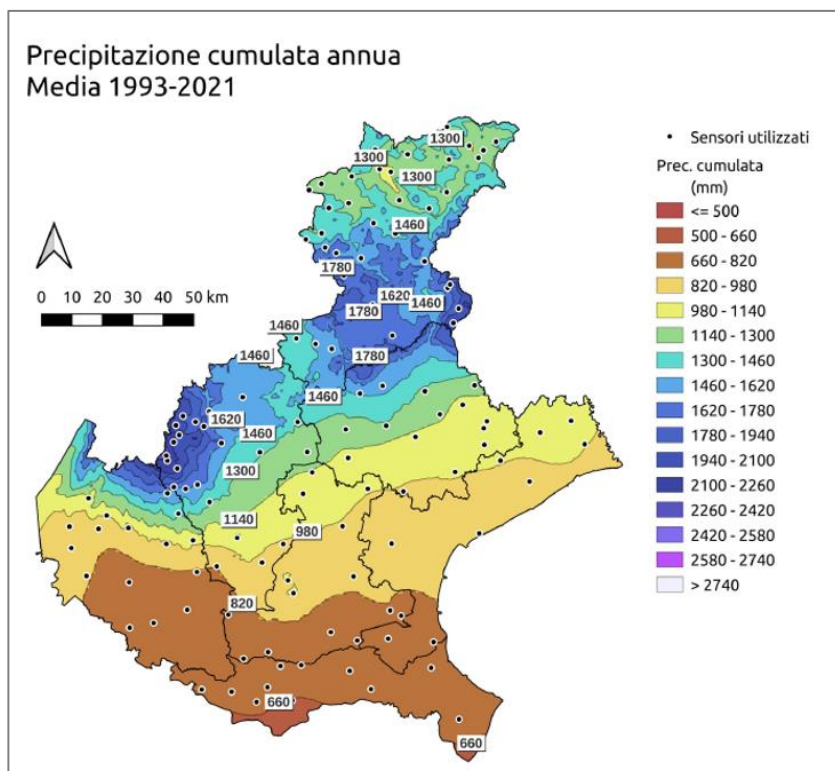


Figura 5: precipitazione cumulata annua media (mm) sul Veneto del periodo 1993- 2021 dal “Report sul clima e cambiamenti climatici in Veneto del 15/12/2022” dell’ARPAV.

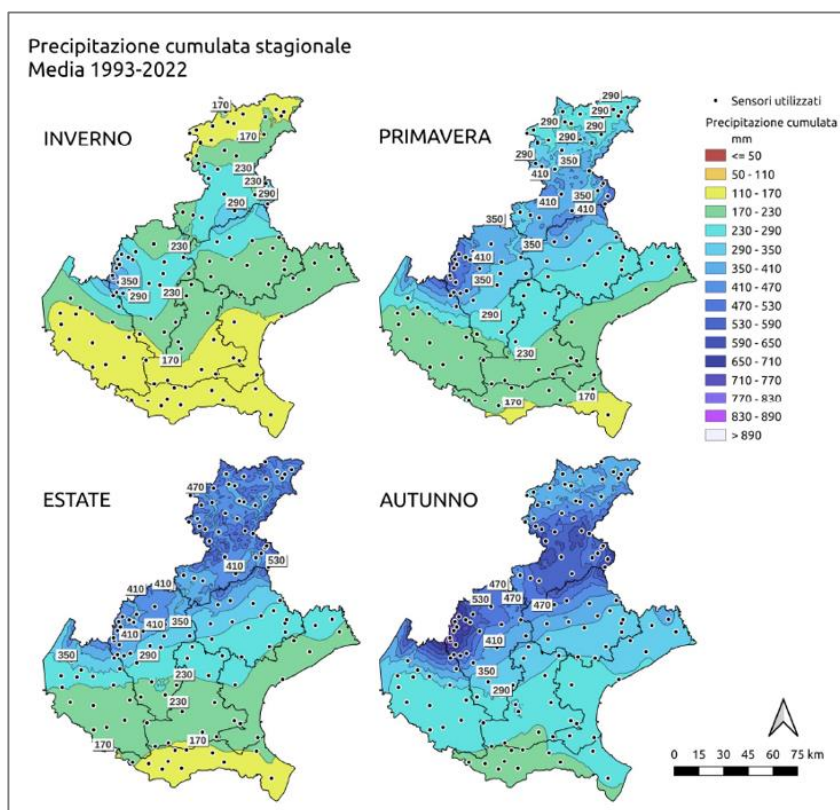


Figura 6: precipitazione cumulata stagionale media (mm) sul Veneto del periodo 1993- 2022 dal “Report sul clima e cambiamenti climatici in Veneto del 15/12/2022” dell’ARPAV.

2.1.5. Inquadramento idrologico

L'area di interesse è attraversata principalmente dal fiume Bacchiglione che si origina a nord di Vicenza dall'unione del corso d'acqua "Bacchigioncello", a sua volta generato dalle risorgive del Comune di Dueville con le acque del sottobacino del Leogra-Timonchio provenienti dal monte Pasubio.

Il tracciato si sviluppa interamente nel territorio Veneto, con andamento meandriforme e sinuoso nella provincia di Vicenza per poi passare ad una conformazione rettilinea, con diverse diramazioni, in seguito all'antropizzazione del canale. Attraversata la bassa pianura padovana confluisce con il fiume Brenta, nella provincia di Venezia, presso la località Brondolo di Chioggia per poi sfociare a pochi metri nel Mare Adriatico.

Con un'asta principale che misura 119 km ed un bacino di raccolta di 1400 km², rappresenta uno dei sistemi idrografici più importanti delle provincie di Vicenza e Padova. Il regime idrologico è di tipo misto, caratterizzato da rapide transizioni dallo stato di magra a quello di piena con picchi nelle portate nei mesi di novembre e maggio, mentre i valori minimi si registrano generalmente ad agosto e gennaio (Di Bernardo, 2014).

A perimetrare l'area a Sud-Ovest troviamo il fiume Adige, che, con i suoi 409 chilometri, è il secondo fiume più lungo d'Italia (dopo il Po) e drena un bacino idrografico di circa 12100 km². Nasce a 1550 metri di altitudine presso il Passo di Resia nella parte Nord-orientale dell'Alto Adige, per poi scorrere verso Sud-Est attraversando le regioni Trentino-Alto Adige e Veneto e sfociando nel Mar Adriatico tra i comuni di Chioggia e Rosolina (Zolezzi et al., 2009).

Dalle origini fino alla città di Merano, la valle dell'Adige assume la denominazione di Val Venosta (area drenata pari a 2.670 km² circa in località Ponte Adige), mentre la Val d'Adige propriamente detta va da Merano sino a Trento (circa 9.810 km² di area drenata), mentre da Trento fino a Verona è infine denominata Val Lagarina (11.100 km² circa di bacino sotteso). Dalla Val Lagarina, l'Adige assume carattere di fiume di pianura fino alla località di Albaredo, a valle di Verona, dove si trova la sezione di chiusura del bacino tributario. Da sino al mare Adriatico, per circa 110 km, il fiume è per lo più pensile. Il susseguirsi di numerosi interventi antropici negli anni ha modificato il naturale regime del fiume, tra cui numerosi invasi artificiali che alimentano altrettanti impianti idroelettrici come, ad esempio, i bacini di Resia e San Valentino alla Mutta, nel comune

di Curon Venosta, per una capacità complessiva di 125 milioni di m³ (Salmaso et al., 2005).

Anche il Fiume Brenta interseca l'area di studio tracciandone il confine a Nord-Est e scorrendovi successivamente ad Est. Il Brenta nasce come emissario del lago di Caldonazzo in Trentino e rappresenta uno dei maggiori corsi d'acqua delle Dolomiti, con una lunghezza di 174 km e un bacino idrografico di 2.280 km² (1640 km² escludendo quella del Torrente Cismon, suo principale affluente) con un'altitudine massima di 2332,5 m s.l.m. (Autorità di bacino del fiume Adige & Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, 2010). Il corso del fiume può essere suddiviso all'altezza di Bassano del Grappa (VI) in un tratto superiore, lungo 70 km, nel quale il fiume scorre nella zona montana, ed uno inferiore lungo 104 km, dove sfocia nella Pianura Veneta. Da questo punto in poi, per effetto delle dispersioni in alveo e dei notevoli prelievi per l'irrigazione, la portata risulta discontinua e profondamente ridotta. Inoltre, su tutta l'asta fluviale del Brenta sono presenti briglie e sbarramenti non superabili dall'ittiofauna (Surian & Cisotto, 2007).

Come accennato nell'inquadramento generale dell'area di studio, all'interno della stessa ricade anche il canale L.E.B., gestito dal consorzio di Bonifica Lessinio Euganeo Berico, lungo circa 44 km a servizio di un comprensorio di 349.826 Ha di superficie nel quale ricadono 103 comuni. La sua costruzione risale ad un progetto redatto nel 1962 ed approvato nel 1971 dal Ministero Agricoltura e Foreste, lo stesso anno in cui hanno avuto inizio i lavori. Tale progetto prevedeva il drenaggio di parte delle acque del fiume Adige verso i canali di altri corsi d'acqua, come il fiume Guá, ad esso collegati accrescendone la portata fino a 27 m³/s, oltre ad arrivare a servire l'area pedecollinare del basso vicentino con una portata di 13 m³/s.

Attualmente l'opera principale è composta da un primo tratto di canale a cielo aperto (Adige- Guá) che collega l'Adige a Belfiore con il Guá a Cologna Veneta, mentre il secondo collega il Guá a Cologna Veneta con il Bacchiglione a Cervarese S. ta Croce e costituito da un condotto sotterraneo in pressione (Gua- Bacchiglione) (Consorzio di Bonifica Lessinio Euganeo Berico).

Nella figura seguente (Figura 7) è rappresentato l'inquadramento dei principali fiumi che attraversano l'area di studio:

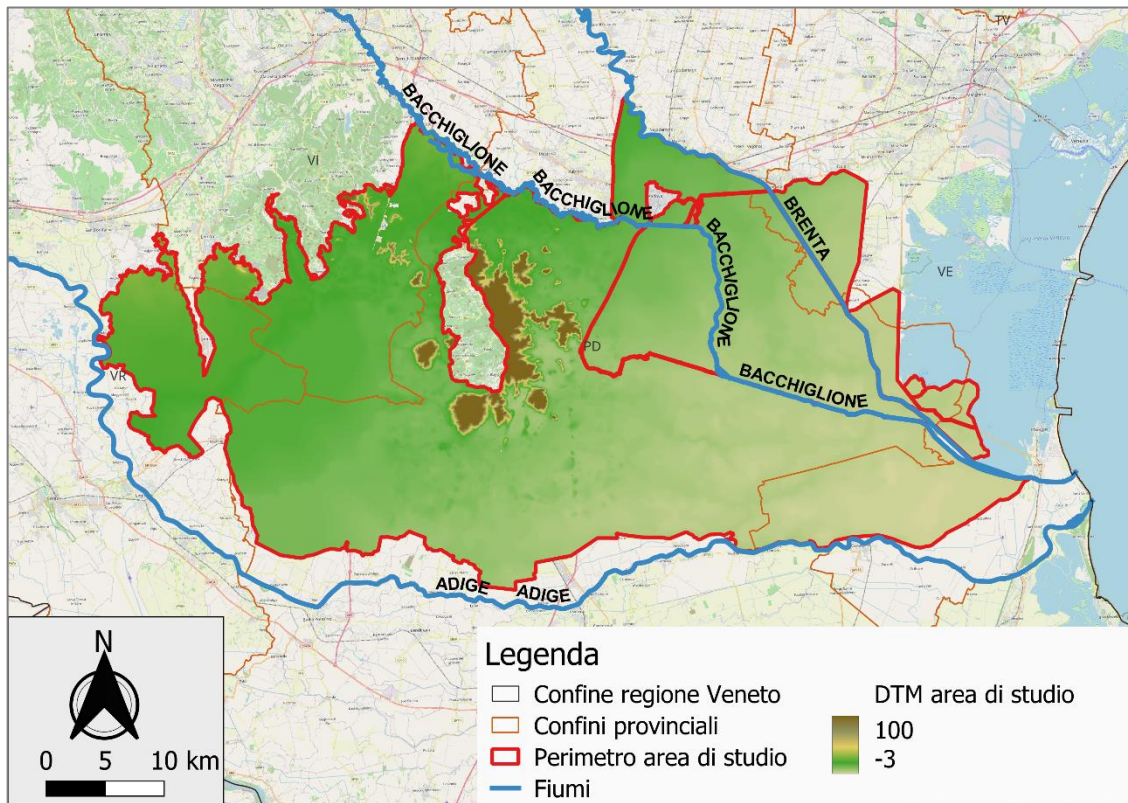


Figura 7: Inquadramento idrografico dell'area oggetto di studio, evidenziandone i principali fiumi di interesse.

CAPITOLO 3

3. Materiali

3.1.1. Modelli climatici

Nel complesso, è possibile concepire il clima terrestre come un sistema formato da molteplici componenti, reciprocamente interconnesse, nel quale una forzante che agisce su una di queste, ne determina delle ripercussioni su tutte le altre secondo un processo di “feedback” retroattivo. Atmosfera, Oceani, Ghiaccio, suolo e vegetazione sono queste componenti e, insieme ai processi che le caratterizzano, vengono descritte mediante leggi fisiche e chimiche.

Proprio da questo assunto, essendo impossibile studiare il sistema climatico mediante metodologia sperimentali vista l’immensa estensione e le scale temporali decisamente lunghe, ci si avvale di modelli climatici che teorizzando le leggi fisiche alla base dei processi essenziali, permettono di rappresentare, caratterizzare o simulare caratteristiche o meccanismi essenziali relativi al clima sulla terra(Edwards, 2011).

Ne consegue che tali modelli possono essere utilizzati sia per una maggiore comprensione dei fenomeni attuali, ma anche per elaborare previsioni future essenziali al fine di una corretta gestione delle risorse naturali. A tal fine, è importante prendere atto che per natura stessa dei modelli, questi siano accompagnati da un certo grado di incertezza che necessita di essere considerato opportunamente e ridotto ove possibile.

Infatti, i modelli climatici sono sistemi complessi che prendono in causa numerose componenti nel simulare le caratteristiche climatiche presenti e future, che potrebbero essere affette da distorsioni e per cui si rende necessario il confronto con delle osservazioni storiche, testandone così le “performance”.

La definizione di questi modelli può essere concettualizzata nelle seguenti fasi:

- Le leggi fisiche che descrivono il clima ed i fattori che lo caratterizzano, sono scalati in una simulazione numerica globale ed organizzati in una griglia tridimensionale che ricopre l’intero globo terrestre mediante algoritmi.

- I processi fisici sono espressi secondo equazioni matematiche per ogni cella e successivamente convertite in un codice numerico.
- Mediante l’ausilio di un supercomputer, vengono risolte le equazioni per ogni “box” del grigliato, restituendo le variabili incognite e d’interesse per la finestra temporale della simulazione ed in funzione delle specifiche condizioni iniziali ed al contorno.

Ne consegue che uno dei fattori importanti di discriminazione dei modelli climatici sia la risoluzione spaziale, ovvero la dimensione della singola cella del grigliato, che influisce sulla capacità del modello di rappresentare con accuratezza i fenomeni che si pone di descrivere. Infatti, nei modelli ad alta risoluzione, ovvero a maglia fine con celle di piccole dimensioni, il grado di dettaglio con il quale vengono rappresentati i processi fisici di interesse è molto elevato, ma di contro, risulta più difficile considerare i meccanismi a micro scala difficilmente teorizzabili.

Un’altra caratteristica di differenziazione è il “time step” con il quale vengono prodotti i dati dagli algoritmi del modello che può essere ad esempio intra-oraria, oraria, giornaliera ecc.

La complessità delle dinamiche, la numerosità dei processi e l’ampiezza della scala spaziale e temporale che caratterizzano il clima terrestre, ha portato alla nascita ed allo sviluppo di numerosi differenti approcci modellistici. Tra quelli impiegati al fine di predire l’andamento climatico futuro vi sono:

- 1) Modelli Climatici Globali (GCM): descrittivi dei processi a scala continentale e regionale, caratterizzati da una bassa risoluzione spaziale.
- 2) Modelli Climatici Regionali (RCM): derivano da processi di rianalisi e “down-scaling” a partire dal modello GCM e presentano una risoluzione maggiore, descrivendo meglio i processi a scala regionale.

3.1.2. Modelli “GCM” e “RCM”

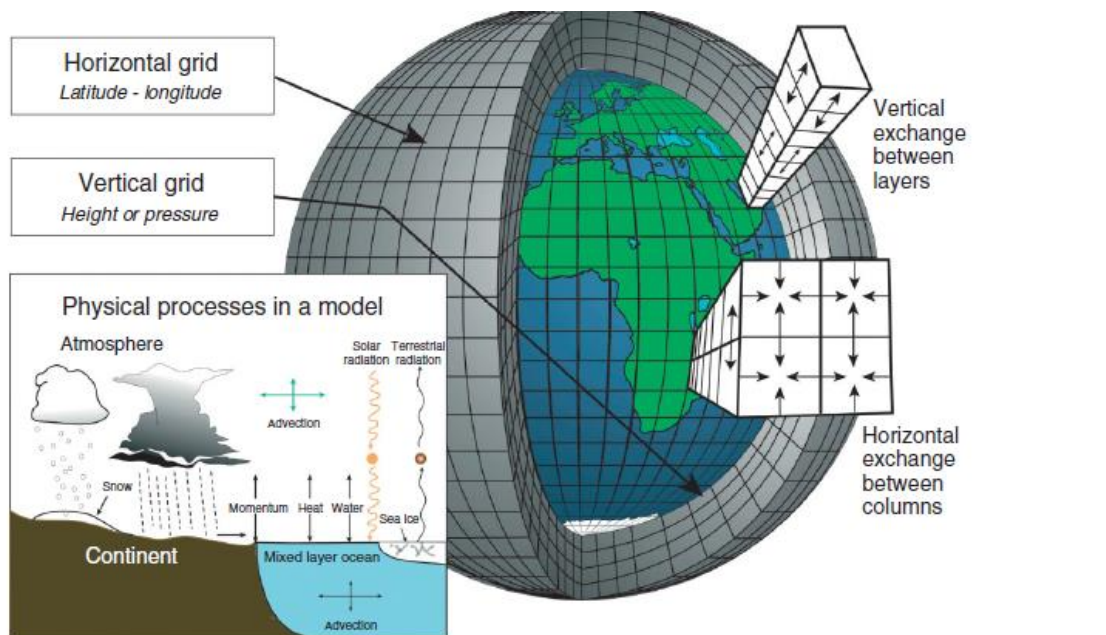
Secondo il quarto rapporto dell’Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), i Modelli Climatici Globali (GCM) rappresentano alcuni tra gli strumenti più avanzati attualmente disponibili in grado di simulare la risposta del sistema climatico globale all’aumento delle concentrazioni di gas serra. Questi, descrivono il clima utilizzando una griglia tridimensionale del globo (Figura 8), tipicamente con una risoluzione orizzontale compresa tra 250 e 600 km che determina l’accorpamento di aree a topografia molto diversa. Comprende, inoltre, da 10 a 20 strati verticali nell’atmosfera che raggiungono i 30 negli oceani (IPCC).

Tutti i GCM sono costituiti da un “nucleo dinamico” che simula il movimento dei fluidi su larga scala utilizzando le equazioni primitive, ed un “modello fisico” il quale simula altri processi fisici significativi dal punto di vista climatico, tra cui il trasferimento radiativo, la formazione di nuvole e la convezione (Edwards, 2011).

Inoltre, nella fisica dei modelli, rientrano anche processi quali l’attrito tra le superfici terrestri/ oceaniche e l’aria, i trasferimenti di calore tra l’oceano e l’atmosfera, gli effetti degli aerosol particolati e molti altri fenomeni. Come precedentemente accennato, la maglia grossolana della griglia rende impossibile rappresentare accuratamente i processi fisici che nella realtà si manifestano ad una scala più piccola. Infatti, questi modelli si basano su una rappresentazione indiretta dei processi fisici a scala sub-griglia i cui effetti a larga scala derivano dalla parametrizzazione di funzioni e costanti matematiche descrittive, senza che i processi a piccola scala vengano modellati direttamente. Ne deriva la necessità di affiancare tali modelli ad altri, più adatti nel rappresentare gli effetti dei fenomeni fisici ad una risoluzione maggiore, motivo per cui si sono sviluppati i Modelli Climatici Regionali (RCM), in grado di offrire un dettaglio molto maggiore. Il concetto alla base degli RCM, comunemente indicato come “downscaling” dinamico, è quello di applicare ad un modello climatico ad alta risoluzione spaziale su un’area limitata utilizzando informazioni climatiche 3D a risoluzione grossolana per fornire condizioni al contorno iniziali e laterali (Lucas-Picher et al., 2021).

Ciò consente agli RCM di simulare processi meteorologici su scala fine e di descrivere meglio le forzanti superficiali che sono scarsamente rappresentate nei GCM a risoluzione

grossolana, come la topografia complessa, il contrasto terra-mare e le eterogeneità della copertura del suolo (von Storch et al., 2017).



Schematic representation of the Cartesian grid structure used in finite-difference GCMs. Graphic by Courtney Ritz and Trevor Burnham

Figura 8: Semplificazione del globo mediante griglia orizzontale e verticale del modello GCM.

3.1.3. Modelli regionali “EURO-CORDEX”

Il Programma Mondiale di Ricerca sul Clima (WCRP) coordina la ricerca attorno ad alcune tra le domande scientifiche più urgenti in relazione alla natura complessa del sistema climatico, al fine di trovare le risposte, in cooperazione tra tutte le nazioni, mediante un approccio multidisciplinare. A tal fine, nel 2009, ha istituito la “Task Force for Regional Climate Downscaling” (TFRCDD) i cui obiettivi sono racchiusi nell’iniziativa “Regional Climate Downscaling Experiment” (CORDEX), riassumibili in:

- sviluppo di una struttura in grado di valutare e migliorare le tecniche di “downscaling” delle proiezioni climatiche globali, mediante uno sforzo coordinato a livello internazionale;
- proiezioni “Regional Climate Downscaling” RCD in tutte le regioni del globo;

- incentivare la cooperazione tra la comunità di utilizzatori promuovendo la diffusione di informazione.

Il quadro di proiezione climatica all'interno del CORDEX si basa sull'insieme di nuove simulazioni di modelli globali pianificate a sostegno del Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (denominato AR5). Questo insieme di simulazioni include un gran numero di esperimenti, che vanno dagli scenari di emissione di gas serra per il XXI secolo, esperimenti di previsione decennale, esperimenti che includono il ciclo del carbonio ed esperimenti volti a studiare i meccanismi di feedback individuali (Giorgi et al., 2009).

EURO-CORDEX è il ramo europeo dell'iniziativa e produce simulazioni climatiche d'insieme basate su molteplici modelli di "downscaling" dinamico (DD) ed empirico-statistico (SD) forzati da molteplici modelli climatici. Nel "downscaling" statistico (SD) inizialmente si elaborano delle relazioni statistiche tra predittori climatici a grande e piccola scala (regionale-locale), per poi essere applicate ai risultati delle simulazioni dei modelli climatici (Hewitson & Crane, 1996).

Invece, in quello dinamico (DD) vengono utilizzati modelli fisici a bassa risoluzione, come ad esempio i Modelli Globali di Circolazione (GCM), come condizione al contorno per le proiezioni dei modelli regionali.

3.1.4. Modello ‘Convection Permitting Model’ (CPM)

I grandi progressi tecnologici e scientifici dell’ultimo decennio hanno contribuito allo sviluppo di modelli climatici in grado di raggiungere risoluzioni spaziali sempre più accurate, permettendo la rappresentazione dettagliata dei fenomeni convettivi atmosferici aventi luogo a scala ridotta, i così detti Modelli a Convezione Permessa (CPM).

Questo è reso possibile grazie ad una spaziatura orizzontale della griglia (Δx) inferiore ai 4 km, che risolve il problema della rappresentazione dei fenomeni di convezione profonda mediante parametrizzazione, tipico dei modelli “Large-Scale Models” (LSM) a risoluzione grossolana con spaziatura orizzontale superiore ai 10 Km (Lucas-Picher et al., 2021).

Infatti, un processo sotto griglia molto discusso dei modelli LSM, è proprio la parametrizzazione schematica della convezione profonda necessaria per risoluzioni superiori ai 10 km, mentre, alla scala del CPM, tale processo viene risolto esplicitamente (Weisman et al., 1997).

La convezione profonda è una fonte dominante di precipitazioni in molte regioni del mondo e contribuisce in modo sproporzionato a eventi estremi come inondazioni improvvise e frane attraverso forti precipitazioni associate alla mesoscala. Inoltre, gli schemi di parametrizzazione della convezione interagiscono con molti altri schemi di parametrizzazione, come la microfisica, la radiazione e gli schemi dello strato limite planetario, in modo tale che i punti deboli si ripercuotono su numerosi altri aspetti, portando ad errori di non linearità anche importanti (Prein et al., 2015).

L’alta risoluzione dei modelli CPM permette anche una più dettagliata rappresentazione dell’eterogeneità spaziale e quindi dell’orografia a piccola scala che si traduce in una migliore simulazione della temperatura climatologica ad una altezza di due metri. Infatti, secondo Prein et al., 2013, è proprio questo il valore aggiunto delle simulazioni CPM rispetto a quelle LSM, che migliorando la risoluzione dell’orografia a piccola scala, determinano una maggiore variabilità spaziale delle temperature a 2 m di altezza, tanto più nelle aree ad orografia complessa, a diverso uso del suolo o nel voler simulare eventi estremi (Prein et al., 2015).

Queste caratteristiche li rendono adatti alle proiezioni climatiche a scala locale, con simulazioni dei fenomeni meteorologici regionali ad essi associati molto più realistiche (Lucas-Picher et al., 2021).

Vi sono diversi approcci di base per le simulazioni CPM, caratterizzati da costi computazionali del modello molto eterogenei e che si differenziano per numerosi aspetti, come la spaziatura della griglia ed i fenomeni che si vogliono rappresentare. Pertanto, le simulazioni climatiche CPM impiegate nel presente studio, derivano da uno tra i più usati approcci di modellazione ad area limitata, dove il modello “annida” telescopicamente domini di area limitata a spaziature della griglia orizzontale decrescenti, con condizioni al contorno fornite da un GCM o da una rianalisi, fino al raggiungimento di scale che consentono la convezione (Figura 9) (Prein et al., 2015).

Recentemente, sempre più studi hanno impiegato simulazioni CPM su scale temporali superiori a 1 anno per indagare le caratteristiche climatologiche delle simulazioni CPM [ad esempio, Brisson et al., 2015; Chan et al., 2013; Divieto et al., 2014; Fosser et al., 2014; Kendon et al., 2014; Junk et al., 2014; Tölle et al., 2014; Prein et al., 2013b; Rasmussen et al., 2011; Ikeda et al., 2010; Gensini e Mote, 2014; Chan et al., 2013; Kendon et al., 2012; Knote et al., 2010; Rasmussen et al., 2014].

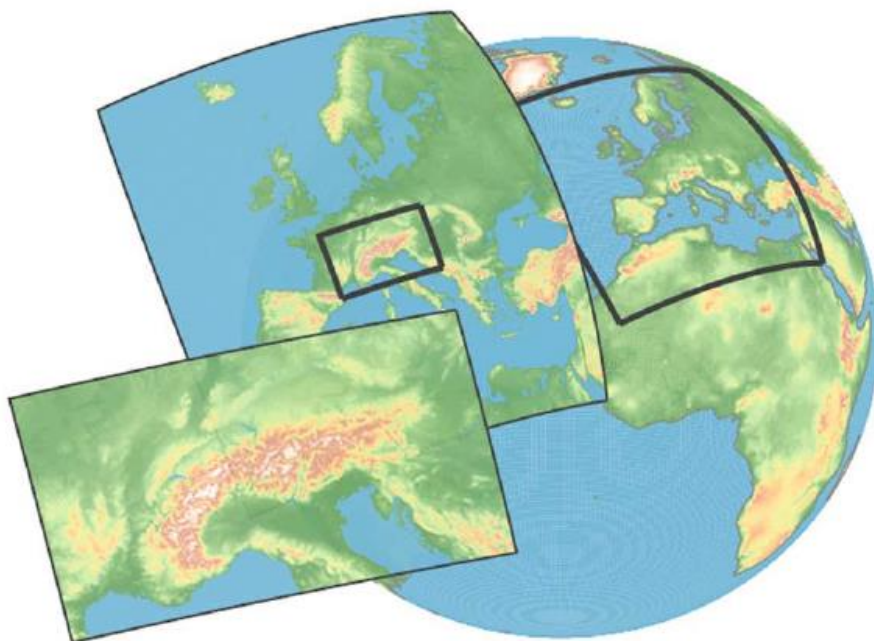


Figura 9: modellazione climatica ad area limitata per simulazioni che consentono la convezione (Tratto da Picher et al., 2021).

3.1.5. Scenari di emissione del “National Centre for Climate Service” (NCCS)

Come si è visto, un modello numerico è un sistema di formule ed algoritmi fisico-matematici che descrivono le interazioni nel sistema climatico terrestre in modo semplificato, permettendo di simulare l'evoluzione futura del clima terrestre partendo da quello attuale e determinando gli effetti delle emissioni di gas a effetto serra sul clima. Alla base di queste simulazioni troviamo gli scenari di emissione, quali rappresentazioni plausibili del futuro sviluppo dei gas a effetto serra e degli aerosol, sviluppati dal “National Centre for Climate Service (NCCS) della confederazione Svizzera. L'ultima generazione di scenari di emissione corrisponde a quella dei Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (RCP), espressi in termini di concentrazioni di gas serra piuttosto che in termini di livelli di emissioni. Il numero associato a ciascun RCP si riferisce al Forzante Radiativo (“Radiative Forcing”, RF) espresso in unità di Watt per metro quadrato (W/m²) ed indica l'entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale. Tali scenari, tengono in considerazione che l'entità delle future emissioni antropiche dipende fortemente dalle decisioni prese sul piano politico a livello internazionale, dall'evoluzione della popolazione e dal progresso tecnologico (Giorgi et al., 2009). Nel quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5) sono indicati i 4 scenari di emissione (Tabella 1) e vengono indicate come simulazioni globali a maggior priorità quelle riferite all'RCP4.5 e all'RCP8.5. È possibile ricavare anche il diagramma dell'andamento temporale, fino al 2100, della concentrazione di gas serra ed aerosol per i 4 scenari RCP (Figura 10).

Tabella 1: Scenari RCP definiti dal National Centre for Climate Service e su cui si basano le simulazioni realizzate dai modelli climatici. (Fonte: Moss et al., 2007)

Nome	Scenario di emissione	Forzante Radiativo (W/m ²)	Concentrazione (ppm CO ₂ eq. nel 2100)
RCP 2.6	Consistenti misure di mitigazione	2,6	490
RCP 4.5	Stabilizzazione con riduzioni consistenti	4,5	650
RCP 6.0	Stabilizzazione con riduzioni blande	6,0	850
RCP 8.5	Assenza di misure di mitigazione	8,5	>1370

Lo scenario di emissione RCP 2.6 si fonda sul presupposto che la comunità internazionale si accordi sulla riduzione drastica dei gas a effetto serra, con un picco di emissioni intorno all'anno 2020 per poi calare drasticamente fino a fine secolo. L'RCP 4.5 considera politiche di forte mitigazione, assumendo la messa in atto di strategie di controllo delle emissioni. Si traduce in valori di Green House Gas (GHG) che, dopo aver culminato verso l'anno 2040, diminuiscono sotto i livelli attuali entro il 2070. Inoltre, prevede la stabilizzazione della concentrazione atmosferica a circa il doppio dei livelli preindustriali entro fine secolo (2100). L'RCP 6 è caratterizzato da una crescita costante delle concentrazioni GHG fino a raggiungere il picco poco dopo il 2080, per poi decrescere velocemente fino al 2100. L'RCP 8.5, comunemente associato all'espressione "Business-as-usual", è quello più gravoso in quanto non prevedendo misure di mitigazione, la crescita delle emissioni mantiene i ritmi attuali fino alla fine del secolo, assumendo concentrazioni atmosferiche di CO₂ triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm) entro il 2100. Come precedentemente accennato, l'IPCC nel suo quinto rapporto indica come scenari prioritari da utilizzare nelle simulazioni globali RCP 4.5 ed RCP 8.5, in quanto rappresentano il confronto tra l'attuare una forte politica di riduzione dell'emissione da un lato, e nessuna politica di mitigazione dall'altro, a cui corrispondono rispettivamente incrementi globali della temperatura media a fine secolo di 2°C e 4°C (IPCC, AR5), 2014. Pertanto, nel presente lavoro si sono scelte le simulazioni CMCC riferite a questi due scenari ed i rispettivi prodotti RCM, per effettuare l'analisi delle tendenze di evapotraspirazione, temperatura e variazione di temperatura future.

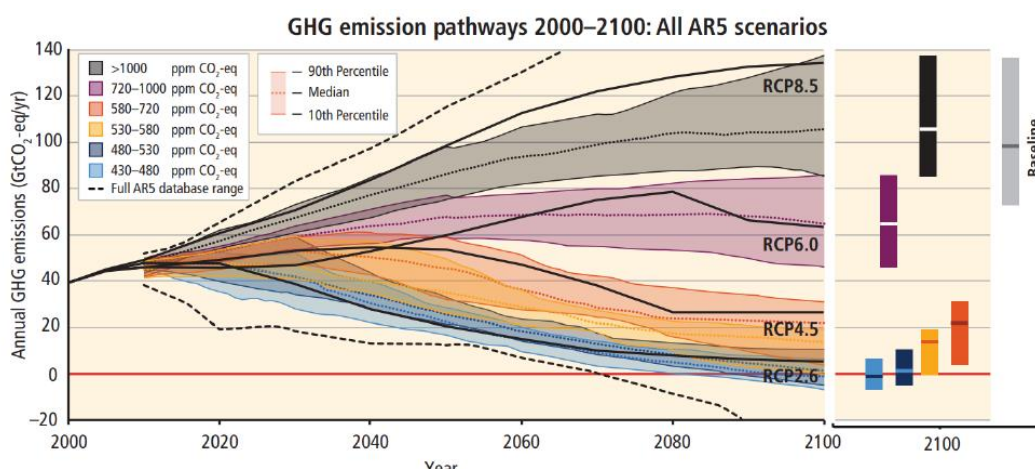


Figura 10: Andamento delle emissioni di anidride carbonica necessarie per raggiungere il valore di forzante radiativo. Tratto da IPCC Rapporto (AR5).

3.1.6. Dati

Al fine di rispondere agli obiettivi del presente studio, circa la comprensione delle tendenze future nei valori di temperatura ed evapotraspirazione dell'area della bassa pianura veneta, alla base dell'analisi troviamo i dati delle temperature.

3.1.7. Dati termometrici osservati delle temperature

Il primo passo del presente studio sarà quello di testare le performance del modello CPM impiegato per le simulazioni future dei valori di temperatura, in modo da comprenderne l'affidabilità ed, eventualmente, apportare delle modifiche al fine di renderle maggiormente rappresentative; tale procedura verrà illustrata in modo dettagliato nel prossimo capitolo dedicato alle metodologie. Per questo è necessario disporre di una serie di dati storici osservati nella realtà in un periodo di tempo sufficientemente lungo, da confrontare in seguito con quelli proiettati dal modello nel medesimo periodo.

Questi dati sono stati reperiti mediante la richiesta all'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) che si occupa di protezione, mediante controlli ambientali, e prevenzione attraverso ricerca, formazione, informazione ed educazione ambientale.

Quest'ultima dispone di una fitta rete di telemisura, costituita da 203 stazioni suddivise in meteorologiche, agrometeorologiche ed idrometriche, distribuite sull'intero territorio della Regione Veneto. Operano autonomamente con una misura continua dei principali parametri meteorologici, agrometeorologici ed idrologici, trasmettendoli ad una centrale di acquisizione. Ciascuna stazione è costituita da diversi apparati: uno elettrico adetto all'acquisizione, pre-elaborazione e memorizzazione dei dati, da uno a più sensori elettronici o elettro-meccanici per la misurazione di uno specifico parametro, un apparato di alimentazione costituito da accumulatore e alimentatore-trasformatore ed infine, uno che si occupa della trasmissione dati grazie ad un modem e una radio rice- trasmittente. La stazione meteorologica, è provvisto di orologio interno che permette l'acquisizione di un dato ogni secondo da ciascun sensore presente ed in funzione del parametro specifico possono essere eseguite delle elaborazioni prestabilite come il calcolo della media del parametro nel tempo, la somma, il dato istantaneo oltre alla registrazione di alcuni dati "speciali" come il valore massimo e minimo registrati nell'arco della giornata. Nello

specifico, essendo la presente analisi basata sui dati di temperatura, il parametro d'interesse misurato dai sensori delle stazioni di misurazione sono i dati puntuali di temperatura dell'aria ad un'altezza di 2m ed una cadenza di misurazione di 15 minuti. Grazie all'impiego di strumenti di analisi spaziale nell'ambito dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), è stato possibile indagare la disposizione spaziale delle stazioni e selezionare tutte quelle limitrofe all'area di interesse. Più precisamente, sono state selezionate 28 stazioni ricadenti all'interno dell'area o ad un "buffer" di 5 km da quest'ultima e, successivamente, sono state scartate quelle localizzate in ambito urbano o per le quali non vi erano sufficienti misurazioni. Infatti, essendovi intervalli di misurazione diversificati, al fine di omogenizzarli è stato scelto di utilizzare come rappresentativo del periodo storico la finestra temporale che va dall'anno 1995 al 2010. Sono state quindi selezionate 24 stazioni che rispecchiassero tali caratteristiche e quindi considerate rappresentative per il presente studio (Figura 11 e Tabella 2).

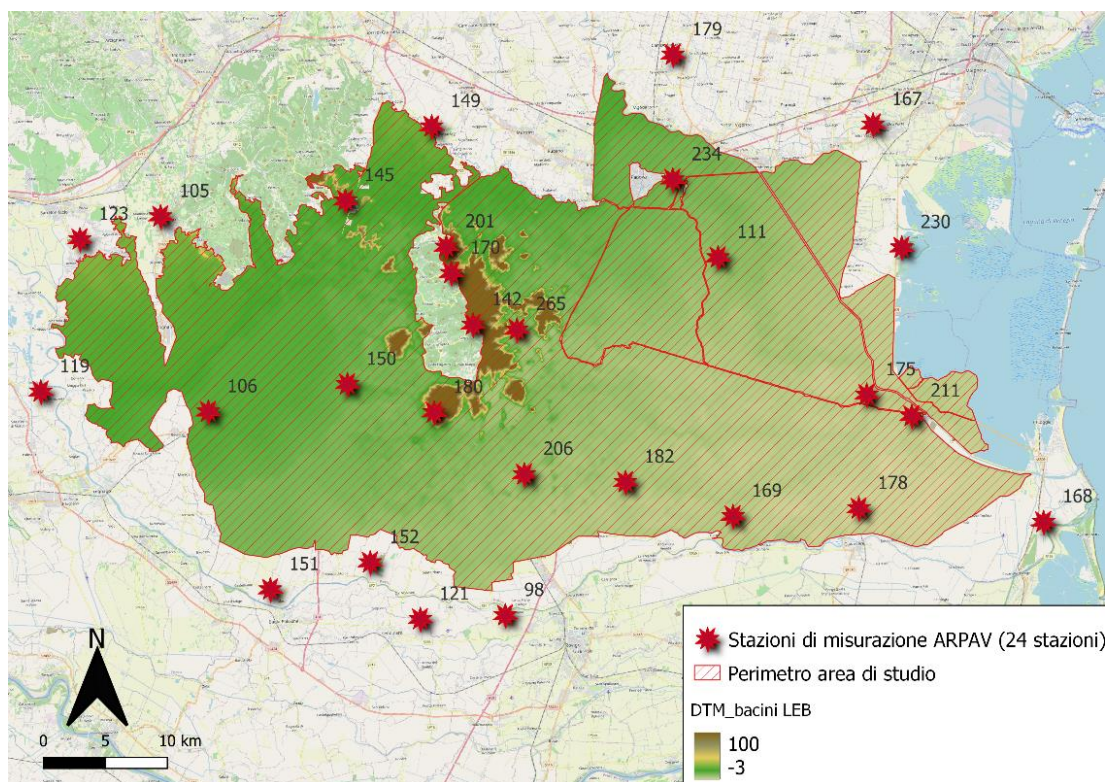


Figura 11: Inquadramento delle 24 stazioni di misurazione dell'ARPAV rappresentative delle condizioni climatiche dell'area oggetto di studio.

Tabella 2: Elenco delle 24 stazioni considerate rappresentative per l'analisi del presente studio con codice, nome, provincia, quota e coordinate WGS84 per ogni stazione.

Codice Stazione	Nome	Provincia	Quota m s.l.m.	Coord. X WGS84	Coord. Y WGS84
98	Concadirame (Rovigo)	RO	6	11,72081886	45,09313663
105	Lonigo	VI	29	11,37964132	45,39045584
106	Montagnana	PD	12	11,4227919	45,24776886
111	Legnaro	PD	7	11,95217201	45,34734845
119	Roverchiara	VR	17	11,25118706	45,2658043
121	Lusia	RO	6	11,63364487	45,09241907
123	Arcole	VR	27	11,29582046	45,37550277
142	Faedo (Cinto Euganeo)	PD	250	11,69771962	45,30471743
145	Barbarano Vicentino	VI	16	11,57053751	45,39775173
149	Montegalda	VI	22	11,66198536	45,44957583
150	Noventa Vicentina	VI	13	11,56657613	45,2645703
151	Masi	PD	9	11,48088305	45,11740196
152	Balduina (Sant'Urbano)	PD	7	11,58415552	45,13472648
167	Mira	VE	3	12,1169216	45,43934709
168	Chioggia - Sant'Anna	VE	0	12,27596996	45,14632401
169	Aгна	PD	1	11,95775646	45,15926189
170	Teolo	PD	155	11,67713457	45,34272761
175	Codevigo	PD	0	12,09970856	45,24367259
178	Cavarzere	VE	-2	12,08720348	45,16150338
179	Campodarsego	PD	16	11,91336346	45,49551578
180	Este - Calaone	PD	104	11,65477423	45,24201135
182	Tribano	PD	3	11,8487995	45,18668992
201	Monte Grande (Teolo)	PD	465	11,67281842	45,36192058
206	Ca' Oddo (Monselice)	PD	4	11,74523723	45,1949266

3.1.8. Dati termometrici da modello CPM

Come accennato nel capitolo precedente, l'incremento della potenza di calcolo ha permesso lo sviluppo di modelli climatici regionali con griglie a scala chilometrica (<4Km) alla quale la convezione viene risolta esplicitamente, comunemente chiamati Modelli Climatici Regionali che Consentono la Convezione (CP-RCM). Questo li rende strumenti promettenti per l'indagine delle conseguenze future dei cambiamenti climatici sulle caratteristiche climatiche a scala regionale-locale. A tale scopo sono nate numerose iniziative e progetti di ricerca, tra cui il progetto "Highlander", attinente all'ambito dell'iniziativa CORDEX, che ha prodotto VHR-PRO_IT (Very High-Resolution PROjections for ITaly), una proiezione climatica oraria con risoluzione di circa 2.2 Km (su scala convettiva) che copre la penisola italiana e alcune aree limitrofe. Quest'ultima deriva da una riduzione dinamica della proiezione climatica "Italy8km-CM" (risoluzione spaziale ≈ 8 km; frequenza di uscita = 6 h; GCM guidato = CMCC-CM).

La sua forzante globale è l'esperimento storico guidato dalla composizione atmosferica naturale e antropica osservata per il periodo 1981-2005 e dalle traiettorie di concentrazione di gas serra degli scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5, per il periodo 2006-2070 e fornite dal modello climatico regionale COSMO-CLM (Raffa et al., 2023).

COSMO-CLM è la versione climatica del modello COSMO LM, ovvero il modello operativo di previsione meteorologica su mesoscala non idrostatico, sviluppato inizialmente dal Servizio meteorologico tedesco (DWD) e poi dal Consorzio europeo COSMO. L'RCM "COSMO CLM" è attualmente fornito dalla CLM-Community, con la quale il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) collabora dal 2008. La formulazione matematica di COSMO CLM si basa sulle equazioni di fluidodinamica per un flusso comprimibile in cui l'atmosfera è trattata come un fluido multicomponente (costituito da aria secca, vapore acqueo, acqua liquida e solida), per il quale vale l'equazione dei gas perfetti e soggetto alla gravità e alle forze di Coriolis (COSMO-CLM - Climate Limited-Area Modelling Community - CMCC).

Mediante la registrazione al sito CMCC è possibile accedere al portale dedicato alle proiezioni VHR-PRO_IT, nel quale sono state inserite le coordinate WGS84 di ciascuna delle stazioni di misurazione ARPAV e mediante tecniche di interpolazione spaziale, il modello estrae dalla griglia il valore del parametro climatico richiesto più vicino alle

coordinate inserite. Riassumendo, dal modello è stato possibile scaricare i dati di temperatura in Kelvin (K) a cadenza oraria per ogni punto griglia più vicino possibile a ciascuna delle stazioni di misurazione ARPAV e per tre scenari: storico (1981- 2005), RCP4.5 ed RCP8.5 (2006-2070).

Essendo il periodo di confronto tra osservazioni storiche e da modello CPM compreso tra 1995 ed il 2010, necessario alla successiva fase di correzione, dato che la serie CPM per lo scenario storico arriva solo al 2005 e visto che le differenze tra scenario storico ed RCP4.5 per gli anni che vanno dal 2006-2010 si possono considerare irrilevanti, si è scelto quest'ultimo per rappresentare i 5 anni mancanti, uniformando così le proiezioni storiche del modello CPM e poterle confrontare con le osservazioni ARPAV. Inoltre, per i due scenari RCP4.5 ed RCP8.5, si è scelto di studiare la tendenza future dell'evapotraspirazione e delle temperature e pertanto è risultato conveniente lavorare con una serie unica formata dalla proiezione storica (1995- 2010), rispettivamente unita alle proiezioni future RCP4.5 e RCP8.5 (2010-2070) fornite dal modello CPM. Per chiarezza si riportano di seguito le 3 serie di dati da modello ottenute ed impiegate, successivamente, nelle metodologie:

- Proiezione storica (1995- 2010) formata da serie storica (1995-2005) + serie RCP 4.5 (2006-2010)
- Serie completa con scenario di emissione RCP 4.5 (1995- 2070) formata da Proiezione storica (1995-2010) + Proiezione futura RC P4.5 (2010-2070)
- Serie completa con scenario di emissione RCP 8.5 (1995- 2070) formata da Proiezione storica (1995-2010) + Proiezione futura RCP 8.5 (2010-2070)

CAPITOLO 4

4. Metodologie

4.1.1. Analisi preliminari

Prima ancora di addentrarsi nelle analisi vere e proprie, che si pongono come obiettivo quello di analizzare le tendenze future delle temperature e della conseguente evapotraspirazione potenziale (ET_0), è necessario eseguire alcune operazioni preliminari al fine di attuare un'organizzazione dei dati tale da permetterne una facile e lineare analisi e gestione successiva oltre che un'analisi qualitativa degli stessi.

4.1.2. Serie di misurazioni ARPAV (1995- 2010)

Per quanto riguarda la serie storica delle misurazioni ARPAV ad intervalli di 15 minuti, è necessario per prima cosa aggregarla a scala oraria in modo tale da rendere possibile il successivo confronto con quella estratta dal modello CPM (a scala oraria) per i due scenari di emissione e per il medesimo periodo.

Vista la grande mole di dati da analizzare, è stato necessario ricorrere alla piattaforma di programmazione e calcolo numerico "MATLAB" che, con l'ausilio di un codice appositamente "scritto", restituisce i valori di temperatura oraria a partire dalla serie originaria a 15 minuti; in sintesi, ogni valore orario è stato calcolato come media dei 4 valori di temperatura che formano quell'ora nella serie originaria.

A questo punto è necessario "depurarla" da eventuali fondi di errori che potrebbero ripercuotersi nelle successive analisi rendendole poco rappresentative, come ad esempio valori di temperatura anomali (valori troppo alti, oppure troppo bassi) oppure periodi in cui non vi sia presenza di dati. A tal fine si è scelto di eliminare dall'analisi, per ogni stazione, i dati di tutti quei mesi in cui vi siano buchi (gaps) nelle misurazioni maggiori del 10% considerando, quindi, solo quelli con almeno il 90% dei totali registrati.

Per fare ciò è stato calcolato il numero di dati di temperatura registrati in ogni mese nella serie di misurazione ARPAV (1995- 2010) e poi confrontato con il numero atteso per lo stesso periodo eliminando infine i mesi poco rappresentativi.

Per quanto riguarda i possibili valori anomali, è stata condotta un'analisi statistica basata sulla media e per ogni stazione sono stati calcolati i valori medi di temperatura sia a scala annuale che a scala mensile e non sono risultati valori fuori scala. Per fare ciò, è stato utilizzato sia il software "Excel" per una fotografia dettagliata dei dati per ogni stazione, sia con l'ausilio di "MATLAB" per la generazione automatizzata dei grafici descrittivi dei valori di temperatura per ogni stazione che ne ha permesso un'analisi speditiva circa l'attendibilità.

4.1.3. Serie storica (1995- 2010) e Serie completa RCP4.5 ed RCP8.5 (1995- 2070) da modello CPM.

Come accennato nel capitolo 3.1.8., lo scenario storico per la serie da modello CPM arriva fino all'anno 2005 e pertanto, al fine di poterla confrontare con la serie storica osservata (1995- 2010), si sono assunti i valori della proiezione CPM-RCP 4.5 per i restanti 4 anni (2006- 2010) essendo che tale scenario prevede misure di mitigazioni e politiche connesse ancora blande in quegli anni, con conseguenti variazioni in termini di emissioni trascurabili rispetto allo scenario storico. L'aggregazione è stata sempre eseguita mediante "MATLAB", inoltre, il modello CPM restituisce dei valori di temperatura in gradi Kelvin e pertanto, nel codice volto all'aggregazione delle due serie per il periodo di interesse, si è aggiunto il comando di trasformare i rispettivi valori di temperatura in gradi °C mediante la seguente formula:

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15 \quad (1)$$

Pur considerando che le serie da modello CPM sono continue e quindi l'analisi dei valori mancanti non ha senso di esistere, è comunque necessario eliminare gli stessi mesi eliminati nel caso della serie ARPAV, al fine della successiva fase di "Bias Correction" che verrà illustrata a breve nel capitolo 4.1.4.

Infine, anche per questa serie, sono state svolte delle analisi esplorative sul foglio di calcolo Excel determinando l'andamento dei valori medi mensili ed annuali e valutare eventuali anomalie che non sono state riscontrate.

Al fine di eseguire un'analisi delle tendenze future dell'evapotraspirazione che sia il più possibile attendibile è necessario disporre di un numero sufficiente di dati da analizzare.

Pertanto, allo stesso modo di quanto illustrato precedentemente, è stato scelto di aggregare i dati di temperatura per i due scenari di emissione RCP 4.5 ed RCP 8.5 del modello CPM (2010- 2070) con quelli della serie storica precedentemente estratta del medesimo modello, ottenendo così due serie per il periodo 1995- 2070, una per ognuno dei due scenari di emissione. Anche in questo caso nel codice di aggregazione delle serie è stato inserito il comando di trasformazione dell'unità di misura in gradi centigradi (°C) (Equazione 1).

Per tutte e 4 le serie così ricavate, è stata applicata la successiva aggregazione giornaliera dei dati sul foglio di calcolo Excel, calcolando il valore medio giornaliero come media di tutti i valori orari delle 24 ore di ogni giorno ed ottenendo così anche il valore minimo e massimo di ogni giorno, come valori assoluti delle 24 ore.

Tale procedura può essere eseguita in modo automatizzato sfruttando la funzionalità di Excel delle "Tabelle Pivot" che, selezionando un set di valori di ingresso e la rispettiva data, permette un'aggregazione automatica dei dati secondo diversi criteri come appunto la media. È quindi possibile organizzare lo stesso set di dati in modo diverso a seconda del loro obiettivo, ad esempio, alla base della successiva fase di correzione del modello (Capitolo: 4.1.4. "Bias correction") vi saranno le serie aggregate mensilmente per il calcolo del fattore correttivo, ovvero con un valore medio per ogni mese riassuntivo di tutti gli anni della serie, mentre si opterà per un'aggregazione su base mensile suddivisa per anno nella fase di costruzione della finestra mobile e poi nell'applicazione di Hargreaves.

4.1.4. Valutazione delle distorsioni del modello CPM e calcolo dei fattori correttivi

I modelli climatici presentano errori sistematici chiamati “bias” nei loro risultati come, ad esempio, temperature costantemente sopra o sottostimate così come le precipitazioni stagionali, il numero di giorni piovosi e molti altri. In altre parole, nell’ambito dei modelli climatici, il “bias”, può essere definito come la differenza sistematica tra una statistica climatica simulata e la corrispondente statistica climatica del mondo reale (Maraun, 2016).

Questi errori possono essere dovuti da numerosi fattori come risoluzioni spaziali troppo grossolane, processi termodinamici e fisici semplificati ed una comprensione incompleta del sistema climatico globale. Pertanto, le informazioni derivanti da modelli climatici distorti possono portare ad una cattiva interpretazione dei risultati e conseguenti valutazioni errate dei cambiamenti climatici attesi. Ne consegue la necessità di “correggere” le serie da modello con un fattore correttivo derivante dal confronto tra le variabili misurate rispetto a quelle simulate dal modello CPM.

Per i dati del presente studio è stato scelto l’approccio di correzione del “bias”, utilizzato e validato dal Dott. Furlan Lorenzo nella sua tesi di laurea magistrale: “Stima dell’evapotraspirazione potenziale da dati osservati e da modello climatico ad alta risoluzione: correzione del bias ed applicazione alla pianura veneta”. Per la validazione dell’approccio correttivo il Dott. Furlan si è avvalso della metodologia “Split sample” o campionamento suddiviso, che prevede appunto la suddivisione della serie di dati oggetto dell’analisi in due periodi di ugual durata: periodo di calibrazione in cui si calcola il “bias” o discostamento, e periodo di validazione dove lo si applica.

Nel periodo di calibrazione avviene il confronto tra la serie simulata da modello CPM e quella osservata dalla stazione di misurazione, dalla cui differenza per ogni parametro (T_{media} , T_{min} e T_{max}) si ottiene il rispettivo fattore correttivo. Quest’ultimo viene poi applicato nel periodo di validazione secondo l’approccio “Linear scaling”, che prevede di applicare un fattore correttivo additivo a scala mensile, ovvero andandolo a sottrarre ai valori simulati dal modello CPM per renderlo il più simile possibile alle osservazioni storiche. Si valuta la robustezza del metodo mediante il calcolo del “Bias residuo”, ovvero la differenza tra la serie corretta e quella originaria osservata per ogni parametro, oltre ad altri strumenti statistici come la radice quadrata dell’errore quadratico medio (RMSE)

che, se testimoniano l'affidabilità del metodo, permettono l'applicazione della metodologia alla serie completa secondo diversi approcci.

Nel presente studio si è scelto di impiegare una scala di calcolo del "Bias" mensile con un fattore correttivo specifico di ogni parametro considerato (T_{media} , T_{min} e T_{max}), per ogni mese e diverso per ogni stazione, calcolato ed applicato alla serie intera. Più precisamente, partendo dalle due serie giornaliere riferite allo scenario storico per il periodo 1995- 2010 (ARPAV e CPM), per ognuna di esse si è calcolata la tabella contenente l'aggregazione mensile dei dati di temperatura media, minima e massima, impiegando le tabelle Pivot precedentemente illustrate. Ognuna di esse contiene quindi un valore di temperatura del rispettivo parametro mediato su tutti gli anni (16) e specifico per ogni mese (12). Dalla differenza tra il valore medio di ogni mese della serie completa CPM con quello della serie completa ARPAV si ottiene il cosiddetto "fattore correttivo" specifico per ognuno dei 12 mesi e per i tre valori di temperatura: T_{medio} , di T_{min} e di T_{max} . A questo punto si dispone di un fattore correttivo mese-specifico per ogni parametro di temperatura, calcolato sulla base del confronto tra le due serie dello scenario storico, che può essere applicato per differenza ai valori delle 2 serie CPM per gli scenari di emissione RCP4.5 ed RCP 8.5, ottenendo le rispettive serie corrette. Nello specifico, per entrambe le serie, si è scelto di applicare la correzione dopo il calcolo della media mobile, il cui funzionamento viene illustrato nel capitolo successivo (4.1.5. Implementazioni finestre mobili per lo studio delle tendenze), al fine di ottenere due nuove serie sulle quali si procederà al calcolo dell'evapotraspirazione secondo l'equazione di "Hargreaves". Nell'immagine seguente viene concettualizzato il meccanismo di correzione del modello, indicando come sia il divario (il delta) tra lo scenario storico misurato a permettere la correzione dei risultati dei modelli, in questo caso rappresentati dalle serie future RCP, restituendo la serie corretta (Figura 12).

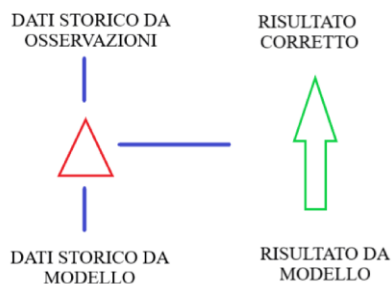


Figura 12: Schematizzazione del processo di calcolo del "bias" e della sua applicazione.

4.1.5. Implementazione finestra mobile per lo studio dei “trend”

A questo punto si dispone di 2 serie di dati CPM riferite agli scenari RCP4.5 ed RCP8.5 contenenti i valori di temperatura (media, minima e massima) a cadenza mensile per ogni anno della serie completa (1995- 2070). Applicare Hargreaves a tali serie e calcolarne successivamente le tendenze anno per anno (per ogni mese) porterebbe a rappresentare la variabilità interannuale rendendo il “trend” fluttuante e di difficile interpretazione (“rumoroso”) e pertanto, al fine di risolvere questa criticità, è stato scelto di affidarsi al concetto di “media mobile”.

Una media mobile è una serie temporale costruita prendendo le medie di diversi valori sequenziali di un'altra serie temporale (in questo le 4 serie complete del modello CPM). È un tipo di convoluzione matematica, l'operazione che combina due funzioni per descrivere la sovrapposizione tra loro (Hyndman, 2009).

L'operazione lineare che permetta la “trasformazione” di una serie temporale Y_t in ingresso in un'altra denominata Z_t in uscita è del tipo:

$$Z_t = \sum_{z=m_1}^{m_2} w_s Y_t + s \quad (2)$$

Si dice che la serie Z_t è stata ottenuta da y_t mediante un filtro lineare con coefficienti w_s ed il valore della nuova variabile al tempo t , Z_t , è funzione dei valori della serie originaria al tempo t , Y_t , dei valori relativi a m_1 periodi precedenti a t ($Y_{t-1}, \dots, Y_{t-m_1}$) e dei valori relativi a m_2 periodi successivi ($Y_{t+1}, \dots, Y_{t+m_2}$). Se, come nel caso in oggetto, la somma dei coefficienti w_s è pari a 1, la Z_t è la media aritmetica degli m_1+m_2+1 valori Y_t , media semplice se tutti uguali, ponderata se diversi. Quindi, data una serie temporale Y_t può essere definita come media mobile un filtro lineare in cui la somma dei pesi è pari ad 1:

$$MM_t = \sum_{z=-m_1}^{m_2} \alpha_s Y_t + s \quad \text{con } 0 < \alpha_s, \sum \alpha_s = 1 \quad (3)$$

I termini o intervalli su cui viene calcolata la media mobile sono pari a $L=m_1+m_2+1$ dove L rappresenta il periodo e prende il nome di ordine della media mobile. Nel presente studio si è scelto un ordine di 15 anni. In sintesi, è possibile definire media mobile di ordine L una sequenza di medie aritmetiche di sequenze consecutive di L valori della

serie temporale originale. Inoltre, si dice che la media mobile è centrata, quando $m_1=m_2=m$ e quindi presenta un ordine dispari (per questo motivo è stato scelto $L=15$ nel presente studio) e il valore MM_t si riferisce all'istante centrale dell'intervallo su cui la media mobile è calcolata (tempo t). È importante sottolineare che una serie Y_t ($t=1, \dots, T$) comprende T osservazioni, mentre nella media mobile MM_t , l'indice t può variare solo tra m_1+1 e $T-m_2$, pertanto le osservazioni della nuova serie saranno minori rispetto all'originale di cui si perdono le prime m_1 e le ultime m_2 osservazioni. L'effetto della media mobile è quello di ridurre la variabilità della serie, appianandone i picchi ed innalzando le valli con un'azione spianante, ossia quella di rendere più "liscia" la serie originale (Polli, 2016).

Come accennato qui sopra, nel presente studio si è scelto di adottare la media mobile semplice per il campionamento di una nuova serie continua, calcolata su intervalli di 15 anni della serie originale, sulla quale analizzare le tendenze future dell'evapotraspirazione. Tale processo è stato applicato per ognuna delle 4 serie precedentemente estratte, per le 24 stazioni considerate. Per fare ciò si è impiegato un foglio di calcolo Excel, nel quale viene riportata la serie originaria secondo un'aggregazione mensile suddivisa per anno (per ogni mese i rispettivi valori di ogni anno). Quindi, la prima colonna del foglio di calcolo contiene per ogni mese gli anni dal 1995 al 2070, mentre la seconda terza e quarta rispettivamente il valore medio, minimo e massimo di temperatura.

A questo punto si applica il calcolo della media aritmetica semplice su intervalli (L) di 15 anni definiti da una finestra mobile ovvero che ad ogni intervallo successivo trasla di un anno, il cui valore medio di ogni intervallo si fa corrispondere all'anno centrale (MM_t) di quell'intervallo. Ad esempio, nel primo intervallo si calcola la media, per ognuno dei 3 parametri di temperatura, per i primi 15 anni corrispondenti al periodo 1995- 2009 ottenendo un valore medio riferito all'anno centrale dell'intervallo (2002). Il successivo intervallo traslerà di un anno, prendendo in considerazione nel calcolo della media il periodo 1996- 2010 escludendo dal calcolo l'anno 1995 e così via per tutti gli intervalli seguenti, arrivando ad ottenere una nuova serie continua riferita al periodo 2002-2063. Avendo suddiviso le serie originarie per mese ed anno, i rispettivi valori calcolati dalla finestra mobile, seguono il medesimo ordinamento restituendo un valore medio per ogni mese e per ogni anno nel periodo 2002- 2063.

Tale metodologia è stata replicata per ognuna delle 4 serie estratte precedentemente (CPM RCP4.5 ed RCP8.5 corrette e non) e per ognuna delle 24 stazioni considerate, permettendo di ottenere altrettante serie complete composte da 62 valori annuali (2002-2063) per ogni mese dell'anno.

È importante ricordare come sia stato scelto di applicazione il fattore correttivo, calcolato a partire dal confronto tra i due scenari storici (CPM ed Osservato), proprio alle due nuove serie di dati derivanti dall'applicazione della finestra mobile, mediante la sottrazione dei tre "bias" mese-specifici ai valori dei rispettivi mesi della serie. Ne consegue che la successiva fase di adozione dell'equazione di Hargreaves per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento prima e lo studio delle tendenze poi, avverrà per le seguenti 4 serie finali:

- Serie CPM mensile per lo scenario di emissione RCP 4.5 (2002- 2063)
- Serie CPM mensile per lo scenario di emissione RCP 8.5 (2002- 2063)
- Serie CPM mensile per lo scenario di emissione RCP 4.5 **corretta** (2002- 2063)
- Serie CPM mensile per lo scenario di emissione RCP 8.5 **corretta** (2002- 2063)

4.1.6. Modello di “Hargreaves” per il calcolo dell’evapotraspirazione di riferimento (ET_0)

Molti studi hanno dimostrato come le proiezioni future a scala locale, basate su diversi scenari di emissioni, indicano un’alta probabilità di cambiamenti delle temperature durante tutte le stagioni, con un aumento significativo sia di quelle minime che delle massime (Ben Hamouda et al., 2021).

Tali cambiamenti climatici determinano delle ripercussioni importanti sul ciclo idrogeologico che necessitano di un’analisi approfondita, per questo è ampiamente utilizzata l’evapotraspirazione in quanto unico collegamento tra bilancio energetico e quello idrico (Dong et al., 2020).

L’evapotraspirazione (ET) è il trasferimento simultaneo di acqua nell’atmosfera tramite evaporazione, processo mediante il quale l’acqua liquida viene convertita in vapore acqueo e rimossa dalla superficie di evaporazione, e traspirazione processo che consiste nella vaporizzazione di acqua liquida nei tessuti vegetali e il suo trasferimento nell’atmosfera (Allen et al., 1998).

Per esprimere ET si fa riferimento al concetto di “evapotraspirazione di riferimento” (ET_0), parametro di fondamentale importanza idrologica per molti aspetti come la futura gestione dell’acqua per l’irrigazione ed i conseguenti potenziali agricoli ed ai fini della modellazione idrologica (Immerzeel & Droogers, 2008; Pereira et al., 2020).

Secondo l’Organizzazione delle Nazioni Unite per l’alimentazione e l’agricoltura (FAO), l’evapotraspirazione di riferimento è il potere evapotraspirativo dell’atmosfera della superficie di riferimento ovvero un’ipotetica coltura erbacea di riferimento con un’altezza presunta della coltura di 0,12 m, una resistenza superficiale fissa di 70 sm^{-1} e un’albedo di 0,23. La superficie di riferimento ricorda da vicino un’estesa superficie di erba verde, ben irrigata, di altezza uniforme, in crescita attiva e che ombreggia completamente il terreno (FAO).

Vista l’importanza della stima dell’ ET_0 nel comprendere gli adattamenti necessari in termini di fabbisogni idrici in risposta ai cambiamenti climatici attesi, sono nati numerosi metodi analitici volti a stimarla, come, ad esempio, quello sviluppato proprio dalla FAO: “Penman- Monteith”, che attraverso un solido approccio fisico si è dimostrata in grado di stimare accuratamente ET_0 in tutto il mondo. Tuttavia, l’applicazione di questa metodologia richiede l’utilizzo di numerosi parametri, tra cui umidità relativa, radiazione

solare e velocità del vento, disponibili solo per alcune stazioni e spesso non molto affidabili. Per questo motivo si sono sviluppati numerosi approcci semplificati che sfruttano un numero limitato di variabili per la stima, come quello proposto Hargreaves e Samani (1985) che richiede i soli dati di temperatura media, minima e massima dell'aria e della radiazione solare extraterrestre. Tali caratteristiche rendono il metodo di Hargreaves adatto alla stima dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) nel presente studio, coerentemente con quelli che sono i dati a disposizione.

Di seguito (Equazione 4) viene riportata l'equazione di Hargreaves proposta da Hargreaves e Samani (1985) impiegata al fine di calcolare l'evapotraspirazione di riferimento per ogni stazione del presente studio:

$$ET_0 \text{ (mm d}^{-1}\text{)} = HC \cdot \frac{R_a}{\lambda} (T_a + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (4)$$

dove ET_0 rappresenta l'evapotraspirazione potenziale di riferimento espressa in millimetri al giorno (mmd^{-1}), HC è un coefficiente empirico pari a 0.0023, R_a corrisponde alla radiazione solare extraterrestre ($\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$), specifica per ogni giorno e per ogni latitudine e stimata a partire dalla costante solare, dal periodo dell'anno e dall'angolo di incidenza dei raggi solari. λ , pari a $0.408 \text{ (MJ kg}^{-1}\text{)}$, esprime il calore latente di vaporizzazione che diviso a R_a ne permette la conversione in millimetri per giorno. T_a corrisponde alla temperatura media giornaliera ($^{\circ}\text{C}$), mentre T_{min} e T_{max} rispettivamente la minima e la massima temperatura giornaliera ($^{\circ}\text{C}$).

Nella presente analisi è stato scelto di adottare un approccio mensile nel calcolo dell'evapotraspirazione e quindi applicando il modello di Hargreaves, per ognuna delle 4 serie di dati, ai valori medi (T_{med} , T_{min} e T_{max}) di ciascun mese dei 62 anni definiti dalla finestra mobile precedentemente applicata ed estratti dalla serie completa (1995- 2070).

Quindi, per procedere con l'applicazione del modello, l'unico parametro incognito della formula risulta la radiazione extraterrestre (R_a), che è stato calcolato secondo la formula seguente (Equazione 5) per ogni giorno dell'anno, ed essendo che le variazioni tra i diversi anni sono minime e dovute solo a quelli bisestili, è sufficiente calcolarlo per un solo anno ed assumerlo uguale per tutti gli altri:

$$R_a = \frac{24(61)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (5)$$

dove R_a è la radiazione extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), G_{sc} la costante solare pari a 0.0820 ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$), d_r la distanza inversa Terra- Sole, ω_s angolo dei raggi solari al tramonto (rad), φ la latitudine (rad) e δ la declinazione solare intesa come inclinazione dei raggi rispetto al piano equatoriale (rad).

La distanza inversa Terra-Sole (d_r) la declinazione solare (δ) sono calcolate mediante le seguenti equazioni trigonometriche:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (6)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (7)$$

dove J è il numero del giorno dell'anno da 1 (1° gennaio) a 365/366 (31 dicembre).

L'angolo dei raggi solari al tramonto (ω_s) è dato da:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi) \tan(\delta)}{X^{0.5}}\right] \quad (8)$$

dove $X = 1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2$ e $X = 0.00001$ se $X \leq 0$.

Essendo che il modello sarà applicato a scala mensile e non giornaliera per il successivo calcolo dell'evapotraspirazione media mensile di ogni anno, è necessario definire il valore di R_a da applicare nella formula di calcolo per ognuno dei dodici mesi. A tal fine si è scelto di impiegare quello riferito al giorno mediano di ogni mese, con conseguenti 12 valori di R_a mensili, uguali per i 62 anni dell'analisi.

A questo punto tutte le variabili necessarie all'applicazione dell'equazione di Hargreaves sono note, è possibile quindi procedere al calcolo di ET_0 ottenendo un valore mensile per ogni anno dell'analisi e per i seguenti scenari di applicazione:

- Serie CPM RCP 4.5 (2002-2063)
- Serie CPM RCP 4.5 corretta (2002-2063)
- Serie CPM RCP 8.5(2002-2063)
- Serie CPM RCP 8.5 corretta (2002-2063)

Infine, come visto precedentemente attraverso la media di questi valori, per ciascun scenario, è possibile operare un'aggregazione annualmente ottenendone uno valore di evapotraspirazione potenziale (ET_0) per ogni anno. Questi, insieme ai valori mensili, sono impiegati per la fase conclusiva del presente studio, ovvero l'analisi delle tendenze future di Evapotraspirazione potenziale e temperature (T_{media} , T_{min} e T_{max}) nel periodo 2002-2063.

4.1.7. Analisi statistica delle tendenze future dei dati di temperatura ed evapotraspirazione (ET₀)

Al fine di comprendere se vi siano cambiamenti in atto dal punto di vista climatico è necessario indagare la variabilità del clima in termini di dati parametrici a disposizione, come appunto le temperature e l'evapotraspirazione, che permettono di individuare segnali di tendenza positiva o negativa significativi statisticamente e quindi predittivi o meno di cambiamento climatico a scala spaziale e temporale. Per fare ciò esistono numerosi approcci statistici che si suddividono principalmente in parametrici, i quali assumono che i dati seguano una specifica distribuzione (solitamente normale), e non parametrici, nessuna ipotesi sulla distribuzione di frequenza. Generalmente le statistiche non parametriche presentano una minor influenza dalla presenza di valori anomali e da altre forme di non normalità, rappresentando una misura di dipendenza lineare monotona. Tra questi, il più frequentemente utilizzato per identificare le tendenze future delle variabili idrologiche è il test di "Mann-Kendall" (MK) ed anche per questo studio si è scelto di ricorrere a tale approccio. Il conseguente "trend" di significatività statistica può essere integrato con la stima della pendenza "Sen's-Slope" al fine di determinare l'entità del trend (Yadav et al., 2014).

4.1.8. Test "Mann-kendall"

L'ipotesi nulla (H₀) per il test di "Mann-Kendall" prevede che gli n valori della serie temporale (x_1, x_2, \dots, x_n) siano indipendenti e ordinati in modo casuale, ovvero non vi sia alcuna tendenza o struttura di correlazione seriale tra le osservazioni, ne consegue l'ipotesi alternativa (H₁), ossia quella che attesta la presenza di un trend monotono non necessariamente lineare (Hamed & Ramachandra Rao, 1998).

La formula del test di Mann-Kendall è la seguente:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (9)$$

dove n è il numero, mentre x_i e x_j sono i valori dei dati delle serie temporali i e j ($j > i$) e $\text{sign}(x_j - x_i)$ rappresenta la funzione di segno:

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{se } x_j - x_i = 0 \\ +1, & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Il calcolo della varianza avviene mediante la seguente equazione:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (11)$$

dove n esprime il numero di punti dati, m il numero di gruppi legati e t_i denota il numero di legami di estensione i . Un gruppo legato è un insieme di dati campione aventi lo stesso valore. Inoltre, se la dimensione del campione $n > 10$, la statistica del test normale standard Z_S viene calcolata come:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Se i valori di Z_S risultano positivi indicano tendenze in aumento, viceversa, se negativi, assumono tendenze in diminuzione. Il test delle tendenze viene eseguito al livello di significatività α specifico, che nel presente studio si è scelto pari a $\alpha=0.05$.

Quando $|Z_S| > Z_{1-\alpha/2}$, l'ipotesi nulla (H_0) viene rifiutata indicando una tendenza significativa nella serie con un livello di significatività definito da $\alpha (=0.05)$ pari al 95%. I valori $Z_{1-\alpha/2}$ sono tabulati e derivano dalla distribuzione normale standard, nel caso studio corrisponde al valore 1.97 (per una significatività del 95%, $\alpha=0.05$) (Gocic & Trajkovic, 2013).

4.1.9. “Sen’s Slope”

Nel 1968 Sen (Kumar Sen, 1968) ha sviluppato una procedura statistica non parametrica per stimare la pendenza del trend in un campione di N coppie di dati:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ per } i = 1, \dots, N \quad (13)$$

dove $x_j - x_k$ sono rispettivamente i valori dei dati al tempo j e k ($j > k$).

$N = \frac{n(n-1)}{2}$ nel caso in cui vi sia un solo dato per ogni periodo di tempo ed n ne indica il numero, mentre se le osservazioni sono multiple in uno o più periodi $N < \frac{n(n-1)}{2}$ ed n rappresenta il numero totale di dati. Gli N valori di Q_i sono classificati dal più piccolo al più grande e la mediana della “Sen’s Slope” viene calcolata come:

$$Q_{med.} = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]}, & \text{se } N \text{ é dispari} \\ \frac{Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}}{2}, & \text{se } N \text{ é pari} \end{cases} \quad (14)$$

Il segno di $Q_{med.}$ riflette le tendenze dei dati (positivo: trend crescente, negativo: trend decrescente) e va messa in relazione ad un intervallo di confidenza con probabilità specifica (nel presente studio 95% di confidenza) al fine di determinarne la significatività statistica (Gocic & Trajkovic, 2013).

Avendo a disposizione le 4 serie complete dei valori di temperatura (media, minima e massima) mensile annuale per il periodo 2002- 2063, estratte mediante media su finestra mobile e successiva correzione, e sulle quali è stata successivamente calcolata l’evapotraspirazione potenziale tramite l’equazione di ‘Hargreaves’, è possibile combinare ed applicare questi due test statistici per tutte e 4 le serie e per ogni stazione al fine di confrontarne i risultati, sia in termini di scenario di emissione RCP 4.5 ed RCP 8.5, che in quelli riferiti al fattore correttivo applicato. Per fare ciò, ci si è avvalsi del software di elaborazioni statistiche “MATLAB” e mediante l’implementare un foglio di comando che gli permettesse di “leggere” ed estrarre dai file CSV di Excel, le serie dei dati di temperatura ed evapotraspirazione suddivisi per mese ed anno e per ogni stazione,

restituendone un altro, contenente i risultati statistici del test sia su base mensile che annuale secondo le equazioni precedentemente illustrate.

In particolare, i parametri risultanti dell'applicazione del test di "Mann-Kendall" abbinato alla stima della "Sen's Slope" impiegati per comprendere le tendenze future nei valori delle temperature (E_{tp}) e dell'evapotraspirazione potenziale (T_{media} , T_{min} , T_{max} e Δt) sono:

- "Pvalue": calcolato dal test di "Mann-Kendall" e rappresenta la prova contro l'ipotesi nulla, se il valore P è inferiore al livello di significatività ($P < \alpha$), suggerisce una forte evidenza per rifiutare l'ipotesi nulla che sta ad indicare una tendenza statisticamente significativa nei dati. Al contrario, se il valore p è maggiore del livello di significatività ($P \geq \alpha$), fornisce prove insufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla indicando che non esiste una tendenza statisticamente significativa nei dati. Nel presente studio il valore di P per ciascun parametro di temperatura ed evapotraspirazione indica tendenze significative se minore di $\alpha=0.05$ (significative al 95%).
- "Slope": calcolata come variazione rispetto al valore medio del periodo (2002-2063) in 10 anni ed indica una tendenza crescente se di segno positivo, oppure decrescente se negativo. Viene impiegata per i valori di temperatura (T_{media} , T_{min} , T_{max} e Δt) ed esprime la variazione ogni 10 anni in °C rispetto al valore medio del periodo. Moltiplicandola per le decadi dell'analisi (63/10) si ottengono le rispettive variazioni in 63 anni. Per esprimere l'entità delle tendenze dell'evapotraspirazione (E_{tp}) si è ricorsi alla "%Slope", che indica la variazione percentuale rispetto al valore medio del periodo sempre in 10 anni.
- Media: indica la media nel periodo 2002- 2063 per ciascun parametro di temperatura e per l'evapotraspirazione potenziale, valori necessari per contestualizzare e dare un senso sia alle variazioni percentuali dei valori di evapotraspirazione, che a quelli assoluti delle temperature. Tali valori, sia a scala annuale che mensile, vengono riportati come allegati in appendice.

CAPITOLO 5

5. Risultati

In questo capitolo si passa alla presentazione dei risultati ottenuti dal lavoro di tesi. Come esposto nel capitolo relativo alle metodologie, vi è una fase preliminare di analisi relativa alla valutazione della qualità dei dati, come la ricerca dei “gaps” nelle misurazioni storiche superiori al 10% dei dati mensili, la composizione della serie CPM o ancora l’uniformazione del time step tra le misurazioni a 15 minuti di ARPAV e quelle ad 1 ora del modello CPM. Tali analisi non vengono riportate nei risultati in quanto costituiscono la base di partenza per le successive fasi, mentre si passa direttamente alla fase di confronto tra i due scenari storici, ARPAV e CPM, per ogni stazione al fine di valutare le distorsioni del modello CPM ed ottenere il fattore correttivo da applicare agli scenari futuri. Si passa poi al calcolo della finestra mobile di 15 anni che permette di estrarre una nuova serie di dati delle temperature (media, minima e massima) a cadenza mensile e per l’intervallo temporale 2002- 2063, nella quale ogni valore di temperatura corrisponde a quella del singolo mese per ogni anno della serie. A quest’ultime, suddivise per stazione e scenario di emissione, viene applicato il fattore correttivo additivo e calcolato il rispettivo valore di evapotraspirazione potenziale secondo l’equazione di Hargreaves. Infine, si applica il test di Mann-Kendall abbinato al calcolo della “Sen’s Slope” necessari allo studio delle tendenze future dei valori di temperatura ed evapotraspirazione.

5.1.1. Analisi delle distorsioni del modello e calcolo del fattore correttivo

Come illustrato dettagliatamente nel capito 4.2, dal confronto, per ogni stazione, dei valori di temperatura per lo scenario storico (1995- 2010) tra modello CPM ed ARPAV, è possibile ottenere l'errore o bias su base mensile specifico per ogni parametro considerato (T_{media} , T_{max} e T_{min}), che rappresenta le distorsioni del modello, e da questo il fattore correttivo da applicare alle serie future al fine di correggere la distorsione (assumendo che questa si mantenga nel futuro).

I risultati del confronto vengono riportati in forma tabellare per ogni parametro: T_{media} nella Tabella 4, T_{min} nella Tabella 5 e T_{max} nella Tabella 6, dove le righe rappresentano le 24 stazioni e le colonne i 12 mesi, infatti avendo applicato un approccio mese-specifico si ottengono per ogni stazione 12 fattori correttivi. Inoltre, si è scelta una tematizzazione delle celle contenenti i fattori correttivi in funzione dell'intensità di quest'ultimi, corrispondente all'entità della distorsione, sia in senso positivo che negativo la cui legenda viene riportata di seguito (Tabella 3):

Tabella 3: legenda classificazione dei bias in funzione del valore assoluto.

	Bias (°C) > 2.5
	$1.5 < \text{Bias (°C)} \leq 2.5$
	$0.5 < \text{Bias (°C)} \leq 1.5$
	$0 \leq \text{Bias (°C)} \leq 0.5$
	$0 > \text{Bias (°C)} \geq -0.5$
	$-0.5 > \text{Bias (°C)} \geq -1.5$
	$-1.5 > \text{Bias (°C)} \geq -2.5$
	Bias (°C) < -2.5

Tabella 4: per ogni stazione e per ogni mese il bias mensile (°C) sui valori di temperatura medi.

Stazioni	BIAS [°C] - T _{medio}											
	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
206	-0.62	0.80	-0.59	-0.26	-1.38	0.86	2.66	1.58	2.28	0.43	-0.31	-0.09
201	-1.30	0.45	-0.15	0.77	0.01	1.96	3.00	1.94	2.75	0.92	-0.16	-0.89
182	-0.26	1.24	-0.17	0.13	-1.06	1.12	2.70	1.66	2.53	0.72	-0.24	0.13
180	-1.29	-0.22	-1.60	-0.76	-1.45	0.25	1.32	0.33	1.24	-0.21	-1.01	-0.89
179	-0.36	1.07	-0.40	-0.17	-1.23	0.41	2.33	1.19	2.50	1.24	-0.11	-0.08
178	-0.48	1.08	-0.50	-0.55	-1.85	0.04	1.62	0.86	1.90	0.55	-0.23	0.12
175	-0.38	1.11	-0.49	-0.45	-1.75	-0.22	1.11	0.53	1.88	0.65	-0.15	-0.04
170	-1.24	0.06	-1.12	-0.27	-1.28	0.48	1.61	0.70	1.71	0.15	-0.66	-0.73
169	-0.23	1.32	-0.16	0.20	-1.04	0.79	2.24	1.41	2.52	0.86	-0.24	0.21
168	-0.25	1.20	-0.73	-0.75	-2.16	-1.00	0.09	-0.39	1.40	0.66	0.00	0.18
167	-0.14	1.29	-0.33	-0.21	-1.40	0.04	1.38	0.78	2.27	1.08	0.12	0.22
152	-0.15	1.71	-0.05	0.37	-0.73	1.41	2.96	1.75	2.69	1.01	0.11	0.40
151	-0.22	1.17	-0.22	0.44	-0.61	1.48	2.90	2.23	3.23	1.51	0.23	0.25
150	-0.35	0.95	-0.47	0.13	-0.99	1.02	2.51	1.40	2.41	0.72	-0.23	-0.23
149	-0.48	0.90	-0.41	0.21	-0.94	0.91	2.59	1.70	2.51	0.91	-0.24	-0.27
145	-0.23	1.07	-0.24	0.37	-0.75	1.23	2.87	2.04	2.74	0.95	-0.20	-0.02
142	-1.64	-0.39	-1.69	-0.81	-1.77	0.06	1.03	0.05	1.12	-0.32	-1.00	-1.08
123	-0.13	1.08	-0.18	0.39	-0.44	1.81	3.15	2.25	3.03	1.34	0.38	0.27
121	-0.47	0.74	-0.44	0.06	-1.02	1.08	2.78	1.73	2.74	0.83	-0.15	0.04
119	-0.23	1.29	-0.08	0.52	-0.52	1.79	3.45	2.72	3.39	1.48	0.38	0.32
111	-0.50	0.97	-0.47	0.03	-1.13	0.61	1.92	1.31	2.13	0.74	-0.22	-0.17
106	-0.25	1.18	-0.28	0.22	-0.61	1.44	2.79	2.03	2.80	0.89	-0.22	0.18
105	-0.38	0.80	-0.71	-0.02	-1.07	0.88	2.28	1.33	2.10	0.54	-0.27	-0.01
98	-0.38	1.01	-0.43	0.12	-0.98	0.93	2.47	1.62	2.55	0.76	-0.15	-0.12

Partendo dai fattori correttivi sulle temperature medie di tutte le stazioni, risulta evidente come la sovrastima del modello CPM sia concentrata soprattutto nei mesi da giugno ad ottobre, con distorsioni maggiori per i mesi di luglio e settembre che variano da pochi gradi sopra lo zero, fino a raggiungere i +3°C, con un valore massimo di 3.45 °C per il mese di luglio della stazione 119. Al contrario, gennaio, marzo e maggio risultano i mesi con bias negativi per quasi tutte le stazioni, a testimonianza di come il modello CPM sottostimi i valori di temperatura media di tali mesi. Tuttavia, i valori assoluti dell'errore risultano decisamente inferiori rispetto a quelli riferiti ai periodi di sovrastima, indicando come generalmente la sovrastima del modello sia maggiore rispetto alla sottostima. In tal senso, il bias maggiormente negativo corrisponde a quello del mese di maggio per la stazione 168, di poco superiore, in termini assoluti, ai 2.1 °C. Il bias di febbraio è positivo

per quasi tutte le stazioni seppur inferiormente rispetto ai precedenti mesi sovrastimati, mentre i restanti, risultano variamente sopra o sottostimati, ma relativamente contenuti in termini assoluti fatta qualche eccezione.

Tabella 5: per ogni stazione e per ogni mese il bias mensile (°C) sui valori di temperatura minimi.

Stazioni	BIAS [°C] - T _{min}											
	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
206	-0.54	1.35	0.35	0.21	-0.50	1.45	3.15	2.15	2.97	0.59	-0.36	0.18
201	-1.52	-0.32	-0.91	-0.15	-0.76	0.80	1.62	0.57	1.54	-0.25	-1.02	-1.11
182	-0.26	1.66	0.64	0.57	-0.29	1.49	2.93	1.81	2.80	0.69	-0.45	0.22
180	-1.23	-0.19	-1.36	-0.88	-1.25	0.20	1.17	0.09	1.07	-0.55	-1.34	-0.78
179	0.54	2.07	0.70	1.07	0.19	1.78	3.73	2.54	3.94	2.23	0.57	0.94
178	-0.42	1.76	0.68	0.19	-0.94	0.65	2.33	1.52	2.68	0.90	-0.27	0.37
175	-0.34	1.66	0.66	0.41	-0.68	0.95	2.37	1.65	2.96	0.90	-0.16	0.18
170	-1.05	0.12	-0.99	-0.31	-0.99	0.51	1.48	0.49	1.50	-0.34	-1.06	-0.53
169	-0.14	1.95	1.02	1.12	0.24	1.77	3.25	2.25	3.27	1.08	-0.33	0.47
168	-0.24	1.85	0.52	0.33	-0.68	0.59	1.84	1.15	2.88	1.32	0.15	0.40
167	0.55	2.21	0.93	1.10	0.19	1.69	3.54	2.73	4.06	1.85	0.58	1.03
152	-0.15	1.71	-0.05	0.37	-0.73	1.41	2.96	1.75	2.69	1.01	0.11	0.40
151	0.00	1.92	1.30	1.71	1.15	2.85	4.26	3.44	4.68	2.14	0.58	0.63
150	0.30	2.07	1.08	1.31	0.58	2.28	3.68	2.46	3.38	1.21	0.10	0.45
149	0.19	1.65	0.64	1.09	0.35	1.71	3.18	2.21	3.12	1.28	0.04	0.44
145	0.54	2.17	1.25	1.58	0.75	2.46	4.08	3.12	4.00	1.52	0.08	0.71
142	-1.54	-0.50	-1.74	-0.96	-1.67	-0.07	0.65	-0.47	0.73	-0.77	-1.35	-0.88
123	0.89	2.39	1.44	1.55	1.10	3.22	4.51	3.47	4.36	2.32	1.25	1.28
121	-0.52	1.14	0.37	0.51	-0.20	1.46	3.02	1.95	3.13	1.00	-0.16	0.22
119	0.43	2.31	1.54	1.82	1.24	3.22	4.88	4.05	4.89	2.50	1.07	1.14
111	0.00	1.73	0.54	0.89	-0.06	1.50	3.06	2.21	3.02	1.10	0.03	0.42
106	0.47	2.42	1.37	1.40	0.83	2.60	3.87	2.80	3.75	1.31	0.15	0.91
105	0.54	2.01	0.69	1.06	0.28	1.79	2.96	1.88	2.74	0.90	0.21	0.91
98	-0.24	1.59	0.60	0.78	-0.02	1.59	3.20	2.15	3.22	0.94	-0.10	0.18

Per quanto riguarda i bias per la temperatura minima, si ricorda come questi derivino dal confronto della media mensile delle temperature minime giornaliere, partendo dai dati a cadenza oraria sia del modello CPM che delle misure delle stazioni. È interessante notare come il picco di sovrastima sia simile a quello sulla temperatura media (giugno-settembre), così come per il mese di febbraio, mentre per i restanti mesi vi è un comportamento misto che varia da stazione a stazione, sebbene a prevalere, anche in questo caso, siano i mesi in cui si riscontrano valori sovrastimati. Inoltre, è evidente come

i valori positivi siano molto maggiori dei rispettivi sulla temperatura media, superando anche i 4.5 °C da CPM ad ARPAV, mentre i negativi tendenzialmente inferiori e in minor numero. Da notare il comportamento del modello per la stazione nr. 142 che risulta quella con la temperatura minima sottostimata per tutti i mesi e con il valore minimo per i mesi di gennaio (-1.54 °C), marzo (-1.74 °C) e aprile (-1.67 °C).

Tabella 6: per ogni stazione e per ogni mese il bias (°C) mensile sui valori di temperatura massimi.

Stazioni	BIAS [°C] - T _{max}											
	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
206	-0.63	0.21	-1.24	-0.29	-1.53	1.36	3.41	1.87	1.86	0.17	0.01	-0.34
201	-0.97	1.39	0.56	1.64	0.90	3.67	5.09	3.79	4.05	2.02	0.81	-0.62
182	-0.32	0.60	-0.85	0.14	-1.18	1.62	3.41	2.06	2.20	0.45	0.06	-0.07
180	-1.25	-0.18	-1.80	-0.66	-1.64	0.65	2.15	1.01	1.27	-0.19	-0.69	-0.97
179	-1.71	0.00	-1.10	-0.83	-1.73	0.17	2.11	0.64	1.24	-0.09	-0.92	-1.38
178	-0.67	0.38	-1.17	-0.47	-1.83	0.63	2.10	1.08	1.62	0.06	-0.18	-0.31
175	-0.73	0.40	-1.20	-0.51	-1.78	-0.06	1.26	0.39	1.25	0.10	-0.31	-0.50
170	-1.30	0.17	-1.22	-0.14	-1.41	0.98	2.50	1.35	1.83	0.35	-0.22	-0.83
169	-0.52	0.42	-1.20	-0.23	-1.65	0.66	2.10	1.02	1.61	0.07	-0.30	-0.22
168	-0.46	0.71	-1.25	-0.81	-2.41	-1.05	-0.05	-0.67	0.81	0.05	-0.21	-0.21
167	-1.46	0.20	-1.21	-0.82	-2.01	-0.33	0.52	-0.59	0.47	-0.33	-0.66	-1.06
152	-0.68	0.56	-1.31	-0.20	-1.56	1.21	2.83	1.07	1.16	-0.09	-0.28	-0.30
151	-0.62	0.11	-1.48	-0.26	-1.56	1.34	3.05	1.78	1.71	0.31	-0.18	-0.31
150	-1.27	-0.35	-1.73	-0.65	-1.91	0.71	2.45	0.92	1.29	-0.30	-0.67	-1.18
149	-1.51	-0.02	-1.23	-0.44	-1.74	0.88	2.84	1.70	1.73	0.14	-0.59	-1.29
145	-1.27	0.06	-1.13	-0.21	-1.48	1.13	2.82	1.67	1.62	0.22	-0.41	-0.95
142	-1.79	-0.32	-1.77	-0.59	-1.72	0.68	2.08	0.87	1.29	-0.31	-0.75	-1.36
123	-1.24	-0.23	-1.34	-0.22	-1.29	1.43	2.99	1.64	1.57	0.07	-0.44	-0.95
121	-0.41	0.17	-1.09	0.09	-1.14	1.77	3.77	2.29	2.46	0.35	-0.04	-0.20
119	-0.97	0.06	-1.38	-0.31	-1.58	1.46	3.29	2.06	1.73	0.12	-0.18	-0.60
111	-1.36	0.16	-1.12	-0.24	-1.38	0.87	2.03	1.08	1.42	0.06	-0.53	-1.02
106	-1.04	-0.10	-1.57	-0.43	-1.18	1.48	3.01	1.93	1.76	0.12	-0.51	-0.64
105	-1.44	-0.34	-1.70	-0.66	-1.82	0.90	2.71	1.43	1.34	-0.17	-0.66	-1.08
98	-0.64	0.19	-1.37	-0.24	-1.47	1.05	2.73	1.58	1.79	0.04	-0.20	-0.51

Seguendo il medesimo procedimento di calcolo, si passa ora all'analisi del bias sulle temperature massime. Dalla tabella 6, emerge come vi sia un andamento opposto rispetto a quello sulle temperature minime, con una prevalenza di valori sottostimati nell'arco dell'anno soprattutto nel trimestre primaverile, il cui picco corrisponde al mese di maggio per la quasi totalità delle stazioni con valori che superano i -2°C. Il mese di luglio è quello

in cui si concentra la sovrastima del modello con un bias che raggiunge i $+5^{\circ}\text{C}$ della stazione 201.

Per avere una visione d'insieme degli andamenti degli errori del modello nell'area di studio, è stato calcolato anche il bias mediato su tutte le stazioni per singolo mese (Figura 13), così da cogliere meglio gli andamenti stagionali. Si nota come generalmente il fattore correttivo per tutti e tre parametri di temperatura segua un andamento simile con valori generalmente maggiori nei mesi che vanno da giugno ad ottobre e valori minori in quelli da novembre a maggio.

Inoltre, quello relativo alle temperature minime è positivo per quasi tutti i mesi variando tra gli 0 ed i $+3^{\circ}\text{C}$, quello sulle temperature massime, ad eccezione del picco d'estate e di fine estate, si attesta su valori prossimi allo zero o di poco inferiori o superiori, mentre quello sulla T media si pone tra i due precedenti seguendone l'andamento. Va considerato comunque che i valori mediati a scala mensile per tutte le stazioni rappresentano un dato del comportamento medio del modello nel simulare i valori di temperatura e possono risultare essere influenzati dai casi di valori di stazioni anomali che influiscono sulla media.

Di conseguenza, un'altra analisi di sintesi circa gli andamenti dei tre fattori correttivi a scala mensile può essere la media annuale di quest'ultimi per ogni stazione, che permette di cogliere la variabilità tra stazioni (Figura 14). È evidente come il bias della temperatura minima sia sovrastimato per quasi tutte le stazioni, fatta eccezione la nr. 123 e 180, e quello con il valore assoluto maggiore con un range che varia da -0.5°C a $+2.5^{\circ}\text{C}$. Quello relativo alla temperatura massima è quello che maggiormente rispecchia i dati osservati con una variazione nel range -0.5°C e $+0.5^{\circ}\text{C}$, ad eccezione della stazione 201 in cui raggiunge quasi i $+2^{\circ}\text{C}$. Infine, quello calcolato sulla temperatura media, si pone tra i due precedenti, con un range di circa -0.5°C e $+1^{\circ}\text{C}$ con una prevalenza di quelli positivi.

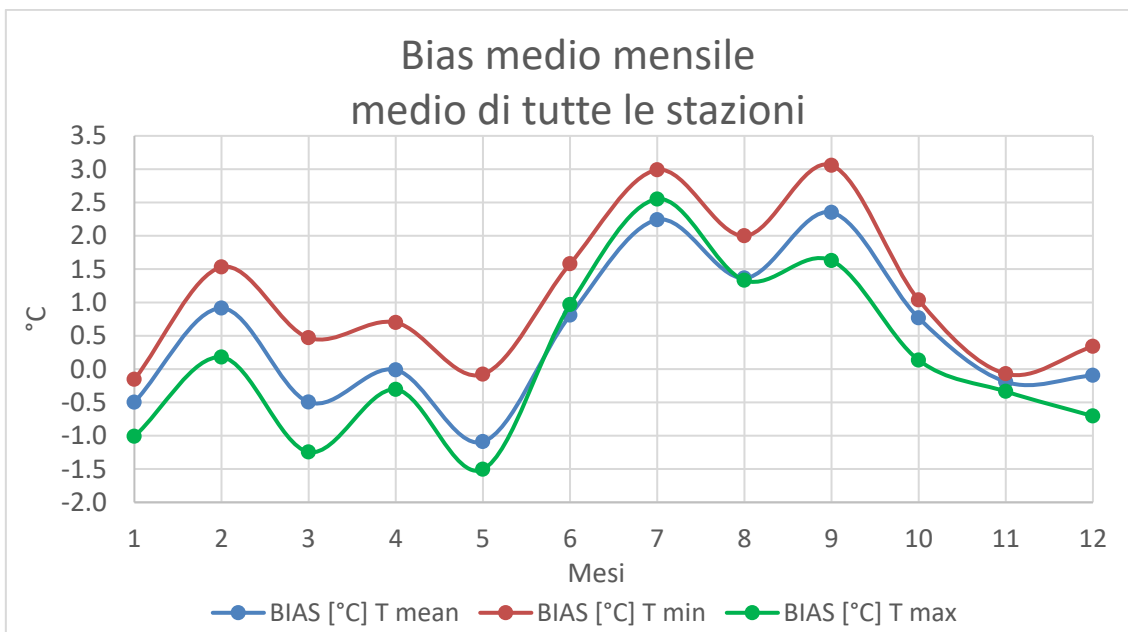


Figura 13: Andamento dei valori dei bias mensili della temperatura media, minima e massima medi per ogni mese.

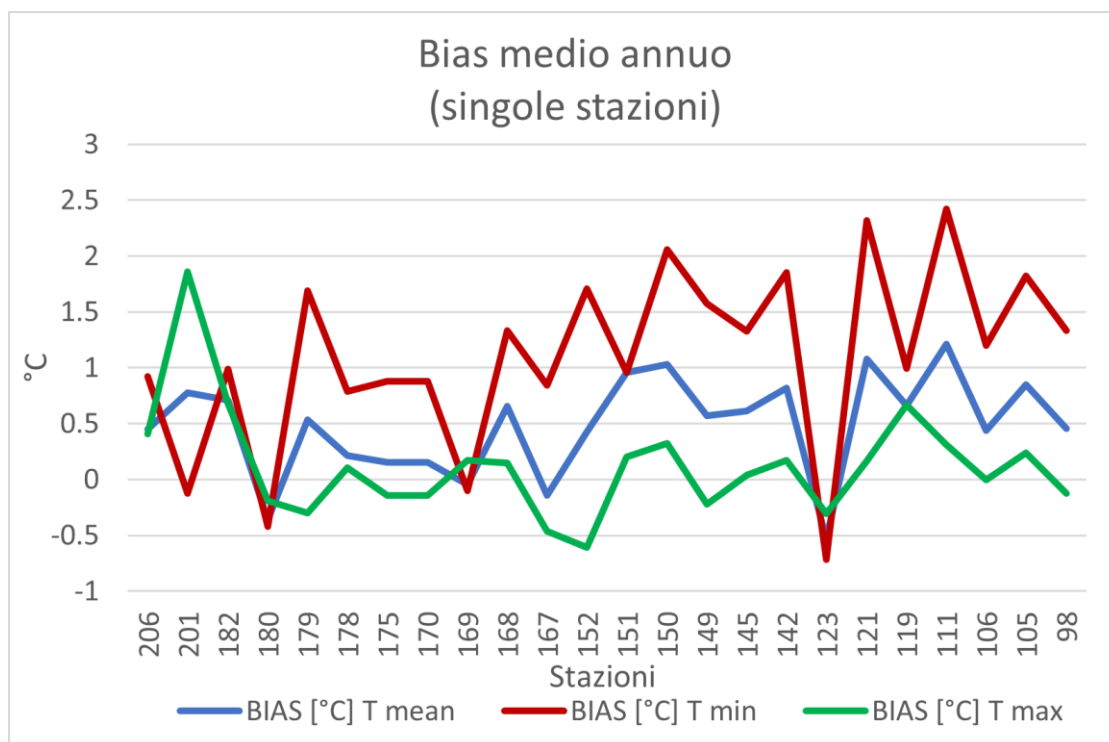


Figura 14: Andamento dei valori dei bias medi annuali della temperatura media, minima e massima per ogni stazione

5.1.2. Applicazione del fattore correttivo alla nuova serie derivante dalla media mobile su finestra di 15 anni

Una volta calcolati i bias per singola stazione, si è calcolata la media mobile su finestre di 15 anni, per ogni valore mensile di temperatura (T_{media} , T_{min} , T_{max}), ottenendo così una serie di valori di temperatura mensili per ogni anno della nuova serie (2002- 2063), per ogni stazione e per ogni scenario. Tale procedura, esposta nel capitolo 4.1.5, permette di “appianare” le serie originarie rendendole meno “fluttuanti” ed adatte alla successiva fase di calcolo dell’evapotraspirazione prima e quella di studio delle tendenze future poi. A queste, sono stati applicati per differenza i fattori correttivi precedentemente calcolati ottenendo le rispettive serie corrette. Si rappresentano di seguito i risultanti valori medi di temperatura media (Figura 15), minima (Figura 16) e massima (Figura 17) e Δ_t (Figura 18) ottenuti mediando i valori di tutte le stazioni per ogni anno della serie (2002- 2063), prima e dopo la correzione.

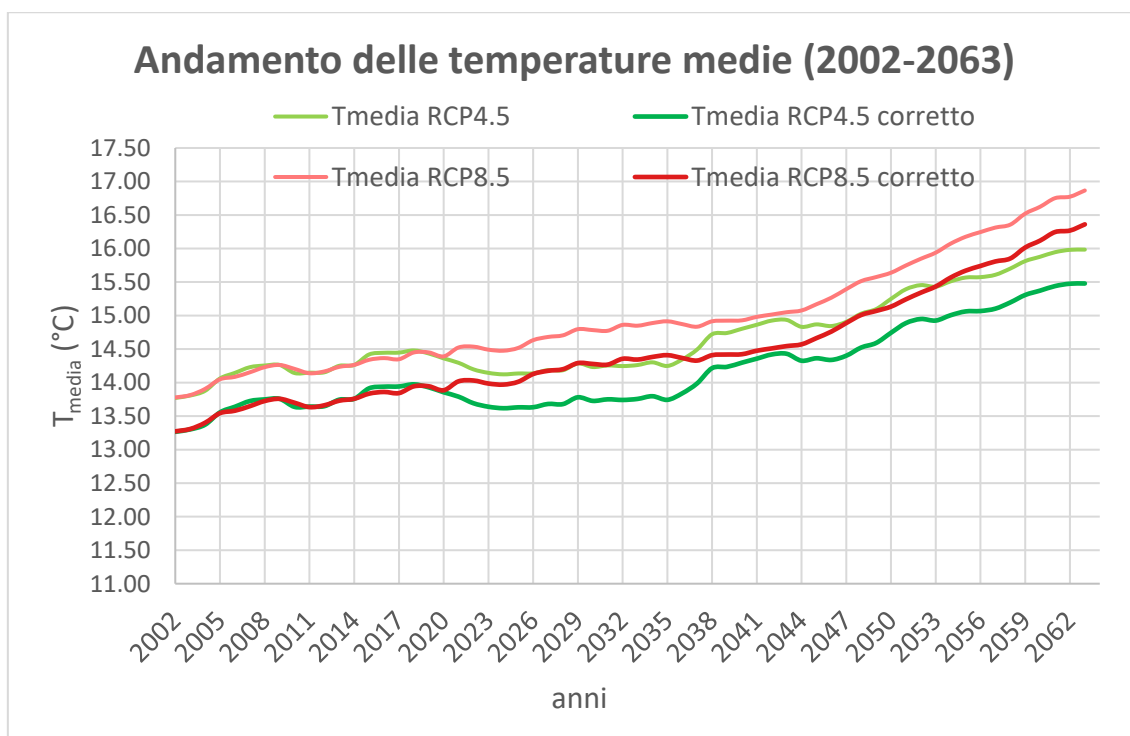


Figura 15: Andamento temporale dei valori mediati su tutte le stazioni delle temperature medie (°C) nel periodo di analisi (2002- 2063) per entrambi gli scenari di emissione e per modello corretto e non.

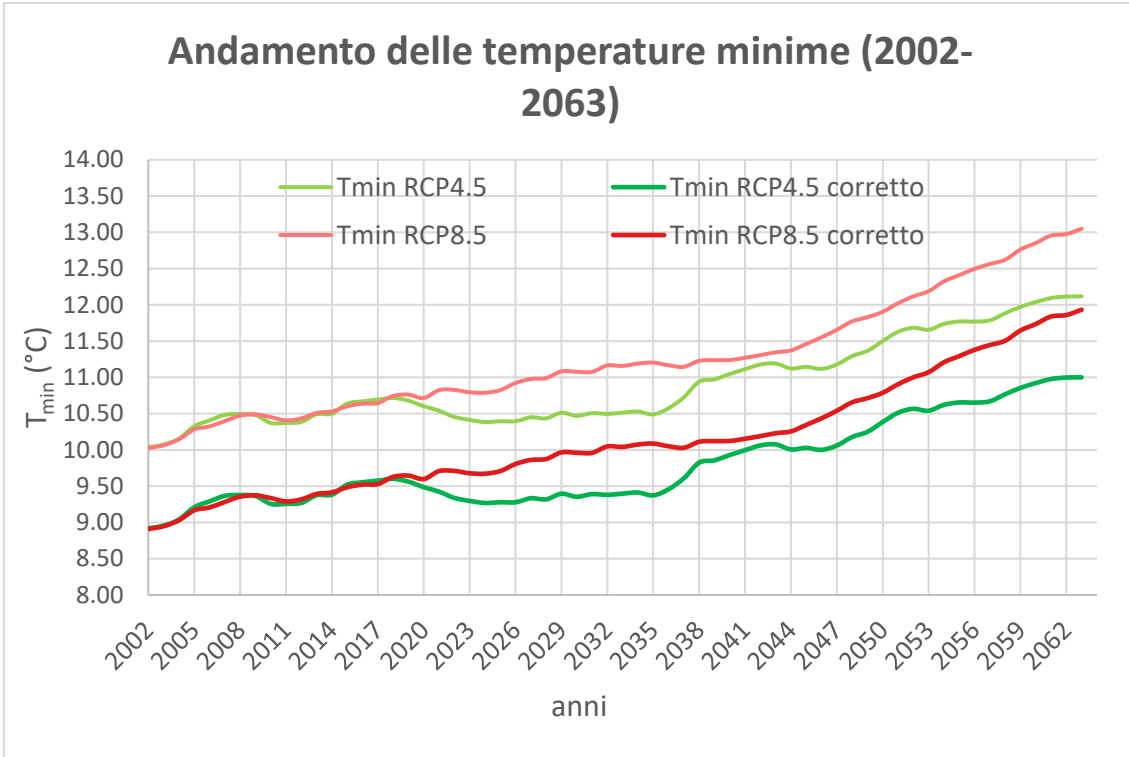


Figura 16: Andamento temporale dei valori mediati su tutte le stazioni delle temperature minime (°C) nel periodo di analisi (2002- 2063) per entrambi gli scenari di emissione e per modello coretto e non.

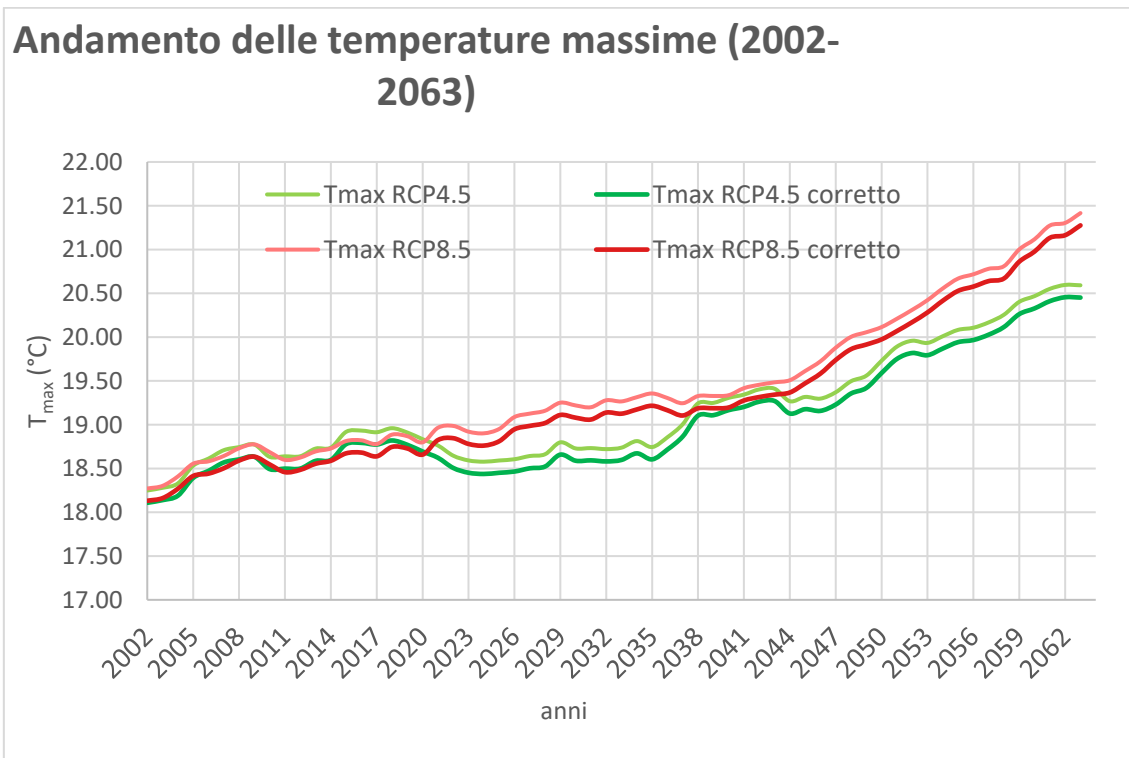


Figura 17: Andamento temporale dei valori mediati su tutte le stazioni delle temperature massime (°C) nel periodo di analisi (2002- 2063) per entrambi gli scenari di emissione e per modello coretto e non.

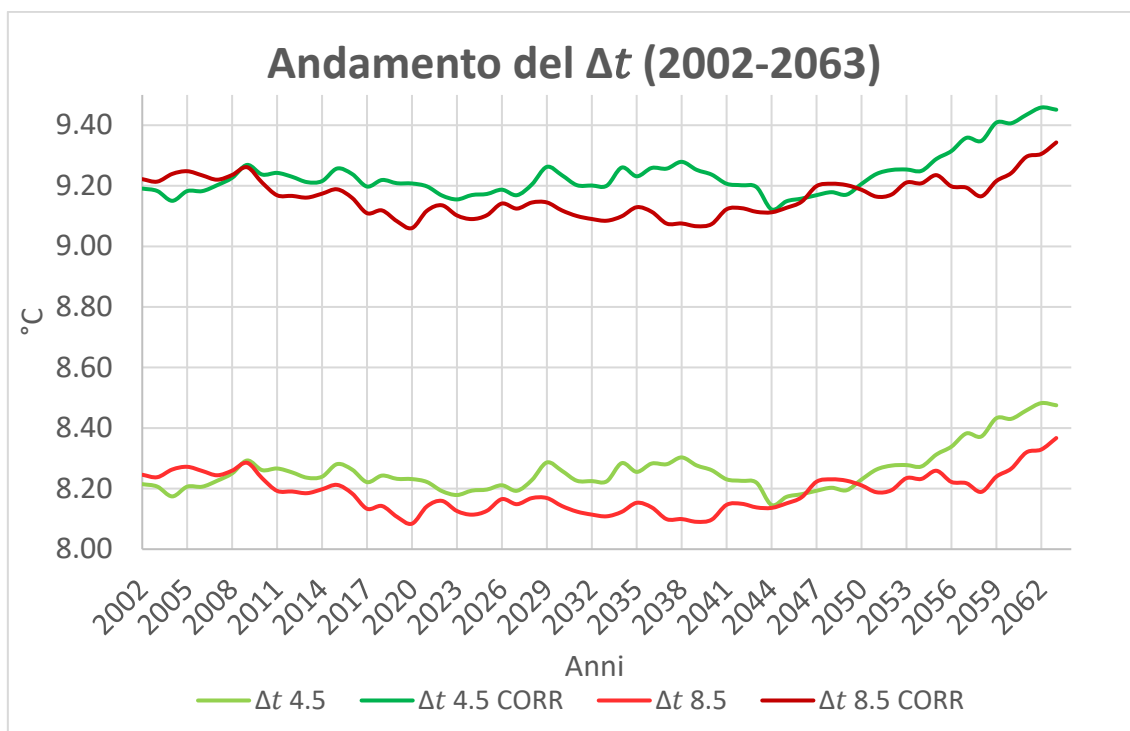


Figura 18: Andamento temporale dei valori mediati su tutte le stazioni del Δt (°C) nel periodo di analisi (2002- 2063) per entrambi gli scenari di emissione e per modello corretto e non.

Partendo dal confronto tra i due scenari di emissione, RCP 4.5 ed 8.5, è evidente l'andamento crescente a lungo termine delle temperature, sia esse medie, minime e massime per entrambi gli scenari. Inoltre, per tutti i tre parametri di temperatura, le differenze in termini di andamento temporale dei due scenari diventa rilevante dall'anno 2020 in poi, dove nell'RCP 4.5 le azioni di mitigazione portano ad un decremento delle emissioni atmosferiche con conseguente diminuzione delle temperature fino all'anno 2026, per poi tornare a crescere abbastanza costantemente. Invece, i dati relativi allo scenario RCP 8.5, suggeriscono una crescita continua delle emissioni atmosferiche che ne determinano un andamento analogo delle temperature, con un tasso di crescita maggiore dall'anno 2044 in poi.

Confrontando poi i due scenari con i medesimi riferiti alle serie corrette si osserva una traslazione delle curve rappresentative dei valori di temperature nel tempo verso valori più bassi, confermando i ragionamenti fatti in merito ai risultati del calcolo dei bias. Infatti, le differenze tra le serie corrette e non, risultano più marcate per le temperature minime, rispetto a quelle delle medie e soprattutto delle massime, nelle quali la traslazione delle curve verso il basso è minore.

Considerando ora i soli scenari corretti che verranno impiegati per l'analisi delle tendenze future e per il confronto, il valore di temperatura medio mediato per tutte le stazioni passa da poco più di 13 °C nel 2002 fino a circa 15°C per l'RCP 4.5 e 16 °C per RCP 8.5. Analogamente, la temperatura minima media annuale parte da 9°C fino a raggiungere gli 11 °C nell'RCP 4.5 ed i 12 °C nell'RCP 8.5, mentre la massima da 18 °C a quasi 20.5 °C e 21.5 °C rispettivamente.

Il valore medio degli scarti annuali è simile tra i due scenari (circa +8.2 °C), con valori leggermente inferiori nello scenario 8.5 rispetto al 4.5 per quasi tutti gli anni.

La correzione porta ad un incremento dello scarto e quindi ad una traslazione della curva di circa +1 °C per entrambi gli scenari.

5.1.3. Calcolo di ET_0 mediante l'equazione di "Hargreaves"

Alla serie di valori di temperature corrette ed estratte mediante la procedura della media mobile su finestre di 15 anni è possibile applicare il metodo di Hargreaves per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale come spiegato dettagliatamente nel capitolo 4.1.6..

Come per le serie di temperatura ed al fine di permettere una prima visione sintetica dei valori delle variabili di interesse, si rappresenta in seguito l'andamento temporale dell'evapotraspirazione media giornaliera annuale, calcolata come media dei valori di tutte le stazioni (Figura 19).

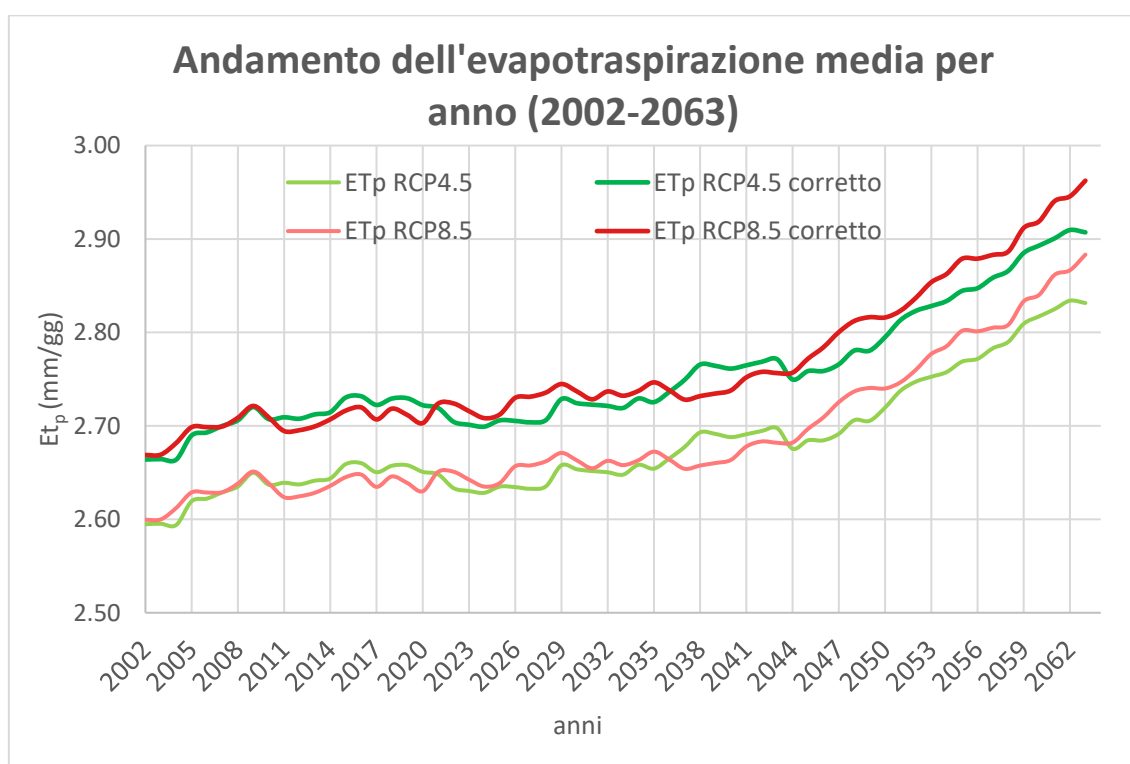


Figura 19: Andamento temporale dei valori mediati su tutte le stazioni dell'evapotraspirazione potenziale (mm/gg) nel periodo di analisi (2002- 2063) per entrambi gli scenari di emissione e per modello corretto e non.

Generalmente i valori di evapotraspirazione giornaliera si mantengono nel range di circa 2.68– 2.75 mm/gg dal 2002 al 2044 per entrambi gli scenari di emissione, e dal 2044 si ha un più rapido incremento fino a poco meno di 3 mm/gg per lo scenario RCP 8.5 corretto e 2.9 mm/gg per RCP 4.5 corretto (da notare che dal 2044 si registrava il rapido incremento della temperatura media).

Le rispettive serie corrette, diversamente da quanto accadeva per i valori di temperatura, si trovano traslate verso l'alto, testimoniando come la procedura di "bias correction" determini un incremento dell'evapotraspirazione media per gli scenari corretti. La ragione è da ricercare nei valori delle temperature minime dopo la correzione, infatti, quest'ultimi sono quelli associati ad un fattore correttivo maggiore che determina un discostamento più marcato tra i valori di temperatura minima dello stesso scenario (Figura 16), rispetto a quelli relativi alla temperatura massima e media. Più semplicemente lo scenario corretto, su cui viene calcolata l'evapotraspirazione, presenta rispetto all'originale valori di temperatura minima molto diminuiti rispetto alle rispettive diminuzioni dei valori medi e massimi, aumentando così il divario Δ_t ($T_{\max} - T_{\min}$) che nella formula di Hargreaves riassume l'andamento dell'umidità e della nuvolosità (Hargreaves e Allen, 2003).

5.1.4. Studio delle tendenze future delle temperature e dell'evapotraspirazione di riferimento

Una volta ottenuti i dati di temperatura ed il rispettivo valore di evapotraspirazione potenziale per ogni intervallo temporale della serie, a scala annuale o mensile, è possibile applicare il test statistico di “Mann-Kendall” abbinato al calcolo della “Sen’s Slope” per studiarne le tendenze future. In questo capitolo si riportano i risultati dell’applicazione di tale metodo per i valori di temperatura ed evapotraspirazione sia a scala annuale che mensile permettendo di analizzare le tendenze non solo negli anni, ma anche nei mesi. L’applicazione ha riguardato le due serie corrette CPM RCP 4.5 e RCP 8.5, in modo tale da poter ottenere un confronto indicativo delle diverse conseguenze ai cambiamenti climatici in funzione dell’intensità della forzante.

Lo studio si concentrerà innanzitutto sulle tendenze future delle temperature, valutandone le variazioni e la significatività dei risultati per ogni stazione, prima a scala annuale e poi mensile. Successivamente, si passa alla rappresentazione delle tendenze dei valori di evapotraspirazione e rispettiva significatività. Per ognuno dei parametri studiati e per ogni scenario è stata costruita una tabella riassuntiva contenente i risultati delle tendenze future espressi mediante l’indice statistico della “Slope”, espressa come variazione in 10 anni, per quanto riguarda i valori di temperatura, mentre per l’evapotraspirazione si è ricorsi alla “%Slope”, che esprime la variazione percentuale in dieci anni rispetto al valore medio del periodo. Di conseguenza i valori di “Slope” o “%Slope” esprimono la magnitudo del cambiamento e la tendenza a crescere o decrescere della tendenza, mentre il “Pvalue”, ottenuto dal test di Mann-Kendall”, ne definisce la significatività.

5.1.5. Tendenze annuali delle temperature

In questa sezione si riportano i risultati riferiti alle tendenze future delle temperature media, minima, massima e Δ_t ($T_{\max} - T_{\min}$) ($^{\circ}\text{C}$) a scala annuale. Differentemente da quanto esposto precedentemente nel capitolo 5.1.2., in cui venivano rappresentati i valori di temperatura mediati per tutte le stazioni, in questo viene riportata la distribuzione temporale delle variabili di interesse per singola stazione intese come media annua del periodo. Pertanto, per ovvie questioni di spazio, si rappresentano a titolo di esempio solo i risultati di dettaglio per la stazione nr. 98 per i 4 valori di temperatura di interesse e per i due scenari di emissione RCP 4.5 e RCP 8.5 (Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23).

I risultati delle tendenze sono riassunti per tutte le 24 stazioni nella Tabella 9, nella quale i valori indicano la variazione del parametro specifico ogni 10 anni (“Slope”) in gradi centigradi ($^{\circ}\text{C}$). La tematizzazione è riportata nella Tabella 7 per le tendenze sulle temperature, mentre nella Tabella 8 per quella sui Δ_t , con valori significativi in grassetto (significativo al 5%, se “Pvalue” < 0.05) e con l’intensità del trend che è rappresentata dal colore della cella.

Le figure 23, 24, 25 e 26 rappresentano i rispettivi valori assoluti nei 63 anni, in gradi centigradi ($^{\circ}\text{C}$), ponendosi come possibili indicatori della variazione attesa delle temperature.

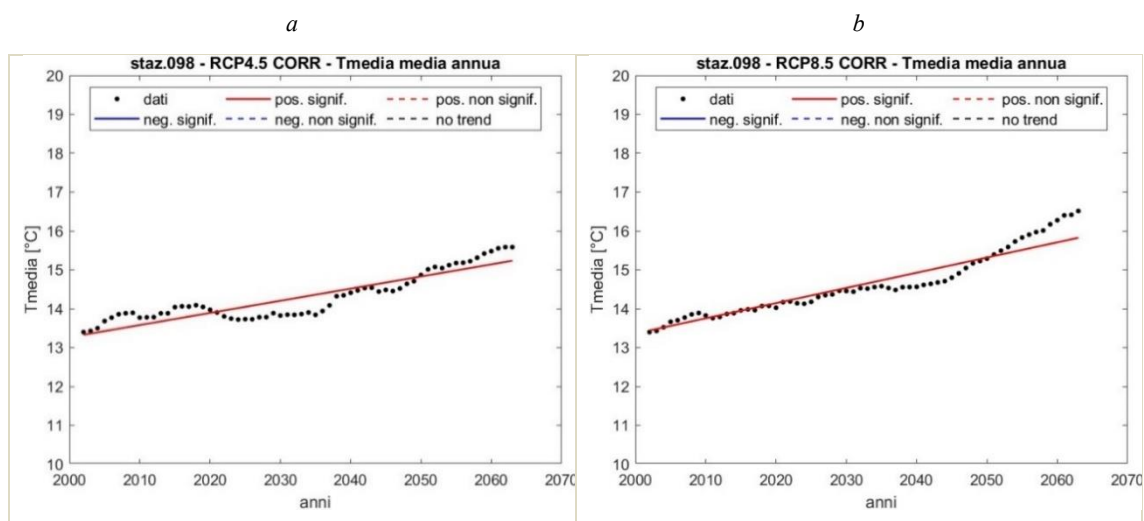


Figura 20: Andamento annuale della T_{media} , tendenza e significatività per la stazione 98 per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM- RCP8.5 (b).

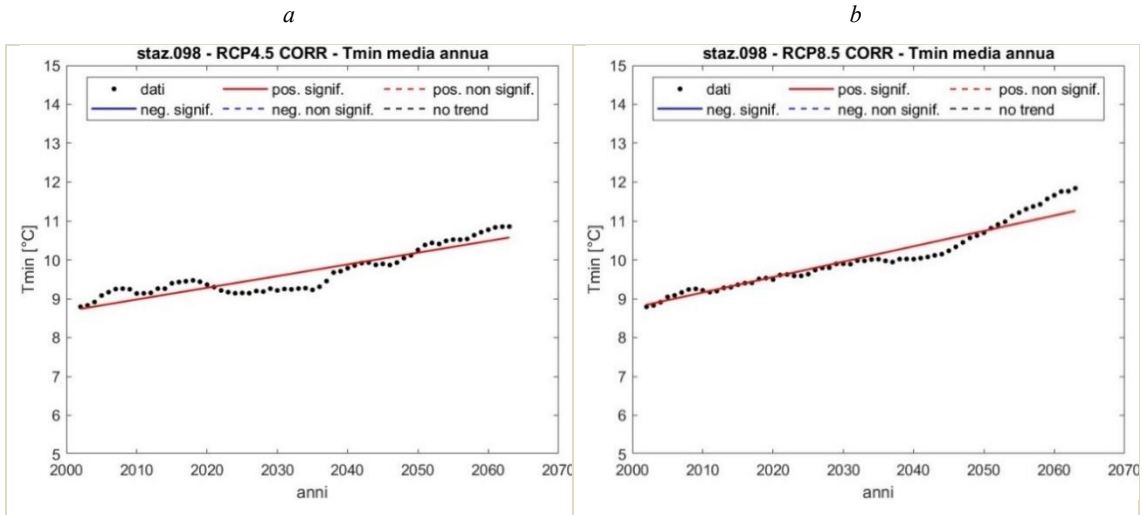


Figura 21: Andamento annuale della T_{\min} , tendenza e significatività della stazione 98 per la serie CPM- RCP 4.5 (a) e CPM- RCP 8.5 (b).

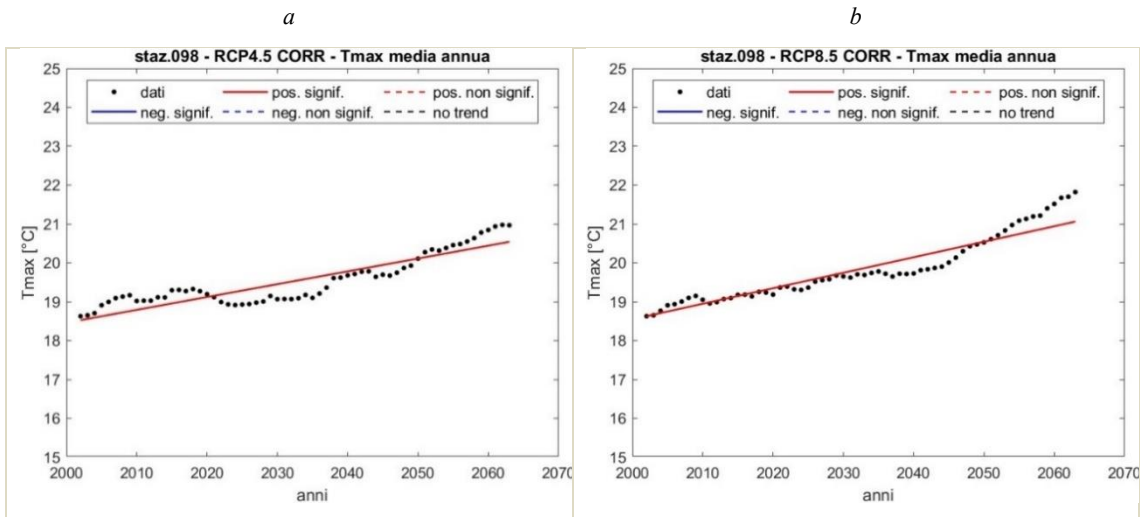


Figura 22: Andamento annuale della T_{\max} , tendenza e significatività della stazione 98 per la serie CPM- RCP 4.5 (a) e CPM- RCP 8.5 (b).

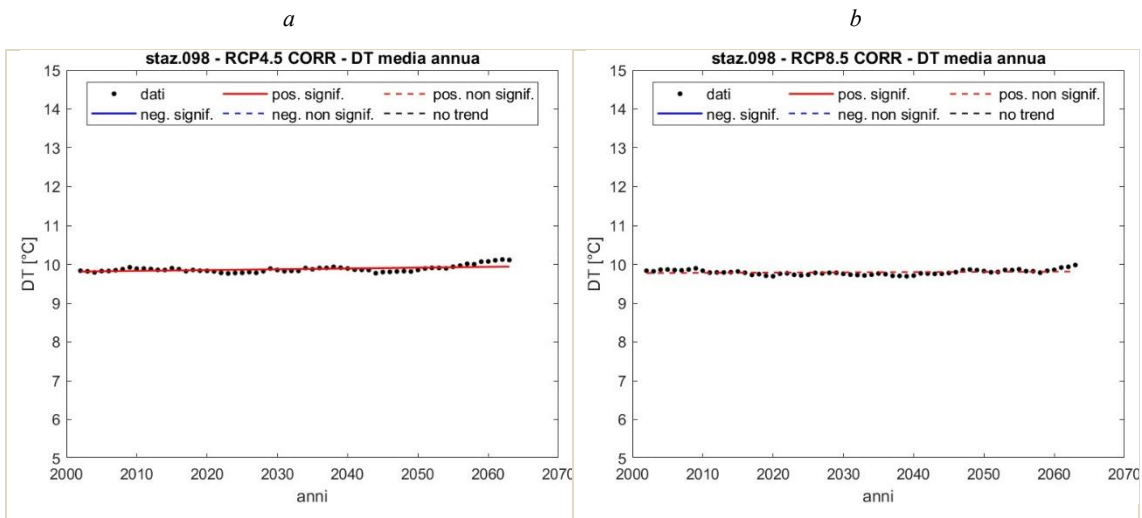


Figura 23: Andamento annuale del Δ_T , tendenza e significatività della stazione 98 per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM- RCP8.5 (b).

L'andamento delle temperature della stazione nr. 98 prese d'esempio per entrambi gli scenari d'emissione, rispecchia qualitativamente quello di tutte le stazioni illustrato nel capitolo 5.1.2., con una tendenza crescente (positiva) e significativa (livello significatività del 5%), e valori maggiori per lo scenario dall'RCP 8.5. Inoltre, è possibile notare come la pendenza del trend risulti maggiore per lo scenario a maggior criticità rappresentato dall'RCP 8.5 rispetto all'RCP 4.5 per tutte e tre le temperature, così come i rispettivi valori a parità di anno.

Il Δ_t risulta positivo e significativo per lo scenario RCP 4.5, sebbene con una pendenza nettamente inferiore rispetto a quella riscontrata per le temperature medie, minime e massime, com'era ipotizzabile vista la tendenza di crescita simile di T_{min} e di T_{max} che non porta ad un incremento considerevole del delta tra i due. Considerazioni differenti per quanto riguarda la serie CPM RCP 8.5, nella quale la significatività è inferiore a quella soglia, considerata sufficientemente attendibile nel presente studio, pari al 5% conferendo un grado di incertezza ai risultati che sembrerebbero suggerire una leggera crescita. Questo comportamento pare legato alla maggiore crescita che si ha per T_{min} in questo scenario.

Si riportano ora, nella tabella seguente (Tabella 9), i risultati delle tendenze future per i valori di temperature, intese come variazioni medie annuali in gradi centigradi ($^{\circ}C$) ogni 10 anni rispetto al valore medio di ogni parametro di temperatura, nel periodo di analisi (i cui valori vengono riportati nell'allegato 1, in appendice). Quest'ultime si riferiscono ai valori di ogni stazione suddivise per scenario di emissione (RCP 4.5 e RCP 8.5).

Tabella 7: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend delle temperature (media, minima e massima), riportato nella Tabella 9..

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Var. Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) > 0.40
	$0.40 \geq$ Var.Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) > 0.32
	$0.32 \geq$ Var.Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) > 0.31
	$0.31 \geq$ Var.Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) > 0.30
	$0.30 \geq$ Var.Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) > 0.29
	Var.Temperatura ($^{\circ}C/10$ anni) \leq 0.29

Tabella 8: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend del Δ_t riportato nella Tabella 9..

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Δ_t (°C/10 anni) ≥ 0.016
	$0.008 \leq \Delta_t$ (°C/10 anni) < 0.016
	$0 \leq \Delta_t$ (°C/10 anni) < 0.008
	$0 > \Delta_t$ (°C/10 anni) ≥ -0.008
	$-0.008 > \Delta_t$ (°C/10 anni) ≥ -0.016
	Δ_t (°C/10 anni) < -0.016

Tabella 9: variazione assoluta (°C/10 anni) di T_{media} , T_{min} , T_{max} e Δ_t per le due serie CPM-RCP4.5 e CPM-RCP8.5.

Variazione delle temperature (°C/10 anni) - Trend annuali								
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO				RCP8.5 CORRETTO			
	T_{media}	T_{min}	T_{max}	Δ_t	T_{media}	T_{min}	T_{max}	Δ_t
98	0.31	0.3	0.33	0.02	0.39	0.40	0.40	0.01
105	0.33	0.31	0.34	0.02	0.40	0.40	0.41	0.01
106	0.33	0.36	0.31	-0.02	0.40	0.39	0.40	0.01
111	0.31	0.3	0.32	0.01	0.38	0.38	0.38	0.00
119	0.32	0.31	0.33	0.01	0.39	0.40	0.40	0.01
121	0.31	0.3	0.33	0.02	0.39	0.39	0.40	0.01
123	0.32	0.31	0.33	0.02	0.39	0.39	0.40	0.01
142	0.32	0.31	0.33	0.01	0.39	0.38	0.39	0.00
145	0.32	0.3	0.33	0.02	0.39	0.38	0.40	0.01
149	0.32	0.31	0.33	0.02	0.39	0.38	0.40	0.01
150	0.32	0.31	0.33	0.01	0.39	0.39	0.40	0.01
151	0.32	0.31	0.33	0.02	0.39	0.39	0.40	0.01
152	0.31	0.3	0.33	0.02	0.39	0.39	0.40	0.01
167	0.3	0.3	0.3	-0.01	0.39	0.39	0.38	-0.01
168	0.3	0.29	0.3	-0.01	0.39	0.40	0.39	-0.01
169	0.31	0.3	0.32	0.02	0.39	0.39	0.39	0.00
170	0.32	0.31	0.33	0.02	0.39	0.38	0.40	0.02
175	0.3	0.29	0.32	0.01	0.39	0.39	0.39	0.00
178	0.3	0.29	0.31	0.01	0.39	0.39	0.39	0.00
179	0.31	0.3	0.32	0.01	0.39	0.39	0.39	0.01
180	0.33	0.27	0.39	0.09	0.30	0.33	0.27	-0.03
182	0.31	0.3	0.33	0.02	0.39	0.39	0.39	0.00
201	0.32	0.31	0.33	0.02	0.39	0.38	0.40	0.02
206	0.31	0.3	0.33	0.02	0.39	0.39	0.39	0.01
media	0.32	0.30	0.33	0.02	0.39	0.39	0.39	0.00

Come per la stazione 98 i valori della temperatura media, minima e massima annuali risultano significativi e crescenti per entrambi gli scenari e per tutte le stazioni, con variazioni positive maggiori nel caso dello scenario più gravoso (RCP 8.5). Infatti, la media delle variazioni annuali dei valori di T_{media} di tutte le stazioni risulta di $+0.32^{\circ}\text{C}/10$ anni per lo scenario RCP 4.5, mentre di $+0.40^{\circ}\text{C}/10$ anni nell'RCP 8.5. Allo stesso modo, la media delle variazioni sulle T_{min} annuali passa da $+0.30$ a $+0.39^{\circ}\text{C}/10$ anni ed quella sulle T_{max} annuali: da $+0.33$ a $+0.39^{\circ}\text{C}/10$ anni, rispettivamente per lo scenario RCP 4.5 ed RCP 8.5 (Tabella 9).

Per quanto riguarda il Δ_t , nello scenario RCP 4.5 l'88% delle stazioni presenta un trend positivo, e quindi crescente, con una significatività del 5%, l'8% circa non significativo e negativo ed il restante 4% negativo significativo. Nello specifico le stazioni 167 e 168 sono le due non significative, mentre l'unica significativa negativa è la 106. Solo il 25% delle stazioni presenta tendenze significative passando allo scenario RCP 8.5, delle quali il 16% positive e circa 8% negative (stazioni 167 e 168), con un restante 75% di stazioni con incrementi non significativi nel quale le sole stazioni 175, 178 e 180 (12.5% del totale) di segno negativo.

Più nel dettaglio, la media delle tendenze Δ_t annuali delle singole stazioni risulta di $+0.02^{\circ}\text{C}/10$ anni nello scenario RCP 4.5 con una significatività maggiore rispetto allo $+0.00$ dello scenario RCP 8.5.

Emerge chiaramente come le tendenze incrementali più marcate siano riferite ai valori di temperatura minima, media e massima con valori medi di tutte le stazioni che superano i $+0.39^{\circ}\text{C}/10$ anni per lo scenario RCP 8.5 e i $+0.30^{\circ}\text{C}/10$ anni nell'RCP 4.5, rispetto alle variazioni nei valori delle differenze Δ_t annuali che, pur essendo caratterizzati da una diversa significatività, sono quasi nulli per entrambi gli scenari. Inoltre, i valori di tendenza dei tre parametri di temperatura delle stazioni risultano generalmente maggiori nello scenario RCP 8.5 rispetto a quelli dell'RCP 4.5.

Per dare un'idea più chiara del cambiamento atteso nei valori delle temperature nell'intero periodo di analisi e le differenze tra i due scenari, si è scelto di rappresentare le variazioni esposte nella Tabella 9 come variazioni assolute di temperatura media annuale ($^{\circ}\text{C}$) di T_{media} , T_{minima} , $T_{massima}$ e Δ_t in 63 anni. Queste vengono rappresentate nelle mappe seguenti (rispettivamente Figure 23, 24, 25 e 26) nelle quali ciascun punto corrisponde

ad una stazione ed il colore è rappresentativo dell'intensità del cambiamento, i cui valori assoluti sono riassunti nella Tabella 12.

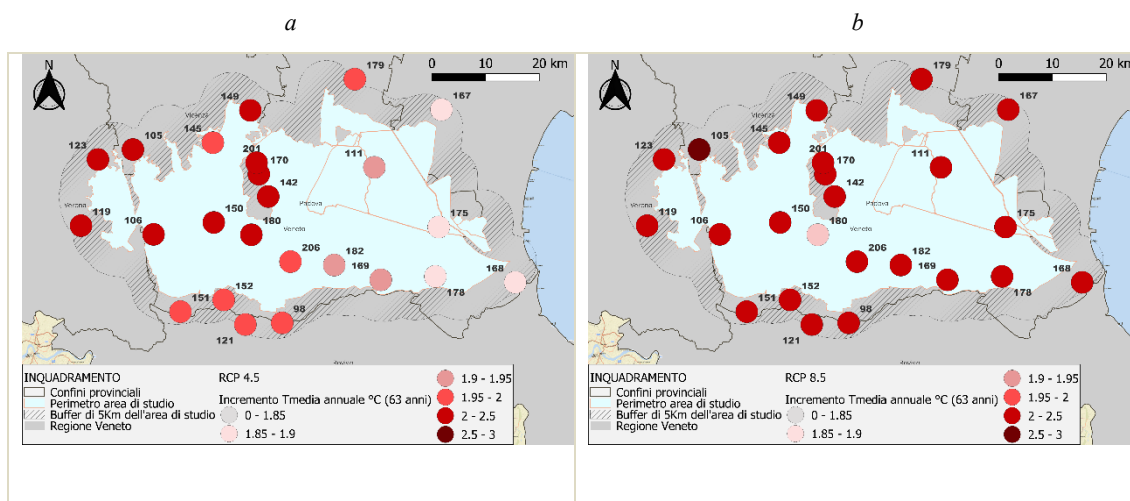


Figura 24: Incremento della T_{media} annuale in 63 anni per le serie CPM RCP 4.5 (a) e CPM RCP 8.5 (b).

Per la serie CPM- RCP 4.5 si riscontrano valori in crescita nell'intervallo tra $+1.86$ e $+2.1$ °C con una media di circa $+2$ °C, inoltre, i valori più bassi si concentrano nelle stazioni prospicienti la costa e quelli più alti in quelle interne. Tale differenza è meno marcata nello scenario RCP 8.5, nel quale si ha una distribuzione spaziale uniforme con tutte le stazioni che presentano valori prossimi ai $+2.5$ °C, fatta eccezione per la nr. 180, nella quale è pari a $+1.87$ °C.

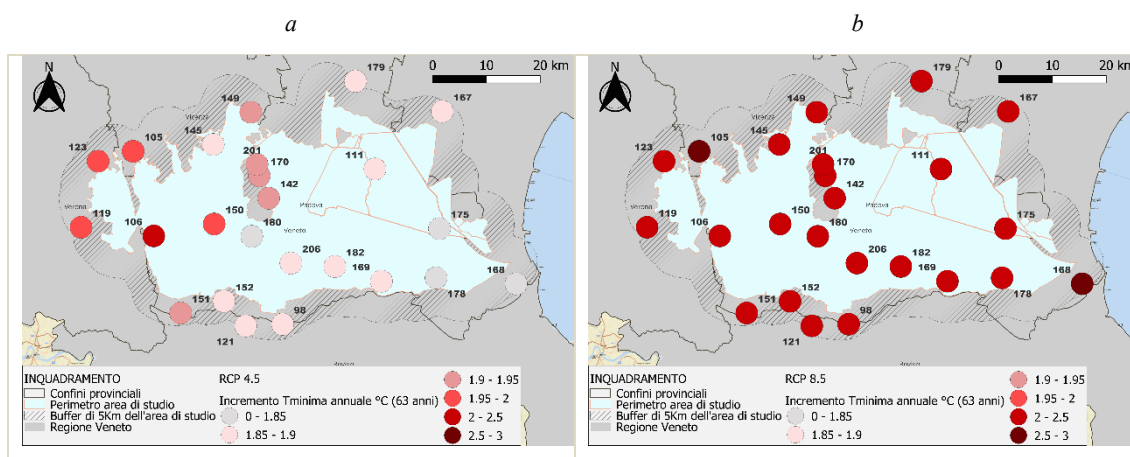


Figura 25: Incremento della T_{min} annuale in 63 anni per le serie CPM RCP 4.5 (a) e CPM RCP 8.5 (b).

Lo scenario RCP 4.5 riferito alla T_{min} annuale presenta un intervallo tra $+1.7$ e $+2.2$ °C ed un valore medio di $+1.9$ °C ed anche in questo caso una tendenza a valori più alti

nell'entroterra. Nell'RCP 8.5 l'intervallo varia tra circa +2 e +2.5 °C con un valore medio di +2.4°C ed una minore variabilità spaziale.

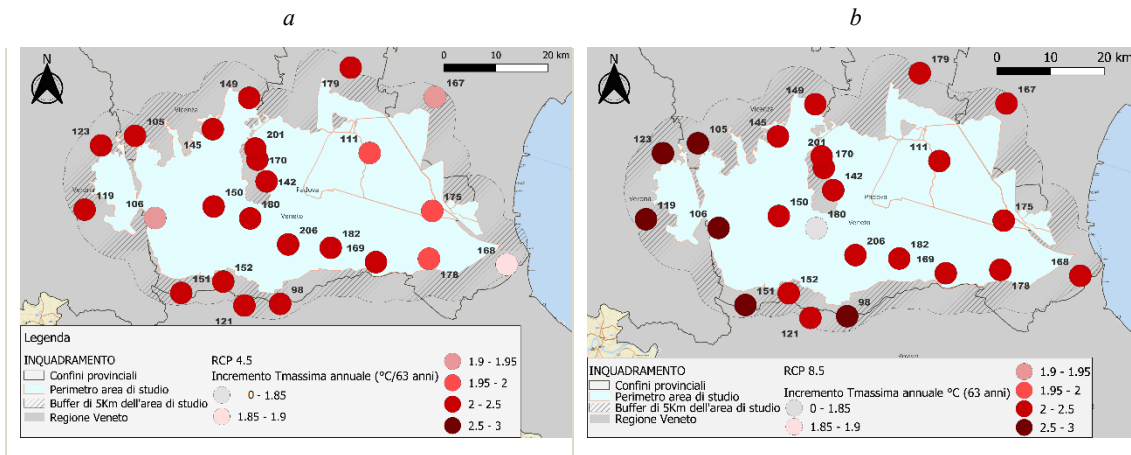


Figura 26: Incremento della $T_{massima}$ annuale in 63 anni per le serie CPM RCP 4.5 (a) e CPM RCP 8.5 (b).

Le variazioni attese della T_{max} annuale per la serie CPM- RCP 4.5 risultano maggiori rispetto a quelle sulla T_{min} , coprendo un intervallo tra +1.9 e +2.4 °C e presentando un minor grado di variabilità spaziale. L'RCP 8.5 presenta valori molto simili a quelli relativi alla T_{min} con variazioni positive di concentrate intorno ai +2.5 °C, fatta eccezione per la stazione 180 che presenta un valore nettamente al di sotto della media (circa +1.7 °C).

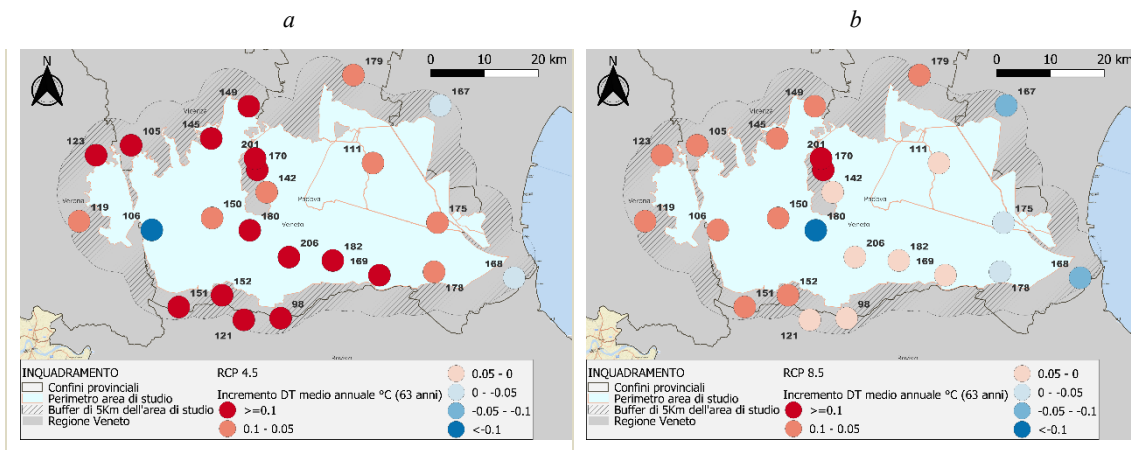


Figura 27: Incremento della Δ_t annuale in 63 anni per le serie CPM RCP4.5 (a) e CPM RCP8.5 (b).

La maggiore crescita delle temperature massime rispetto alle minime nello scenario RCP 4.5, determina un incremento della differenza tra le due, Δ_t ($T_{max} - T_{min}$), che risulta più marcata rispetto alla serie CPM- RCP 8.5. In quest'ultima, infatti, la crescita di T_{max} e T_{min} risultava simile con una conseguente variazione di Δ_t più contenuta. In ogni caso è

possibile notare, per entrambi gli scenari, una prevalenza di variazioni di Δt positive rispetto a quelle negative, con un valore assoluto maggiore dei primi rispetto ai secondi, comunque compresi nell'intervallo di circa +0.15 e -0.15 °C (del Δt medio annuo del periodo 2002- 2063). La variabilità spaziale appare più marcata per RCP 8.5, con variazioni negative o moderatamente positive verso la costa, mentre positive più marcate verso l'entroterra.

Tabella 10: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend delle temperature (media, minima e massima) in termini assoluti (°C/63 anni), riportato nella Tabella 12.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Var. Temperatura (°C/63 anni) > 2.5
	2.5 ≥ Var.Temperatura (°C/63 anni) > 2
	2 ≥ Var.Temperatura (°C/63 anni) > 1.95
	1.95 > Var.Temperatura (°C/63 anni) > 1.9
	1.9 ≥ Var.Temperatura (°C/63 anni) > 1.85
	Var.Temperatura (°C/63 anni) ≤ 1.85

Tabella 11: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend del Δ_t in termini assoluti (°C/63 anni), riportato nella Tabella 12.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Δ_t (°C/63 anni) ≥ 0.1
	0.05 ≤ Δ_t (°C/63 anni) < 0.1
	0 ≤ Δ_t (°C/63 anni) < 0.05
	0 > Δ_t (°C/63 anni) ≥ -0.05
	-0.05 > Δ_t (°C/63 anni) ≥ -0.1
	Δ_t (°C/63 anni) < -0.1

Tabella 12: variazione ($^{\circ}\text{C}/63$ anni) di T_{media} , T_{min} , T_{max} e Δ_t per le due serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5.

Variazione delle temperature ($^{\circ}\text{C}/63$ anni) - Trend annuali								
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO				RCP8.5 CORRETTO			
	T_{media}	T_{min}	T_{max}	Δ_t	T_{media}	T_{min}	T_{max}	Δ_t
98	1.97	1.89	2.08	0.13	2.46	2.49	2.51	0.04
105	2.06	1.98	2.13	0.11	2.52	2.51	2.56	0.06
106	2.11	2.24	1.94	-0.14	2.49	2.49	2.54	0.06
111	1.94	1.88	2.00	0.07	2.41	2.42	2.41	0.00
119	2.04	1.96	2.10	0.09	2.49	2.49	2.53	0.06
121	1.98	1.90	2.07	0.13	2.46	2.48	2.50	0.03
123	2.04	1.96	2.11	0.12	2.47	2.45	2.52	0.08
142	2.01	1.93	2.07	0.08	2.45	2.42	2.46	0.03
145	2.00	1.90	2.09	0.14	2.44	2.42	2.50	0.09
149	2.03	1.93	2.09	0.12	2.47	2.42	2.49	0.09
150	2.04	1.96	2.11	0.09	2.46	2.46	2.50	0.06
151	2.00	1.93	2.10	0.12	2.47	2.47	2.51	0.06
152	1.98	1.90	2.07	0.13	2.45	2.45	2.50	0.06
167	1.89	1.88	1.91	-0.04	2.44	2.48	2.40	-0.07
168	1.86	1.84	1.89	-0.03	2.49	2.53	2.45	-0.08
169	1.94	1.87	2.03	0.11	2.44	2.46	2.46	0.01
170	2.01	1.93	2.08	0.10	2.44	2.42	2.50	0.10
175	1.90	1.84	2.00	0.09	2.44	2.46	2.45	-0.02
178	1.90	1.84	1.98	0.06	2.44	2.47	2.45	-0.03
179	1.98	1.90	2.03	0.08	2.46	2.44	2.48	0.05
180	2.07	1.73	2.44	0.56	1.87	2.08	1.68	-0.17
182	1.95	1.88	2.05	0.13	2.43	2.45	2.46	0.02
201	2.01	1.93	2.08	0.10	2.44	2.42	2.50	0.10
206	1.96	1.88	2.06	0.13	2.44	2.46	2.48	0.04
media	1.99	1.91	2.06	0.10	2.43	2.44	2.45	0.03

5.1.6. Tendenze mensili delle temperature

In questa sezione ci si concentra sui risultati riferiti alle tendenze future delle temperature considerando la media, minima, massima e Δ_t ($T_{\max} - T_{\min}$) ($^{\circ}\text{C}$) a scala mensile per le serie CPM RCP 4.5 ed RCP 8.5 corrette. Coerentemente per quanto fatto a scala annuale, anche in questo caso si considerano i risultati del Test “Mann-Kendall” abbinato al calcolo della “Sen’s Slope”, quali rappresentazioni della variazione in $^{\circ}\text{C}$ ogni 10 anni del valore medio mensile del parametro considerato (T_{media} , T_{minima} , T_{massima} e Δ_t), per entrambi gli scenari di emissione rendendo così possibile il confronto.

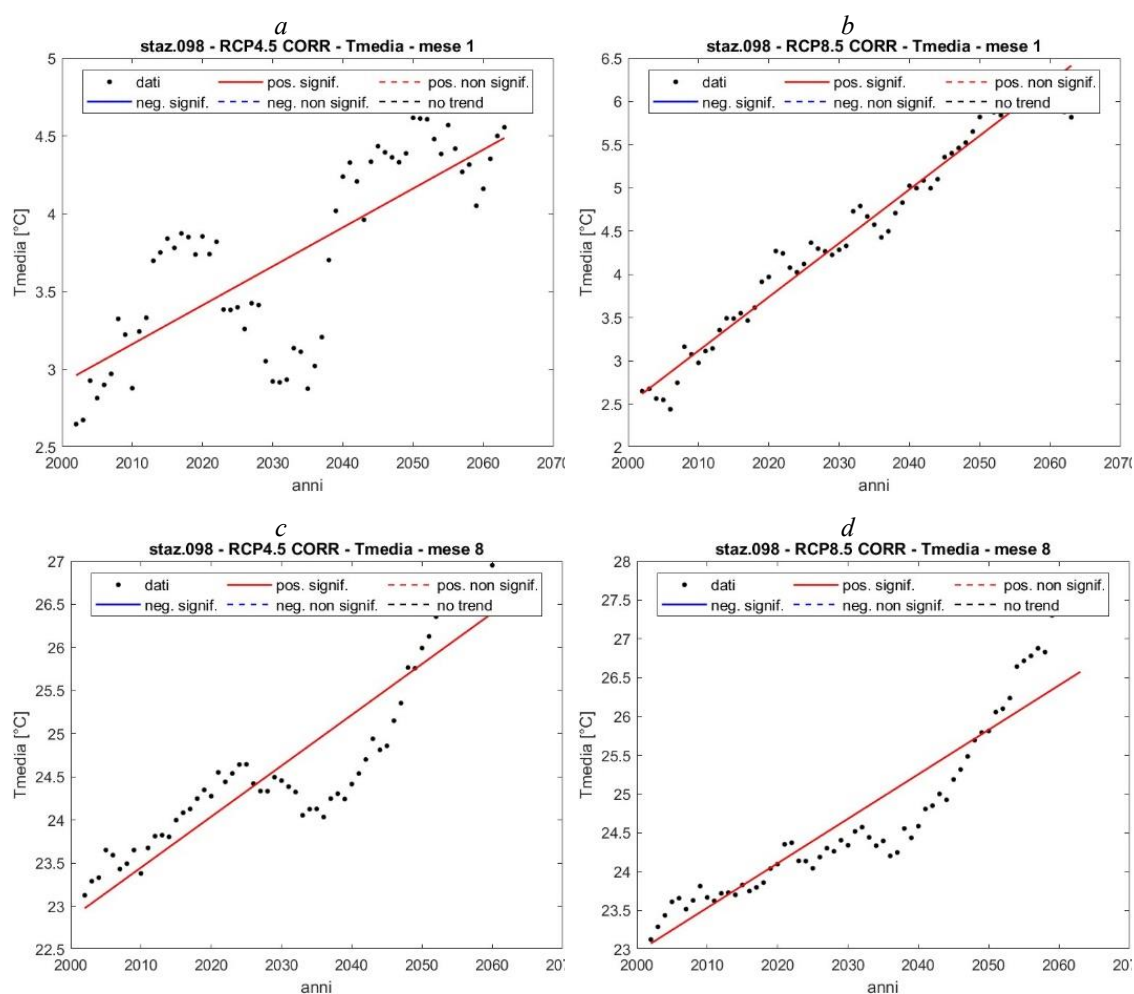


Figura 28: andamento e tendenze della T_{media} mensile della stazione 98 per i mesi di gennaio ed agosto per gli scenari RCP4.5 (a/c) e RCP8.5 (b/d)

Nella Figura 28, come precedentemente per le tendenze annuali, si riporta come esempio l'andamento temporale, dal 2002 al 2063, dei valori di temperatura media per il mese di gennaio ed agosto e per entrambi gli scenari di emissione della stazione nr. 98, dai quali emerge una tendenza significativamente crescente della T_{media} .

Di seguito si riporta la legenda impiegata per la tematizzazione delle tendenze mensili dei valori di temperatura media, minima e massima (Tabella 13) e per il Δ_t (Tabella 14) riportate nelle pagine seguenti, dove i trend significativi risultano in grassetto, mentre il colore ne riassume la magnitudo.

Tabella 13: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend mensile delle temperature (media, minima e massima) e riportato nelle Tabelle 15, 16, 19, 20, 21 e 22.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Var. Temperatura (°C) > 0.44
	0.40 > Var. Temperatura (°C) ≤ 0.44
	0.36 > Var. Temperatura (°C) ≤ 0.40
	0.32 > Var. Temperatura (°C) ≤ 0.36
	0.28 > Var. Temperatura (°C) ≤ 0.32
	0.24 > Var. Temperatura (°C) ≥ 0.28
	Var. Temperatura (°C) ≤ 0.24

Tabella 14: legenda classificazione per significatività ed intensità del trend mensile del Δ_t riportato nelle tabelle 23 e 24.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	Δ_t (°C) ≥ 0.12
	0.12 > Δ_t (°C) ≥ 0.08
	0.08 > Δ_t (°C) ≥ 0.04
	0.04 > Δ_t (°C) ≥ 0
	0 > Δ_t (°C) ≥ -0.04
	-0.04 > Δ_t (°C) ≥ -0.08
	- 0.08 > Δ_t (°C) ≥ -0.12
	Δ_t (°C) < -0.12

Tabella 15: variazione assoluta (°C/10 anni) della Tmedia per la serie CPM-RCP4.5.

Variazione di Temperatura media mensile (°C/10 anni) (°C/10 anni) – RCP 4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.25	0.18	0.23	0.27	0.36	0.46	0.30	0.59	0.38	0.19	0.24	0.25
105	0.26	0.22	0.23	0.29	0.39	0.50	0.33	0.60	0.39	0.17	0.25	0.25
106	0.27	0.22	0.24	0.29	0.40	0.50	0.33	0.61	0.39	0.18	0.27	0.27
111	0.25	0.21	0.24	0.26	0.36	0.43	0.31	0.57	0.38	0.17	0.24	0.25
119	0.26	0.19	0.23	0.28	0.38	0.51	0.32	0.61	0.39	0.17	0.24	0.25
121	0.25	0.18	0.23	0.27	0.36	0.46	0.30	0.59	0.38	0.19	0.24	0.24
123	0.25	0.21	0.22	0.29	0.39	0.50	0.32	0.61	0.39	0.17	0.24	0.24
142	0.29	0.22	0.24	0.27	0.39	0.46	0.31	0.59	0.38	0.16	0.25	0.24
145	0.24	0.22	0.23	0.28	0.38	0.48	0.33	0.60	0.39	0.16	0.24	0.24
149	0.25	0.22	0.23	0.28	0.39	0.49	0.33	0.60	0.39	0.17	0.24	0.25
150	0.25	0.20	0.23	0.29	0.39	0.49	0.33	0.61	0.39	0.17	0.24	0.25
151	0.25	0.18	0.23	0.28	0.38	0.49	0.31	0.60	0.38	0.18	0.24	0.25
152	0.25	0.18	0.23	0.27	0.37	0.47	0.31	0.60	0.38	0.18	0.24	0.24
167	0.24	0.22	0.23	0.25	0.36	0.41	0.30	0.54	0.37	0.17	0.24	0.25
168	0.21	0.21	0.24	0.25	0.34	0.40	0.29	0.51	0.37	0.20	0.27	0.24
169	0.24	0.19	0.23	0.27	0.36	0.44	0.30	0.57	0.39	0.18	0.24	0.24
170	0.27	0.21	0.23	0.28	0.39	0.47	0.32	0.59	0.38	0.16	0.25	0.25
175	0.23	0.20	0.24	0.26	0.35	0.41	0.30	0.55	0.38	0.18	0.24	0.24
178	0.22	0.19	0.24	0.26	0.35	0.43	0.29	0.55	0.38	0.19	0.25	0.24
179	0.24	0.22	0.23	0.27	0.38	0.46	0.32	0.58	0.38	0.16	0.24	0.25
180	0.25	0.20	0.25	0.30	0.38	0.46	0.32	0.60	0.41	0.20	0.26	0.25
182	0.24	0.19	0.23	0.27	0.36	0.45	0.30	0.58	0.39	0.18	0.24	0.24
201	0.27	0.21	0.23	0.28	0.39	0.47	0.32	0.59	0.38	0.16	0.25	0.25
206	0.24	0.19	0.23	0.27	0.37	0.46	0.30	0.59	0.39	0.18	0.24	0.24
media	0.25	0.20	0.23	0.28	0.37	0.46	0.31	0.58	0.38	0.18	0.25	0.25

Tabella 16: variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile della Tmedia per la serie CPM- RCP8.5.

Variazione di Temperatura media mensile (°C/10 anni) – RCP 8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.62	0.46	0.43	0.24	0.43	0.42	0.26	0.57	0.46	0.47	0.34	0.30
105	0.61	0.47	0.43	0.24	0.44	0.43	0.30	0.64	0.51	0.49	0.34	0.32
106	0.61	0.46	0.42	0.25	0.44	0.43	0.28	0.61	0.49	0.48	0.34	0.30
111	0.61	0.47	0.42	0.24	0.41	0.39	0.27	0.58	0.46	0.45	0.32	0.30
119	0.60	0.45	0.42	0.24	0.44	0.44	0.29	0.61	0.51	0.49	0.34	0.31
121	0.62	0.46	0.43	0.24	0.43	0.42	0.26	0.58	0.46	0.47	0.34	0.30
123	0.60	0.46	0.42	0.24	0.43	0.43	0.29	0.63	0.50	0.48	0.33	0.31
142	0.58	0.48	0.44	0.24	0.43	0.40	0.27	0.61	0.47	0.46	0.30	0.32
145	0.61	0.46	0.42	0.24	0.42	0.42	0.28	0.61	0.48	0.47	0.33	0.30
149	0.61	0.47	0.42	0.24	0.42	0.42	0.28	0.61	0.48	0.46	0.33	0.31
150	0.61	0.46	0.42	0.24	0.43	0.42	0.27	0.60	0.48	0.47	0.33	0.30
151	0.61	0.45	0.43	0.25	0.43	0.43	0.27	0.59	0.48	0.48	0.34	0.30
152	0.61	0.45	0.43	0.24	0.43	0.42	0.26	0.58	0.47	0.47	0.34	0.30
167	0.62	0.48	0.43	0.27	0.41	0.39	0.29	0.59	0.46	0.44	0.33	0.31
168	0.60	0.45	0.44	0.28	0.42	0.40	0.31	0.53	0.44	0.45	0.34	0.30
169	0.62	0.45	0.43	0.25	0.42	0.40	0.27	0.56	0.46	0.46	0.34	0.30
170	0.60	0.47	0.43	0.24	0.43	0.41	0.28	0.61	0.48	0.46	0.31	0.31
175	0.61	0.45	0.43	0.26	0.42	0.39	0.29	0.56	0.46	0.45	0.33	0.30
178	0.61	0.45	0.43	0.25	0.42	0.39	0.28	0.56	0.45	0.45	0.34	0.30
179	0.62	0.48	0.43	0.25	0.41	0.40	0.28	0.61	0.48	0.46	0.34	0.31
180	0.24	0.20	0.22	0.25	0.36	0.46	0.30	0.57	0.37	0.14	0.24	0.23
182	0.62	0.46	0.43	0.24	0.42	0.41	0.27	0.58	0.46	0.46	0.34	0.30
201	0.60	0.47	0.43	0.24	0.43	0.41	0.28	0.61	0.48	0.46	0.31	0.31
206	0.62	0.46	0.43	0.24	0.42	0.41	0.27	0.58	0.46	0.47	0.34	0.30
media	0.59	0.45	0.42	0.25	0.42	0.41	0.28	0.59	0.47	0.45	0.33	0.30

Tendenza confermata per tutte le stazioni e per tutti e due gli scenari come si può notare dalle Tabelle 16 e 17, che riportanti le variazioni decennali in termini assoluti (°C/10 anni), 2002- 2063, per ogni mese e per ognuna delle 24 stazioni considerate (i valori di T_{media} del periodo sono riportati nell'allegato 2 in appendice). La significatività e la crescita o decrescenza della tendenza vengono rappresentate sempre mediante tematizzazione secondo la Tabella 14. É possibile osservare come generalmente le variazioni medie risultano più marcate a parità di mese per lo scenario RCP 8.5,

confermando quanto riscontrato a scala annuale, con valori medi che variano da +0.25 fino a +0.59 °C/10 anni per quest'ultimo e da +0.20 a +0.58 °C/10 anni per l'RCP 4.5. Questo è vero ad esclusione dei mesi di aprile, giugno e settembre, nei quali l'incremento risulta maggiore per l'RCP 4.5 rispetto all'8.5. Agosto è il mese con tendenze crescenti maggiori per lo scenario RCP 4.5 (+0.58°C/10 anni) mentre lo sono gennaio ed agosto (+0.59°C/10 anni) per l'RCP8.5. I valori minori si riscontrano nei mesi di settembre (+0.18 °C/10 anni) e febbraio (+0.20 °C/10 anni) per il primo, mentre aprile (+0.25 °C/10 anni) e luglio (+0.28 °C/10 anni) per il secondo.

Per analizzare le differenze stagionali sono stati ottenuti i valori medi mensili per stagione della variazione di temperatura nei 63 anni riportati nelle figure seguenti: Figura 29 per l'inverno, Figura 30 per la primavera, Figura 31 per l'estate e la Figura 32 per l'autunno.

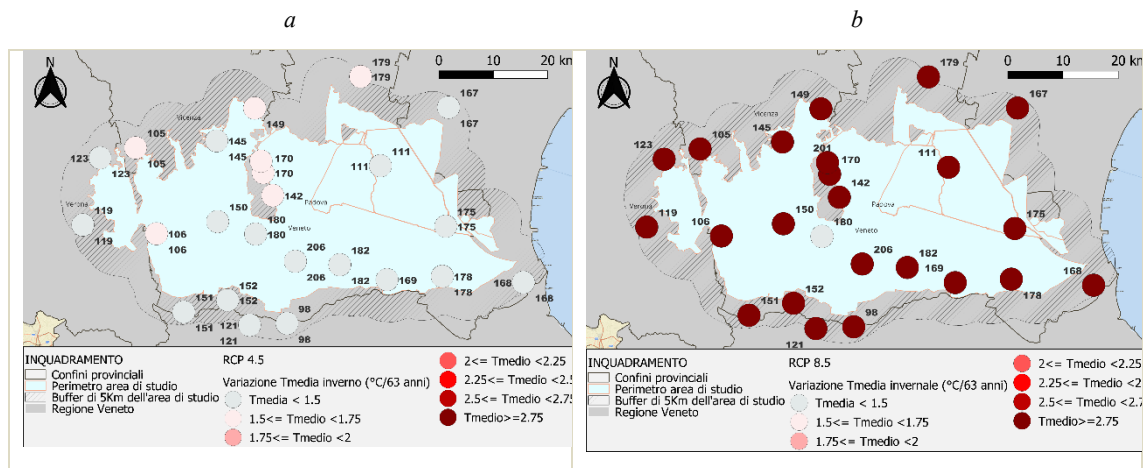


Figura 29: Variazione Tmedia invernale (°C/63 anni) per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM – RCP8.4 (b).

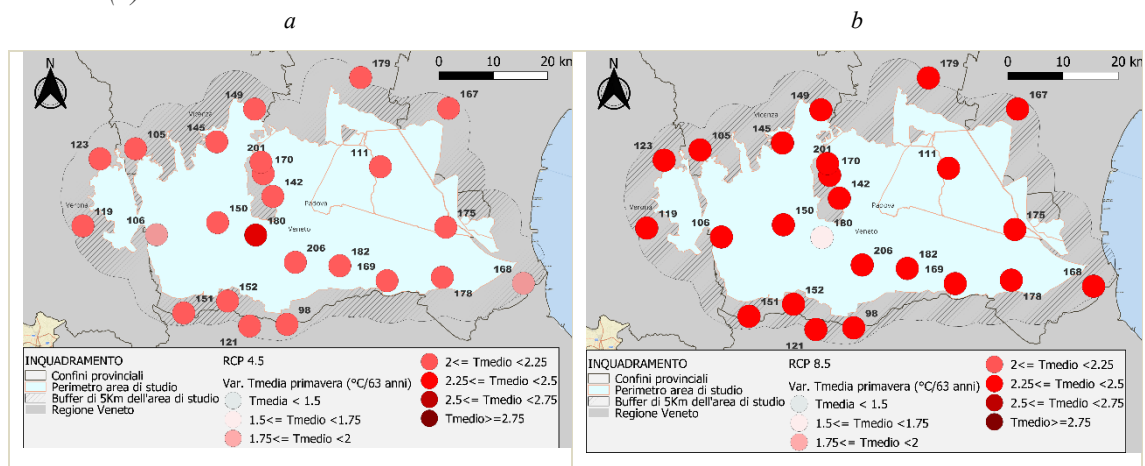


Figura 30: Variazione Tmedia primaverile (°C/63 anni) per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM – RCP8.4 (b).

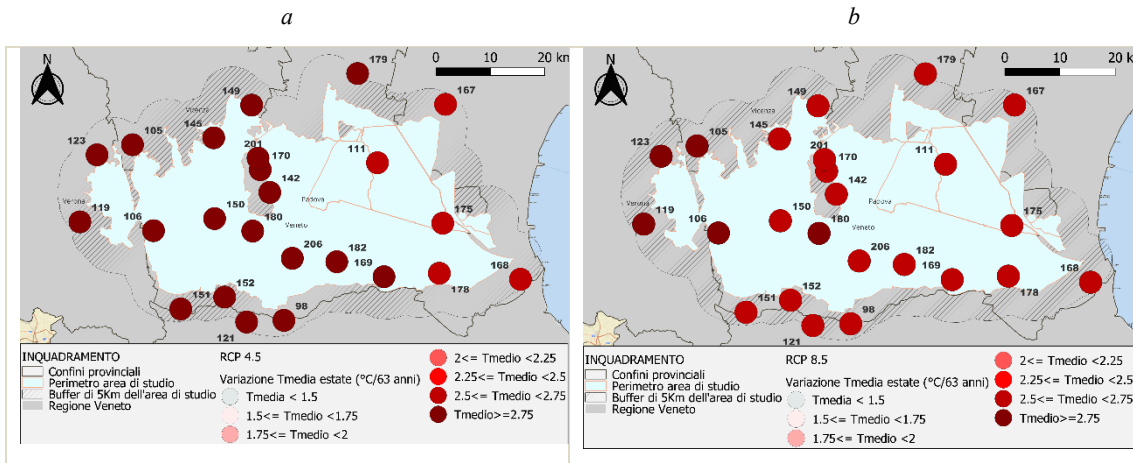


Figura 31: Variazione T_{media} estiva ($^{\circ}C/63$ anni) per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM – RCP8.4 (b).

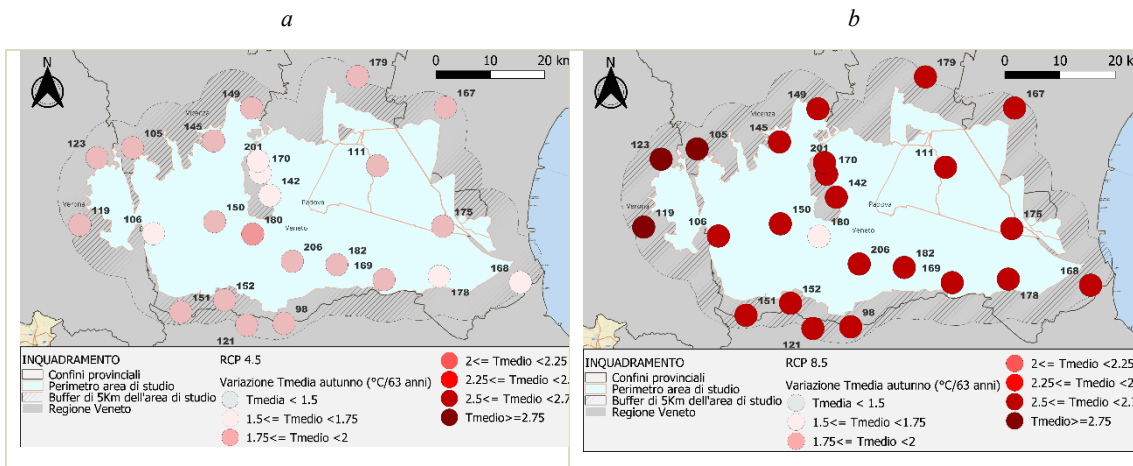


Figura 32: Variazione T_{media} autunnale ($^{\circ}C/63$ anni) per la serie CPM- RCP4.5 (a) e CPM – RCP8.4 (b).

Tabella 17: legenda classificazione per intensità del trend medio stagionale della temperatura media riportato nella Tabella 18.

	Var. Temperatura ($^{\circ}C$) > 2.75
	2.5 > Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \leq 2.75
	2.25 > Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \leq 2.5
	2 > Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \leq 2.25
	1.75 > Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \leq 2
	1.6 > Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \geq 1.75
	Var.Temperatura ($^{\circ}C$) \leq 1.5

Tabella 18: variazione (°C/63 anni) media stagionale della Tmedia per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5.

Variazione media stagionale sulla Temperatura media (°C/63 anni)								
stazioni	RCP 4.5				RCP 8.5			
	inverno	primavera	estate	autunno	inverno	primavera	estate	autunno
98	1.42	1.82	2.84	1.70	2.90	2.32	2.63	2.67
105	1.52	1.91	3.01	1.69	2.95	2.34	2.86	2.81
106	1.61	1.95	3.02	1.76	2.87	2.33	2.78	2.75
111	1.47	1.81	2.74	1.67	2.90	2.27	2.61	2.58
119	1.47	1.88	3.02	1.68	2.85	2.30	2.81	2.79
121	1.42	1.83	2.86	1.69	2.89	2.33	2.64	2.68
123	1.49	1.89	3.02	1.68	2.87	2.28	2.84	2.77
142	1.59	1.91	2.87	1.66	2.89	2.34	2.69	2.58
145	1.45	1.87	2.95	1.67	2.87	2.26	2.74	2.70
149	1.51	1.88	2.97	1.68	2.92	2.25	2.75	2.68
150	1.48	1.91	3.01	1.70	2.89	2.31	2.73	2.71
151	1.43	1.86	2.94	1.70	2.87	2.33	2.69	2.72
152	1.41	1.84	2.89	1.68	2.86	2.32	2.66	2.70
167	1.47	1.77	2.64	1.66	2.96	2.34	2.65	2.59
168	1.39	1.75	2.52	1.74	2.84	2.39	2.61	2.58
169	1.41	1.80	2.75	1.70	2.88	2.31	2.58	2.64
170	1.53	1.90	2.92	1.66	2.91	2.30	2.73	2.65
175	1.40	1.78	2.64	1.69	2.87	2.32	2.60	2.61
178	1.37	1.77	2.66	1.71	2.85	2.31	2.58	2.62
179	1.50	1.85	2.83	1.65	2.97	2.29	2.73	2.68
180	1.48	1.96	2.89	1.82	1.42	1.74	2.78	1.57
182	1.41	1.81	2.80	1.69	2.89	2.29	2.62	2.65
201	1.53	1.90	2.92	1.66	2.91	2.30	2.73	2.65
206	1.42	1.83	2.84	1.69	2.89	2.30	2.64	2.66
media	1.47	1.85	2.86	1.69	2.83	2.29	2.69	2.63

Le variazioni della temperatura media stagionale sono concentrate nell'intervallo tra +1.4 e +3 °C/63 anni con un valore medio di circa +2 °C/63 anni e +2.6 °C/63 anni, rispettivamente per l'RCP 4.5 e l'RCP 8.5. Considerando il singolo scenario, partendo dall'RCP 4.5, si nota come l'estate sia la stagione con incrementi maggiori con un valore medio di circa +2.9 °C, seguito da primavera (+1.85°C), autunno (+ 1.7 °C) ed inverno (+1.4 °C). Passando all'RCP 8.5, la stagione che registra degli incrementi maggiori risulta l'inverno con un valore medio di +2.8 °C, con estate ed autunno che similmente si attestano sui +2.6 °C ed infine la primavera con un valore minore pari a +2.3 °C. Riassumendo, si riscontrano incrementi distribuiti durante tutto l'anno per entrambi gli scenari, che risultano più marcati per alcune stagioni nell'RCP 4.5 (primavera ed estate), mentre risultano abbastanza elevati per tutte in quello a maggiori emissioni (RCP 8.5).

Di seguito (Tabella 19, 20, 21 e 22) si riportano i valori delle variazioni assolute delle temperature minime e massime mensili espresse in °C/63 anni per ogni stazione; i valori medi mensili del periodo per T_{min} e T_{max} sono riportati in appendice (Allegati dal 4 al 7, in appendice), mentre la tematizzazione è la medesima riportata nella Tabella 13 con i colori che rappresentano la magnitudo del trend, mentre il carattere in grassetto la significatività della tendenza.

Tabella 19: *variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile della Tminima per la serie CPM-RCP4.5.*

Variazione di Temperatura minima mensile (°C/10 anni) – RCP4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.25	0.18	0.20	0.27	0.29	0.41	0.31	0.53	0.41	0.21	0.24	0.25
105	0.26	0.22	0.20	0.29	0.35	0.45	0.33	0.55	0.42	0.20	0.26	0.25
106	0.28	0.25	0.23	0.32	0.38	0.48	0.37	0.59	0.46	0.24	0.31	0.28
111	0.23	0.20	0.21	0.27	0.31	0.41	0.31	0.52	0.41	0.19	0.26	0.25
119	0.25	0.20	0.20	0.28	0.32	0.45	0.32	0.55	0.42	0.21	0.25	0.25
121	0.25	0.18	0.20	0.28	0.29	0.41	0.32	0.54	0.41	0.22	0.24	0.25
123	0.24	0.21	0.20	0.28	0.33	0.45	0.33	0.55	0.43	0.20	0.26	0.24
142	0.29	0.23	0.22	0.28	0.35	0.41	0.30	0.54	0.39	0.18	0.27	0.24
145	0.22	0.22	0.20	0.27	0.32	0.42	0.31	0.55	0.41	0.19	0.26	0.23
149	0.24	0.22	0.20	0.27	0.32	0.44	0.32	0.55	0.42	0.20	0.26	0.25
150	0.25	0.20	0.20	0.29	0.33	0.44	0.33	0.56	0.43	0.20	0.26	0.25
151	0.25	0.19	0.20	0.28	0.30	0.43	0.32	0.54	0.41	0.22	0.24	0.25
152	0.24	0.19	0.20	0.28	0.30	0.42	0.31	0.54	0.41	0.21	0.24	0.24
167	0.22	0.20	0.21	0.27	0.31	0.41	0.30	0.53	0.40	0.20	0.25	0.25
168	0.23	0.21	0.21	0.27	0.30	0.39	0.30	0.48	0.40	0.22	0.26	0.23
169	0.23	0.20	0.20	0.27	0.29	0.40	0.31	0.51	0.41	0.21	0.25	0.24
170	0.27	0.21	0.21	0.28	0.34	0.42	0.31	0.54	0.40	0.18	0.26	0.25
175	0.23	0.19	0.20	0.27	0.30	0.39	0.30	0.49	0.40	0.20	0.25	0.24
178	0.22	0.20	0.20	0.27	0.29	0.39	0.30	0.50	0.41	0.21	0.26	0.24
179	0.23	0.21	0.20	0.27	0.32	0.43	0.31	0.53	0.41	0.19	0.25	0.25
180	0.22	0.18	0.18	0.26	0.28	0.38	0.28	0.49	0.39	0.16	0.22	0.22
182	0.24	0.19	0.20	0.27	0.29	0.41	0.31	0.52	0.42	0.21	0.25	0.24
201	0.27	0.21	0.21	0.28	0.34	0.42	0.31	0.54	0.40	0.18	0.26	0.25
206	0.24	0.19	0.20	0.28	0.29	0.41	0.31	0.53	0.42	0.21	0.25	0.24
media	0.24	0.20	0.20	0.28	0.31	0.42	0.31	0.53	0.41	0.20	0.25	0.24

Tabella 20: variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile della T_{minima} per la serie CPM-RCP8.5.

Variazione di Temperatura minima mensile (°C/10 anni) – RCP8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.64	0.45	0.41	0.29	0.40	0.37	0.28	0.56	0.45	0.46	0.38	0.29
105	0.62	0.48	0.41	0.28	0.41	0.39	0.29	0.59	0.48	0.47	0.39	0.31
106	0.61	0.45	0.41	0.28	0.40	0.39	0.29	0.58	0.47	0.46	0.38	0.29
111	0.61	0.47	0.41	0.29	0.38	0.37	0.28	0.55	0.44	0.43	0.36	0.29
119	0.61	0.45	0.41	0.29	0.40	0.39	0.28	0.57	0.48	0.47	0.38	0.29
121	0.63	0.45	0.41	0.29	0.39	0.37	0.28	0.56	0.45	0.47	0.38	0.29
123	0.61	0.46	0.40	0.27	0.40	0.38	0.29	0.59	0.48	0.46	0.38	0.30
142	0.60	0.50	0.43	0.27	0.41	0.36	0.26	0.58	0.45	0.44	0.32	0.31
145	0.61	0.46	0.41	0.28	0.39	0.37	0.28	0.57	0.45	0.44	0.38	0.29
149	0.61	0.47	0.40	0.28	0.38	0.38	0.29	0.57	0.45	0.44	0.37	0.29
150	0.62	0.46	0.40	0.28	0.40	0.38	0.28	0.57	0.45	0.45	0.38	0.29
151	0.63	0.44	0.41	0.29	0.40	0.37	0.28	0.56	0.46	0.47	0.38	0.29
152	0.63	0.44	0.41	0.29	0.39	0.36	0.28	0.56	0.45	0.46	0.38	0.29
167	0.62	0.49	0.42	0.30	0.39	0.39	0.29	0.58	0.46	0.43	0.37	0.29
168	0.62	0.43	0.42	0.32	0.40	0.38	0.31	0.53	0.47	0.48	0.38	0.29
169	0.62	0.45	0.40	0.29	0.39	0.37	0.29	0.54	0.46	0.46	0.38	0.29
170	0.61	0.49	0.41	0.27	0.40	0.37	0.28	0.58	0.45	0.44	0.34	0.30
175	0.62	0.44	0.41	0.30	0.40	0.37	0.30	0.55	0.47	0.46	0.36	0.29
178	0.62	0.43	0.40	0.30	0.39	0.36	0.30	0.54	0.46	0.46	0.37	0.29
179	0.61	0.48	0.40	0.29	0.38	0.38	0.29	0.58	0.45	0.43	0.36	0.30
180	0.27	0.23	0.23	0.30	0.34	0.44	0.33	0.56	0.43	0.23	0.29	0.25
182	0.62	0.46	0.41	0.29	0.39	0.36	0.29	0.55	0.45	0.45	0.37	0.29
201	0.60	0.49	0.41	0.27	0.40	0.37	0.28	0.58	0.45	0.44	0.34	0.30
206	0.62	0.46	0.41	0.29	0.39	0.37	0.29	0.56	0.45	0.45	0.38	0.28
media	0.60	0.45	0.40	0.29	0.39	0.38	0.29	0.56	0.46	0.44	0.37	0.29

Innanzitutto, le variazioni mensili sulle temperature minime risultano significative e positive per tutti i mesi di tutte le stazioni e per entrambi gli scenari (significativi al 5%). Tendenzialmente le variazioni sono leggermente superiori per lo scenario RCP 8.5, con variazioni medie di tutte le stazioni maggiori per il mese di gennaio (+0.6 °C/10 anni) ed agosto (+0.56 °C/10 anni) ed un valore minimo di +0.3 °C nel mese di luglio. Nello scenario RCP 4.5 gli incrementi spaziano nell'intervallo +0.20 e +0.4 °C/10 anni rispettivamente per i mesi di agosto ed ottobre.

Tabella 21: variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile della Tmassima per la serie CPM-RCP4.5.

Variazione di Temperatura massima (°C/10 anni) – RCP 4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.29	0.18	0.26	0.28	0.42	0.52	0.30	0.65	0.35	0.15	0.25	0.25
105	0.30	0.23	0.25	0.30	0.44	0.55	0.34	0.65	0.36	0.14	0.24	0.25
106	0.30	0.22	0.24	0.26	0.40	0.52	0.29	0.61	0.33	0.12	0.24	0.25
111	0.29	0.21	0.26	0.27	0.40	0.46	0.31	0.62	0.35	0.14	0.24	0.25
119	0.31	0.20	0.26	0.30	0.42	0.57	0.32	0.66	0.36	0.14	0.23	0.25
121	0.29	0.18	0.26	0.28	0.42	0.53	0.30	0.65	0.36	0.14	0.25	0.25
123	0.30	0.23	0.25	0.30	0.43	0.56	0.33	0.66	0.36	0.13	0.24	0.25
142	0.30	0.21	0.26	0.29	0.42	0.51	0.32	0.64	0.35	0.14	0.25	0.24
145	0.28	0.22	0.25	0.29	0.43	0.53	0.34	0.65	0.37	0.13	0.25	0.25
149	0.29	0.23	0.25	0.30	0.43	0.53	0.33	0.64	0.38	0.13	0.24	0.26
150	0.30	0.19	0.26	0.30	0.44	0.54	0.33	0.66	0.36	0.14	0.25	0.25
151	0.29	0.18	0.26	0.29	0.42	0.56	0.33	0.66	0.36	0.15	0.24	0.25
152	0.29	0.18	0.26	0.29	0.42	0.54	0.31	0.65	0.36	0.14	0.24	0.25
167	0.29	0.24	0.25	0.25	0.39	0.40	0.29	0.56	0.33	0.14	0.24	0.25
168	0.26	0.22	0.26	0.23	0.37	0.41	0.29	0.55	0.32	0.16	0.27	0.25
169	0.28	0.19	0.25	0.29	0.42	0.49	0.29	0.64	0.35	0.15	0.26	0.25
170	0.28	0.21	0.26	0.29	0.43	0.52	0.33	0.65	0.36	0.13	0.24	0.25
175	0.28	0.20	0.26	0.28	0.40	0.45	0.30	0.61	0.36	0.14	0.26	0.25
178	0.27	0.20	0.25	0.27	0.41	0.45	0.28	0.61	0.34	0.15	0.26	0.25
179	0.29	0.25	0.25	0.28	0.41	0.49	0.31	0.62	0.36	0.13	0.24	0.25
180	0.34	0.24	0.33	0.37	0.48	0.55	0.34	0.69	0.44	0.21	0.34	0.30
182	0.29	0.18	0.26	0.29	0.42	0.51	0.30	0.64	0.36	0.14	0.25	0.25
201	0.28	0.21	0.26	0.29	0.43	0.52	0.33	0.65	0.36	0.13	0.24	0.25
206	0.29	0.19	0.26	0.29	0.43	0.52	0.29	0.64	0.36	0.14	0.25	0.25
media	0.29	0.21	0.26	0.29	0.42	0.51	0.31	0.64	0.36	0.14	0.25	0.25

Tabella 22: variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile della Tmassima per la serie CPM-RCP8.5.

Variazione di Temperatura massima (°C/10 anni) – RCP 8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.61	0.42	0.44	0.21	0.48	0.50	0.27	0.63	0.51	0.49	0.29	0.29
105	0.59	0.43	0.42	0.21	0.49	0.51	0.31	0.66	0.54	0.53	0.30	0.33
106	0.59	0.42	0.42	0.21	0.48	0.50	0.30	0.66	0.55	0.52	0.28	0.30
111	0.59	0.43	0.42	0.22	0.45	0.45	0.27	0.61	0.48	0.48	0.28	0.30
119	0.59	0.41	0.41	0.20	0.48	0.52	0.30	0.65	0.55	0.52	0.29	0.31
121	0.60	0.43	0.44	0.21	0.48	0.50	0.27	0.62	0.52	0.50	0.29	0.29
123	0.59	0.42	0.41	0.21	0.48	0.50	0.30	0.67	0.53	0.52	0.29	0.31
142	0.54	0.43	0.43	0.21	0.47	0.49	0.28	0.64	0.51	0.49	0.27	0.30
145	0.60	0.43	0.41	0.21	0.47	0.50	0.28	0.66	0.53	0.52	0.28	0.31
149	0.60	0.44	0.42	0.22	0.47	0.49	0.28	0.64	0.53	0.52	0.28	0.31
150	0.60	0.43	0.43	0.21	0.47	0.50	0.27	0.64	0.53	0.51	0.28	0.31
151	0.59	0.41	0.43	0.21	0.48	0.51	0.28	0.64	0.53	0.52	0.28	0.30
152	0.60	0.42	0.43	0.21	0.47	0.50	0.27	0.64	0.53	0.51	0.29	0.30
167	0.61	0.44	0.43	0.24	0.43	0.41	0.27	0.60	0.45	0.47	0.28	0.30
168	0.58	0.45	0.46	0.25	0.43	0.45	0.32	0.56	0.41	0.44	0.30	0.32
169	0.60	0.42	0.44	0.22	0.46	0.47	0.26	0.62	0.49	0.48	0.29	0.30
170	0.58	0.43	0.43	0.21	0.47	0.49	0.29	0.65	0.53	0.51	0.28	0.32
175	0.59	0.44	0.44	0.22	0.45	0.45	0.28	0.60	0.48	0.45	0.29	0.30
178	0.59	0.43	0.44	0.22	0.45	0.45	0.26	0.60	0.46	0.46	0.30	0.30
179	0.61	0.45	0.43	0.23	0.45	0.46	0.27	0.64	0.50	0.51	0.28	0.31
180	0.23	0.15	0.19	0.21	0.37	0.49	0.26	0.58	0.30	0.06	0.19	0.19
182	0.60	0.43	0.43	0.21	0.47	0.48	0.26	0.63	0.51	0.49	0.29	0.29
201	0.58	0.43	0.43	0.21	0.47	0.49	0.29	0.65	0.53	0.51	0.28	0.32
206	0.61	0.43	0.43	0.21	0.47	0.48	0.27	0.63	0.51	0.49	0.29	0.29
media	0.58	0.42	0.42	0.22	0.46	0.48	0.28	0.63	0.50	0.48	0.28	0.30

Anche le variazioni decennali sulle temperature massime mensili risultano positive e crescenti per tutte le stazioni, per entrambi gli scenari e per tutti i mesi, con valori medi mensili di tutte le stazioni maggiori per lo scenario RCP 8.5 rispetto al 4.5, (+0.43 °C/10 anni per il primo e +0.3 °C/10 anni per il secondo). Per entrambi gli scenari i valori delle singole stazioni variano tra circa +0.1 e +0.7 °C/10 anni.

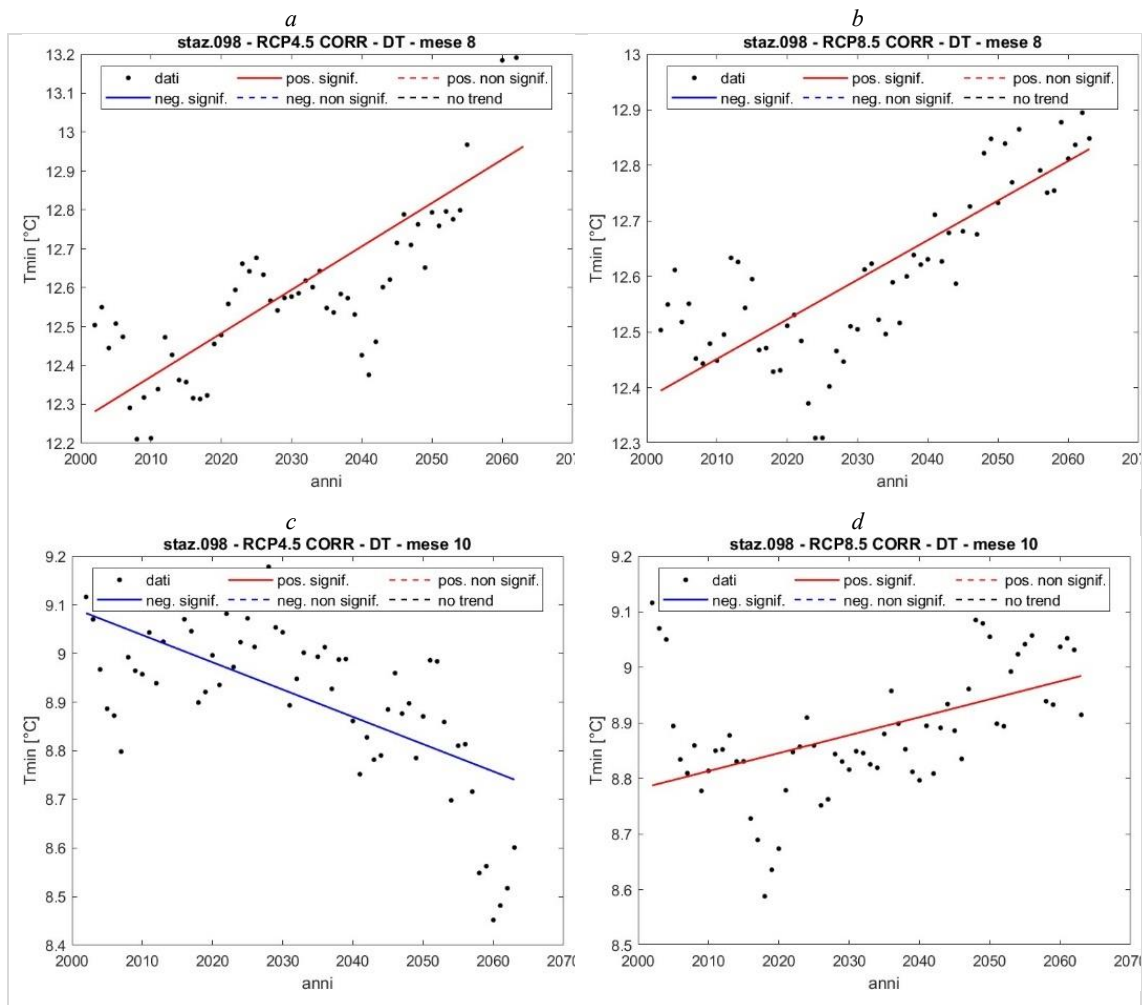


Figura 33: andamento e tendenze dei Δ_t ($^{\circ}\text{C}$) della stazione 98 per i mesi di agosto e dicembre per lo scenario RCP4.5 (a;c) e RCP8.5 (b;d)

L'esempio della stazione 98 (Figura 33) evidenzia tendenze significative crescenti dello scarto Δ_t per entrambi gli scenari nel mese di agosto, mentre, ad ottobre, l'RCP 4.5 si differenzia dall'RCP 8.5 presentando un trend significativo decrescente. Si è scelto di rappresentare il mese di agosto in quanto per tutte le stazioni, eccetto la 106 (per lo scenario RCP 4.5), le tendenze sono significative e crescenti e quindi l'esempio della stazione 98 può considerarsi rappresentativo anche delle altre. Invece, il mese di ottobre, presenta tendenze opposte tra i due scenari per quasi la totalità delle stazioni: nell'RCP 4.5 il 95% delle stazioni presenta tendenze significative decrescenti, mentre nell'RCP 8.5 l'83% delle stazioni risultano con tendenze crescenti (Tabella 23 e 24).

Tabella 23: variazione ($^{\circ}\text{C}/10$ anni) rispetto al valore medio mensile del ΔT per la serie CPM-RCP 4.5.

Variazione di ΔT ($^{\circ}\text{C}/10$ anni) - RCP4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.03	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.01	0.1	-0.04	-0.06	0.00	0.01
105	0.03	-0.04	0.0	0.0	0.0	0.1	0.02	0.0	-0.04	-0.05	-0.04	0.01
106	0.00	-0.07	0.0	-0.05	0.0	0.0	-0.06	0.0	-0.12	-0.11	-0.08	-0.03
111	0.03	-0.02	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00	0.0	-0.03	-0.06	-0.03	0.00
119	0.04	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.01	0.1	-0.03	-0.06	-0.03	0.00
121	0.03	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.01	0.1	-0.03	-0.07	0.00	0.00
123	0.04	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.00	0.1	-0.04	-0.06	-0.04	0.01
142	-0.01	-0.05	0.0	0.0	0.0	0.1	0.03	0.0	-0.02	-0.03	-0.02	0.00
145	0.05	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.02	0.1	-0.01	-0.06	-0.03	0.02
149	0.04	-0.02	0.0	0.0	0.1	0.1	0.01	0.0	0.00	-0.06	-0.04	0.01
150	0.04	-0.05	0.0	0.0	0.1	0.1	0.00	0.1	-0.04	-0.06	-0.02	0.01
151	0.02	-0.05	0.0	0.0	0.1	0.1	0.01	0.1	-0.03	-0.06	-0.01	0.00
152	0.03	-0.05	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.01	0.1	-0.03	-0.06	-0.01	0.01
167	0.04	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.01	0.0	-0.05	-0.07	-0.03	0.00
168	0.00	-0.03	0.0	-0.01	0.0	0.0	-0.01	0.0	-0.07	-0.07	0.00	0.03
169	0.02	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.02	0.1	-0.05	-0.05	0.00	0.01
170	0.00	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.02	0.0	-0.02	-0.05	-0.03	0.00
175	0.02	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00	0.1	-0.03	-0.06	0.00	0.01
178	0.01	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.02	0.1	-0.05	-0.06	0.00	0.01
179	0.04	0.00	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.01	0.0	-0.03	-0.06	-0.03	0.00
180	0.11	0.05	0.1	0.1	0.2	0.1	0.03	0.1	0.07	0.01	0.09	0.06
182	0.03	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.01	0.1	-0.03	-0.05	-0.01	0.00
201	0.00	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.02	0.0	-0.02	-0.05	-0.03	0.00
206	0.03	-0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.02	0.1	-0.03	-0.06	-0.01	0.01
media	0.03	-0.03	0.0	0.0	0.1	0.1	0.00	0.1	-0.03	-0.06	-0.02	0.01

Le variazioni decennali dello scarto Δ_t ($^{\circ}\text{C}/10$ anni) per lo scenario RCP 4.5 rappresentate nella tabella precedente (Tabella 23), sono contenute nell'intervallo -0.12 e $+0.2$ $^{\circ}\text{C}/10$ anni ed un valore medio di $+0.02$ $^{\circ}\text{C}/10$ anni. I mesi di marzo, maggio, giugno e agosto sono significativamente crescenti per il 90-95% delle stazioni e quelli nei quali si concentrano i valori maggiori rispettivamente pari a $+0.06^{\circ}\text{C}/10$ anni per marzo e $+0.1$ $^{\circ}\text{C}/10$ anni per i restanti tre. Settembre, ottobre, novembre e febbraio sono i mesi con più stazioni contenenti valori di tendenza negativi e significativi, ma solo in quello di ottobre

la percentuale di significativi e negativi supera il 50% delle stazioni (95%) e nel quale si riscontra il minor valore del Δ_t medio di tutte le stazioni (-0.06 °C).

Tabella 24: variazione (°C/10 anni) rispetto al valore medio mensile del ΔT per la serie CPM-RCP 8.5.

Variazione di ΔT (°C/10 anni) - RCP8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	-0.03	-0.07	0.03	-0.06	0.0	0.1	0.01	0.0	0.02	0.03	-0.11	0.01
105	-0.03	-0.09	0.01	-0.05	0.0	0.1	0.06	0.0	0.02	0.05	-0.10	0.02
106	-0.03	-0.09	0.02	-0.05	0.0	0.1	0.05	0.0	0.03	0.06	-0.11	0.01
111	-0.02	-0.10	0.01	-0.05	0.0	0.0	0.03	0.0	0.01	0.04	-0.09	0.02
119	-0.03	-0.09	0.01	-0.07	0.0	0.1	0.05	0.0	0.03	0.06	-0.12	0.01
121	-0.03	-0.06	0.03	-0.06	0.0	0.1	0.01	0.0	0.02	0.04	-0.11	0.00
123	-0.02	-0.09	0.01	-0.05	0.0	0.1	0.05	0.0	0.02	0.06	-0.10	0.01
142	-0.07	-0.09	0.00	-0.05	0.0	0.1	0.06	0.0	0.03	0.05	-0.07	-0.01
145	-0.02	-0.08	0.01	-0.05	0.0	0.1	0.05	0.0	0.04	0.07	-0.10	0.03
149	-0.01	-0.09	0.02	-0.04	0.1	0.1	0.04	0.0	0.04	0.07	-0.09	0.02
150	-0.02	-0.09	0.02	-0.06	0.0	0.1	0.04	0.0	0.03	0.06	-0.11	0.02
151	-0.04	-0.08	0.02	-0.07	0.0	0.1	0.02	0.0	0.02	0.05	-0.11	0.01
152	-0.03	-0.07	0.02	-0.06	0.0	0.1	0.01	0.0	0.03	0.05	-0.11	0.01
167	-0.01	-0.09	0.01	-0.04	0.0	0.0	0.00	0.0	-0.01	0.02	-0.10	0.02
168	-0.05	-0.03	0.04	-0.07	0.0	0.0	0.01	0.0	-0.06	-0.03	-0.08	0.02
169	-0.02	-0.07	0.03	-0.06	0.0	0.1	0.01	0.0	0.00	0.02	-0.10	0.02
170	-0.04	-0.10	0.01	-0.05	0.0	0.1	0.07	0.0	0.05	0.06	-0.07	0.01
175	-0.03	-0.05	0.03	-0.06	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	-0.01	-0.08	0.02
178	-0.03	-0.05	0.04	-0.07	0.0	0.0	-0.01	0.0	-0.01	0.00	-0.09	0.02
179	-0.01	-0.09	0.02	-0.04	0.0	0.0	0.01	0.0	0.02	0.06	-0.09	0.02
180	-0.07	-0.10	-0.03	-0.07	0.0	0.0	-0.04	0.0	-0.11	-0.15	-0.10	-0.06
182	-0.02	-0.08	0.02	-0.06	0.0	0.1	0.02	0.0	0.02	0.04	-0.11	0.01
201	-0.03	-0.10	0.01	-0.05	0.0	0.1	0.07	0.0	0.05	0.06	-0.07	0.01
206	-0.02	-0.08	0.02	-0.06	0.0	0.1	0.02	0.0	0.02	0.04	-0.11	0.01
media	-0.03	-0.08	0.02	-0.06	0.0	0.1	0.03	0.0	0.01	0.03	-0.10	0.01

Le variazioni decennali dello scarto Δ_t (°C/10 anni) per lo scenario RCP 8.5 rappresentate nella tabella precedente (Tabella 24), sono contenute nell'intervallo -0.15 e +0.14 °C (in dieci anni) ed un valore medio di +0.07 °C. Si nota innanzitutto come la prevalenza delle tendenze significative crescenti sia concentrata nei mesi compresi tra maggio ed ottobre,

mentre gennaio, febbraio, aprile e novembre sono quelli caratterizzati da tendenze decrescenti e significative per il 90-100% delle stazioni. Inoltre, giugno risulta il mese con lo scarto medio di tutte le stazioni maggiore e pari a $+0.11$ °C/10 anni, seguito da maggio ed agosto per entrambi di $+0.07$ °C/10 anni. Al contrario, novembre è quello con il valore medio della variazione dello scarto Δ_t minore, pari a -0.1 °C/10 anni, nel quale tutte le stazioni indicano tendenze significative decrescenti. Riassumendo si sono riscontrate tendenze significative crescenti concentrate nel periodo primaverile- estivo per lo scenario RCP 4.5, che si trovano traslate tra la fine della primavera e la metà di autunno nell'RCP 8.5. Nelle figure seguenti (Figura 34, 35, 36 e 37) vengono rappresentate le variazioni medie stagionali dello scarto Δ_t nell'intero periodo di analisi, espresse come °C/63 anni, per i due scenari di emissione, mentre nella Tabella 26 vengono riportati rispettivi valori.

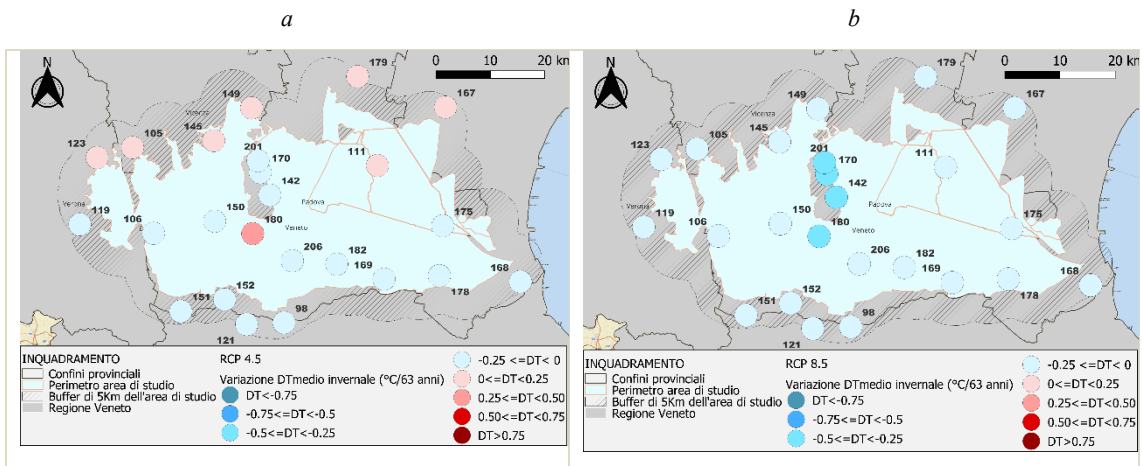


Figura 34: Variazione di Δ_t medio stagionale per ogni stazione (°C/63 anni) per la stagione invernale e per lo scenario RCP4.5 (a) e RCP8.5 (b).

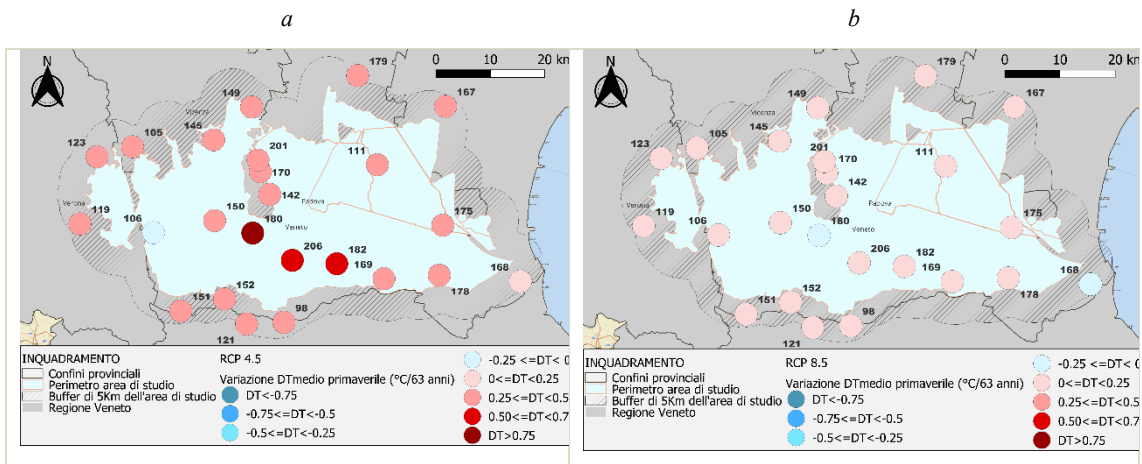


Figura 35: Variazione di Δ_t medio stagionale per ogni stazione (°C/63 anni) per la stagione primaverile e per lo scenario RCP4.5 (a) e RCP8.5 (b).

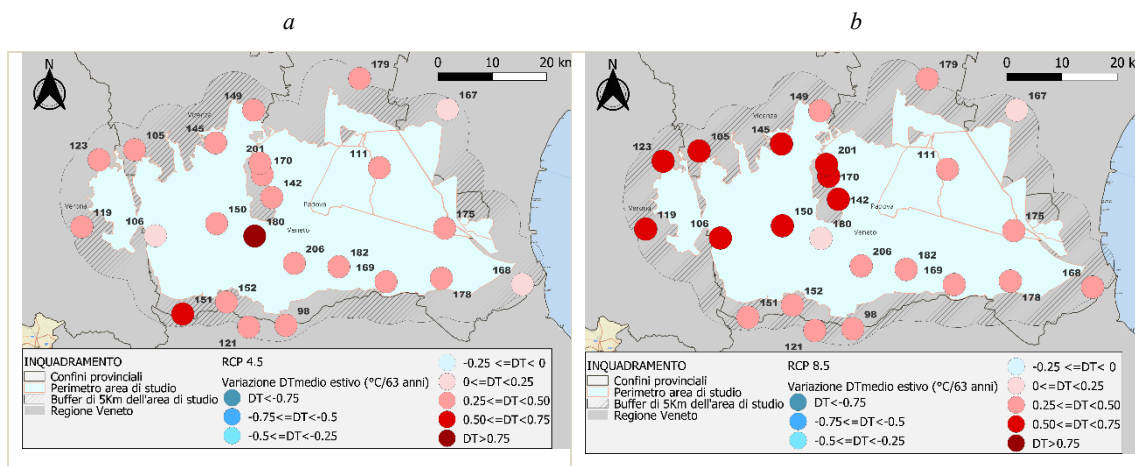


Figura 36: Variazione di Δ_t medio stagionale per ogni stazione ($^{\circ}\text{C}/63$ anni) per la stagione estiva e per lo scenario RCP4.5 (a) e RCP8.5 (b).

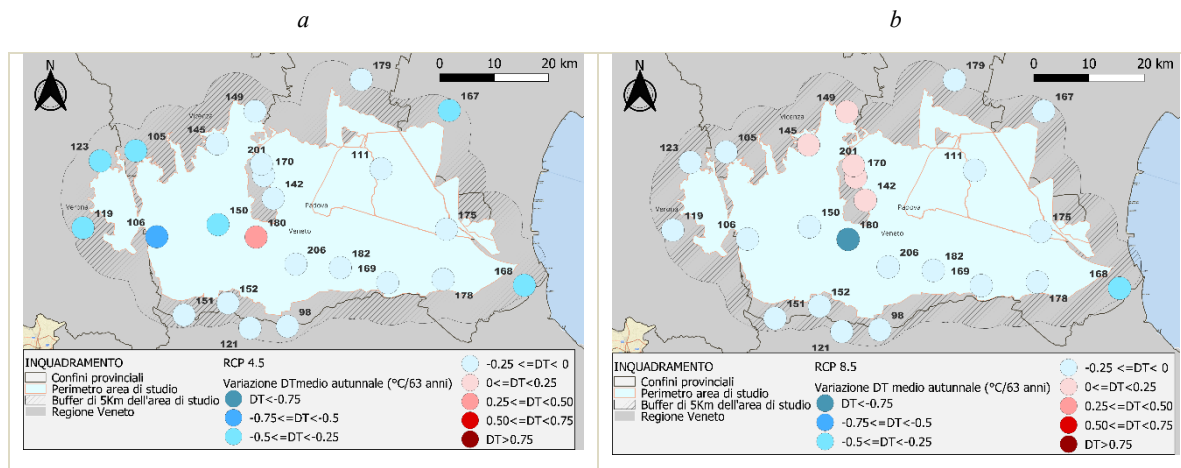


Figura 37: Variazione di Δ_t medio stagionale per ogni stazione ($^{\circ}\text{C}/63$ anni) per la stagione autunnale e per lo scenario RCP4.5 (a) e RCP8.5 (b).

Tabella 25: legenda classificazione per intensità del trend medio stagionale del Δ_t i cui valori sono riportati nella tabella 26.

	Δ_t ($^{\circ}\text{C}$) ≥ 0.75
	$0.75 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ 0.5
	$0.5 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ 0.25
	$0.25 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ 0
	$0 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ -0.25
	$-0.25 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ -0.5
	$-0.5 > \Delta_t$ ($^{\circ}\text{C}$) ≥ -0.75
	Δ_t ($^{\circ}\text{C}$) < -0.75

Tabella 26: variazione ($^{\circ}\text{C}/63$ anni) media stagionale sul Δ_t per la serie CPM RCP4.5 e RCP8.5.

Variazione media stagionale sul Δ_t ($^{\circ}\text{C}/63$ anni)								
stazioni	RCP 4.5				RCP 8.5			
	inverno	primavera	estate	autunno	inverno	primavera	estate	autunno
98	-0.01	0.49	0.46	-0.19	-0.20	0.11	0.45	-0.11
105	0.00	0.40	0.47	-0.26	-0.21	0.09	0.54	-0.06
106	-0.21	-0.08	0.03	-0.64	-0.23	0.11	0.51	-0.05
111	0.03	0.42	0.33	-0.23	-0.20	0.04	0.36	-0.08
119	-0.02	0.45	0.46	-0.26	-0.23	0.06	0.55	-0.07
121	-0.02	0.48	0.47	-0.21	-0.20	0.10	0.44	-0.11
123	0.03	0.46	0.46	-0.28	-0.20	0.10	0.55	-0.04
142	-0.11	0.33	0.48	-0.15	-0.35	0.02	0.52	0.03
145	0.04	0.50	0.47	-0.22	-0.16	0.10	0.57	0.02
149	0.04	0.49	0.41	-0.22	-0.18	0.16	0.49	0.05
150	-0.02	0.44	0.45	-0.25	-0.21	0.09	0.51	-0.06
151	-0.06	0.45	0.53	-0.21	-0.22	0.09	0.49	-0.09
152	-0.03	0.48	0.47	-0.21	-0.20	0.10	0.48	-0.08
167	0.10	0.28	0.07	-0.31	-0.18	0.01	0.16	-0.17
168	0.00	0.23	0.15	-0.27	-0.12	0.00	0.25	-0.38
169	-0.01	0.47	0.43	-0.21	-0.16	0.09	0.39	-0.14
170	-0.08	0.41	0.47	-0.19	-0.26	0.10	0.56	0.07
175	-0.03	0.44	0.35	-0.19	-0.13	0.04	0.35	-0.20
178	-0.03	0.44	0.30	-0.23	-0.15	0.05	0.29	-0.20
179	0.07	0.43	0.29	-0.25	-0.17	0.11	0.34	-0.01
180	0.47	0.98	0.85	0.36	-0.49	-0.16	0.11	-0.76
182	-0.02	0.51	0.44	-0.20	-0.19	0.11	0.42	-0.09
201	-0.08	0.41	0.47	-0.19	-0.26	0.10	0.56	0.07
206	-0.02	0.52	0.43	-0.22	-0.19	0.10	0.46	-0.09
media	0.00	0.43	0.41	-0.22	-0.21	0.07	0.43	-0.11

I mesi appartenenti alla stagione invernale dello scenario RCP 4.5 sono quelli con un maggior numero di stazioni i cui valori risultano non significativi (tabella 23). Si riscontrano variazioni Δ_t medie stagionali prossime allo zero con un valore medio di tutte le stazioni di 0.002 $^{\circ}\text{C}/63$ anni, un valore massimo di $+0.47$ della stazione 180 (Δ_t positivo e significativo per i mesi di dicembre, gennaio e febbraio) ed uno minimo di -0.2 della stazione 106 (Δ_t negativo e significativo per i mesi di dicembre e febbraio, non significativo e negativo per il mese di gennaio). I valori positivi si concentrano nelle stazioni più a nord (Figura 34a).

Diversamente, nello scenario RCP 8.5 i valori del Δ_t mensile per quasi tutte le stazioni sono significativi e negativi nei mesi di gennaio e febbraio, diventando poco significativi e generalmente positivi nel mese di dicembre (Tabella 24) con un valore medio per la

stagione invernale di $-0.2^{\circ}\text{C}/63$ anni nell'area di studio. Il massimo è di $-0.12^{\circ}\text{C}/63$ anni, per la stazione 168 ed un minimo di $-0.49^{\circ}\text{C}/63$ anni nella 180 (Figura 34b).

I Δ_t medi stagionali (su tutte le stazioni) in primavera ed estate dello scenario RCP 4.5 risultano simili e di circa $+0.4^{\circ}\text{C}/63$ anni. Le variazioni massime di Δ_t stagionale delle singole stazioni si riferiscono alla stazione 180 in entrambi i periodi e risultano pari a circa $+1^{\circ}\text{C}/63$ anni per quello primaverile e $+0.85^{\circ}\text{C}/63$ anni in quello estivo. Inoltre, per entrambi i periodi, tra il 90 ed il 100% delle stazioni presentano valori significativi in 2 mesi su 3 che compongono la stagione (Tabella 23).

Il corrispondente Δ_t medio per lo scenario RCP 8.5 mostra un valore di $+0.07^{\circ}\text{C}/63$ anni ed un intervallo di variazione più contenuto compreso tra $\pm 0.15^{\circ}\text{C}/63$ per il periodo primaverile, mentre in quello estivo la variabilità tra stazioni diventa $+0.57- 0.1^{\circ}\text{C}/63$ anni con un valore medio di variazione per tutte le stazioni pari a $+0.43^{\circ}\text{C}/63$ anni. Comportamento differente in autunno nell'RCP 4.5, nel quale i valori sono tutti negativi, ad esclusione della stazione 180, ed un valore medio stagionale di $-0.21^{\circ}\text{C}/63$ anni con un campo di variazione compreso tra $+0.36$ e -0.64°C , il cui valore minore appartiene alla stazione 106. Anche nello scenario RCP 8.5 le variazioni stagionali degli scarti scendono in autunno, ma in modo più contenuto con un valore medio di $-0.1^{\circ}\text{C}/63$ anni ed un intervallo compreso tra $+0.07$ e $-0.76^{\circ}\text{C}/63$ anni (valore minore relativo alla stazione 180).

Analizzando un comportamento mediato tra tutte le stazioni per le diverse stagioni (tabella 26), si può sintetizzare che per RCP 4.5 le variazioni dei Δ_t medi stagionali sono positive e maggiori per le stagioni primavera ed estate, hanno incrementi prossimi allo zero per quella invernale e variazioni leggermente negative per quella autunnale. Di contro, nell'RCP 8.5, l'estate rimane la stagione con variazioni positive maggiori, la primavera presenta incrementi prossimi allo zero, mentre l'inverno e l'autunno sono caratterizzati da variazioni negative (maggiori in inverno).

Da quanto esposto in questa sezione, si deduce come le variazioni indotte dai cambiamenti climatici e rappresentate da questo studio mediante i due scenari di emissione, siano più rilevanti nei valori di temperatura media rispetto alla differenza Δ_t tra massimo e minimo.

5.1.7. Tendenze annuali dell'evapotraspirazione potenziale (ET_p)

Di seguito, vengono illustrati i risultati delle tendenze annuali dei valori di evapotraspirazione per singola stazione e per i medesimi scenari di emissione visti precedentemente. Più precisamente, la Figura 38 riporta l'esempio, per la stazione 98, dell'andamento annuale dell'evapotraspirazione potenziale (mm/gg) (ET_p) ed il rispettivo trend per lo scenario RCP 4.5 (a) e RCP 8.5 (b). Quest'ultimo risulta significativo (5%) e positivo per entrambi, con valori leggermente maggiori nel caso dello scenario RCP 8.5, ma con differenze poco marcate seguendo l'andamento medio di tutte le stazioni raffigurato nella Figura 19. Nella Tabella 28 vengono rappresentati per ogni stazione e per i due scenari, i valori di “%Slope” intesi come variazioni percentuali del valore di evapotraspirazione potenziale ogni 10 anni, rispetto ai rispettivi valori medi del periodo (2002- 2063) espressi in mm/gg e riportati nell'allegato 10 in appendice. Infine, la Figura 39 esprime le variazioni assolute di evapotraspirazione media annua (mm/10 anni) rispetto ai valori medi annuali del periodo, per ogni stazione e per i due scenari i cui valori vengono rappresentati in formato tabellare nella Tabella 30.

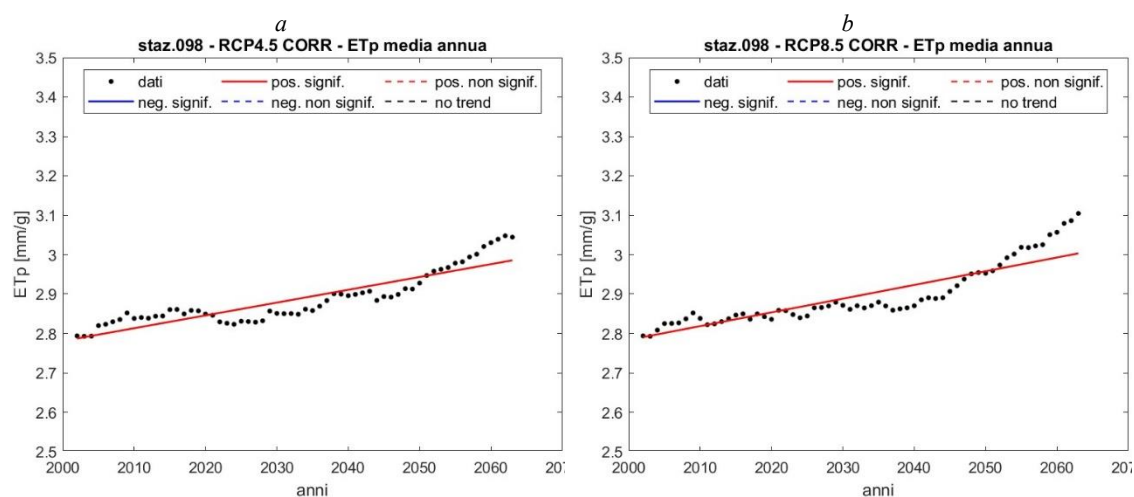


Figura 38: Andamento e tendenza dell'evapotraspirazione potenziale media annua per la stazione 98 (2002- 2063).

Tabella 27: legenda classificazione per intensità dell'evapotraspirazione media annuale (%/10 anni) per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5 riportata nella Tabella 28.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	ETp (%) > 1.2
	1.1 > ETp (%) ≤ 1.2
	1 > ETp (%) ≤ 1.1
	0.9 > ETp (%) ≤ 1
	ETp (%) ≤ 0.9

Tabella 28: variazione (%/10 anni) rispetto al valore medio annuale di ETp per le due serie CPM RCP 4.5 e CPM RCP 8.5.

Variazione dell'ET _p rispetto la media del periodo (%/10 anni) - Trend annuali		
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO	RCP8.5 CORRETTO
	ET _p (%/10 anni)	ET _p (%/10 anni)
98	1.13	1.20
105	1.11	1.26
106	0.85	1.25
111	1.06	1.14
119	1.12	1.25
121	1.13	1.21
123	1.12	1.25
142	1.14	1.25
145	1.14	1.25
149	1.12	1.24
150	1.11	1.20
151	1.13	1.21
152	1.14	1.22
167	0.95	1.08
168	0.93	1.08
169	1.09	1.16
170	1.15	1.28
175	1.05	1.12
178	1.02	1.11
179	1.06	1.19
180	1.64	0.75
182	1.13	1.19
201	1.22	1.38
206	1.11	1.19
media	1.11	1.19

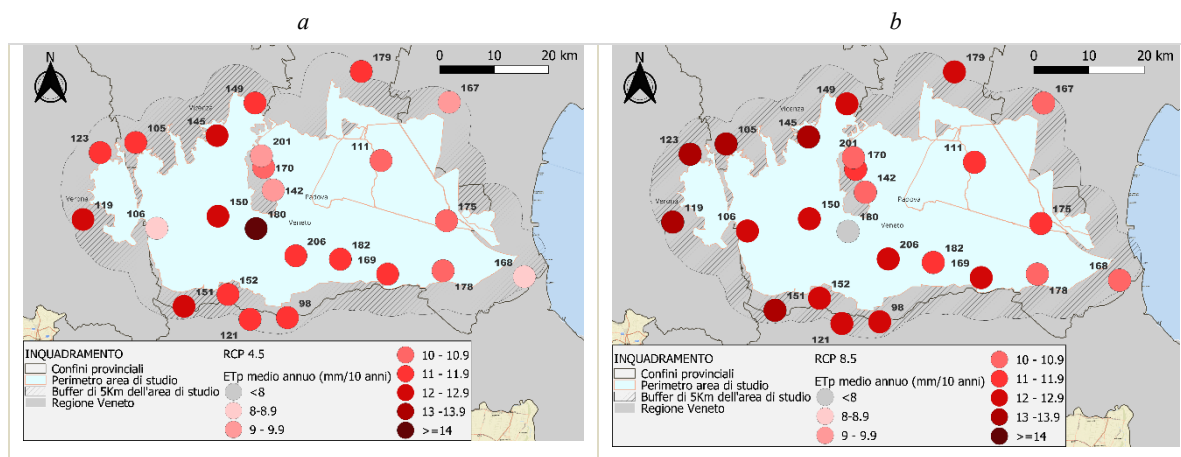


Figura 39: Evapotraspirazione potenziale annuale di ogni stazione per lo scenario RCP4.5 (a) e RCP8.5 (b).

Tabella 29: legenda classificazione per intensità dell'evapotraspirazione media annuale (mm/10 anni) per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5 riportata nella Tabella 30.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	ETp (mm/10 anni) ≥ 14
	14 > ETp (mm/10 anni) ≥ 13
	13 > ETp (mm/10 anni) ≥ 12
	12 > ETp (mm/10 anni) ≥ 11
	11 > ETp (mm/10 anni) ≥ 10
	10 > ETp (mm/10 anni) ≥ 9
	9 > ETp (mm/10 anni) ≥ 8
	ETp (mm/10 anni) < 8

Tabella 30: variazione (mm/10 anni) del valore medio annuale di ET_p per le due serie CPM RCP 4.5 e CPM RCP 8.5.

Variazione dell'ET _p (mm/10 anni) - Trend annuali		
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO	RCP8.5 CORRETTO
	ET _p (mm/10 anni)	ET _p (mm/10 anni)
98	11.87	12.67
105	11.46	13.03
106	8.80	12.94
111	10.52	11.35
119	12.18	13.53
121	11.52	12.36
123	11.98	13.34
142	9.93	10.85
145	12.00	13.17
149	11.55	12.68
150	12.01	12.99
151	12.33	13.26
152	11.82	12.64
167	9.58	10.87
168	8.72	10.11
169	11.32	12.04
170	10.53	11.75
175	10.29	11.00
178	10.02	10.86
179	11.07	12.36
180	16.20	7.40
182	11.20	11.78
201	9.54	10.76
206	11.33	12.19
Variaz. media	11.16	11.91
Etp media periodo (mm/anno)	1006	1009

Per entrambi gli scenari RCP 4.5 ed RCP 8.5, le variazioni percentuali di evapotraspirazione in 10 anni sono significative e positive per tutte le stazioni (Tabella 28 e 30).

L'RCP 4.5 presenta un valore massimo di +1.64% (stazione 180), minimo di +0.85% (stazione 106) e medio del +1.1% tutti riferiti a 10 anni. Nell'RCP 8.5 quello medio aumenta a circa +1.2%, quello minimo scende a +0.75% (stazione 180) e quello massimo a +1.38% (stazione 201). Si nota come le variazioni percentuali non siano così diverse tra i due scenari, tuttavia, bisogna considerare che si riferiscono ai valori medi del periodo

(2002- 2063) che nello scenario RCP 8.5 risultano maggiori, come si può notare nei valori assoluti in 10 anni riportati nella Figura 39.

Infatti, in tutte le stazioni ad esclusione della 180, che rappresenta un “outlier” con valori anomali per entrambi gli scenari, le variazioni dei valori medi di evapotraspirazione potenziale annuale (mm/10 anni) sono maggiori nell’RCP 8.5 rispetto all’RCP 4.5, con una media di +12.1 mm/10 anni, un minimo di +10.1 mm/10 anni e massimo di +13.5 mm/10 anni, contro la media di +11 mm/10 anni, minimo di +8.7 mm/10 anni e massimo di +12.3 mm/10 anni dell’RCP 4.5 (escludendo la stazione 180).

Come accennato precedentemente la stazione 180, così come per i valori di temperatura, rappresenta un “outlier”, ovvero una stazione con valori molto diversi rispetto a tutti gli altri per entrambi gli scenari. In questo caso, nell’RCP 4.5, il valore di ET_p (mm/10 anni) è pari a +16.20, ben oltre la media di tutte le altre stazioni pari a +11 mm/10 anni. Allo stesso modo, per l’RCP 8.5, il valore si attesta sui +7.4 mm/10 anni, ben al di sotto della media di 12 mm/10 anni di tutte le altre per questo scenario.

5.1.8. Tendenze mensili dell'evapotraspirazione potenziale (ETp)

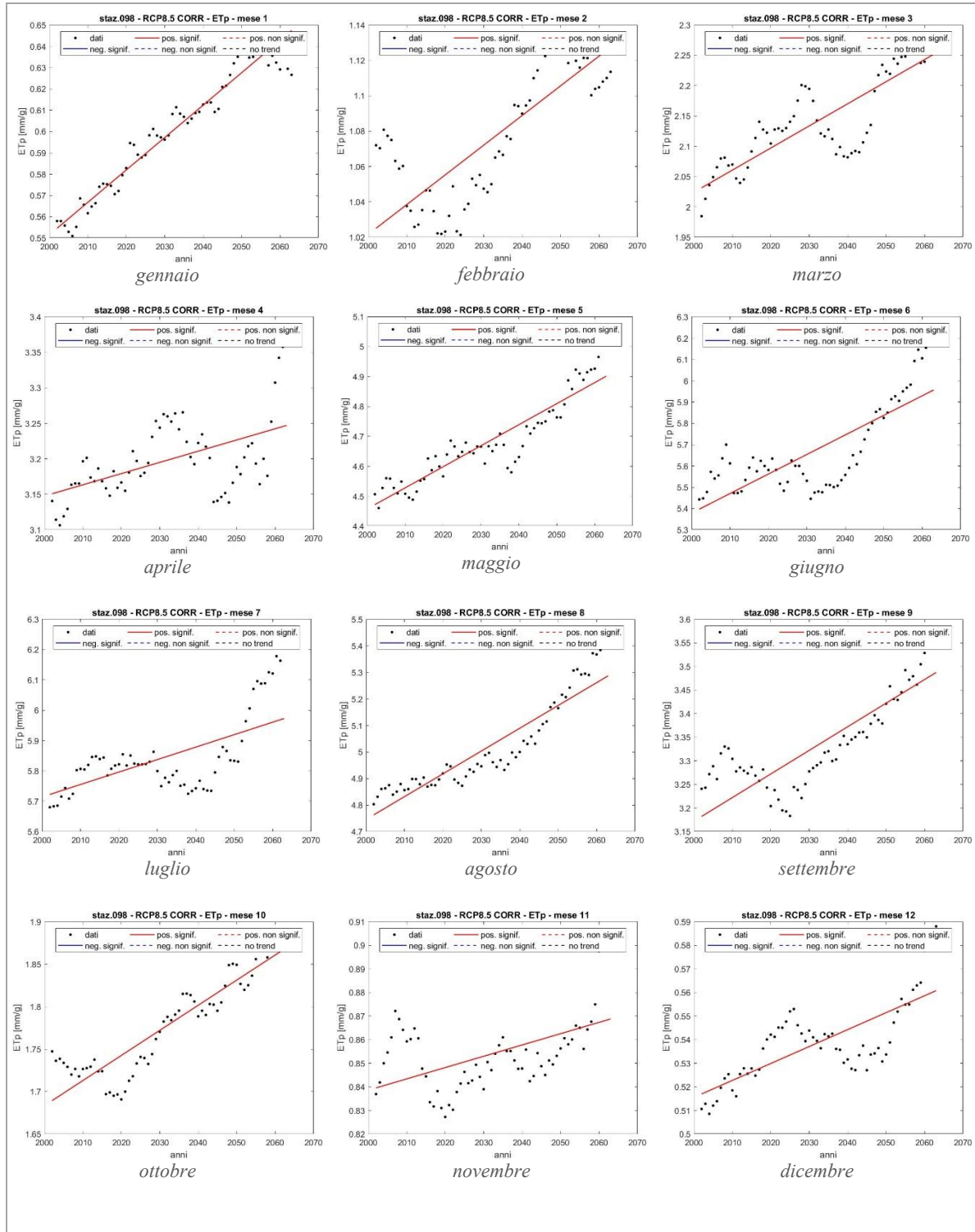


Figura 40: andamenti e tendenze dell'evapotraspirazione potenziale mensile della stazione 98 per ogni mese dell'anno per lo scenario di emissione RCP8.5.

Prendendo sempre come esempio la stazione 98, nella figura precedente (Figura 40) si rappresentano le tendenze e gli andamenti dell'evapotraspirazione potenziale ET_p (mm/gg) media per ogni mese negli anni dell'analisi (2002- 2063) e per lo scenario RCP 8.5. In pratica, ogni plot mensile raffigura la tendenza dell' ET_p medio di quel mese negli anni dell'analisi, le quali risultano crescenti e significative per ogni mese nella stazione 98 per lo scenario RCP8.5.

La variazione percentuale in 10 anni del valore di ET_p di ogni stazione e per entrambi gli scenari, rispetto a quello medio del periodo (mm/gg) (allegati 11 e 12 in appendice), è rappresentata nelle Tabelle 33 e 34, mentre i rispettivi valori in termini assoluti (mm/10 anni) a scala mensile sono riportati nelle tabelle 36 e 37.

Infine, le figure 41, 42, 43 e 44 raffigurano la variazione assoluta (mm/10 anni) dell'evapotraspirazione stagionale, i cui valori sono riportati in forma tabellare nella Tabella 38.

Tabella 31: legenda classificazione per intensità dell'evapotraspirazione media mensile (mm/10 anni) per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5 riportata nelle Tabelle 32 e 33.

SIGNIFICATIVO	
NON SIGNIFICATIVO	
	ET_p (%/10 anni) ≥ 3
	$3 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 2.5
	$2.5 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 2
	$2 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 1.5
	$1.5 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 1
	$1 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 0.5
	$0.5 > ET_p$ (%/10 anni) ≥ 0
	ET_p (%/10 anni) < 0

Tabella 32: variazione (%/10 anni) rispetto al valore medio mensile di ET_p per la serie CPM-RCP 4.5.

Variazione dell'ET _p rispetto la media del periodo (%/10 anni) – RCP 4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	1.54	0.85	1.14	0.96	1.49	1.58	0.66	1.79	0.77	0.16	0.98	1.14
105	1.54	1.10	1.09	1.05	1.42	1.67	0.80	1.80	0.78	0.19	0.75	1.13
106	1.43	0.99	0.87	0.67	1.13	1.45	0.46	1.42	0.48	-0.11	0.44	0.98
111	1.47	1.10	1.15	0.97	1.43	1.35	0.72	1.70	0.77	0.14	0.78	1.13
119	1.63	0.95	1.10	1.07	1.40	1.69	0.76	1.79	0.82	0.18	0.78	1.10
121	1.57	0.87	1.14	0.96	1.53	1.65	0.65	1.83	0.80	0.11	0.95	1.13
123	1.59	1.09	1.09	1.09	1.43	1.67	0.77	1.80	0.81	0.19	0.77	1.15
142	1.37	0.82	1.18	1.10	1.47	1.75	0.85	1.89	0.82	0.13	0.82	1.10
145	1.56	1.00	1.12	1.10	1.47	1.61	0.82	1.78	0.89	0.13	0.81	1.17
149	1.54	1.13	1.12	1.15	1.48	1.59	0.80	1.77	0.92	0.13	0.69	1.18
150	1.60	0.95	1.14	1.01	1.45	1.58	0.72	1.77	0.81	0.16	0.82	1.17
151	1.47	0.90	1.12	0.95	1.44	1.69	0.73	1.79	0.86	0.22	0.90	1.08
152	1.53	0.92	1.19	1.00	1.53	1.68	0.68	1.79	0.82	0.16	0.91	1.16
167	1.49	1.26	1.09	0.79	1.26	1.05	0.67	1.39	0.77	0.16	0.81	1.13
168	1.22	1.02	1.21	0.57	1.23	1.16	0.64	1.43	0.55	0.09	1.02	1.21
169	1.45	0.87	1.12	0.97	1.49	1.48	0.62	1.83	0.78	0.18	0.96	1.21
170	1.37	0.89	1.23	1.10	1.53	1.69	0.83	1.88	0.84	0.07	0.70	1.10
175	1.35	0.93	1.24	0.96	1.47	1.31	0.68	1.73	0.80	0.12	0.97	1.11
178	1.29	0.93	1.18	0.86	1.48	1.35	0.58	1.73	0.68	0.09	0.95	1.11
179	1.53	1.25	1.14	1.02	1.42	1.36	0.73	1.63	0.88	0.18	0.79	1.14
180	2.21	1.34	1.74	1.49	2.00	1.96	0.95	2.26	1.52	0.46	1.90	1.61
182	1.56	0.91	1.15	1.02	1.55	1.58	0.65	1.83	0.82	0.12	0.90	1.13
201	1.38	0.82	1.36	1.21	1.71	1.89	0.87	2.05	0.84	-0.05	0.64	1.08
206	1.53	0.93	1.16	1.01	1.55	1.61	0.63	1.82	0.80	0.08	0.90	1.16
Media	1.51	0.99	1.17	1.00	1.47	1.56	0.72	1.77	0.82	0.14	0.87	1.15

Nello scenario RCP 4.5, il 100% delle stazioni presentano valori di variazione percentuale significativi e positivi in tutti i mesi ad esclusione di febbraio, 83%, ed ottobre, 54% delle stazioni. Considerando la variazione media mensile di tutte le stazioni per lo scenario RCP 4.5, agosto è il mese con il valore maggiore (+1.77 %/10 anni), seguito da giugno (+1.56 %/10 anni) e gennaio (+1.51 %/10 anni). Quelli minori invece, nei mesi di ottobre (+0.14 %/10 anni) e luglio (+0.72 %/10 anni) (Tabella 32).

Tabella 33: variazioni (%/10 anni) rispetto al valore medio mensile di ET_p per la serie CPM-RCP 8.5.

Variazione dell'ET _p rispetto la media del periodo (%/10 anni) – RCP 8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	2.53	1.56	1.70	0.49	1.50	1.62	0.70	1.71	1.50	1.66	0.56	1.33
105	2.56	1.52	1.56	0.51	1.51	1.65	0.96	1.82	1.52	1.85	0.62	1.55
106	2.58	1.56	1.62	0.55	1.53	1.55	0.84	1.83	1.58	1.86	0.57	1.40
111	2.58	1.50	1.62	0.53	1.41	1.42	0.71	1.69	1.38	1.68	0.64	1.40
119	2.52	1.46	1.55	0.47	1.54	1.63	0.91	1.76	1.57	1.86	0.66	1.46
121	2.46	1.55	1.70	0.47	1.51	1.69	0.72	1.68	1.52	1.72	0.47	1.34
123	2.59	1.54	1.53	0.54	1.53	1.60	0.87	1.81	1.49	1.86	0.69	1.46
142	1.81	1.10	1.58	0.48	1.53	1.82	0.95	1.83	1.63	1.90	0.46	1.28
145	2.63	1.57	1.55	0.52	1.51	1.62	0.88	1.85	1.57	1.89	0.56	1.50
149	2.68	1.53	1.58	0.59	1.52	1.57	0.84	1.80	1.59	1.91	0.60	1.49
150	2.60	1.55	1.64	0.52	1.46	1.57	0.77	1.73	1.52	1.81	0.59	1.46
151	2.48	1.58	1.64	0.51	1.49	1.59	0.75	1.71	1.53	1.80	0.59	1.38
152	2.53	1.62	1.70	0.49	1.55	1.65	0.71	1.75	1.57	1.76	0.54	1.38
167	2.72	1.61	1.66	0.64	1.30	1.17	0.65	1.51	1.21	1.55	0.68	1.41
168	2.24	1.74	1.80	0.49	1.28	1.40	0.79	1.42	0.84	1.11	0.52	1.45
169	2.61	1.59	1.71	0.49	1.43	1.48	0.62	1.70	1.38	1.58	0.58	1.41
170	2.30	1.23	1.64	0.52	1.57	1.70	1.02	1.85	1.66	2.02	0.57	1.54
175	2.45	1.64	1.76	0.46	1.36	1.40	0.64	1.66	1.28	1.33	0.60	1.41
178	2.45	1.62	1.74	0.42	1.37	1.43	0.54	1.65	1.20	1.41	0.55	1.39
179	2.75	1.66	1.66	0.60	1.45	1.44	0.69	1.74	1.46	1.81	0.72	1.48
180	0.51	0.30	0.54	0.24	1.09	1.37	0.40	1.32	0.29	-0.75	-0.02	0.56
182	2.63	1.59	1.66	0.48	1.51	1.56	0.68	1.75	1.53	1.73	0.49	1.38
201	2.21	0.90	1.72	0.47	1.74	1.96	1.13	2.01	1.80	2.23	0.37	1.55
206	2.58	1.55	1.66	0.43	1.51	1.59	0.71	1.75	1.51	1.72	0.49	1.39
Media	2.42	1.46	1.61	0.50	1.47	1.56	0.77	1.72	1.42	1.64	0.55	1.39

Tendenze simili anche per lo scenario RCP 8.5 nel quale si registrano tendenze in crescita e significative per tutti i mesi di ogni singola stazione, fatta eccezione per la 180, dove il mese di ottobre risulta significativo e negativo (tendenza decrescente) ed i mesi di gennaio, febbraio, aprile e settembre non significativi positivi.

Nell'RCP 8.5 è gennaio il mese con il valore maggiore (+2.42 %/10 anni), a seguire agosto (+1.72 %/10 anni), ottobre (+1.64 %/10 anni) e marzo (+1.65 %/10 anni). Variazioni medie mensili (di tutte le stazioni) minori nei mesi di aprile (+0.5 %/10 anni), novembre (+0.55 %/10 anni) e luglio (+0.77 %/10 anni) (Tabella 33).

Tabella 34: legenda classificazione per intensità dell'evapotraspirazione media mensile (mm/10 anni) per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5 riportata nelle Tabelle 35 e 36.

	ETp (mm/10 anni) ≥ 2.3
	$2.3 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 2
	$2 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 1.7
	$1.3 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 1.3
	$1.3 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 1
	$1 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 0.7
	$0.7 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 0.3
	$0.3 > ETp$ (mm/10 anni) ≥ 0
	ETp (mm/10 anni) < 0

Tabella 35: variazione (mm/10 anni) rispetto al valore medio mensile di ETp per la serie CPM-RCP 4.5.

Variazione dell'ET _p (mm/10 anni) – RCP 4.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.27	0.26	0.71	0.93	2.09	2.70	1.15	2.69	0.76	0.09	0.25	0.18
105	0.29	0.35	0.67	1.02	1.97	2.79	1.37	2.65	0.75	0.10	0.19	0.19
106	0.26	0.31	0.56	0.65	1.55	2.42	0.80	2.09	0.47	-0.06	0.11	0.16
111	0.27	0.33	0.68	0.90	1.87	2.10	1.17	2.40	0.73	0.07	0.20	0.19
119	0.29	0.30	0.71	1.07	2.03	2.95	1.37	2.79	0.85	0.10	0.21	0.18
121	0.26	0.26	0.70	0.91	2.10	2.72	1.09	2.67	0.76	0.06	0.24	0.18
123	0.30	0.35	0.69	1.07	2.01	2.88	1.37	2.78	0.82	0.10	0.21	0.19
142	0.21	0.20	0.59	0.87	1.71	2.51	1.24	2.37	0.65	0.05	0.17	0.15
145	0.29	0.31	0.70	1.07	2.06	2.73	1.43	2.68	0.88	0.07	0.20	0.19
149	0.28	0.34	0.68	1.11	2.06	2.62	1.34	2.57	0.89	0.07	0.17	0.20
150	0.30	0.30	0.74	1.02	2.09	2.76	1.29	2.76	0.82	0.09	0.22	0.20
151	0.26	0.28	0.73	0.96	2.11	3.00	1.33	2.81	0.89	0.12	0.24	0.17
152	0.26	0.27	0.71	0.95	2.06	2.81	1.18	2.71	0.81	0.08	0.23	0.18
167	0.29	0.38	0.64	0.73	1.64	1.63	1.11	2.01	0.76	0.09	0.22	0.20
168	0.21	0.29	0.68	0.48	1.52	1.72	0.98	1.88	0.48	0.05	0.26	0.20
169	0.25	0.26	0.69	0.93	2.08	2.49	1.07	2.71	0.75	0.10	0.24	0.19
170	0.21	0.23	0.66	0.93	1.89	2.56	1.29	2.51	0.72	0.03	0.15	0.15
175	0.24	0.27	0.72	0.86	1.89	2.07	1.11	2.41	0.74	0.06	0.24	0.18
178	0.23	0.28	0.70	0.79	1.95	2.09	0.93	2.37	0.62	0.05	0.24	0.18
179	0.29	0.39	0.69	0.99	1.94	2.27	1.23	2.43	0.87	0.10	0.21	0.20
180	0.38	0.39	1.03	1.36	2.64	3.15	1.56	3.19	1.39	0.23	0.46	0.25
182	0.26	0.27	0.69	0.94	2.07	2.53	1.06	2.59	0.76	0.06	0.22	0.17
201	0.19	0.18	0.62	0.88	1.80	2.41	1.15	2.32	0.60	-0.02	0.11	0.14
206	0.26	0.28	0.71	0.95	2.13	2.65	1.05	2.66	0.78	0.04	0.22	0.18
Variaz. Media	0.27	0.30	0.70	0.93	1.97	2.52	1.19	2.54	0.77	0.07	0.22	0.18
Media periodo (mm/mese)	18	28	62	93	138	162	172	149	94	52	25	16

Tabella 36: variazione (mm/10 anni) rispetto al valore medio mensile di ET_p per la serie CPM-RCP 8.5.

Variazione dell'ET _p rispetto la media del periodo (mm/10 anni) – RCP 8.5												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.46	0.50	1.09	0.47	2.11	2.75	1.23	2.58	1.50	0.89	0.14	0.22
105	0.49	0.50	0.98	0.49	2.11	2.73	1.63	2.68	1.47	0.96	0.16	0.26
106	0.49	0.52	1.07	0.55	2.17	2.65	1.49	2.76	1.59	0.98	0.15	0.23
111	0.49	0.47	0.98	0.48	1.84	2.21	1.17	2.38	1.32	0.87	0.17	0.24
119	0.47	0.48	1.01	0.46	2.24	2.84	1.63	2.75	1.64	1.02	0.17	0.24
121	0.42	0.49	1.07	0.44	2.08	2.78	1.20	2.45	1.47	0.90	0.12	0.21
123	0.50	0.51	0.99	0.52	2.15	2.74	1.54	2.80	1.53	1.01	0.18	0.25
142	0.29	0.28	0.81	0.37	1.78	2.59	1.38	2.28	1.32	0.80	0.09	0.18
145	0.50	0.50	0.98	0.50	2.12	2.73	1.53	2.80	1.58	0.99	0.14	0.25
149	0.51	0.48	0.98	0.56	2.11	2.58	1.40	2.62	1.54	0.99	0.15	0.25
150	0.50	0.52	1.08	0.52	2.11	2.72	1.38	2.70	1.55	0.98	0.15	0.25
151	0.45	0.52	1.09	0.51	2.20	2.81	1.36	2.68	1.61	0.98	0.15	0.22
152	0.45	0.49	1.03	0.46	2.10	2.75	1.23	2.66	1.57	0.93	0.14	0.21
167	0.54	0.51	1.00	0.59	1.69	1.83	1.08	2.20	1.20	0.84	0.18	0.25
168	0.40	0.52	1.03	0.41	1.59	2.09	1.22	1.87	0.74	0.55	0.13	0.24
169	0.47	0.50	1.08	0.46	2.00	2.50	1.06	2.53	1.35	0.83	0.15	0.23
170	0.37	0.33	0.89	0.43	1.94	2.56	1.57	2.47	1.44	0.89	0.12	0.21
175	0.44	0.50	1.05	0.41	1.76	2.20	1.03	2.31	1.19	0.67	0.15	0.23
178	0.44	0.51	1.06	0.38	1.80	2.21	0.86	2.26	1.12	0.73	0.14	0.23
179	0.55	0.53	1.01	0.58	1.98	2.39	1.16	2.59	1.47	0.99	0.19	0.26
180	0.08	0.08	0.31	0.21	1.40	2.15	0.65	1.82	0.25	-0.35	0.00	0.08
182	0.45	0.49	1.02	0.44	2.03	2.49	1.11	2.47	1.44	0.88	0.12	0.21
201	0.32	0.20	0.80	0.34	1.83	2.47	1.49	2.29	1.32	0.83	0.07	0.20
206	0.45	0.49	1.04	0.40	2.07	2.61	1.18	2.57	1.48	0.89	0.12	0.22
Variaz. Media	0.44	0.46	0.98	0.46	1.97	2.52	1.28	2.48	1.36	0.84	0.14	0.22
Media periodo (mm/mese)	19	29	63	92	139	162	172	149	96	53	25	16

È chiaro come l'evapotraspirazione media mensile assoluta (mm/mensili) nel periodo di analisi sia simile in entrambi gli scenari a differenza degli incrementi medi che sono nettamente maggiori nell'RCP 8.5 nel mese di settembre, ottobre, gennaio e febbraio (+1.36 mm/10 anni, +0.84 mm/10 anni, +0.44 mm/10 anni e +0.46 mm/10 anni rispettivamente) rispetto ai medesimi dell'RCP 4.5 (+0.77 mm/10 anni, +0.07 mm/10 anni, +0.27 mm/10 anni e +0.30 mm/10 anni rispettivamente). I restanti mesi presentano differenze meno marcate tra i due scenari, fatta eccezione per aprile che risulta quasi il doppio nell'RCP 4.5 (+0.93 mm/10 anni) rispetto all'RCP 8.5 (+0.46 mm/10 anni).

Si considerano infine le variazioni medie stagionali di ET_p in mm/10 anni: invernali (Figura 41), primaverili (Figura 42), estive (Figura 43) ed autunnali (Figura 44) per i due scenari di emissione (RCP4.5- a; RCP8.5- b), i cui valori in formato tabellare sono riportati nella Tabella 38.

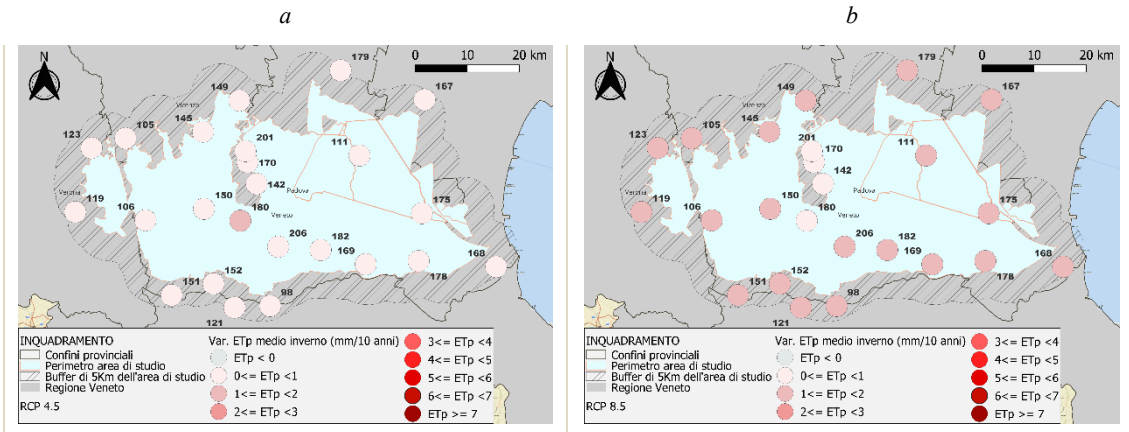


Figura 41: variazione di evapotraspirazione potenziale (mm/10 anni) per la stagione invernale e per lo scenario RCP 4.5 (a) e RCP8.5 (b).

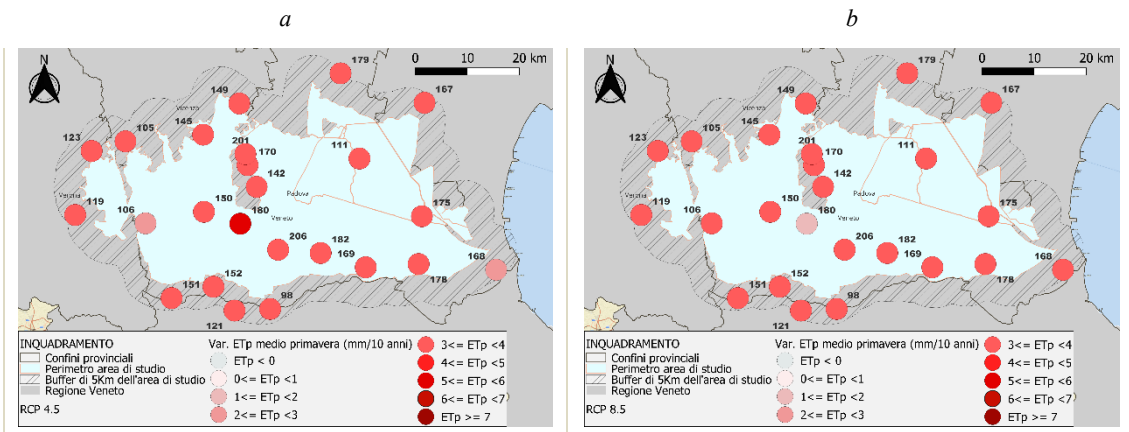


Figura 42: variazione di evapotraspirazione potenziale (mm/10 anni) per la stagione primaverile e per lo scenario RCP 4.5 (a) e RCP8.5 (b).

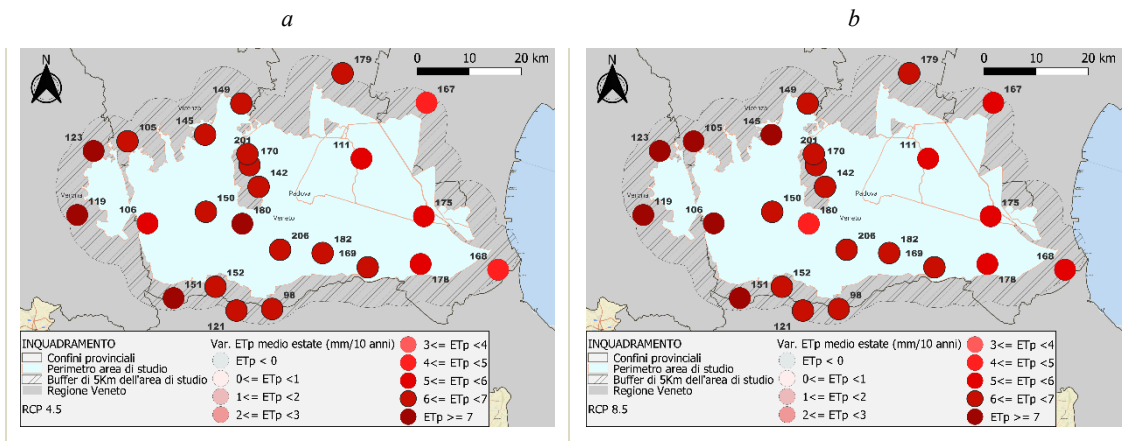


Figura 43: variazione di evapotraspirazione potenziale (mm/10 anni) per la stagione estiva e per lo scenario RCP 4.5 (a) e RCP8.5 (b).

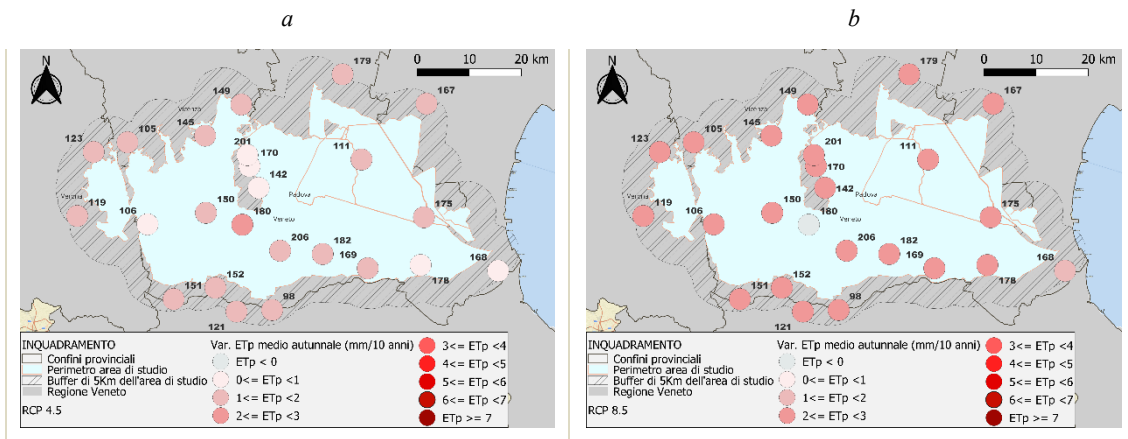


Figura 44: variazione di evapotraspirazione potenziale (mm/10 anni) per la stagione autunnale e per lo scenario RCP 4.5 (a) e RCP8.5 (b).

Tabella 37: legenda classificazione per intensità dell'evapotraspirazione media stagionale (mm/10 anni) per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5 riportata nelle Tabelle 38 e 39.

	ETp (mm/10 anni) \geq 7
	7 > ETp (mm/10 anni) \geq 6
	6 > ETp (mm/10 anni) \geq 5
	5 > ETp (mm/10 anni) \geq 4
	4 > ETp (mm/10 anni) \geq 3
	3 > ETp (mm/10 anni) \geq 2
	2 > ETp (mm/10 anni) \geq 1
	1 > ETp (mm/10 anni) \geq 0
	ETp (mm/10 anni) < 0

Tabella 38: variazione (mm/10 anni) media stagionale dell'evapotraspirazione potenziale per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5.

Variazione media stagionale dell'Evapotraspirazione potenziale (mm/10 anni)								
stazioni	RCP 4.5				RCP 8.5			
	inverno	primavera	estate	autunno	inverno	primavera	estate	autunno
98	0.72	3.82	6.69	1.12	1.18	3.76	6.71	2.56
105	0.82	3.75	6.96	1.05	1.25	3.66	7.21	2.62
106	0.73	2.82	5.42	0.53	1.23	3.87	7.05	2.75
111	0.79	3.53	5.80	1.01	1.20	3.37	5.89	2.38
119	0.77	3.89	7.26	1.16	1.19	3.79	7.39	2.86
121	0.70	3.80	6.62	1.07	1.13	3.67	6.57	2.52
123	0.84	3.85	7.18	1.14	1.26	3.74	7.24	2.75
142	0.56	3.25	6.25	0.88	0.74	3.03	6.40	2.24
145	0.80	3.91	6.99	1.17	1.26	3.68	7.22	2.74
149	0.82	3.94	6.68	1.14	1.24	3.73	6.75	2.71
150	0.80	3.92	6.96	1.13	1.26	3.79	6.96	2.71
151	0.71	3.89	7.30	1.26	1.18	3.88	7.00	2.77
152	0.71	3.80	6.85	1.14	1.16	3.67	6.78	2.67
167	0.86	3.07	4.87	1.07	1.29	3.35	5.23	2.24
168	0.70	2.74	4.68	0.79	1.16	3.11	5.29	1.44
169	0.71	3.78	6.41	1.11	1.20	3.62	6.22	2.36
170	0.59	3.55	6.50	0.91	0.91	3.34	6.75	2.47
175	0.69	3.55	5.71	1.05	1.17	3.29	5.67	2.03
178	0.69	3.51	5.51	0.92	1.18	3.32	5.46	2.00
179	0.88	3.69	6.06	1.19	1.33	3.65	6.28	2.68
180	1.02	5.14	8.07	2.10	0.25	1.96	4.72	-0.10
182	0.70	3.79	6.32	1.05	1.15	3.56	6.21	2.46
201	0.51	3.38	6.01	0.71	0.72	3.03	6.38	2.24
206	0.72	3.88	6.51	1.05	1.15	3.59	6.51	2.51
Variaz. media	0.74	3.68	6.40	1.07	1.12	3.48	6.41	2.36
Media stagionale (mm/stagione)	63	287	472	170	65	287	472	171

Anche i valori medi stagionali delle singole stazioni evidenziano incrementi positivi per tutte le stagioni con valori maggiori per i mesi estivi e primaverili di entrambi gli scenari: un valore medio di circa +6.4 mm/10 anni per entrambi gli scenari in estate e +3.68 e +3.48 mm/10 anni rispettivamente per lo scenario RCP 4.5 e RCP 8.5 nel periodo primaverile. In inverno, ma soprattutto in autunno, lo scenario RCP 8.5 presenta tendenze positive superiori, con valori di +1.12 (invernali) e +2.36 (autunnali) contro i +0.74 e +1.1 mm/10 anni dello scenario RCP 4.5 per le rispettive stagioni.

CAPITOLO 6

6. Conclusioni

Il presente lavoro di tesi si pone come obiettivo principale quello di valutare le tendenze future delle temperature e dei conseguenti valori di evapotraspirazione potenziale (E_{tp}) della bassa pianura veneta, area a forte vocazione agricola irrigua per la quale risulta di fondamentale importanza gestionale la comprensione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici in termini di disponibilità idrica.

A tale scopo, sono state individuate 24 stazioni di misurazione dell'ARPAV ricadenti all'interno dell'area di studio con un "buffer" di 5 km dalle quali sono stati ricavati i valori di temperatura osservati riferiti al periodo storico (1995-2010).

Considerando le coordinate WGS84 delle stazioni ARPAV, sono state estratte i dati di temperatura da un modello climatico a convezione permessa (CPM) per il punto griglia più vicino a quelle coordinate, permettendo di ottenere il "data set" delle temperature per lo scenario storico (1995- 2010). Questo ha permesso di determinare le distorsioni del modello CPM tramite comparazione con le osservazioni storiche, e di applicare un fattore correttivo alle serie simulate future (2010- 2070). Il modello CPM esprime la forzante indotta dal cambiamento climatico secondo due scenari, RCP 4.5 ed RCP 8.5, riportati nel quinto rapporto dell'IPCC (AR5) sui cambiamenti climatici, il cui confronto è alla base del presente lavoro per comprendere le differenti tendenze delle temperature ed evapotraspirazione in funzione dello scenario di emissione considerato.

Le serie future per entrambi gli scenari subiscono un processo di "livellazione" tramite calcolo della media su finestra mobile di 15 anni, necessario a renderle meno fluttuanti nella fase finale di applicazione dello studio delle tendenze.

L'approccio di correzione del modello CPM è di tipo "linear scaling" con un fattore correttivo additivo lineare mensile ottenuto dal confronto delle serie storiche ARPAV e CPM, applicato a quelle future per sottrazione. Per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale si è adottata la formula di Hargreaves, la quale necessita dei soli dati di temperatura e radiazione in entrata. Infine, per determinare la presenza o meno di una tendenza si è optato per il test non parametrico di Mann-Kendall, mentre per valutarne l'entità lo stimatore della pendenza di Sen, i quali sono stati applicati a scala mensile ed annuale.

I risultati delle tendenze annuali dei valori di temperatura media, minima e massima mettono in evidenza tendenze significative e crescenti per entrambi gli scenari e per tutte le stazioni, con valori generalmente maggiori per quello a maggior emissioni (RCP 8.5). Nello specifico, gli incrementi medi di tutte le stazioni nel periodo (2002- 2063) risultano pari a circa +0.3 °C/10 anni nell'RCP 4.5 e +0.4 °C/10 anni per l'RCP 8.5, per tutti e tre i parametri di temperatura: media, minima e massima. Valori prossimi allo zero per entrambi gli scenari per quanto riguarda le tendenze sulle differenze Δ_t annuali, sebbene molte stazioni dello scenario RCP 8.5 risultano non significative a differenza di quelle dell'RCP 4.5.

Considerando quindi l'intero periodo di 63 anni dell'analisi, ci si aspettano variazioni medie della temperatura media, minima e massima pari a circa +2 °C/63 anni nell'RCP 4.5 e di ben +2.4 °C/63 anni per l'RCP8.5. Come precedentemente accennato le tendenze annuali delle differenze Δ_t , tra massimo e minimo, risultano nettamente inferiori rispetto agli altri parametri di temperatura che si attestano su +0.1 °C/63 anni per il primo scenario e +0.03 °C/63 anni per il secondo.

Anche a scala mensile le tendenze delle temperature si confermano significative e crescenti per tutti i mesi e per tutte le stazioni in entrambi gli scenari, con valori generalmente maggiori a parità di mese per lo scenario RCP 8.5.

È interessante notare l'andamento delle variazioni stagionali dei su detti valori nei 63 anni dell'analisi: mentre per RCP 4.5 gli incrementi maggiori si hanno in estate (valore medio di circa +2.9 °C/63 anni) e poi in primavera, si sono riscontrati incrementi positivi distribuiti più uniformemente durante tutte le stagioni per lo scenario RCP 8.5, con l'inverno (+2.8 °C/63 anni) come stagione con incrementi maggiori.

Per quanto riguarda le variazioni dei Δ_t medie stagionali, che entrano nella formulazione di calcolo dell'evapotraspirazione, si evidenziano tendenze positive e maggiori per le stagioni primavera ed estate, incrementi prossimi allo zero per quella invernale e variazioni leggermente negative per quella autunnale per lo scenario RCP 4.5. Al contrario, nell'RCP 8.5, l'estate rimane la stagione con variazioni positive maggiori, la primavera presenta incrementi prossimi allo zero, mentre l'inverno e l'autunno sono caratterizzati da variazioni negative (maggiori in inverno), a causa di un maggiore incremento delle T minime.

Passando alle tendenze annuali dei valori di evapotraspirazione potenziale, espressi come variazioni percentuali sui rispettivi valori medi in mm/gg, essendo legate ai valori di temperatura, risultano positive e significative per ognuna delle 24 stazioni e per entrambi gli scenari, con valori medi di circa +1.1 %/10 anni (RCP 4.5) e +1.2 %/10 anni (RCP 8.5). Considerando tali tendenze percentuali come valori medi annuali in mm/10 anni di evapotraspirazione potenziale si riscontrano valori maggiori per ognuna delle stazioni per lo scenario RCP 8.5 con un valore medio di +12.1 mm/10 anni, rispetto ai +11 mm/10 anni dell'RCP 4.5. Da notare come la stazione 180 abbia valori anomali, molto distanti dalla media delle altre, sia per quanto riguarda le tendenze delle temperature, che per quelle dell'evapotraspirazione.

Infine, anche i trend mensili dell'evapotraspirazione potenziali, espressi come %/10 anni dei mm giornalieri medi del periodo (2002- 2063), risultano significativi e crescenti per il 100 % delle stazioni per tutti i mesi, escluso febbraio (83%) ed ottobre (54%) nello scenario 4.5, con variazioni positive maggiori nel mese di agosto (+1.77 %/10 anni). Nello scenario 8.5, escludendo la stazione 180 ed il mese di ottobre della 201, si attestano tendenze significative e crescenti, con un valore più alto nel mese di gennaio (+2.42 %/10 anni).

Per entrambi gli scenari, l'estate è la stagione con incrementi assoluti maggiori con un valore medio di +6.4 mm/10 anni per entrambi, seguita dalla primavera, +3.68 mm/10 anni per l'RCP 4.5 e +3.48 mm/10 anni per l'RCP 8.5. Le differenze si fanno più marcate tra i due scenari in autunno ed inverno, dove l'RCP 8.5 presenta valori superiori, rispettivamente pari a +2.36 mm/10 anni e + 1.12 mm/10 anni, contro i +1.07 mm/10 anni e +0.74 mm/10 anni nello scenario RCP 4.5.

In conclusione, dal presente studio emerge chiaramente come le tendenze future delle temperature risultino in aumento per tutte le stagioni con incrementi medi i cui valori sono allineati a quelli di altri studi precedentemente citati, ovvero di circa 2 gradi per lo scenario RCP 4.5 e fino a 2.5 gradi per l'RCP 8.5 (°C/63 anni) per quanto riguarda la temperatura media annuale. Inoltre, pur considerando che le variazioni positive coinvolgono tutte le stagioni in entrambi gli scenari, l'inverno e l'autunno sono quelle in cui i valori di temperatura media stagionale subiscono gli incrementi maggiori per l'8.5. Non sembrerebbe subire grosse differenze lo scarto tra massimo e minimo che si mantiene pressoché costante per entrambi gli scenari.

Anche le tendenze dell'evapotraspirazione potenziale calcolata con il metodo di "Hargreaves" risultano in aumento e significative, ma le differenze tra i due scenari di emissioni sono ridotte presentando valori di incremento simili, con estate e primavera come stagioni in cui si avranno variazioni maggiori.

Questi risultati mostrano come sia necessario considerare, nella gestione futura della risorsa idrica, l'aumentata evapotraspirazione conseguente all'atteso aumento di temperatura, e di come anche la stagionalità delle variazioni possa essere rilevante, soprattutto nell'ambito di un'esigenze irrigue legate all'agricoltura. Lo studio ha utilizzato una formulazione semplificata per il calcolo della evapotraspirazione, che si basa sulla disponibilità di misure e simulazioni di temperatura. Futuri sviluppi potranno considerare formulazioni più raffinate, che considerino anche umidità, radiazione, vento, ma che richiedono anche più complesso reperimento di dati misurati e simulati e più complessi approcci di correzione del bias del modello climatico.

ALLEGATI

Allegato 1: medie annuali dei parametri di temperatura nel periodo 2002- 2063

Medie annuali dei parametri di temperatura (2002- 2063) (°C)								
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO				RCP8.5 CORRETTO			
	T _{media}	T _{min}	T _{max}	Δ _t	T _{media}	T _{min}	T _{max}	Δ _t
98	14.3	9.7	19.5	9.9	14.6	10.0	19.8	9.8
105	14.6	10.0	19.6	9.6	14.9	10.3	19.9	9.5
106	14.2	9.5	19.3	9.8	14.4	9.5	19.7	10.2
111	14.2	9.7	18.9	9.2	14.5	10.1	19.3	9.1
119	13.9	8.8	19.5	10.7	14.2	9.1	19.8	10.6
121	14.3	9.9	19.2	9.3	14.6	10.3	19.5	9.2
123	14.0	9.0	19.5	10.5	14.4	9.3	19.8	10.5
142	14.1	11.0	17.8	6.8	14.4	11.3	18.1	6.7
145	14.1	9.2	19.3	10.1	14.4	9.6	19.6	10.0
149	14.1	9.6	19.3	9.7	14.5	9.9	19.6	9.6
150	14.4	9.5	19.9	10.4	14.7	9.8	20.1	10.4
151	14.0	8.9	19.6	10.7	14.3	9.3	19.9	10.6
152	14.0	9.9	19.6	9.7	14.3	10.3	19.9	9.6
167	13.9	9.3	18.9	9.7	14.3	9.6	19.3	9.6
168	14.5	10.5	18.5	8.0	14.9	10.9	18.9	7.9
169	14.0	9.5	19.2	9.8	14.4	9.9	19.6	9.7
170	14.0	10.5	18.1	7.6	14.3	10.8	18.3	7.5
175	14.3	10.1	18.8	8.8	14.7	10.5	19.2	8.7
178	14.4	10.2	18.9	8.8	14.8	10.6	19.3	8.7
179	14.1	9.2	19.4	10.1	14.4	9.6	19.7	10.1
180	15.1	11.2	19.6	8.4	15.0	11.4	19.2	7.8
182	14.0	9.8	18.8	9.0	14.4	10.2	19.1	8.9
201	13.2	10.5	16.4	5.9	13.5	10.9	16.7	5.8
206	14.4	9.9	19.2	9.3	14.7	10.3	19.5	9.2
media	14.2	9.8	19.0	9.2	14.5	10.1	19.3	9.2

Allegato 2: Temperatura media mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 4.5

Temperatura media mensile (2002- 2063) - RCP4.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	3.7	4.1	9.4	13.9	19.5	23.3	24.8	24.8	19.3	14.7	9.1	4.9
105	3.7	4.2	9.8	14.3	19.8	23.7	25.4	25.5	20.0	14.8	9.0	4.8
106	3.6	3.9	9.4	14.1	19.4	23.1	24.9	24.8	19.3	14.4	9.0	4.5
111	4.1	4.2	9.3	13.7	19.2	22.7	24.4	24.3	19.3	14.6	9.2	5.2
119	3.5	3.7	9.2	13.9	19.4	23.0	24.6	24.4	18.9	13.9	8.4	4.3
121	3.8	4.3	9.4	14.0	19.6	23.2	24.7	24.8	19.2	14.6	9.0	4.7
123	3.4	4.0	9.3	14.0	19.3	22.9	24.8	24.8	19.2	14.0	8.4	4.4
142	4.4	4.4	9.3	13.3	18.6	22.3	24.3	24.4	19.0	14.3	9.0	5.3
145	3.5	3.9	9.3	13.8	19.4	23.1	24.6	24.5	19.2	14.3	8.9	4.7
149	3.7	4.0	9.3	13.8	19.3	23.1	24.6	24.6	19.3	14.2	8.8	4.9
150	3.6	4.0	9.5	14.1	19.7	23.5	25.2	25.3	19.6	14.6	9.0	4.8
151	3.5	3.9	9.3	13.8	19.3	23.1	24.9	24.6	18.8	13.9	8.6	4.4
152	3.4	3.3	9.0	13.7	19.3	22.9	24.6	24.8	19.3	14.4	8.7	4.3
167	3.8	3.9	9.0	13.6	19.0	22.6	24.2	24.1	18.8	14.2	8.9	4.9
168	4.8	4.6	9.5	13.7	19.2	22.8	24.6	24.8	19.7	15.3	10.0	5.8
169	3.7	3.8	9.0	13.6	19.2	22.8	24.4	24.4	19.1	14.6	9.2	4.7
170	4.0	4.2	9.1	13.3	18.7	22.5	24.5	24.5	19.1	14.2	8.7	4.9
175	4.2	4.2	9.2	13.8	19.3	22.9	24.6	24.5	19.3	14.8	9.4	5.2
178	4.3	4.3	9.3	14.1	19.7	23.0	24.4	24.5	19.5	15.1	9.5	5.1
179	3.8	4.0	9.2	14.0	19.4	23.1	24.3	24.6	19.0	14.0	8.9	4.9
180	4.6	5.2	10.4	14.6	19.7	23.5	25.6	25.7	20.4	15.5	9.8	5.6
182	3.6	3.8	9.0	13.7	19.3	22.7	24.2	24.4	19.1	14.6	9.0	4.6
201	4.1	3.8	8.2	12.3	17.4	21.0	23.1	23.3	18.0	13.5	8.2	5.1
206	3.9	4.2	9.5	14.2	19.8	23.2	24.5	24.7	19.5	14.9	9.1	4.8
media	3.9	4.1	9.3	13.8	19.3	22.9	24.6	24.6	19.2	14.5	9.0	4.9

Allegato 3: Temperatura media mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per o scenario RCP8.5

Temperatura media mensile (2002- 2063) – RCP 8.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	4.5	5.0	10.1	13.9	19.7	23.4	24.9	24.8	19.8	15.0	9.4	5.0
105	4.5	5.1	10.4	14.1	20.0	23.8	25.4	25.5	20.5	15.1	9.4	4.9
106	4.2	4.6	9.9	13.8	19.5	23.2	25.0	24.8	19.8	14.7	9.2	4.4
111	4.9	5.1	10.0	13.6	19.4	22.9	24.5	24.3	19.7	14.9	9.6	5.3
119	4.3	4.6	9.9	13.7	19.6	23.1	24.6	24.5	19.4	14.2	8.7	4.4
121	4.6	5.3	10.2	14.0	19.9	23.4	24.8	24.9	19.7	14.9	9.4	4.8
123	4.3	4.9	10.0	13.8	19.5	23.0	24.8	24.8	19.7	14.3	8.7	4.5
142	5.1	5.3	9.9	13.2	18.8	22.4	24.4	24.5	19.5	14.6	9.3	5.4
145	4.3	4.8	9.9	13.7	19.6	23.2	24.6	24.6	19.7	14.6	9.2	4.8
149	4.5	4.9	9.9	13.6	19.5	23.2	24.6	24.7	19.8	14.5	9.2	5.0
150	4.3	4.9	10.1	13.9	19.9	23.5	25.1	25.4	20.1	14.9	9.2	4.9
151	4.3	4.8	10.0	13.7	19.6	23.2	24.9	24.7	19.4	14.2	8.9	4.5
152	4.2	4.3	9.8	13.7	19.6	23.1	24.6	24.9	19.8	14.7	9.0	4.4
167	4.6	4.8	9.7	13.6	19.3	22.8	24.3	24.2	19.3	14.5	9.3	5.0
168	5.5	5.5	10.3	13.9	19.5	23.0	24.8	24.9	20.1	15.5	10.4	5.9
169	4.5	4.7	9.8	13.5	19.4	22.9	24.5	24.5	19.6	14.9	9.6	4.8
170	4.8	5.1	9.8	13.2	18.9	22.7	24.5	24.6	19.6	14.5	9.1	5.0
175	5.0	5.1	9.9	13.9	19.6	23.1	24.7	24.6	19.8	15.1	9.7	5.3
178	5.1	5.2	10.1	14.1	19.9	23.2	24.5	24.6	20.0	15.3	9.9	5.3
179	4.6	4.8	9.9	13.9	19.6	23.3	24.3	24.6	19.5	14.3	9.2	5.0
180	4.6	5.1	10.3	14.5	19.6	23.5	25.5	25.6	20.3	15.4	9.7	5.6
182	4.4	4.7	9.7	13.7	19.6	22.8	24.3	24.5	19.6	14.9	9.4	4.7
201	4.9	4.7	8.9	12.1	17.6	21.2	23.1	23.3	18.5	13.7	8.6	5.2
206	4.7	5.1	10.2	14.2	20.1	23.3	24.6	24.8	20.0	15.2	9.5	4.9
media	4.6	4.9	9.9	13.7	19.5	23.1	24.6	24.7	19.7	14.8	9.3	5.0

Allegato 4: Temperatura minima mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 4.5

Temperatura minima mensile (2002- 2063) – RCP 4.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	1.2	0.4	4.3	8.8	13.8	17.1	18.4	18.9	14.0	10.8	6.0	2.2
105	0.7	0.2	4.7	9.1	14.2	17.8	19.5	19.9	15.1	11.1	5.9	1.8
106	0.7	0.2	4.0	8.7	13.6	16.9	18.5	18.9	14.0	10.7	5.9	1.7
111	1.4	0.5	4.6	8.8	14.0	17.2	18.5	18.7	14.2	10.7	6.1	2.4
119	0.6	0.2	3.7	8.2	13.1	16.3	17.6	17.7	12.8	9.4	4.8	1.3
121	1.4	0.8	4.6	9.1	14.1	17.3	18.7	19.2	14.2	10.7	6.0	2.2
123	0.2	0.2	3.9	8.6	13.3	16.4	18.0	18.3	13.5	9.6	4.7	1.3
142	2.5	2.1	6.2	9.9	14.7	17.9	20.0	20.5	15.7	11.9	7.1	3.3
145	0.4	0.2	3.9	8.4	13.5	16.8	18.1	18.3	13.6	10.3	5.7	1.7
149	0.8	0.3	4.4	8.7	13.7	17.2	18.7	19.0	14.2	10.3	5.7	2.0
150	0.6	0.4	4.0	8.6	13.6	16.9	18.5	19.0	14.2	10.6	5.7	2.0
151	0.9	0.0	3.7	8.0	12.8	16.2	17.7	17.9	12.7	9.6	5.2	1.7
152	1.1	0.3	5.0	9.3	14.6	17.4	18.8	19.4	14.6	10.7	5.7	2.0
167	0.9	0.0	4.2	8.6	13.7	16.9	17.9	18.2	13.2	10.0	5.5	1.8
168	2.3	1.2	5.3	9.5	14.4	17.5	19.2	19.8	15.1	11.7	7.0	3.1
169	1.2	0.1	4.0	8.4	13.4	16.6	18.0	18.6	14.0	10.7	6.3	2.0
170	1.9	1.5	5.5	9.4	14.3	17.6	19.5	19.8	15.1	11.5	6.7	2.8
175	1.7	0.7	4.7	9.3	14.3	17.3	18.8	19.2	14.6	11.2	6.4	2.6
178	1.8	0.6	4.6	9.4	14.6	17.6	18.8	19.3	14.8	11.3	6.6	2.4
179	0.7	0.0	4.4	8.6	13.7	17.0	18.0	18.5	13.3	9.5	5.4	1.7
180	2.2	2.2	6.3	10.4	15.0	18.4	20.3	20.8	16.1	12.2	7.2	3.2
182	1.2	0.3	4.3	9.0	14.0	17.1	18.5	19.1	14.4	10.9	6.3	2.2
201	2.3	1.9	5.4	9.3	14.0	17.4	19.4	19.7	15.1	11.4	6.6	3.4
206	1.5	0.6	4.6	9.4	14.4	17.3	18.5	18.9	14.3	11.1	6.2	2.2
media	1.3	0.5	4.6	9.0	14.0	17.2	18.7	19.1	14.3	10.8	6.0	2.2

Allegato 5: Temperatura minima mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 8.5

Temperatura minima mensile (2002- 2063) – RCP 8.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	2.0	1.3	5.2	8.8	14.2	17.3	18.5	18.9	14.6	11.1	6.4	2.0
105	1.5	1.1	5.4	9.0	14.4	18.0	19.5	19.9	15.6	11.4	6.3	1.5
106	1.2	0.4	4.4	8.3	13.5	16.8	18.3	18.7	14.2	10.7	6.0	1.2
111	2.2	1.4	5.4	8.9	14.3	17.4	18.5	18.8	14.8	11.0	6.5	2.2
119	1.4	0.6	4.4	8.1	13.4	16.4	17.6	17.8	13.4	9.6	5.2	1.4
121	2.3	1.7	5.4	9.1	14.4	17.6	18.8	19.2	14.7	11.0	6.5	2.3
123	1.1	0.7	4.6	8.5	13.6	16.6	18.0	18.4	14.0	9.9	5.2	1.1
142	3.2	3.1	6.9	9.8	15.0	18.2	20.0	20.6	16.2	12.2	7.5	3.2
145	1.3	0.7	4.7	8.3	13.8	17.0	18.1	18.4	14.1	10.6	6.2	1.3
149	1.6	1.2	5.2	8.6	13.9	17.5	18.7	19.0	14.7	10.6	6.1	1.6
150	1.4	0.8	4.8	8.5	13.8	17.1	18.5	19.0	14.6	10.8	6.1	1.4
151	1.7	0.9	4.5	8.0	13.1	16.4	17.8	18.0	13.3	9.9	5.7	1.7
152	1.9	1.2	5.8	9.3	15.0	17.7	18.9	19.5	15.2	11.0	6.2	1.9
167	1.7	0.9	5.0	8.7	14.0	17.2	18.0	18.2	13.7	10.3	6.0	1.7
168	3.1	2.1	6.1	9.6	14.7	17.9	19.4	19.9	15.6	11.9	7.5	3.1
169	2.0	1.0	4.8	8.5	13.8	16.9	18.2	18.7	14.5	11.0	6.7	2.0
170	2.7	2.4	6.3	9.4	14.5	17.9	19.5	19.9	15.6	11.8	7.1	2.7
175	2.5	1.6	5.5	9.3	14.7	17.6	18.9	19.3	15.1	11.5	6.9	2.5
178	2.6	1.6	5.4	9.5	14.9	17.9	19.0	19.4	15.3	11.6	7.1	2.6
179	1.5	0.9	5.1	8.6	14.0	17.2	18.0	18.6	13.8	9.8	5.8	1.5
180	2.3	2.2	6.5	10.6	15.2	18.6	20.5	21.0	16.4	12.5	7.4	2.3
182	2.0	1.2	5.1	9.0	14.4	17.3	18.6	19.2	14.9	11.2	6.7	2.0
201	3.1	2.9	6.2	9.2	14.3	17.6	19.4	19.8	15.6	11.7	7.0	3.1
206	2.3	1.5	5.4	9.4	14.7	17.5	18.6	19.0	14.8	11.4	6.6	2.3
media	2.0	1.4	5.3	9.0	14.2	17.4	18.7	19.1	14.8	11.0	6.4	2.0

Allegato 6: Temperatura massima mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 4.5

Temperatura massima mensile (2002- 2063) – RCP 4.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	7.0	8.8	15.1	19.5	25.3	29.6	31.5	31.5	25.6	19.7	12.7	8.1
105	7.5	9.0	15.2	19.6	25.4	29.5	31.3	31.4	25.7	19.4	12.7	8.4
106	7.1	8.7	15.1	19.4	24.8	28.9	31.1	31.0	25.3	19.1	12.6	7.9
111	7.8	8.6	14.3	18.6	24.2	27.9	30.0	30.1	24.9	19.3	12.9	8.7
119	7.1	8.7	15.1	19.6	25.5	29.4	31.5	31.5	25.8	19.3	12.4	7.9
121	6.7	8.8	14.8	19.2	25.1	29.0	30.6	31.0	25.1	19.4	12.5	7.8
123	7.4	9.0	15.0	19.4	25.0	29.2	31.5	31.6	25.8	19.3	12.6	8.3
142	6.7	7.3	13.2	17.3	23.1	27.1	29.2	29.3	23.5	17.7	11.4	7.7
145	7.3	8.6	14.7	19.3	25.1	29.1	31.1	31.2	25.6	19.1	12.5	8.2
149	7.5	8.6	14.7	19.4	25.1	29.0	30.7	30.8	25.3	19.1	12.6	8.5
150	7.4	9.1	15.4	19.8	25.7	29.8	31.8	32.2	26.1	19.8	12.9	8.5
151	6.9	8.8	15.3	19.6	25.6	29.7	31.7	31.8	25.9	19.3	12.6	7.8
152	6.9	8.3	15.0	19.4	25.4	29.5	31.6	32.2	26.3	19.7	12.7	7.8
167	8.0	8.5	14.0	18.4	23.9	27.7	29.9	30.3	25.1	19.5	13.1	8.8
168	7.6	8.2	13.7	17.7	23.5	27.2	29.3	29.4	24.2	19.2	13.1	8.8
169	7.0	8.5	14.6	19.0	25.0	29.0	31.0	31.1	25.3	19.5	12.8	8.0
170	6.4	7.4	13.5	17.8	23.6	27.8	29.9	29.9	24.0	17.8	11.3	7.3
175	7.3	8.3	14.1	18.5	24.2	28.2	30.1	30.1	24.7	19.1	12.8	8.4
178	7.4	8.6	14.4	18.8	24.6	28.1	29.8	29.9	24.8	19.5	12.9	8.3
179	7.9	8.7	14.5	19.5	24.8	28.9	30.4	31.0	25.5	19.4	13.1	8.8
180	7.5	8.9	15.2	19.5	25.1	29.3	31.3	31.4	25.7	19.6	13.0	8.4
182	6.6	8.2	14.3	18.8	24.7	28.4	30.1	30.4	24.9	19.1	12.3	7.6
201	6.1	6.2	11.7	16.0	21.3	25.1	27.3	27.5	21.7	16.1	10.3	7.1
206	6.9	8.6	14.8	19.3	25.2	28.9	30.5	30.9	25.4	19.4	12.3	7.8
media	7.2	8.4	14.5	18.9	24.6	28.6	30.6	30.7	25.1	19.1	12.5	8.1

Allegato 7: Temperatura massima mensile media del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 8.5

Temperatura massima mensile (2002- 2063) – RCP 8.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	7.7	9.7	15.8	19.3	25.6	29.6	31.5	31.6	26.2	20.0	12.9	8.2
105	8.2	9.9	15.7	19.3	25.6	29.5	31.3	31.5	26.3	19.7	13.0	8.4
106	7.8	9.7	15.8	19.4	25.3	29.3	31.4	31.4	26.2	19.6	12.9	7.9
111	8.6	9.6	15.0	18.5	24.4	28.0	30.1	30.1	25.5	19.6	13.2	8.8
119	7.8	9.7	15.7	19.3	25.7	29.5	31.5	31.5	26.3	19.6	12.6	8.0
121	7.5	9.8	15.5	19.0	25.3	29.1	30.7	31.1	25.6	19.6	12.8	7.8
123	8.1	9.9	15.5	19.1	25.2	29.2	31.4	31.7	26.3	19.6	12.9	8.3
142	7.4	8.2	13.8	17.1	23.3	27.2	29.3	29.4	24.0	18.0	11.7	7.7
145	8.1	9.5	15.3	19.0	25.3	29.2	31.1	31.2	26.1	19.4	12.8	8.3
149	8.2	9.5	15.2	19.1	25.3	29.0	30.7	30.9	25.9	19.4	12.9	8.6
150	8.1	10.0	16.0	19.6	25.9	29.8	31.8	32.2	26.6	20.1	13.1	8.5
151	7.6	9.8	15.9	19.4	25.8	29.7	31.7	31.8	26.4	19.6	12.8	7.8
152	7.7	9.3	15.7	19.2	25.7	29.6	31.7	32.3	26.9	20.0	12.9	7.8
167	8.7	9.5	14.7	18.3	24.1	27.8	29.9	30.4	25.6	19.9	13.4	8.9
168	8.3	9.1	14.5	17.8	23.8	27.5	29.4	29.5	24.6	19.5	13.4	8.9
169	7.7	9.4	15.4	18.9	25.3	29.1	31.1	31.2	25.9	19.8	13.1	8.1
170	7.2	8.3	14.1	17.6	23.8	27.8	29.9	30.0	24.5	18.1	11.6	7.4
175	8.1	9.3	14.8	18.4	24.4	28.3	30.1	30.2	25.1	19.4	13.1	8.5
178	8.1	9.5	15.1	18.7	24.9	28.2	29.9	30.0	25.3	19.8	13.1	8.5
179	8.7	9.6	15.1	19.3	25.0	29.0	30.4	31.1	26.0	19.7	13.4	8.9
180	7.1	8.5	14.8	19.1	24.8	29.0	31.1	31.1	25.3	19.1	12.5	8.1
182	7.3	9.1	15.0	18.6	24.9	28.5	30.1	30.5	25.4	19.4	12.6	7.7
201	6.8	7.1	12.3	15.8	21.5	25.1	27.3	27.5	22.3	16.4	10.5	7.1
206	7.6	9.5	15.5	19.2	25.4	29.0	30.5	31.0	25.9	19.7	12.6	7.9
media	7.9	9.3	15.1	18.7	24.8	28.7	30.6	30.8	25.6	19.4	12.7	8.2

Allegato 8: Δ_t mensile medio del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 4.5

Δ_t mensile (2002- 2063) – RCP 4.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	5.8	8.4	10.7	10.7	11.5	12.4	13.1	12.6	11.6	8.9	6.8	5.9
105	6.8	8.8	10.5	10.5	11.2	11.7	11.9	11.6	10.6	8.2	6.8	6.6
106	6.4	9.0	11.1	10.7	11.2	12.0	12.6	12.1	11.3	8.4	6.7	6.2
111	6.4	8.1	9.7	9.8	10.2	10.7	11.5	11.3	10.7	8.6	6.8	6.3
119	6.5	9.0	11.4	11.4	12.4	13.2	13.9	13.8	12.9	10.0	7.6	6.6
121	5.3	7.9	10.2	10.1	11.0	11.7	11.9	11.8	10.9	8.6	6.5	5.6
123	7.1	9.2	11.1	10.8	11.7	12.9	13.5	13.3	12.3	9.6	7.9	7.0
142	4.3	5.2	7.0	7.4	8.3	9.2	9.3	8.8	7.8	5.8	4.3	4.3
145	6.9	8.8	10.8	10.9	11.6	12.3	13.1	12.8	12.0	8.8	6.8	6.6
149	6.7	8.3	10.3	10.7	11.4	11.7	12.0	11.9	11.1	8.8	6.9	6.5
150	6.8	9.2	11.4	11.3	12.1	12.9	13.4	13.2	11.9	9.3	7.2	6.6
151	6.0	8.7	11.6	11.6	12.7	13.5	14.0	13.9	13.1	9.7	7.3	6.1
152	5.9	8.0	10.0	10.2	10.8	12.1	12.8	12.8	11.7	9.0	6.9	5.8
167	7.1	8.5	9.8	9.8	10.2	10.7	12.0	12.1	11.9	9.6	7.5	7.0
168	5.3	7.0	8.3	8.2	9.1	9.7	10.2	9.6	9.1	7.5	6.1	5.7
169	5.8	8.3	10.6	10.6	11.6	12.4	13.0	12.5	11.4	8.8	6.6	5.9
170	4.6	5.9	8.0	8.4	9.4	10.1	10.4	10.1	8.8	6.3	4.6	4.5
175	5.6	7.6	9.4	9.2	9.9	10.9	11.3	10.9	10.1	7.9	6.4	5.8
178	5.6	7.9	9.7	9.4	10.1	10.4	11.0	10.6	10.0	8.2	6.3	5.9
179	7.2	8.7	10.1	10.8	11.0	11.9	12.5	12.5	12.1	10.0	7.7	7.1
180	5.3	6.7	8.9	9.1	10.1	10.9	11.0	10.6	9.6	7.4	5.8	5.2
182	5.4	7.9	10.0	9.8	10.7	11.3	11.6	11.3	10.5	8.1	6.1	5.4
201	3.8	4.3	6.3	6.8	7.3	7.7	7.9	7.7	6.7	4.7	3.6	3.7
206	5.4	8.0	10.2	9.9	10.8	11.6	12.0	12.0	11.1	8.3	6.2	5.6
media	5.9	7.9	9.9	9.9	10.7	11.4	11.9	11.7	10.8	8.4	6.5	5.9

Allegato 9: Δ_t mensile medio del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 8.5

Δ_t mensile (2002- 2063) – RCP 8.5 (°C)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	5.7	8.5	10.6	10.5	11.4	12.3	13.0	12.6	11.6	8.9	6.6	5.8
105	6.7	8.8	10.3	10.3	11.2	11.5	11.8	11.6	10.7	8.3	6.7	6.6
106	6.6	9.3	11.4	11.1	11.7	12.5	13.2	12.7	11.9	8.9	6.8	6.4
111	6.4	8.2	9.6	9.6	10.1	10.6	11.5	11.3	10.7	8.6	6.7	6.3
119	6.4	9.0	11.3	11.2	12.3	13.0	13.9	13.8	12.9	10.0	7.4	6.6
121	5.2	8.0	10.1	9.9	11.0	11.5	11.9	11.8	10.9	8.6	6.3	5.5
123	7.0	9.2	10.9	10.6	11.6	12.7	13.4	13.3	12.3	9.7	7.7	6.9
142	4.2	5.2	6.9	7.3	8.3	9.0	9.2	8.8	7.8	5.8	4.2	4.3
145	6.8	8.8	10.6	10.7	11.5	12.2	13.0	12.8	12.0	8.8	6.6	6.5
149	6.6	8.3	10.1	10.5	11.4	11.6	12.0	11.9	11.1	8.8	6.7	6.5
150	6.7	9.3	11.2	11.1	12.1	12.7	13.3	13.2	12.0	9.3	7.0	6.5
151	5.9	8.8	11.4	11.4	12.7	13.3	13.9	13.9	13.2	9.7	7.1	6.0
152	5.8	8.1	9.8	9.9	10.7	11.9	12.7	12.8	11.7	9.0	6.7	5.7
167	7.1	8.5	9.7	9.7	10.1	10.7	11.9	12.2	11.9	9.6	7.4	7.0
168	5.2	7.0	8.4	8.2	9.0	9.6	10.1	9.6	9.1	7.6	5.9	5.7
169	5.7	8.4	10.5	10.4	11.5	12.3	12.9	12.5	11.3	8.8	6.4	5.9
170	4.5	5.9	7.8	8.2	9.3	10.0	10.3	10.1	8.9	6.3	4.5	4.4
175	5.5	7.6	9.3	9.1	9.7	10.7	11.2	10.9	10.0	7.9	6.2	5.8
178	5.5	8.0	9.7	9.2	10.0	10.3	10.9	10.6	9.9	8.2	6.1	5.9
179	7.2	8.7	9.9	10.6	10.9	11.8	12.4	12.5	12.1	10.0	7.6	7.1
180	4.8	6.2	8.3	8.5	9.6	10.4	10.6	10.1	8.9	6.7	5.1	4.7
182	5.3	8.0	9.9	9.6	10.6	11.1	11.5	11.3	10.5	8.1	5.9	5.4
201	3.7	4.2	6.1	6.6	7.2	7.6	7.9	7.7	6.7	4.7	3.5	3.6
206	5.3	8.0	10.1	9.7	10.8	11.5	11.9	12.0	11.1	8.3	6.0	5.6
media	5.8	7.9	9.7	9.7	10.6	11.3	11.9	11.7	10.8	8.3	6.3	5.9

Allegato 10: Evapotraspirazione potenziale media annua del periodo nel periodo 2002- 2063 per i due scenari di emissione

Evapotraspirazione potenziale media annua del periodo (2002- 2063)		
Stazioni	RCP4.5 CORRETTO	RCP8.5 CORRETTO
	ET_p (mm/gg)	
98	2.89	2.90
105	2.84	2.85
106	2.85	2.92
111	2.72	2.73
119	2.97	2.98
121	2.80	2.81
123	2.93	2.94
142	2.38	2.38
145	2.88	2.89
149	2.81	2.82
150	2.96	2.97
151	2.99	3.00
152	2.83	2.84
167	2.76	2.77
168	2.57	2.58
169	2.85	2.86
170	2.52	2.52
175	2.69	2.69
178	2.69	2.70
179	2.85	2.86
180	2.71	2.62
182	2.72	2.73
201	2.14	2.15
206	2.80	2.81
media	2.76	2.76

Allegato 11: Evapotraspirazione potenziale media mensile del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 4.5.

Evapotraspirazione potenziale media mensile (2002- 2063) – RCP 4.5												
(mm/gg)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.6	1.0	2.1	3.2	4.7	5.7	5.9	5.0	3.3	1.8	0.9	0.5
105	0.6	1.0	2.1	3.2	4.6	5.6	5.7	4.9	3.2	1.7	0.9	0.6
106	0.6	1.0	2.1	3.3	4.6	5.6	5.8	4.9	3.2	1.7	0.8	0.5
111	0.6	1.0	2.0	3.1	4.4	5.2	5.4	4.7	3.1	1.7	0.9	0.6
119	0.6	1.0	2.1	3.3	4.8	5.8	6.0	5.2	3.4	1.8	0.9	0.6
121	0.6	1.0	2.1	3.2	4.6	5.5	5.6	4.9	3.2	1.7	0.8	0.5
123	0.6	1.1	2.1	3.3	4.7	5.7	5.9	5.1	3.4	1.8	0.9	0.6
142	0.5	0.8	1.7	2.6	3.9	4.8	4.9	4.2	2.7	1.4	0.7	0.5
145	0.6	1.0	2.1	3.3	4.7	5.6	5.8	5.0	3.3	1.7	0.8	0.6
149	0.6	1.0	2.0	3.2	4.6	5.5	5.6	4.8	3.2	1.7	0.8	0.6
150	0.6	1.1	2.2	3.3	4.8	5.8	6.0	5.2	3.3	1.8	0.9	0.6
151	0.6	1.0	2.2	3.4	4.9	5.9	6.1	5.2	3.4	1.8	0.9	0.5
152	0.6	1.0	2.0	3.1	4.5	5.6	5.8	5.1	3.3	1.8	0.9	0.5
167	0.6	1.0	2.0	3.1	4.3	5.2	5.5	4.8	3.3	1.8	0.9	0.6
168	0.6	1.0	1.9	2.8	4.1	5.0	5.1	4.4	2.9	1.6	0.8	0.5
169	0.6	1.0	2.1	3.2	4.6	5.6	5.8	5.0	3.2	1.7	0.8	0.5
170	0.5	0.9	1.8	2.8	4.1	5.0	5.2	4.5	2.8	1.5	0.7	0.5
175	0.6	1.0	1.9	3.0	4.3	5.3	5.4	4.6	3.1	1.7	0.8	0.5
178	0.6	1.0	2.0	3.1	4.4	5.2	5.3	4.6	3.1	1.7	0.8	0.5
179	0.6	1.0	2.0	3.3	4.6	5.5	5.6	5.0	3.3	1.8	0.9	0.6
180	0.6	1.0	2.0	3.0	4.4	5.4	5.5	4.7	3.1	1.6	0.8	0.5
182	0.6	1.0	2.0	3.1	4.5	5.3	5.4	4.7	3.1	1.7	0.8	0.5
201	0.5	0.7	1.5	2.4	3.5	4.2	4.4	3.8	2.4	1.2	0.6	0.4
206	0.6	1.0	2.0	3.2	4.6	5.5	5.6	4.9	3.2	1.7	0.8	0.5
media	0.6	1.0	2.0	3.1	4.5	5.4	5.5	4.8	3.1	1.7	0.8	0.5

Allegato 12: Evapotraspirazione potenziale media mensile del periodo nel periodo 2002- 2063 per lo scenario RCP 8.5

Evapotraspirazione potenziale media mensile (2002- 2063) - RCP 8.5												
(mm/gg)												
Stazioni	Mesi											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
98	0.6	1.1	2.1	3.2	4.7	5.7	5.8	5.0	3.3	1.8	0.9	0.5
105	0.6	1.1	2.1	3.2	4.6	5.5	5.7	4.9	3.2	1.7	0.8	0.6
106	0.6	1.1	2.2	3.3	4.7	5.7	5.9	5.0	3.4	1.8	0.9	0.5
111	0.6	1.1	2.0	3.0	4.4	5.2	5.5	4.7	3.2	1.7	0.9	0.6
119	0.6	1.1	2.2	3.3	4.8	5.8	6.0	5.2	3.5	1.8	0.9	0.6
121	0.6	1.1	2.1	3.1	4.6	5.5	5.6	4.9	3.2	1.7	0.8	0.5
123	0.6	1.1	2.1	3.2	4.7	5.7	5.9	5.2	3.4	1.8	0.9	0.6
142	0.5	0.8	1.7	2.6	3.9	4.7	4.9	4.2	2.7	1.4	0.7	0.5
145	0.6	1.1	2.1	3.2	4.7	5.6	5.8	5.0	3.4	1.7	0.8	0.6
149	0.6	1.0	2.1	3.2	4.6	5.5	5.6	4.9	3.2	1.7	0.8	0.6
150	0.6	1.1	2.2	3.3	4.8	5.8	6.0	5.2	3.4	1.8	0.9	0.6
151	0.6	1.1	2.2	3.3	4.9	5.9	6.1	5.2	3.5	1.8	0.9	0.5
152	0.6	1.0	2.0	3.1	4.5	5.5	5.8	5.1	3.3	1.8	0.8	0.5
167	0.7	1.1	2.0	3.0	4.3	5.2	5.5	4.9	3.3	1.8	0.9	0.6
168	0.6	1.0	1.9	2.8	4.1	5.0	5.1	4.4	3.0	1.7	0.8	0.6
169	0.6	1.1	2.1	3.2	4.7	5.6	5.8	5.0	3.3	1.8	0.8	0.5
170	0.5	0.9	1.8	2.8	4.1	5.0	5.2	4.5	2.9	1.5	0.7	0.5
175	0.6	1.0	2.0	3.0	4.3	5.3	5.4	4.6	3.1	1.7	0.8	0.5
178	0.6	1.1	2.0	3.0	4.4	5.2	5.3	4.6	3.1	1.7	0.8	0.5
179	0.7	1.1	2.0	3.2	4.6	5.5	5.6	5.0	3.4	1.8	0.9	0.6
180	0.5	0.9	1.9	2.9	4.3	5.2	5.4	4.6	2.9	1.6	0.8	0.5
182	0.6	1.0	2.0	3.0	4.5	5.3	5.4	4.7	3.1	1.7	0.8	0.5
201	0.5	0.7	1.5	2.4	3.5	4.2	4.4	3.8	2.4	1.2	0.6	0.4
206	0.6	1.1	2.1	3.1	4.6	5.5	5.6	4.9	3.3	1.7	0.8	0.5
media	0.6	1.0	2.0	3.1	4.5	5.4	5.5	4.8	3.2	1.7	0.8	0.5

Allegato 13: variazione (°C/63 anni) media stagionale della T_{minima} per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5.

Variazione media stagionale sulla Temperatura minima (°C/63 anni)								
stazioni	RCP 4.5				RCP 8.5			
	inverno	primavera	estate	autunno	inverno	primavera	estate	autunno
98	1.42	1.60	2.65	1.82	2.90	2.30	2.54	2.73
105	1.50	1.76	2.78	1.86	2.95	2.32	2.67	2.80
106	1.68	1.98	3.02	2.11	2.86	2.29	2.63	2.74
111	1.42	1.65	2.59	1.79	2.87	2.27	2.54	2.60
119	1.45	1.69	2.79	1.84	2.86	2.29	2.61	2.79
121	1.43	1.61	2.66	1.82	2.88	2.29	2.54	2.73
123	1.46	1.69	2.78	1.84	2.86	2.25	2.64	2.77
142	1.60	1.79	2.61	1.75	2.96	2.34	2.53	2.54
145	1.41	1.65	2.70	1.82	2.85	2.25	2.56	2.67
149	1.47	1.66	2.74	1.85	2.89	2.23	2.60	2.64
150	1.46	1.72	2.79	1.86	2.87	2.27	2.58	2.69
151	1.44	1.66	2.71	1.83	2.84	2.30	2.53	2.74
152	1.42	1.63	2.67	1.82	2.84	2.28	2.53	2.72
167	1.41	1.65	2.60	1.80	2.92	2.31	2.64	2.64
168	1.39	1.65	2.45	1.87	2.82	2.39	2.58	2.78
169	1.40	1.60	2.56	1.82	2.85	2.29	2.51	2.72
170	1.53	1.73	2.67	1.77	2.93	2.27	2.56	2.58
175	1.40	1.62	2.48	1.80	2.83	2.32	2.56	2.73
178	1.38	1.60	2.51	1.83	2.83	2.30	2.52	2.73
179	1.45	1.65	2.68	1.78	2.92	2.26	2.65	2.61
180	1.30	1.52	2.41	1.62	1.58	1.83	2.78	2.00
182	1.41	1.60	2.60	1.83	2.87	2.26	2.53	2.69
201	1.53	1.73	2.67	1.77	2.92	2.27	2.56	2.58
206	1.41	1.62	2.64	1.82	2.86	2.27	2.54	2.68
media	1.45	1.67	2.66	1.82	2.82	2.27	2.58	2.66

Allegato 14: variazione (°C/63 anni) media stagionale della Tmassima per la serie CPM RCP 4.5 e RCP 8.5.

stazioni	Variazione media stagionale sulla Temperatura massima (°C/63 anni)							
	RCP 4.5				RCP 8.5			
	inverno	primavera	estate	autunno	inverno	primavera	estate	autunno
98	1.51	2.02	3.09	1.58	2.78	2.37	2.94	2.73
105	1.65	2.08	3.24	1.57	2.84	2.36	3.11	2.87
106	1.62	1.89	2.98	1.45	2.75	2.36	3.05	2.84
111	1.59	1.96	2.91	1.53	2.79	2.28	2.79	2.60
119	1.57	2.05	3.25	1.52	2.74	2.30	3.08	2.87
121	1.52	2.01	3.12	1.57	2.77	2.37	2.93	2.75
123	1.63	2.06	3.27	1.54	2.76	2.31	3.08	2.82
142	1.58	2.03	3.10	1.57	2.68	2.34	2.96	2.67
145	1.57	2.05	3.18	1.56	2.80	2.29	3.04	2.80
149	1.63	2.06	3.17	1.57	2.83	2.32	2.95	2.78
150	1.58	2.09	3.22	1.57	2.80	2.33	2.97	2.76
151	1.51	2.03	3.24	1.58	2.74	2.36	2.99	2.79
152	1.49	2.03	3.14	1.57	2.76	2.36	2.97	2.78
167	1.65	1.86	2.65	1.50	2.83	2.33	2.70	2.52
168	1.55	1.82	2.62	1.57	2.82	2.40	2.80	2.40
169	1.51	2.01	2.99	1.58	2.79	2.34	2.84	2.65
170	1.55	2.06	3.15	1.54	2.79	2.33	3.01	2.77
175	1.51	1.98	2.85	1.59	2.80	2.34	2.80	2.57
178	1.49	1.95	2.82	1.57	2.79	2.33	2.75	2.56
179	1.66	1.99	2.99	1.54	2.87	2.33	2.89	2.70
180	1.84	2.47	3.32	2.08	1.19	1.62	2.79	1.14
182	1.50	2.03	3.04	1.59	2.78	2.32	2.88	2.72
201	1.55	2.06	3.15	1.54	2.79	2.33	3.01	2.77
206	1.52	2.06	3.06	1.56	2.79	2.34	2.91	2.72
media	1.57	2.03	3.06	1.58	2.72	2.31	2.93	2.65

BIBLIOGRAFIA

- Allen, Richard G., & Pereira, L. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. In *scscourt.org*.
https://www.scscourt.org/complexcivil/105cv049053/volume3/172618e_5xagwax8.pdf
- Area Tecnico Scientifica - Servizio Acque Interne. (2008). *Le acque sotterranee della pianura veneta - I risultati del Progetto SAMPAS - Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto*. ARPAV.
<https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/le-acque-sotterranee-della-pianura-veneta-i-risultati-del-progetto-sampas>
- Arpav, C. e cambiamenti climatici in V. D. R. per la S. del T. M. e C. C. scenari e supporto alle strategie di adattamento e mitigazione. (2022). *Clima e cambiamenti climatici in Veneto*. https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/cambiamenti-climatici/file-e-allegati/clima_veneto_relazione_regione_15122022-2.pdf/@@download/file
- Autorità di bacino del fiume Adige, & Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, T. L. P. B.-B. (2010). Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali. *Piano Di Gestione Dei Bacini Idrografici Delle Alpi Orientali, Bacino Dei Fiumi Brenta e Bacchiglione*.
- Ben Hamouda, G., Tomozeiu, R., Pavan, V., Antolini, G., Snyder, R. L., & Ventura, F. (2021a). Impacts of climate change and rising atmospheric CO₂ on future projected reference evapotranspiration in Emilia-Romagna (Italy). *Theoretical and Applied Climatology* 2021 146:1, 146(1), 801–820. <https://doi.org/10.1007/S00704-021-03745-3>
- Di Bernardo, A. (2014). *MODELLO GEOMORFOLOGICO DEL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME BACCHIGLIONE*. Università degli Studi di Padova, Relatore Prof. Rinaldo A., Correlatore Ing. Passadore G., Dipartimento Ingegneria civile, edile ed ambientale, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile.
- Dong, Q., Wang, W., Shao, Q., Xing, W., Ding, Y., & Fu, J. (2020). The response of reference evapotranspiration to climate change in Xinjiang, China: Historical changes, driving forces, and future projections. *International Journal of Climatology*, 40(1), 235–254. <https://doi.org/10.1002/JOC.6206>

- Edwards, P. N. (2011). History of climate modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 128–139. <https://doi.org/10.1002/WCC.95>
- Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58(3). <http://wcrp.ipsl>.
- Gleick, P. H. (1989). Climate change, hydrology, and water resources. *Reviews of Geophysics*, 27(3), 329–344. <https://doi.org/10.1029/RG027I003P00329>
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Hamed, K. H., & Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1–4), 182–196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hewitson, B. C., & Crane, R. G. (1996). Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 07(2), 85–95. <https://doi.org/10.3354/CR007085>
- Hyndman, R. J. (2009). *Moving averages*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30734999/10.1.1.155.4196-libre.pdf?1392078835=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMoving_averages.pdf&Expires=1700134786&Signature=DGOPTIv3zgGjHYzi0qSgTkLUKzsV0jd1JgJ7QaLb6GEHa9ai9LTbmicROZiVl3yS9TFHHGRixHSvSybz9GnxerOSaywJ76LTxdBQjM9JHnX2vuyR1a-740Qov8A6d7J-EHvdxSd6EomAJQ6338DANqSHTe7PJ~0-dGCZsScVmRrTaPOIZDWdVuYPpF3bcZumE0szwS7vdsDW1FD0wKU1lmeBQt-0kUKFsvaW1BdkAdabwYeQVWpXfbJ-Bz83RaRy8aIbrbG7~WHzp5fVQqqypVGWyZwEknIBcG~gNvNv5k5gOM~UPpfCmcXXOiOkwIF18eqXASX1yaFB427nFbZuKw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1982). “Estimating potential evapotranspiration.” *J. Irrig. Drain. Div.*, 108(3), 225–230.
- Hargreaves, G.H. and Allen, R.G. (2003) History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 53-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53))

- Immerzeel, W. W., & Droogers, P. (2008). Calibration of a distributed hydrological model based on satellite evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 349(3–4), 411–424. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2007.11.017>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: synthesis report: AR5*.
- IPCC, A. Q. R. di V. sui C. C. (2014b). *IPCC AR5 - Quinto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici*.
- Kumar Sen, P. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
- Lucas-Picher, P., Argüeso, D., Brisson, E., Trambly, Y., Berg, P., Lemonsu, A., Kotlarski, S., & Caillaud, C. (2021). Convection-permitting modeling with regional climate models: Latest developments and next steps. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(6), e731. <https://doi.org/10.1002/WCC.731>
- Maraun, D. (2016). Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review. *Current Climate Change Reports*, 2(4), 211–220. <https://doi.org/10.1007/S40641-016-0050-X/FIGURES/3>
- Paganin S., relatore Simeoni U., & correlatore Rodella I. (2015). *La formazione della Pianura Padana – Consorzio di Bonifica Delta del Po*. Caratterizzazione Morfologica Ed Impatto Antropico Del Litorale Di Rosoina Mare, Università Degli Studi Di Ferrara, Corso in Laurea Magistrale in Scienze Geologiche. <https://www.bonificadeltadelpo.it/02-header-menu/la-storia-del-territorio/la-formazione-della-pianura-padana/>
- Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 241, 106357. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106357>
- Polli, A. (2016). *Analisi delle serie storiche parte III Medie mobili*.
- Prein, A. F., Holland, G. J., Rasmussen, R. M., Done, J., Ikeda, K., Clark, M. P., & Liu, C. H. (2013). Importance of Regional Climate Model Grid Spacing for the Simulation of Heavy Precipitation in the Colorado Headwaters. *Journal of Climate*, 26(13), 4848–4857. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00727.1>

- Prein, A. F., Langhans, W., Fosser, G., Ferrone, A., Ban, N., Goergen, K., Keller, M., Tölle, M., Gutjahr, O., Feser, F., Brisson, E., Kollet, S., Schmidli, J., Van Lipzig, N. P. M., & Leung, R. (2015). A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges. *Reviews of Geophysics*, 53(2), 323–361. <https://doi.org/10.1002/2014RG000475>
- Raffa, M., Adinolfi, M., Reder, A., Marras, G. F., Mancini, M., Scipione, G., Santini, M., & Mercogliano, P. (2023). Very High Resolution Projections over Italy under different CMIP5 IPCC scenarios. *Scientific Data* 2023 10:1, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02144-9>
- Salmaso, N., Zignin, A., Centis, B., Maiolini, B., Bruno, M. C., Sartori, P., Zambiasi, M., Angheben, R., & Dell'acqua, N. (2005). Caratteristiche ecologiche del Fiume Adige lungo gradienti longitudinali: effetti della regimazione idrologica. In *Atti XVIII congresso S.It.E* (Vol. 24, Issue 1).
- Surian, N., & Cisotto, A. (2007). Channel adjustments, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(11), 1641–1656. <https://doi.org/10.1002/ESP.1591>
- Tomozeiu, R., Agrillo, G., Cacciamani, C., & Pavan, V. (2014). Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2070-2099. *Natural Hazards*, 72(1), 143–168. <https://doi.org/10.1007/S11069-013-0552-Y/FIGURES/14>
- von Storch, H., Feser, F., Geyer, B., Klehmet, K., Li, D., Rockel, B., Schubert-Frisius, M., Tim, N., & Zorita, E. (2017). Regional reanalysis without local data: Exploiting the downscaling paradigm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(16), 8631–8649. <https://doi.org/10.1002/2016JD026332>
- Weisman, M. L., Skamarock, W. C., & Klemp, J. B. (1997). The Resolution Dependence of Explicitly Modeled Convective Systems. *Monthly Weather Review*, 125(4), 527–548. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125)
- Yadav, R., Tripathi, S. K., Pranuthi, G., & Dubey, S. K. (2014). Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand. In *Journal of Agrometeorology* (Vol. 16, Issue 2).

Zolezzi, G., Bellin, A., Bruno, M. C., Maiolini, B., & Siviglia, A. (2009). Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy. *Water Resources Research*, 45(12), 12421. <https://doi.org/10.1029/2008WR007266>

SITOGRAFIA:

https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html (06/10/2023)

https://www.adigeuganeo.it/11-consorzio-leb_48c14.html (09/10/2023)

<https://www.cmcc.it/it/scenari-climatici-per-litalia> (12/10/2023)

<https://www.cmcc.it/it/models/cosmo-clm-climate-limited-area-modelling-community>
(12/10/2023)

<https://www.euro-cordex.net/060374/index.php.en> (09/10/2023)

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/meteo/monitoraggio/rete-di-telemisura-1>
(16/10/2023)

<https://www.fao.org/home/en/> (10/10/2023)

SOFTWARE

Per le analisi dei dati è stato impiegato il software Microsoft Excel 2021.

Per l'aggregazione delle serie di temperature e per l'analisi statistica delle tendenze di temperatura ed evapotraspirazione MATLAB R2022b.

Infine, per la creazione delle mappe in ambiente GIS si è impiegato Quantum GIS.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei riservare questo spazio finale della mia tesi di laurea ai ringraziamenti verso tutti coloro che hanno contribuito, con il loro instancabile supporto, alla realizzazione della stessa.

Innanzitutto, un grande ringraziamento alla mia relatrice la Dott.ssa Eleonora Dallan ed al mio correlatore Prof. Marco Borga, sempre pronti a guidarmi in ogni fase della realizzazione della tesi. Grazie a voi ho accresciuto le mie conoscenze e le mie competenze.

Un ringraziamento di cuore a tutta la mia splendida famiglia, a partire dai miei genitori Walter e Linda, ai miei fratelli e sorella Federico, Ariele e GemmaAurora. Siete sempre stati al mio fianco aiutandomi e supportandomi in ogni momento della mia vita. Senza di voi sicuramente non sarei la persona che sono, con i miei pregi e difetti. Mi avete sempre spinto a dare il massimo ed avete sempre creduto in me, anche quando altri non lo facevano, non potrò mai ringraziarvi abbastanza.

Grazie anche a tutti i miei amici e parenti per avermi sostenuto con costanza e per essere sempre stati al mio fianco anche nei momenti più difficili.

Ma soprattutto ci tengo a ringraziare la persona che mi accompagna ogni giorno della mia vita, rendendola speciale e ricca di felicità e amore. Grazie a te Gioia perché senza il tuo sostegno non avrei mai potuto concludere questo bellissimo percorso. Mi sei stata accanto dal primo all'ultimo giorno, alleggerendo i momenti più duri e migliorando quelli più belli, non smettendo mai di credere in me. Spero di poterti ripagare un giorno per tutto quello che hai fatto e fai per me.

