



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Corso di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali**

Effetto del cambiamento climatico sulle precipitazioni estreme nel bacino del torrente Astico

Relatrice

Dott.ssa Eleonora Dallan

Laureando

Toldo Giovanni

Matricola n.

2045291

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

Riassunto	1
Introduzione e obiettivi	3
Area di studio	5
2.1 Inquadramento del bacino idrografico.....	5
2.2 Aspetti morfologici.....	7
2.3 Aspetti geologici.....	7
2.4 Caratteristiche climatiche.....	8
Modelli climatici	10
3.1 GCM	11
3.2 RCM.....	11
3.3 CPM.....	12
3.4 Scenari di emissione	13
Dati	15
4.1 Dati pluviometrici da stazioni.....	15
4.2 Dati pluviometrici da modello CPM	17
Metodi	18
5.1 Modello probabilistico di Gumbel	18
5.2 Confronti statistici per l'analisi dei dati.....	20
5.2.1 Bias	20
5.2.2 Change	20
5.3 Elaborazione di mappe con il programma QGIS	21
Risultati e discussione	22
6.1 Risultati sui fattori a ed n	22
6.1.1 Analisi bias del modello climatico.....	23
6.1.2 Analisi del cambiamento nel modello climatico.....	26
6.2 Risultati sui quantili di precipitazione	28
6.2.1 Analisi degli errori del modello climatico.....	29
6.2.2 Analisi del cambiamento nel modello climatico.....	31
Conclusioni	35
Appendice	37
Bibliografia	39

Riassunto

Il seguente lavoro di tesi si propone di valutare come e con quale intensità i cambiamenti climatici influenzeranno i regimi delle precipitazioni estreme. Per lo studio è stato utilizzato un modello climatico ad alta risoluzione facente parte della categoria *Convection-Permitting Model*. Questo tipo di modelli è in grado di rappresentare la convezione, essenziale per poter descrivere e prevedere gli eventi di precipitazione estrema di durata sub-giornaliera. La risoluzione spaziale del modello è di circa 2,2 km con una risoluzione temporale di 1 ora. Lo scenario di emissione, che simula gli andamenti in atmosfera di gas serra e delle variazioni di temperatura, è l'RCP8.5. Questo scenario è il più critico, caratterizzato da un aumento costante delle emissioni di gas serra fino a fine secolo, per via della mancanza di politiche ambientali di mitigazione.

L'area di studio comprende il bacino del torrente Astico, situato nel Nord-Est dell'Italia. Oggetto di studio sono state 17 stazioni pluviometriche presenti nel territorio: dai pluviometri sono stati estratti i dati sui massimi annuali del periodo che va dagli anni 90 fino al 2020, in base alle disponibilità dei dati.

Il modello climatico ci ha fornito le simulazioni di precipitazione passate, nel periodo 1996-2005, e le simulazioni per i massimi futuri, nel periodo 2090-2099.

Dopo aver applicato il metodo probabilistico di Gumbel sono stati ricavati i quantili di pioggia per 5 durate: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore. Inoltre, è stata ricavata la funzione delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (LSPP), che mette in relazione l'altezza in mm di pioggia e la durata dell'evento stesso, associato ad un determinato tempo di ritorno.

Trattando la materia delle precipitazioni estreme, i tempi di ritorno scelti per questo lavoro di tesi sono stati di 10 e 50 anni. Tutte queste operazioni sono state eseguite sia per i dati ottenuti dai pluviometri, sia per le due serie temporali ricavate dal modello.

Al fine di comprendere la distorsione del modello rispetto alla realtà, è stato calcolato il bias, ossia l'errore, tra la serie storica osservata dai pluviometri e la serie storica simulata dal modello. Questa elaborazione è stata applicata ai parametri dell'equazione della LSPP, i quali descrivono l'andamento della curva stessa e i quantili di pioggia, focalizzando le analisi sulle durate di 1 ora e 24 ore.

Il calcolo del bias ci ha permesso di stabilire se il modello climatico tende a sottostimare o a sovrastimare i parametri e i quantili ricavati dalle elaborazioni precedenti, e fornisce informazioni utili per eventuali correzioni del modello climatico.

Successivamente, è stato calcolato il change futuro, o cambiamento, previsto dal modello climatico. Queste analisi hanno messo a confronto la serie storica simulata dal modello e la serie futura, per il periodo 2090-2099, del modello climatico. Anche in questo caso il change è stato ricavato sia per i parametri delle LSPP di ogni stazione pluviometrica, sia per i quantili di pioggia per entrambi i tempi di ritorno.

Questo dato ci ha permesso di valutare in che modo le precipitazioni estreme, con tempo di ritorno di 10 e 50 anni, varieranno in futuro. Oltre ad indicarci l'aumento o la diminuzione dei dati analizzati, il change ci ha permesso di capire l'intensità dei cambiamenti e quindi la variazione attesa.

Capitolo 1

Introduzione e obiettivi

Il cambiamento climatico è un processo iniziato indicativamente nel 1800, a causa dell'industrializzazione incentrata sull'utilizzo di combustibili fossili e l'emissione di gas serra in atmosfera dovuta alle attività antropiche.

Gli studi sul cambiamento del clima sono molto complessi e molto spesso necessitano di un'interdisciplinarietà per comprendere tutti i meccanismi coinvolti in tali processi. Inoltre, descrivere i cambiamenti del nostro pianeta, è fondamentale per applicare delle strategie comuni che limitino questi processi e che ricadano in tutti i settori coinvolti da questi cambiamenti.

La velocità con cui il clima globale sta cambiando è sempre più evidente e le conseguenze le possiamo vedere attorno a noi; questo fenomeno coinvolge tutti.

Le conseguenze dei cambiamenti climatici sono innumerevoli e si manifestano in modo differente in tutto il globo. L'Artide e l'Antartide sono sempre più minacciate dal surriscaldamento globale, con i ghiacciai che si stanno ritirando a velocità mai viste prima. Di conseguenza, lo scioglimento dei ghiacci sta minacciando tutte le zone costiere del pianeta per via dell'innalzamento del livello del mare.

Gli effetti si vedono anche sull'uomo: la scarsità di cibo, l'acidificazione degli oceani e tutti i problemi legati ai fenomeni meteorologici estremi stanno costringendo milioni di persone ad abbandonare le loro terre di origine tant'è che è nato il termine "migranti climatici".

Anche l'aumento dei fenomeni meteorologici estremi è una conseguenza diretta del cambiamento climatico: in alcune aree geografiche si ripetono periodicamente siccità prolungate con una conseguente desertificazione. Sempre meno rare sono le inondazioni, i temporali, i tifoni, gli uragani e le precipitazioni estreme.

Tutti questi fenomeni, oltre ad aumentare la loro intensità, si stanno verificando sempre più spesso con tempi di ritorno sempre più brevi.

Oggetto di studio in questa tesi di laurea sono gli effetti del cambiamento climatico sulle precipitazioni estreme in un'area prealpina. Con precipitazione estrema intendiamo tutti i fenomeni caratterizzati da volumi di pioggia molto elevati, in grado di alterare la pluviometria di un determinato territorio. Anche questi fenomeni stanno diventando sempre più ricorrenti e intensi e per questo motivo si ritengono essere una conseguenza dei cambiamenti climatici.

Per questo studio è stata individuata un'area, il bacino del torrente Astico, e ne è stata studiata l'idrologia utilizzando i dati di precipitazioni massime annuali ricavati dalle stazioni pluviometriche presenti nel bacino.

Le proiezioni future sulle temperature, le precipitazioni o più in generale sul clima, sono descritte da modelli climatici. I modelli climatici simulano gli scenari futuri in tutte le aree geografiche del globo, grazie ad una descrizione di tipo fisico-matematica associata ad ogni regione del pianeta.

In questo studio si è utilizzato un modello ad alta risoluzione, detto Convection-Permitting Model (CPM), dal quale sono state ricavate le simulazioni di precipitazioni massime annuali per il periodo 1996-2005 e 2090-2099. Il modello CPM rappresenta anche la convezione, fenomeno che influenza significativamente le precipitazioni intense di breve durata. Inoltre, è stato considerato uno scenario emissivo chiamato RCP8.5, caratterizzato da un aumento dell'emissione di gas serra per tutto il secolo, con un conseguente aumento di temperatura e di CO₂ in atmosfera che supera le 1000 ppm.

In particolare, in questo lavoro di tesi, sono stati studiati: le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, che associano ad una determinata durata e un tempo di ritorno la relativa altezza di precipitazione; i quantili di pioggia di durata sub-giornaliera. Per cercare di descrivere le precipitazioni estreme si sono considerati due tempi di ritorno abbastanza elevati: 10 e 50 anni. Le durate sub-giornaliere delle precipitazioni sono: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore.

Ovviamente, tutti i modelli sono soggetti ad un determinato tipo di errore o incertezza: il bias è una delle statistiche principali utilizzate per quantificare lo scostamento del modello rispetto alla realtà. Analizzando diversi dati, come i parametri delle curve LSPP e i quantili di pioggia, è possibile valutare come il modello descriva la pluviometria osservata nel bacino del fiume Astico e quindi la sua distorsione.

Il primo obiettivo di questa tesi è quindi la comprensione del grado di realismo dei modelli climatici. Grazie al calcolo del bias, è stato possibile confrontare le serie storiche osservate dai pluviometri con le simulazioni del modello per il periodo 1996-2005. Il secondo obiettivo è la valutazione in quest'area del cambiamento futuro delle precipitazioni estreme di durata sub-giornaliera. Ciò è stato effettuato analizzando la serie storica simulata dal modello e quella futura. Infine, grazie ad una mappatura per le diverse variabili analizzate, sono state visualizzate le distribuzioni spaziali associando i valori di bias e change alle rispettive stazioni pluviometriche.

Capitolo 2

Area di studio

2.1 Inquadramento del bacino idrografico

Il fiume Astico è un corso d'acqua situato nel nord-est dell'Italia che scorre nell'omonima valle tra il Trentino Alto-Adige e il Veneto.

Nasce nel territorio comunale di Folgaria, nella provincia autonoma di Trento, ad una quota di 1441 m s.l.m.m. più precisamente fra il Monte Sommo Alto e il Monte Plaut.

Il punto di chiusura del bacino è situato all'altezza di Sandrigo, dove il fiume si unisce al fiume Tesina, affluente del Bacchiglione nei pressi di Longare. In *Figura 1* è possibile osservare l'estensione del bacino, l'andamento principale del torrente Astico con i numerosi affluenti fino al punto di chiusura del bacino situato a Sandrigo.

Il bacino dell'Astico è un sottobacino del bacino Leogra-Bacchiglione, confinante ad Est con il bacino del Brenta e ad Ovest con il bacino del Leogra. La superficie complessiva è di 740 km², con una lunghezza di circa 60 km.

Nel tratto iniziale il fiume si dirige in direzione Nord-Est fino alla località Buse, a Lavarone (TN). Prosegue poi in direzione Sud-Est passando per Lastebasse e Casotto (VI), dove riceve dal monte Campomolon (Altopiano di Tonezza) gli affluenti Val Longa, Val Civetta e Val Rua; dalla sinistra, più precisamente dall'Altopiano di Lavarone, confluisce Rio Torto.

All'altezza di Casotto il fiume riceve le acque del torrente Torra, proseguendo verso sud fino Pedescala dopo aver ricevuto il contributo delle acque del torrente Valpegara da destra, dei torrenti Val dei Mori e Val Rigogliosa da sinistra.

Inoltre, a Pedescala, confluisce l'importante affluente torrente Assa nato a Passo Vezzena, che raccoglie il contributo dell'Altopiano di Asiago.

Il fiume Astico prosegue verso Sud raggiungendo Seghe di Velo, dove ha luogo l'unione con le acque del torrente Posina nei pressi del ponte degli Schiri. Il torrente Posina, a sua volta, unisce con sé le acque del torrente Zara e Rio Freddo, dalla Val Posina.

In direzione Sud-Est si dirige verso località Meda raggiungendo così la pianura passando per i comuni di Cogollo del Cengio, Piovene Rocchette, Caltrano e Calvene. Raggiunge il paese di Lugo dove riceve da sinistra l'apporto idrico di Val Chiavona.

In località Lupia di Sandrigo il fiume Astico sfocia nel fiume Tesina. Il Tesina è un fiume di risorgiva originato dalle sorgenti di monte di Sandrigo ricevendo inoltre il contributo delle acque del torrente Chiavone e Laverda.

Il fiume Tesina prosegue poi verso Sud fino ad immettersi nel fiume Bacchiglione.

Dal punto di origine, fino al punto di chiusura, il torrente Astico attraversa in ordine i seguenti comuni: Folgaria, Lavarone (in Trentino Alto-Adige), Lastebasse, Pedemonte, Valdastico, Velo d'Astico, Cogollo del Cengio, Piovene Rocchette, Caltrano, Chiuppano, Calvene, Lugo, Zugliano, Fara Vicentino, Sarcedo, Breganze, Montecchio Precalcino e Sandrigo.

Lungo il fiume sono stati costruiti alcune dighe, canali di derivazione e centrali di produzione idroelettrica in grado di modificare il regime e le portate delle acque. Importante citare la diga di Leda che con un canale di derivazione in galleria raggiunge la centrale di Bessè tra i comuni di Velo d'Astico (frazione di Meda) e Cogollo del Cengio. Un secondo canale di derivazione parte da Caltrano, per alimentare la centrale di Rozzola a Chiuppano e la centrale di Calvene. Altre due centrali sorgono tra Calvene e Lugo: la centrale di Maglio e la centrale di Serra. Più a sud è presente un altro canale di derivazione che fornisce acqua alla Cartiera Burgo utilizzata per il ciclo di produzione. La qualità delle acque che scorrono in questi territori è buona; tuttavia, si registrano dei punti critici ad Arsiero e a Lugo in corrispondenza di grossi complessi industriali.

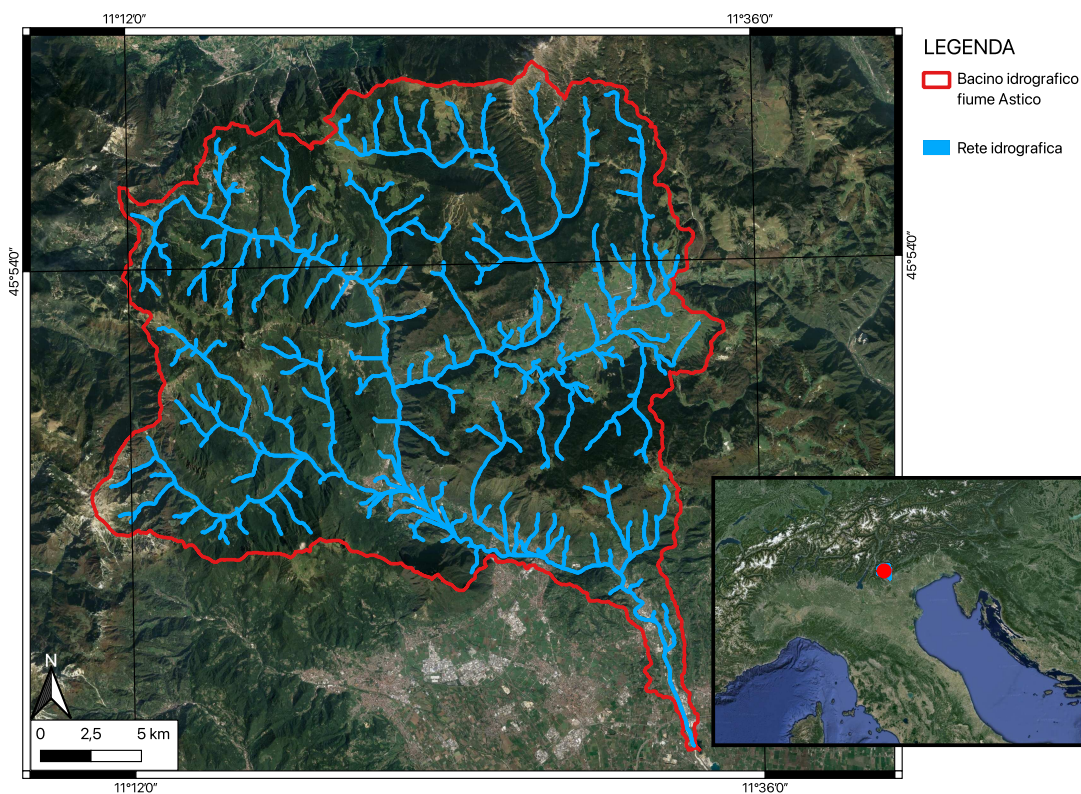


Figura 1: Inquadramento bacino idrografico del fiume Astico.

2.2 Aspetti morfologici

Da un punto di vista morfologico, il fiume Astico mostra caratteristiche diverse lungo il suo percorso, influenzate dal territorio che lo circonda.

Nella parte alta, da dove si genera fino a Pedescala, il fiume presenta i tratti tipici di un torrente alpino: ampio alveo, a volte sinuoso, che può dividersi in più rami che si ricongiungono poi in un flusso principale. In questo tratto la pendenza media è generalmente marcata con abbondanza di substrati grossolani come ciottoli e ghiaia nella parte inferiore dell'alveo, da massi e pietrame nella parte superiore.

Attraversata la Val d'Astico, dopo aver superato Velo d'Astico, la morfologia del fiume si modifica. L'alveo diventa più largo con una pendenza media inferiore rispetto alla parte alta del corso. Il substrato presenta una granulometria intermedia, con abbondanza di ciottoli e pietrame. Affluito al fiume Tesina, la morfologia del fiume diventa quella tipica di un fiume di pianura con scarsa pendenza, la presenza di alcuni tratti a flusso uniforme con un alveo formato soprattutto da un substrato fine, prevalentemente composto da ghiaia e sabbia.

2.3 Aspetti geologici

Nella parte alta del fiume Astico, possiamo osservare un ambiente alpino-dolomitico, costituito prevalentemente da calcari e dolomie. Inoltre, l'ambiente carsico che interessa la zona è ricco di sorgenti; il fiume Astico risente dell'acquifero carsico dell'Altopiano di Asiago, formato anch'esso da calcari e dolomie.

La parte più bassa del fiume è caratterizzata da una litologia tipica della pianura veneta con la presenza di depositi alluvionali e morenici. Non è raro ritrovare forme sinuose lungo il corso d'acqua, tipiche dei fiumi di pianura con scarse pendenze. Le anse del fiume hanno creato, in alcuni casi, banchi di sabbia o accumuli di sedimenti all'interno delle curve, dove la velocità è minore. Inoltre, l'erosione compiuta ad opera dell'acqua, ha formato alte scarpate lungo il fiume come quelle osservabili in Contrà Pria ad Arsiero. Anche nella zona compresa tra Piovene Rocchette e Caltrano il fiume scorre in una gola profonda scavata nelle migliaia di anni dal passaggio dell'acqua.

L'origine della Val d'Astico e la sua conformazione fisica devono essere ricercati nei processi geomorfologici avvenuti durante l'ultima era glaciale. La valle risulta essere intensamente modellata sia dall'azione erosiva operata dai ghiacciai, sia dal fiume. Osservando la rete idrografica notiamo come ci sia una correlazione tra il corso del fiume e dei suoi affluenti e i lineamenti delle valli che accolgono queste acque.

L'origine glaciale della valle è chiara osservando i fianchi ripidi e un fondo largo e pianeggiante che ricorda la tipica valle "U". In questi ambienti non è raro osservare dei grossi complessi o enormi massi trasportati dalla potenza del ghiaccio.

Nella zona tra Chiuppano e Breganze il fiume Astico è accompagnato, nel lato destro, dalle colline delle Bregonze. Questo gruppo collinare ha origine litologica vulcanica, e caratterizza questa zona di fiume la presenza di basalto rossiccio e nero.

Laddove le pendenze diminuiscono si osserva la presenza di una pianura alluvionale caratterizzata da depositi alluvionali. I sedimenti trasportati e depositati dal fiume come sabbia e ghiaia hanno formato queste pianure e ondulamenti del terreno. In queste zone, nel tratto di pianura da Breganze, ci sono numerosi acquiferi grazie alla presenza di strati di sedimenti porosi contenenti importanti riserve di acqua sotterranea. La ricarica di questi acquiferi avviene grazie all'infiltrazione delle acque piovane e alle acque del fiume.

2.4 Caratteristiche climatiche

Il clima dell'area ricade nella fascia temperata sub-continentale fino ad una altitudine di 600-800 m, e nella fascia temperata fresca a quote superiori.

L'analisi pluviometrica territoriale indica accumuli precipitativi di 1800 mm nella parte occidentale interessata dal torrente Posina, di 1400-1500 mm nella zona delle Prealpi vicentine. Spostandosi più verso sud-est si registrano valori di piovosità media annua attorno ai 1200 mm. Dall'analisi di tali dati emerge un regime pluviometrico di tipo equinoziale con minimi assoluti nei mesi invernali di gennaio-febbraio ed estivi di luglio-agosto. Le piogge cadono più abbondantemente nei mesi di maggio e novembre.

Nella zona alta del fiume, compresa tra l'Astico e il Posina, le temperature medie variano tra i 6° C e i 12,5° C. L'analisi delle temperature evidenziano una media estiva tra i 17° C e i 21° C ed invernali tra gli 0 °C e i 2° C.

Nel tratto di pianura, a quote comprese tra 100 m e 370 m, le temperature medie variano tra i 6° C e i 13° C. Nei mesi estivi le temperature sono comprese tra i 21° C e i 23° C, nei mesi invernali tra i 2° C e i 3° C.

Per entrambe le aree il mese più freddo è gennaio, mentre il periodo più caldo cade nel bimestre luglio-agosto.

Precipitazione, dati spazializzati sul Veneto

Anno 2023

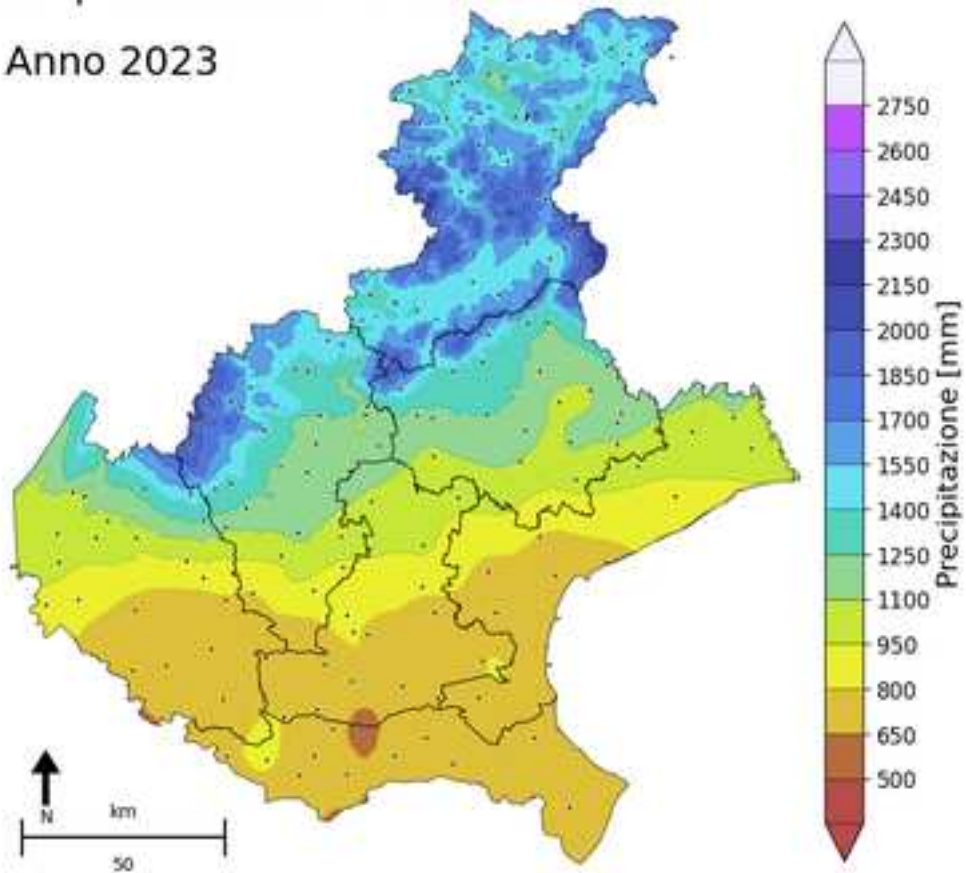


Figura 2: Analisi pluviometrica regione Veneto del 2023.

Capitolo 3

Modelli climatici

I modelli climatici sono strumenti utilizzati per comprendere e prevedere il comportamento del sistema climatico terrestre in risposta alle influenze naturali e antropiche. Questi modelli ci permettono di fare proiezioni del clima futuro per il prossimo secolo ed oltre. La *World Meteorological Organization* (WMO) definisce le proiezioni climatiche come le probabilità di cambiamenti climatici nei prossimi decenni, basate su possibili sviluppi socioeconomici globali. Il clima rimane comunque un sistema complesso composto da più componenti interattive che coinvolgono e alterano dei processi fisici, descritti da leggi chimiche e fisiche su diverse scale temporali e spaziali. Le componenti che interagiscono tra di loro sono: l'atmosfera, l'idrosfera, la criosfera, la litosfera e la biosfera.

I modelli climatici si basano su algoritmi fisico-matematici che descrivono le interazioni tra le diverse componenti facenti parte del sistema climatico. Simulano quindi l'evoluzione futura del clima partendo da dati climatici del passato, suddividendo la superficie terrestre e l'atmosfera in una serie di box. Per ciascun box vengono appositamente formulate le equazioni del modello, che sono poi convertite in codice numerico. La capacità del modello di simulare il clima futuro definisce la bontà nel predire gli scenari in ottica futura. In *Figura 3* è possibile vedere una schematizzazione della griglia tridimensionale su cui si basa la modellazione.

Questi modelli climatici non si limitano alla descrizione e alla previsione del solo strato inferiore dell'atmosfera nel quale avvengono i fenomeni atmosferici, bensì riescono a simulare anche le correnti oceaniche, le interazioni con il manto nevoso, i ghiacciai e la vegetazione.

I modelli hanno due caratteristiche fondamentali: una risoluzione spaziale che ci indica l'ampiezza del box, dell'area caratterizzata da un determinato modello; e una risoluzione temporale denominata time step, espressa in minuti, ore, a scala giornaliera e annuale.

Ricordiamo che, essendo rappresentazioni della realtà, i modelli presentano un certo grado di approssimazione che dobbiamo considerare nella proiezione degli scenari futuri.

Data la molteplicità dei componenti che interagiscono e le diverse scale spaziali e temporali che caratterizzano il clima, sono stati sviluppati diversi modelli climatici utilizzabili in base alle proprie necessità: i modelli climatici globali GCM che valgono su larga scala; modelli climatici regionali RCM caratterizzati invece da aree limitate e quindi da risoluzioni maggiori; modelli climatici a convezione permessa CPM, che agiscono su scale chilometriche.



Figura 3: Rappresentazione della griglia tridimensionale del globo terrestre su cui si basa la modellazione climatica.

3.1 GCM

I modelli climatici globali sono utilizzati per la previsione del clima futuro a risoluzioni molto ampie, tra 100 e 600 km. Possono essere usati, ad esempio, per osservare i cambiamenti di temperatura a livello globale, i cambiamenti dei pattern di precipitazione o le alterazioni del livello del mare. Essendo a larga scala, questi modelli comprendono spesso aree con caratteristiche morfologiche ed orografiche differenti. Per questo motivo, anche se i GCM sono uno strumento avanzato per la simulazione del clima globale, presentano molto spesso problematiche per via della loro risoluzione spaziale grossolana.

Questa tipologia di modelli simula il movimento dei fluidi su larga scala utilizzando delle equazioni primitive; inoltre, simulano il trasferimento radioattivo, la formazione di nuvole e la convezione.

3.2 RCM

Grazie all'utilizzo di tecniche di downscaling statistico o dinamico, è stato possibile aggiungere dettagli ulteriori alle simulazioni del clima globale. Ciò consente di studiare i processi climatici in modo più accurato e dettagliato, grazie all'utilizzo dei modelli climatici regionali. Questi modelli permettono di coprire un'area subcontinentale o subnazionale con lo scopo di simulare i processi meteorologici su una scala più dettagliata rispetto ai modelli globali a risoluzione grossolana.

Per quanto riguarda il downscaling statistico, si utilizzano relazioni statistiche che ci permettono di collegare le variabili su larga scala alle condizioni climatiche locali.

Diversamente, per il downscaling dinamico, i processi climatici sono simulati partendo da modelli climatici globali con una risoluzione spaziale bassa. I GCM sono in grado di guidare ai bordi e quindi di considerare le condizioni di contorno dell'area studiata, di risoluzione maggiore.

3.3 CPM

I CPM, *Convection-Permitting Models*, sono una classe avanzata dei modelli RCM che ci permettono di descrivere accuratamente l'eterogeneità della superficie terrestre. Tengono conto dell'orografia e dei processi a piccola scala che avvengono nella parte bassa dell'atmosfera come la convezione. Per questo motivo questi modelli sono emersi come uno strumento promettente per la rappresentazione climatica su scala locale.

La convezione è un processo di trasferimento di calore che genera dei movimenti ascendenti e discendenti delle masse d'aria; questo fenomeno è responsabile della distribuzione di umidità, calore e massa su piccole scale temporali e spaziali.

Modelli climatici con spazature maggiori di 10 km sono classificati come *Large-Scale Models* (LSM) e non permettono di rappresentare in modo accurato questi fenomeni atmosferici.

La convezione profonda è invece simulata dai CPM, i quali hanno delle griglie spaziali orizzontali < 4 km, e quindi una notevole accuratezza.

Operando a piccole risoluzioni, questi modelli riescono a riprodurre in maniera più realistica le condizioni che possono caratterizzare il clima e gli eventi di una determinata area. Ad esempio, nelle regioni con topografia complessa, bisogna tener conto di tutti i fenomeni che possono verificarsi. Uno di questi sono le precipitazioni orografiche, delle precipitazioni che si producono quando l'aria umida viene sollevata mentre si sposta su una catena montuosa. L'aria, raffreddandosi, condensa e precipita. Queste condizioni non possono essere prese in considerazione se ad esempio si usa un modello a scala globale.

In *Figura 4* è possibile vedere la risoluzione spaziale sempre più accurata e l'estensione areale più limitata nel passaggio dal modello GCM al modello RCM e infine al CPM.

I CPM stanno guadagnando nel tempo sempre più attenzione in quanto sono strumenti promettenti per la rappresentazione climatica e per gli studi sui cambiamenti climatici, in particolare per le precipitazioni estreme a durate sub-giornaliere. Per i motivi sopra citati, in questo lavoro di tesi è stato utilizzato un modello a convezione permessa.

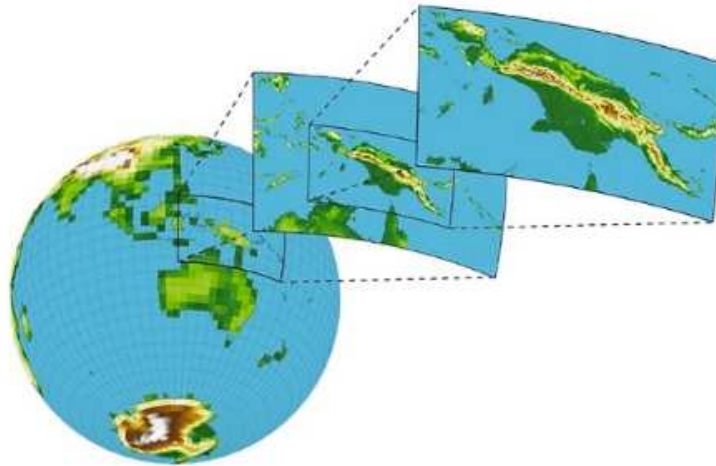


Figura 4: Modellazione climatica ad un'area limitata che consente lo studio della convezione (tratto da Lucas-Picher et al., 2021).

3.4 Scenari di emissione

I modelli climatici di cui abbiamo parlato sono in stretta relazione con gli scenari di emissione, in quanto condizionano i possibili scenari climatici futuri. In particolare, gli scenari di emissione si riferiscono ai cambiamenti futuri delle quantità di gas serra e aerosol che possono modificare il bilancio delle radiazioni che arrivano alla Terra. Sappiamo che per simulare il clima futuro dobbiamo considerare le possibili evoluzioni delle attività umane, le emissioni antropiche, il progresso tecnologico, le politiche adottate a livello internazionale. Questi sono tutti fattori che incidono sulle emissioni e quindi nell'alterazione della composizione della atmosfera terrestre. Esistono quindi molti scenari emissivi, tutti diversi tra loro in quanto rappresentano diverse politiche climatiche caratterizzate da un obiettivo climatico raggiungibile entro il 2100. Tra gli scenari più recenti troviamo i *Representative Concentration Pathway* (RCP).

Questi modelli sono stati sviluppati da un gruppo di scienziati e ricercatori coordinato dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), l'organizzazione intergovernativa responsabile della valutazione scientifica dei cambiamenti climatici.

Gli RCP sono stati presentati nel quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5) del 2014. Più precisamente, sono stati presentati quattro scenari caratterizzati da un forzante radioattivo, l'energia aggiuntiva assorbita dal sistema Terra alla fine del XXI secolo calcolato in Watt per metro quadro. Questo aumento, come detto in precedenza, è dovuto ad un aumento dei gas serra rispetto al periodo preindustriale. Il *National Centre of Climate Services* (NCCS) definisce il forzante radioattivo come

un “cambiamento causato da un fattore nel flusso di energia ed è misurato in corrispondenza della tropopausa o nel limite superiore dell'atmosfera”.

Lo scenario RCP2.6 prevede l'attuazione di forti politiche di mitigazione e presenta un picco di emissioni globali di *Green House Gas* (GHG) ad inizio secolo (tra il 2010 e il 2020) per poi vedere diminuire il forzante radioattivo.

Troviamo poi due scenari intermedi: RCP4.5 è caratterizzato da politiche con misure di riduzione consistenti, prevede un picco di gas serra entro il 2040 con una progressiva decrescita; RCP6.0 presenta delle politiche di riduzione blande con un picco di emissioni entro il 2080 seguito da una lieve diminuzione.

Lo scenario più critico, utilizzato per questo lavoro di tesi, è l'RCP8.5. il quale presenta un costante aumento delle emissioni per tutto il secolo. Ciò è determinato dalla mancata attuazione di politiche in grado di mitigare o ridurre le emissioni di gas serra. Questo modello prevede, oltre a concentrazioni di CO₂ in ppm mai viste prima, un aumento della temperatura a fine secolo (2100) compreso tra i 3,2° C e i 5,4° C.

Le emissioni di anidride carbonica, metano e di ossido di diazoto sono rappresentate nella *Figura 5*; nella *Tabella 1* sono riassunte le caratteristiche principali per i quattro scenari.

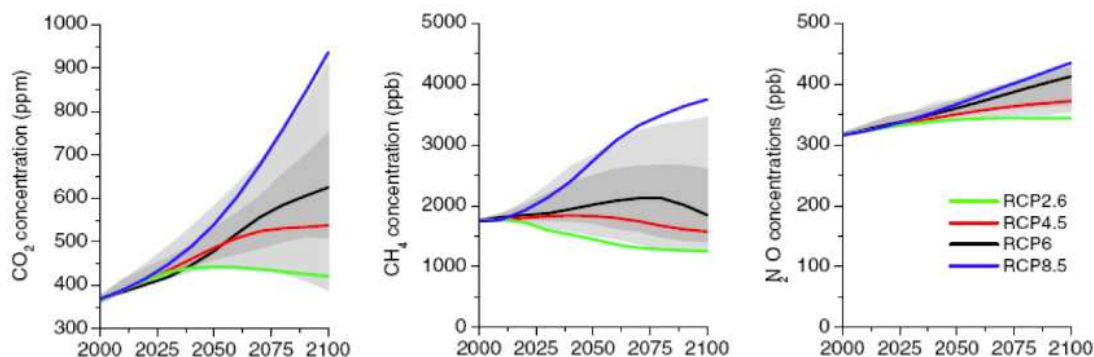


Figura 5: Andamento delle emissioni dei principali gas serra che determinano il forzante radioattivo.

Scenario	Descrizione	Forzante radioattivo	Aumento temperatura	Concentrazione CO ₂ nel 2100
RCP2.6	Scenario di mitigazione	2,6 W/m ²	1° C – 2,3° C	490 ppm
RCP4.5	Scenario di stabilizzazione con riduzioni consistenti	4,5 W/m ²	1,7° C – 3,3° C	650 ppm
RCP6.0	Scenario di stabilizzazione con riduzioni blande	6,0 W/m ²	2° C – 3,7° C	850 ppm
RCP8.5	Scenario ad alte emissioni	8,5 W/m ²	3,2° C – 5,4° C	> 1370 ppm

Tabella 1: Riassunto delle caratteristiche principali dei quattro scenari RCP.

Capitolo 4

Dati

4.1 Dati pluviometrici da stazioni

In questo lavoro di tesi, perseguendo lo scopo di analizzare il cambiamento delle precipitazioni estreme all'interno del bacino dell'Astico, sono stati utilizzati i valori massimi annui di pioggia denominati AM.

Questi dati sono stati ricavati dalle serie di misure di 17 stazioni presenti all'interno del bacino idrografico e nelle zone limitrofe che condizionano l'area studiata, riassunte nella *Tabella 2*. Tre pluviometri si trovano nella provincia autonoma di Trento, i rimanenti quattordici nella provincia di Vicenza; ricoprono una quota che va dai 75 m s.l.m. ai 1360 m s.l.m. e sono tutte attualmente attive. In *Figura 6* è possibile osservare la distribuzione spaziale delle stazioni in una mappa. I dati sono consultabili e scaricabili dal sito ARPAV per le stazioni situate in provincia di Vicenza; per i pluviometri ubicati in Trentino si è utilizzato il sito Meteo Alto Adige.

Il dataset ottenuto è costituito da osservazioni di massimi annuali che vanno indicativamente dagli anni 90 al 2020; la disponibilità dei dati dipende dal periodo di operatività delle stazioni pluviometriche e dall'inizio delle registrazioni continuative.

La completezza della serie storica per tutto l'arco temporale di osservazione e il numero di osservazioni sono l'unico modo per garantire una validità statistica alle analisi svolte.

Le serie AM sono suddivise in base a durate sub-giornaliere e quindi con durate massime di eventi di precipitazione di 24 ore. Il lavoro di tesi ha lo scopo di valutare le precipitazioni intense inferiori al giorno. Le durate specifiche sono: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore.

Codice	Nome stazione	Prov	Quota s.l.m.	Lat	Long	Inizio
TN0009	Centa San Nicolò	TN	805	45,97010000	11,23420000	30/07/92
TN0032	Lavarone, Chiesa	TN	1155	45,94030000	11,25370000	01/01/92
TN0369	Passo Sommo	TN	1360	45,91860000	11,20610000	05/08/99
VE0068	Castana	VI	420	45,81551626	11,30843985	05/06/85
VE0072	Pedescala	VI	307	45,84467135	11,36722564	06/06/85
VE0073	Contra' Doppio, Posina	VI	724	45,80699205	11,22511920	15/09/85
VE0081	Monte Summano	VI	597	45,75097770	11,41482813	10/01/86
VE0083	Montecchio Precalcino	VI	75	45,65882861	11,54773196	05/10/93
VE0134	Malo	VI	98	45,66931288	11,46439144	01/04/92
VE0137	Valli del Pasubio	VI	602	45,75778254	11,21365428	05/12/91
VE0139	Lusiana	VI	767	45,78414598	11,58812049	15/11/91
VE0147	Breganze	VI	196	45,72042777	11,57629665	04/12/91
VE0190	Brustole', Velo d'Astico	VI	331	45,80132477	11,34330714	13/08/91
VE0191	Molini, Laghi	VI	623	45,83331375	11,25603835	02/08/91
VE0192	Passo Xomo, Posina	VI	1051	45,77777304	11,23766620	04/08/91
VE0218	Asiago, aeroporto	VI	1016	45,88342502	11,51100804	02/07/96
VE0248	Piana di Marcesina, Rendole	VI	1310	45,94933182	11,61226574	01/06/98

Tabella 2: Descrizione delle 17 stazioni analizzate nel lavoro di tesi.

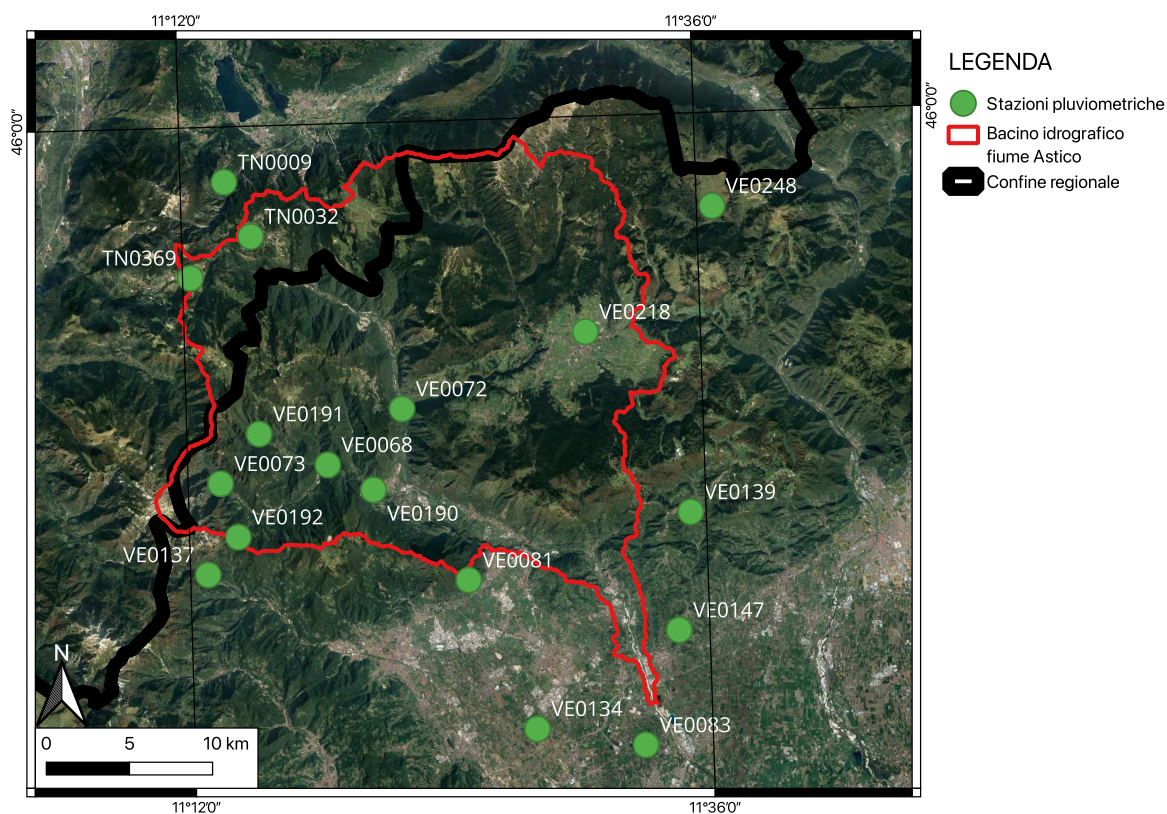


Figura 6: Localizzazione delle stazioni pluviometriche comprese nel bacino del fiume Astico e zone limitrofe.

4.2 Dati pluviometrici da modello CPM

Un secondo ed un terzo dataset sono stati ricavati dal modello climatico ad alta risoluzione: il *Convection-Permitting Model* CPM. La simulazione CPM utilizzata nello studio è stata formulata dal Politecnico federale di Zurigo con il consorzio per Small-Scale Modeling. Il modello, COSMO-crCLIM (convection-resolving Climate Modeling), copre la regione alpina sottoposta al Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) sui fenomeni convettivi in Europa e nel Mediterraneo (FPS-Convection). Il modello utilizzato ha una risoluzione spaziale di 2,2 km e risoluzione temporale di 10 anni.

Le simulazioni di questo modello sono disponibili per tre periodi: il periodo storico 1996-2005 (historical), il periodo di futuro prossimo 2041-2050 e il futuro lontano 2090-2099. Per il lavoro di questa tesi sono stati considerati il periodo storico, che si sovrappone al decennio registrato dalle osservazioni, e il periodo di futuro lontano.

I dati di precipitazione sono stati simulati dal modello, estratti dalla griglia del modello stesso per ogni punto in cui si colloca il pluviometro dell'area di studio. Come precedentemente descritto, lo scenario di riferimento per questo lavoro è quello più critico, l'RCP8.5, caratterizzato da un'assenza di politiche per la mitigazione delle emissioni.

Anche in questi dataset, dalle serie orarie sono state calcolate le precipitazioni massime annuali per le cinque durate: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore.

Ricapitolando, le serie di dati di AM di durata sub-giornaliera analizzati in seguito sono rinominati come:

- Obs: AM osservati dai pluviometri nel periodo 1990 – 2020;
- Hist: AM simulati dal modello CPM nel decennio 1996 – 2005;
- Fut: AM simulati dal modello CPM nel decennio 2090 – 2099.

Capitolo 5

Metodi

5.1 Modello probabilistico di Gumbel

Le serie di dati ottenute dai pluviometri e dal modello climatico sono state analizzate statisticamente utilizzando il programma Excel. Al fine di associare le precipitazioni estreme ad un tempo di ritorno di un determinato evento meteorologico, è stato utilizzato il metodo probabilistico di Gumbel con il metodo dei momenti lineari. Questo modello, definito come distribuzione del valore estremo, è uno dei metodi statistico-probabilistici più utilizzati per gli studi nel campo dell'idrologia.

Le frequenze scelte, ossia i tempi di ritorno, per questo lavoro di tesi sono di 10 e 50 anni, rappresentativi di precipitazioni intense di moderata ed alta severità.

Innanzitutto, è stata calcolata la media e la deviazione standard per tutte e cinque le durate di precipitazione, necessarie per il calcolo dei parametri di Gumbel α e u .

I due parametri sono definiti attraverso le equazioni (1) e (2):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} s}{\pi} \quad (1)$$

$$u = x - n_e \alpha \quad (2)$$

dove: s: deviazione standard;
 x: media;
 n_e : costante di Eulero pari a 0,5772.

Successivamente si è calcolata variabile W_T utilizzando l'equazione (3). Per questa fase è stato inserito il tempo di ritorno, nel nostro caso i calcoli sono stati eseguiti per un TR di 10 e 50 anni:

$$W_T = -\ln \left[\ln \frac{T}{T-1} \right] \quad (3)$$

A questo punto è stato possibile calcolare il valore dei quantili di precipitazione h_T (4), associati sia alla durata dell'evento di precipitazione, sia al tempo di ritorno T.

$$h_T = u + \alpha W_T \quad (4)$$

Rappresentando i quantili di precipitazione h_T ottenuti dal metodo di Gumbel, è possibile ricavare i massimi di precipitazione per un qualsiasi evento piovoso di durata inferiore alle 24 ore. Tracciando il grafico su Excel possiamo determinare la curva di probabilità pluviometrica, la LSPP.

Questa curva mette in relazione l'altezza dei mm di pioggia caduti durante una precipitazione, con la sua durata. Un aiuto ci viene fornito dal programma di calcolo che utilizzando la legge dei minimi quadrati permette di trovare l'equazione della retta che meglio esprime la serie di dati ricavati con Gumbel. Questo metodo minimizza la somma dei quadrati delle differenze tra i valori osservati e quelli previsti dalla legge stessa. La legge assume la seguente forma:

$$h_{d,T} = a_T \cdot d^n \quad (5)$$

dove: h è l'altezza della precipitazione;
 d è la durata della precipitazione;
 T è il tempo di ritorno dell'evento.

In particolare, dall'equazione (5) possiamo ricavare i termini a ed n . Il termine n assume dei valori compresi tra 0 e 1 ed è adimensionale, a è espresso in mm e rappresenta l'intensità di pioggia per la durata unitaria. I termini a ed n sono stati riportati dal grafico ad una tabella per poi compiere dei confronti analizzati nel capitolo 5.2.

Per ricavare l'equazione in Excel è bastato visualizzare la linea di tendenza, impostata come curva potenza. Inoltre, per avere una valenza statistica delle elaborazioni è stato visualizzato l' R^2 nel grafico delle LSPP. Questo è un modello di regressione lineare che definisce se la retta interpolatrice si adatta ai dati osservati. I valori R^2 sono risultati molto alti, oltre lo 0,96, sottolineando la coerenza dei dati.

Questi calcoli sono stati ripetuti per tutte e 17 le stazioni analizzate in questo lavoro di tesi.

Otteniamo così i quantili di precipitazione per un tempo di ritorno di 10 e 50 anni, per le durate di precipitazione di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore. I dataset elaborati sono, come denominati precedentemente nel capitolo 4.2, obs, hist e fut.

5.2 Confronti statistici per l'analisi dei dati

Il passo successivo è stato quello di confrontare le elaborazioni descritte nel capitolo 5.1: si sono eseguiti dei confronti tra i fattori a ed n delle curve di probabilità pluviometriche relative ai due tempi di ritorno; infine, gli stessi confronti, hanno interessato i quantili di precipitazione per i due tempi di ritorno ottenuti con il metodo probabilistico di Gumbel. In particolare, per questo lavoro, ci si è focalizzati sulle precipitazioni di durata di un'ora e di 24 ore.

Questa serie di operazioni ha permesso di analizzare la distorsione del modello climatico e di quantificare il cambiamento del regime delle precipitazioni estreme.

5.2.1 Bias

Con il calcolo del bias, ossia l'errore, si è analizzata la distorsione del modello climatico utilizzato rispetto alle osservazioni delle stazioni pluviometriche. Questo valore, espresso in percentuale, quantifica quanto le simulazioni del modello climatico si discostano dalle osservazioni reali.

I calcoli sono stati eseguiti per i fattori a ed n della curva di probabilità pluviometrica e per le altezze in mm di pioggia per i quantili di durata di un'ora e 24 ore e tempo di ritorno 10 e 50 anni.

Il bias è stato calcolato come differenza relativa tra osservazioni e modello, con la seguente formula:

$$B\% = \frac{X_{hist} - X_{obs}}{X_{obs}} \cdot 100 \quad (6)$$

dove: X è il valore analizzato

obs indica che il valore si riferisce alle osservazioni

$hist$ indica che il valore si riferisce alla simulazione del modello del passato

Al fine di capire l'andamento medio dell'errore è stata calcolata la media dei valori ricavati.

5.2.2 Change

Si è proceduto poi con il calcolo del change futuro, con lo scopo di quantificare l'aumento, o la diminuzione, delle statistiche eseguite. In particolar modo, si è eseguito un confronto tra il dataset relativo alla simulazione del modello sul decennio 1996-2005 e quello futuro 2090-2099.

Anche in questo caso i calcoli sono stati eseguiti per i fattori a ed n delle curve LSPP e per le altezze dei quantili di pioggia di 1 ora e 24 ore e tempo di ritorno 10 e 50 anni.

Il change è stato calcolato con la seguente formula, espresso come differenza relativa tra periodo his e periodo fut, in percentuale:

$$C\% = \frac{X_{fut} - X_{hist}}{X_{hist}} \cdot 100 \quad (7)$$

È stata in seguito calcolata la media dei dati ottenuti per capire se i cambiamenti, mediamente, sono positivi, negativi o nulli, nell'area di studio

5.3 Elaborazione di mappe con il programma QGIS

I confronti del bias e il change sono proseguiti con la creazione di mappe tramite il programma QGIS. In questo modo è stato possibile rappresentare graficamente i valori ottenuti relativi alle stazioni pluviometriche corrispondenti e valutarne l'organizzazione spaziale

Capitolo 6

Risultati e discussione

6.1 Risultati sui fattori a ed n

Riprendendo l'equazione (5) è possibile comprendere il significato delle variazioni dei due parametri che descrivono le curve di probabilità pluviometrica.

Per un valore fisso di durata dell'evento di precipitazione, come vediamo in *Figura 7*, all'aumentare di a aumenta proporzionalmente anche h , ossia i mm di pioggia dell'evento. Ciò significa che la curva si alza verticalmente mantenendo la stessa forma esponenziale. Diminuendo a , al contrario, l'altezza di precipitazione diminuisce, traslando la curva verso il basso.

Riferendoci alla durata di 1 ora, è intuibile che l'altezza in mm della precipitazione dipende solamente dal parametro a , in quanto 1 elevato alla n è uguale ad 1. Ciò significa che l'errore e il cambiamento del parametro a sono rappresentativi degli eventi di precipitazione breve, pari ad un'ora.

Una variazione del parametro n , per durate maggiori di 1 ora, porta la curva a crescere più rapidamente se n aumenta (l'esponenziale cresce più velocemente); se n diminuisce, al contrario, la curva cresce più lentamente.

Come vediamo in *Figura 8*, n determina l'andamento della curva e, per le precipitazioni di durata maggiore di un'ora, il modo in cui cresce l'altezza della precipitazione al crescere della durata.

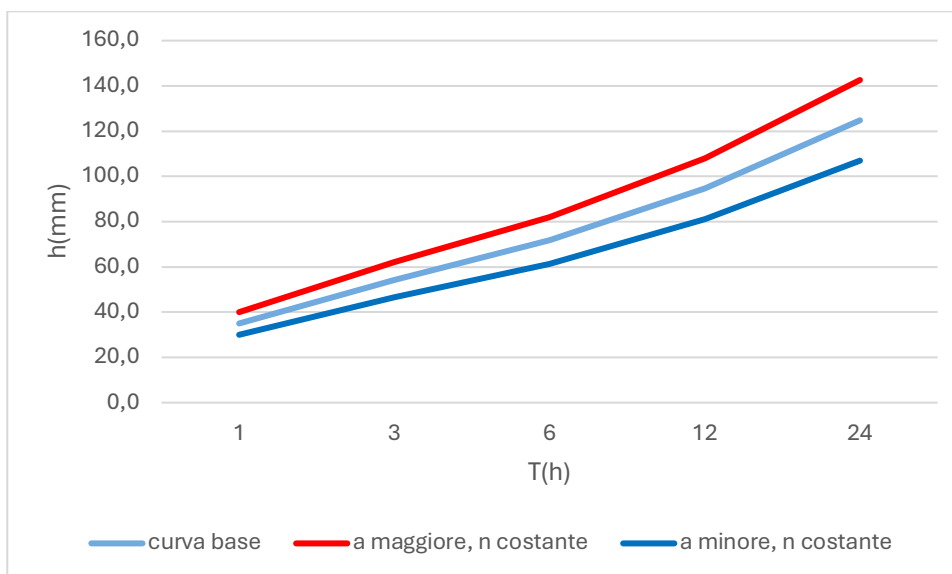


Figura 7: Esempio mantenendo n costante e variando il valore a .

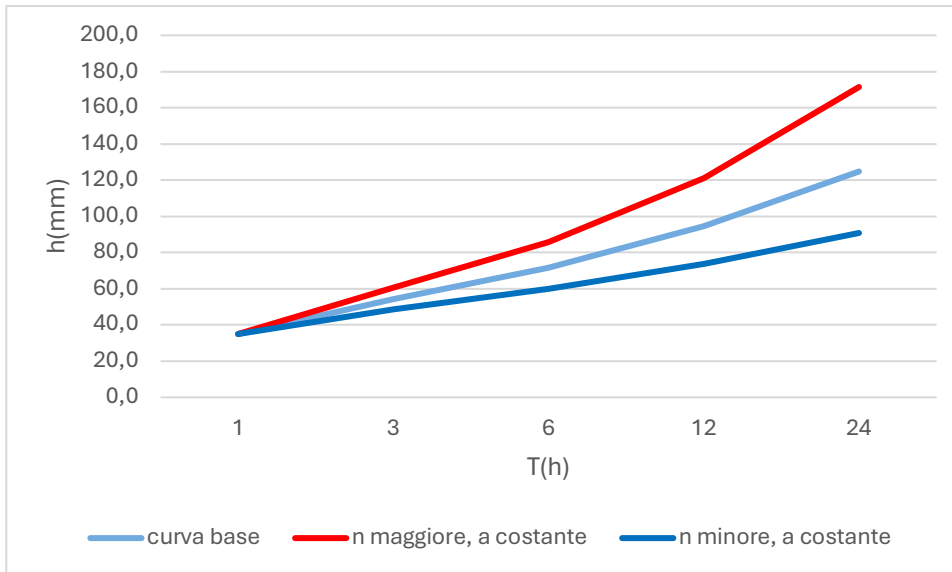


Figura 8: Esempio mantenendo a costante e variando il valore n .

6.1.1 Analisi bias del modello climatico

Sui fattori a ed n ricavati dall'equazione delle linee di probabilità pluviometrica, come descritto nel capitolo 5.1, è stato calcolato il bias. Questo dato ci permette di capire la differenza tra ciò che il modello ha simulato e le osservazioni eseguite dalle stazioni pluviometriche.

I risultati sono elencati nella *Tabella 3*, in scala di rossi se bias positivi (il modello sovrastima) ed in scala di blu se bias negativi (il modello sottostima). Nella *Figura 9* e nella *Figura 10* troviamo la rappresentazione dei valori in una mappa raffigurante il bacino e le stazioni pluviometriche. a_{10} e n_{10} sono i parametri delle LSPP riferite ad un tempo di ritorno di 10 anni, a_{50} e n_{50} per un tempo di ritorno di 50 anni.

Stazione	a 10	a 50	n 10	n 50
TN_0009	3,00	-0,66	6,64	5,01
TN_0032	-20,09	-28,53	14,30	16,93
TN_0369	-8,46	-14,87	5,83	3,36
VE_0068	21,72	26,62	-21,44	-25,82
VE_0072	-20,75	-29,44	16,42	25,21
VE_0073	8,26	7,87	0,85	-1,76
VE_0081	-27,17	-30,86	42,07	60,26
VE_0083	1,63	2,14	-1,91	2,89
VE_0134	3,42	7,40	-4,58	-8,44
VE_0137	5,49	2,99	22,54	26,87
VE_0139	-30,32	-37,97	29,38	40,01
VE_0147	-6,99	-10,22	1,12	6,48
VE_0190	-19,60	-27,83	27,07	39,36
VE_0191	-4,85	-7,84	9,26	7,50
VE_0192	-0,35	-0,47	1,36	-0,25
VE_0218	-24,98	-29,87	32,23	37,72
VE_0248	-12,11	-18,88	34,26	44,41
MEDIA	-7,77	-11,20	12,67	16,46

Tabella 3: Bias (Errore percentuale) dei parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica LSPP per i tempi di ritorno di 10 e 50 anni.

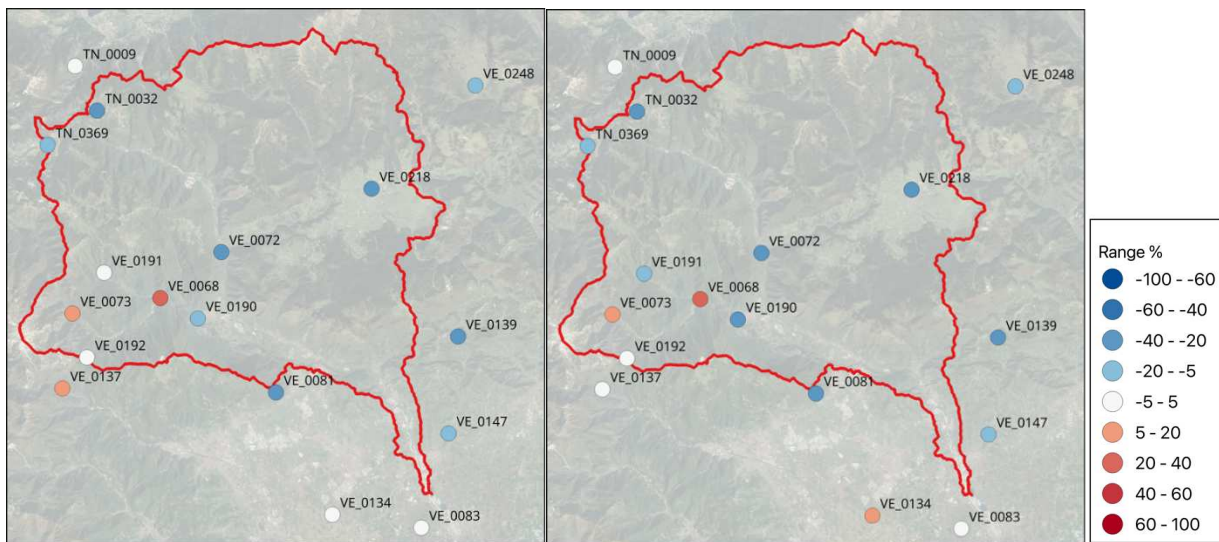


Figura 9: Bias riferito al parametro a con TR10 (a sinistra) e TR50 (a destra).

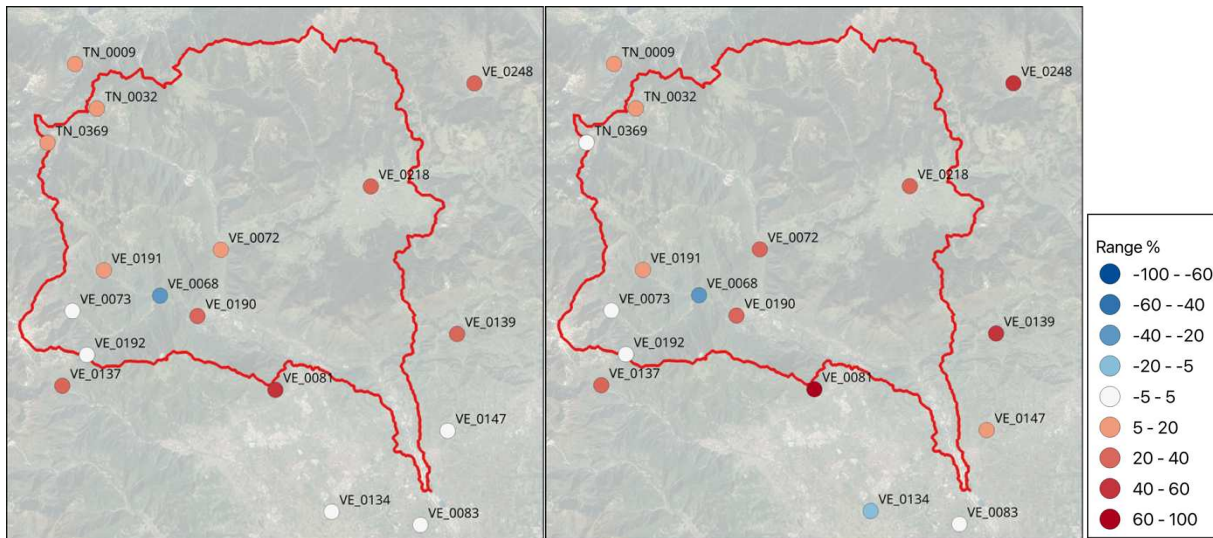


Figura 10: Bias riferito al parametro n con TR10 (a sinistra) e TR50 (a destra).

Osservando i valori nella *Tabella 3*, si nota una differenza cromatica tra gli errori del parametro a e quelli del parametro n . In particolare, mediamente l'errore è negativo per i fattori a riferiti agli eventi con un tempo di ritorno di 10 e 50 anni. L'errore su a_{10} è di $-7,77\%$; l'errore su a_{50} misura $-11,2\%$. I valori negativi indicano che è presente un errore di sottostima tra modello e osservazioni. L'errore medio su n_{10} è di $12,67\%$, su n_{50} misura $16,46\%$. In entrambi i casi l'errore è positivo, indicando una sovrastima dei fattori da parte del modello.

Alcune stazioni invece presentano degli errori minimi, indicate con il colore bianco o con il colore rosso o azzurro chiaro. È il caso delle zone limitrofe alle stazioni TN0009, VE0073, VE0083, VE0134 e VE0192. Particolare è il caso della stazione VE0068, situata nella località di Castana, in cui i fattori n presentano un errore negativo.

Fortemente influenzata dall'errore è la stazione VE0081, con valori molto al di sotto della media per il fattore a , e con valori molto al di sopra della media per il parametro n .

Ciò che si può intuire è che tendenzialmente i parametri si bilanciano: laddove avviene una sovrastima del parametro a c'è una sovrastima dell'esponentiale n , e viceversa.

La sottostima dei fattori a per entrambi i tempi di ritorno sottolinea la sottostima degli eventi di precipitazione riferite alla durata di un'ora, mentre la sovrastima di n indica che nel modello la precipitazione cresce con la durata più velocemente che nelle osservazioni.

Le mappe mostrano per il parametro a che le poche stazioni con sovrastima sono localizzate nella parte sud-ovest del bacino, mentre circa nelle stesse stazioni si hanno i pochi casi di sottostima di n .

6.1.2 Analisi del cambiamento nel modello climatico

Il dato change ricavato con l'equazione (7) ci permette di quantificare come e quanto i fattori a ed n cambieranno in futuro rispetto alle simulazioni del modello nel periodo 1996-2005.

I risultati sono elencati nella *Tabella 4*, in scala di rossi se change positivi (futuro aumento) ed in scala di blu per change negativi (futura diminuzione). Nella *Figura 11* e nella *Figura 12* troviamo la rappresentazione dei valori in una mappa raffigurante il bacino e le stazioni pluviometriche.

Stazione	a_{10}	a_{50}	n_{10}	n_{50}
TN_0009	-1,11	-9,95	5,85	14,17
TN_0032	9,57	11,01	-0,18	0,36
TN_0369	-15,50	-21,71	27,39	37,47
VE_0068	-28,42	-39,60	30,22	46,16
VE_0072	13,19	17,44	0,69	-1,19
VE_0073	-26,60	-35,56	29,83	44,92
VE_0081	-5,19	-11,65	-6,39	-6,39
VE_0083	-19,60	-25,34	30,72	33,18
VE_0134	-3,30	-6,89	4,80	9,22
VE_0137	-14,54	-17,65	0,21	-0,68
VE_0139	44,48	61,39	-25,20	-32,62
VE_0147	6,40	6,18	9,08	9,27
VE_0190	24,38	38,56	-21,30	-28,24
VE_0191	-15,70	-24,86	24,00	38,71
VE_0192	-25,19	-34,03	24,43	36,69
VE_0218	5,22	1,62	12,51	17,68
VE_0248	9,65	12,22	-12,26	-17,00
MEDIA	-2,49	-4,64	7,90	11,87

Tabella 4: Change dei parametri delle curve di probabilità pluviometrica LSPP.

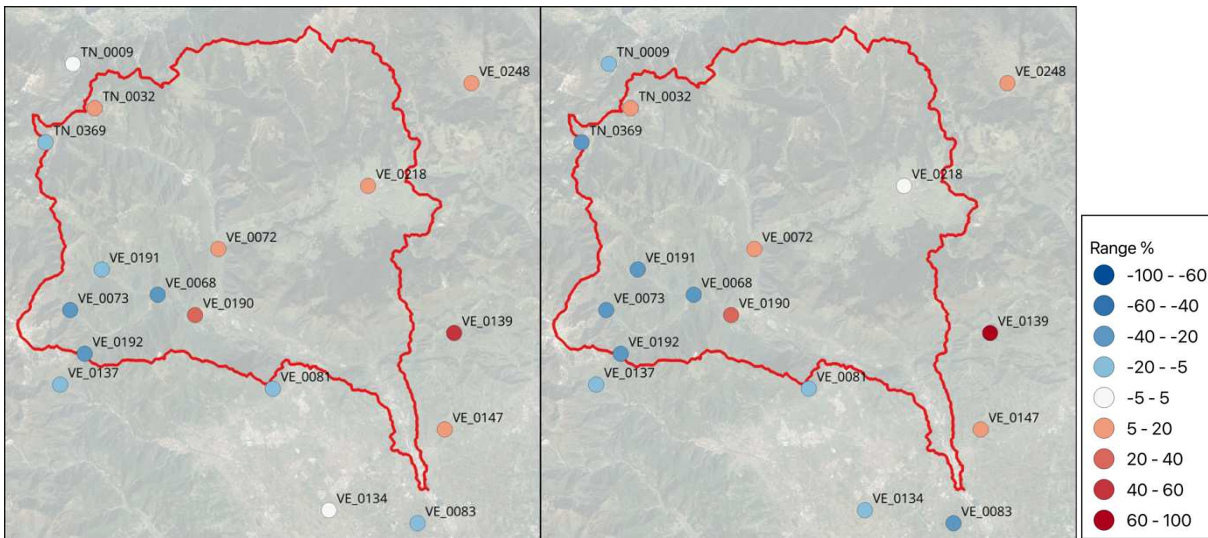


Figura 11: Change riferito al parametro a con TR10 (a sinistra) e TR50 (a destra).

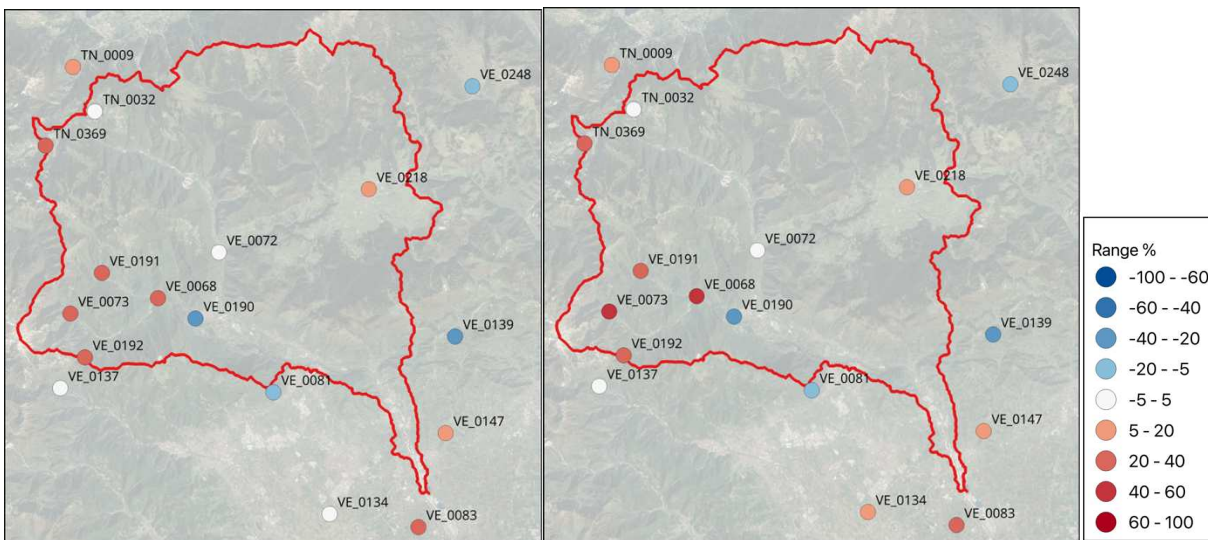


Figura 12: Change riferito al parametro n con TR10 (a sinistra) e TR50 (a destra).

Osservando la *Tabella 4* notiamo che la media del cambiamento per il parametro a_{10} e a_{50} sono negativi, poco al disotto dello zero; rispettivamente misurano -2,49% e -4,64%. Questo indica che per il futuro lontano ci si aspetta una diminuzione media nell'area del valore a della curva LSPP, che sottolinea una diminuzione delle precipitazioni della durata di un'ora con tempo di ritorno 10 e 50 anni.

Le stazioni VE0139 e VE0190 sono contraddistinte da un valore di change molto al di sopra della media per il fattore a , mostrando un bilanciamento per l'esponentiale n con valori negativi. Il

valore negativo, anche in questo caso, indica una diminuzione di n nel futuro. Ciò accade sia per gli eventi con tempo di ritorno di 10 anni, sia per un tempo di ritorno di 50 anni.

Andando poi ad osservare la media del cambiamento di n , che si attesta a 7,9% per il TR10 e a 11,87% per il TR50, notiamo che tale valore tende ad aumentare nel futuro. In alcune stazioni n rimane pressoché invariato, in altre tende ad aumentare com'è possibile osservare nella *Figura 12* nella zona Ovest.

L'aumento di n corrisponde ad una crescita più rapida della curva, con precipitazioni sopra l'ora di durata più intense.

Anche in questo caso notiamo che laddove il cambiamento di a risulta essere negativo, n tende ad aumentare; al contrario, nelle zone in cui a aumenta, n diminuisce.

6.2 Risultati sui quantili di precipitazione

La stessa analisi si è ripetuta per i quantili di pioggia, ossia i millimetri di pioggia per gli eventi estremi con tempo di ritorno di 10 e 50 anni. Le precipitazioni in cui si è svolta una lettura più approfondita dei risultati sono quelle di durata di 1 e 24 ore. Questi due eventi precipitativi hanno natura e caratteristiche molto diverse. Per brevità, non sono mostrati qui i risultati per le durate intermedie alle 1 e 24 ore, ma sono riportati in appendice.

Gli eventi di durata oraria sono soliti nei temporali estivi, in cui abbiamo una precipitazione breve ma molto intensa. Questi eventi si generano solitamente per convezione: durante il giorno la parte di atmosfera vicino al suolo si scalda. L'aria calda, essendo meno densa, tende a salire scontrandosi con l'aria più fredda. Quando quest'aria raggiunge il livello di condensazione, il vapore acqueo contenuto nell'aria condensa.

L'area di studio, caratterizzata dalla presenza di rilievi anche oltre i 1000 m s.l.m., può essere interessata anche da precipitazioni orografiche, generate dal sollevamento di aria calda per via dello scontro con i rilievi montuosi.

Gli eventi di durata maggiore, come quelli di 24 ore, sono tipici delle piogge stagionali, solitamente con intensità moderata su base oraria. Questo tipo di precipitazione si genera solitamente con uno scontro di due masse d'aria, una calda ed una fredda. Quando le due masse si incontrano, l'aria calda essendo meno densa tende a sollevarsi al di sopra dell'aria fredda; il vapore acqueo condensa e causa delle precipitazioni prolungate.

Le due durate sono quindi rappresentative di due fenomeni di natura diversa; come descritto nel capitolo 2.4, l'area del bacino dell'Astico è caratterizzata da un regime pluviometrico equinoziale,

ci aspettiamo quindi che le piogge di durata 24 ore siano rappresentative degli eventi che interessano i mesi primaverili ed autunnali.

6.2.1 Analisi degli errori del modello climatico

La ricerca dell'errore del modello rispetto alle osservazioni dei pluviometri ha interessato i cinque quantili, ossia le cinque durate. Di seguito, nella *Tabella 5*, sono riassunti i risultati per le durate di precipitazione di 1 ora e 24 ore. Nella *Figura 13* e nella *Figura 14* troviamo la rappresentazione dei valori in una mappa raffigurante il bacino e le stazioni pluviometriche.

1_{10} e 24_{10} si riferiscono alle piogge di durata di 1 e 24 ore con un tempo di ritorno di 10 anni, 1_{50} e 24_{50} alle piogge con tempo di ritorno di 50 anni.

Stazione	1_{10}	24_{10}	1_{50}	24_{50}
TN_0009	6,78	21,47	4,37	16,00
TN_0032	-13,39	9,31	-20,49	4,99
TN_0369	-4,88	6,71	-9,58	-0,37
VE_0068	31,89	-8,14	41,91	-8,93
VE_0072	-21,08	0,55	-29,73	-1,51
VE_0073	21,79	21,16	28,07	22,97
VE_0081	-28,00	13,84	-31,66	21,81
VE_0083	-1,59	2,02	-2,73	5,10
VE_0134	6,48	5,09	13,46	7,08
VE_0137	-0,93	42,87	-5,40	47,19
VE_0139	-32,66	-3,19	-40,11	-6,15
VE_0147	-3,51	-1,65	-5,37	-0,29
VE_0190	-14,82	18,83	-20,98	23,28
VE_0191	3,87	16,01	5,49	13,26
VE_0192	0,96	4,47	2,43	4,22
VE_0218	-14,25	24,64	-16,02	27,11
VE_0248	-17,13	45,78	-24,05	54,16
MEDIA	-4,73	12,93	-6,49	13,52

Tabella 5: Bias dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 10 e 50 anni.

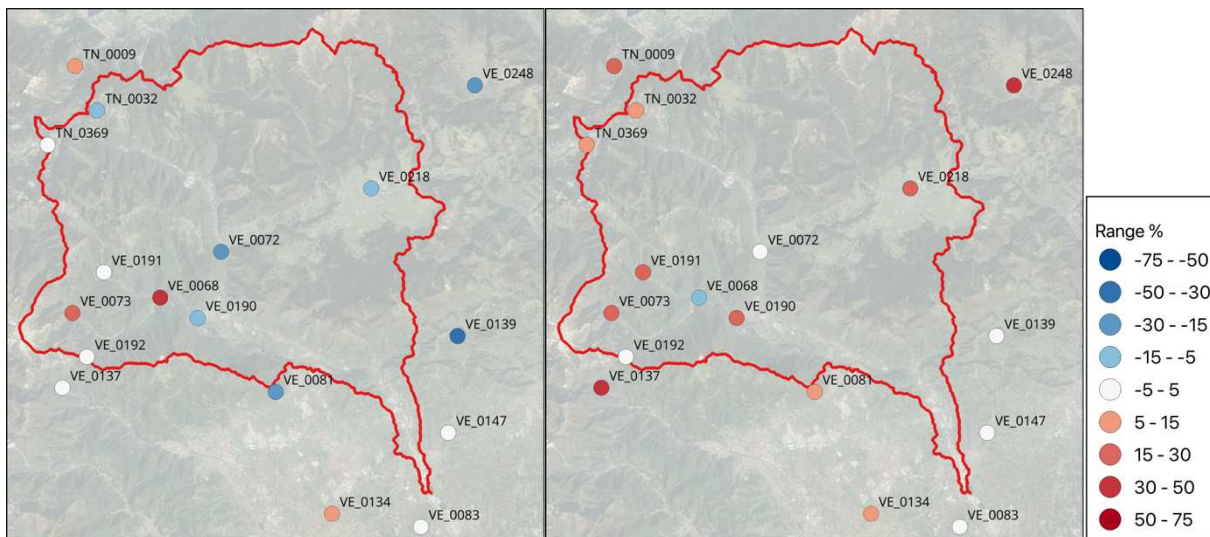


Figura 13: Bias dei quantili di pioggia di 1 ora (a sinistra) e 24 ore (a destra) per un tempo di ritorno di 10 anni.

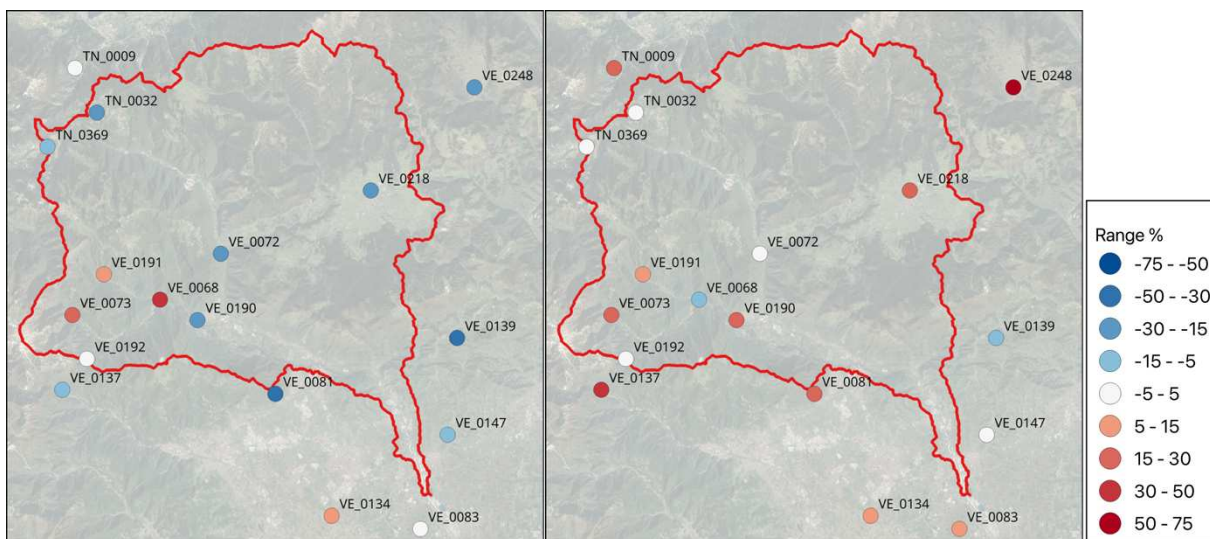


Figura 14: Bias dei quantili di pioggia di 1 ora (a sinistra) e 24 ore (a destra) per un tempo di ritorno di 50 anni.

Osservando la media dell'errore per gli eventi estremi con tempo di ritorno 10 anni nella *Tabella 5*, notiamo da subito una differenza sottolineata anche dalla diversità cromatica per i due quantili. Per le precipitazioni di durata oraria l'errore medio è di $-4,73\%$ mentre per la durata di 24 ore è pari a $12,93\%$. Il modello tende a sottostimare le precipitazioni di durata oraria e quindi prevede, in mm di pioggia, una precipitazione meno abbondante rispetto alla realtà; sovrastima invece le precipitazioni di durata giornaliera prevedendo eventi piovosi più abbondanti rispetto a ciò che è stato osservato dai pluviometri.

In alcune stazioni, come nel pluviometro VE0068, c'è una sovrastima delle precipitazioni di 1 ora e una sottostima per le precipitazioni di durata 24 ore. In altri casi, come per le stazioni VE0083, VE0147 e VE0192, la simulazione del modello sembra essere in linea con le osservazioni. La stazione VE0073, invece, sovrastima entrambe le tipologie di precipitazione.

Anche osservando la *Figura 13* si percepisce la differenza: troviamo colori più freddi nella mappa di sinistra, rappresentante le precipitazioni orarie, e colori più caldi a destra, per le precipitazioni di 24 ore.

Il risultato risulta essere molto simile per gli eventi estremi con tempo di ritorno di 50 anni. Dalla *Tabella 5* osserviamo che l'errore medio per le piogge di durata oraria è di -6,49%, mentre per le precipitazioni di 24 ore risulta essere 13,52%. Anche in questo caso il modello sottostima le precipitazioni brevi e sovrastima le precipitazioni giornaliere. Non si nota quindi una grande differenza nell'errore del modello al variare della severità (tempo di ritorno) dell'evento.

La stazione VE0073, nuovamente, sovrastima entrambe le precipitazioni con valori ben al di sopra della media (28,07% e 22,97%). Anche le stazioni VE0083, VE0147 e VE0192, come per gli eventi con tempo di ritorno 10 anni, sembrano non discostarsi di molto dalle osservazioni. Il pluviometro VE0068, anche in questo caso, sovrastima la precipitazione di durata 1 ora e sottostima le precipitazioni più lunghe.

Come descritto nel capitolo 6.1.1, la sottostima del parametro a della curva di probabilità pluviometrica, definisce la sottostima anche delle precipitazioni di durata unitaria. Ciò avviene per entrambi i tempi di ritorno analizzati in questo lavoro di tesi.

Osservando le distribuzioni nelle mappe e le colorazioni delle stazioni coinvolte da un errore maggiore (sia in positivo che in negativo) si nota che sono abbastanza costanti. I pluviometri che sbagliano di più gli eventi estremi con TR 10 anni sono gli stessi che commettono errori anche per tempi di ritorno maggiori.

6.2.2 Analisi del cambiamento nel modello climatico

Di notevole interesse per la materia dei cambiamenti climatici è il dato che esprime il change delle precipitazioni estreme. Questo valore dà indicazione su come e con quale intensità le precipitazioni di durata oraria e giornaliera cambieranno secondo le simulazioni del modello. Ci indica quindi se in futuro, più precisamente nel periodo 2090-2099, ci aspetteremo un aumento o una diminuzione dell'intensità di pioggia e quindi altezze in mm di pioggia maggiori o minori rispetto al presente.

I cambiamenti per ogni stazione sono riassunti nella *Tabella 6*. In *Figura 15* e *Figura 16* troviamo la rappresentazione grafica dei risultati.

Stazione	1 ₁₀	24 ₁₀	1 ₅₀	24 ₅₀
TN_0009	4,49	12,04	-3,27	15,08
TN_0032	3,80	4,88	3,06	5,47
TN_0369	-16,29	30,31	-24,42	35,11
VE_0068	-31,61	4,40	-45,13	2,92
VE_0072	5,03	9,93	3,95	9,74
VE_0073	-32,66	4,11	-44,51	1,30
VE_0081	-3,16	-16,23	-9,29	-22,84
VE_0083	-10,55	6,42	-13,87	1,59
VE_0134	-27,69	-6,35	-39,14	-11,90
VE_0137	-16,81	-14,58	-21,63	-20,27
VE_0139	57,11	9,82	76,48	11,72
VE_0147	9,62	16,31	8,88	16,14
VE_0190	-8,54	5,14	-13,16	4,33
VE_0191	-19,80	16,16	-31,95	18,38
VE_0192	-29,26	-2,05	-40,44	-5,08
VE_0218	3,96	22,65	-3,06	21,84
VE_0248	22,17	-7,57	26,86	-14,33
MEDIA	-5,31	5,61	-10,04	4,07

Tabella 6: Change percentuale dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 10 e 50 anni.

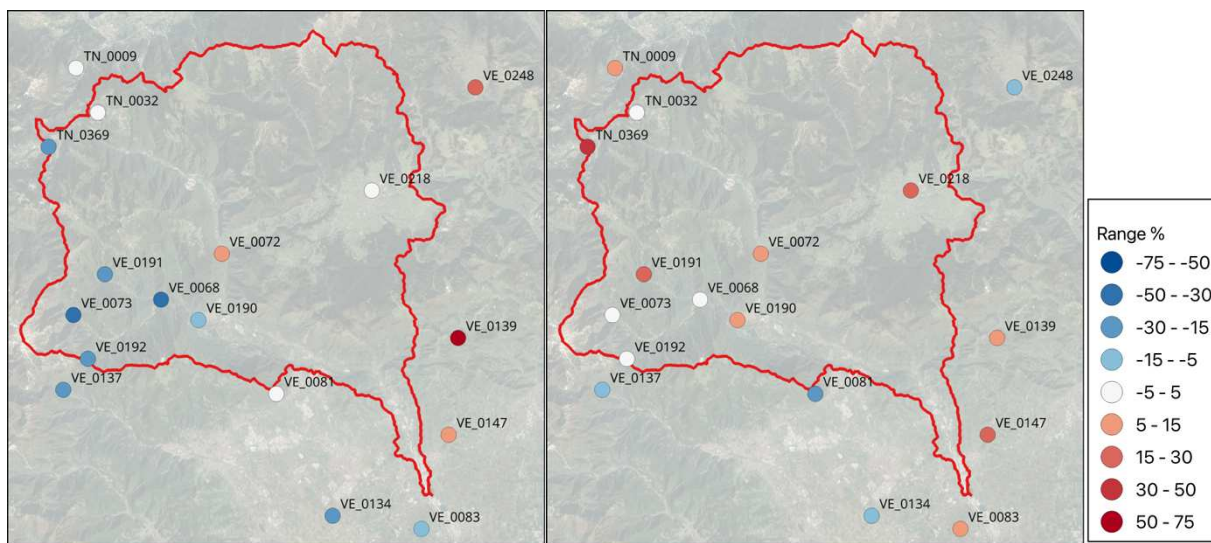


Figura 15: Change dei quantili di pioggia di 1 ora (a sinistra) e 24 ore (a destra) per un tempo di ritorno di 10 anni.

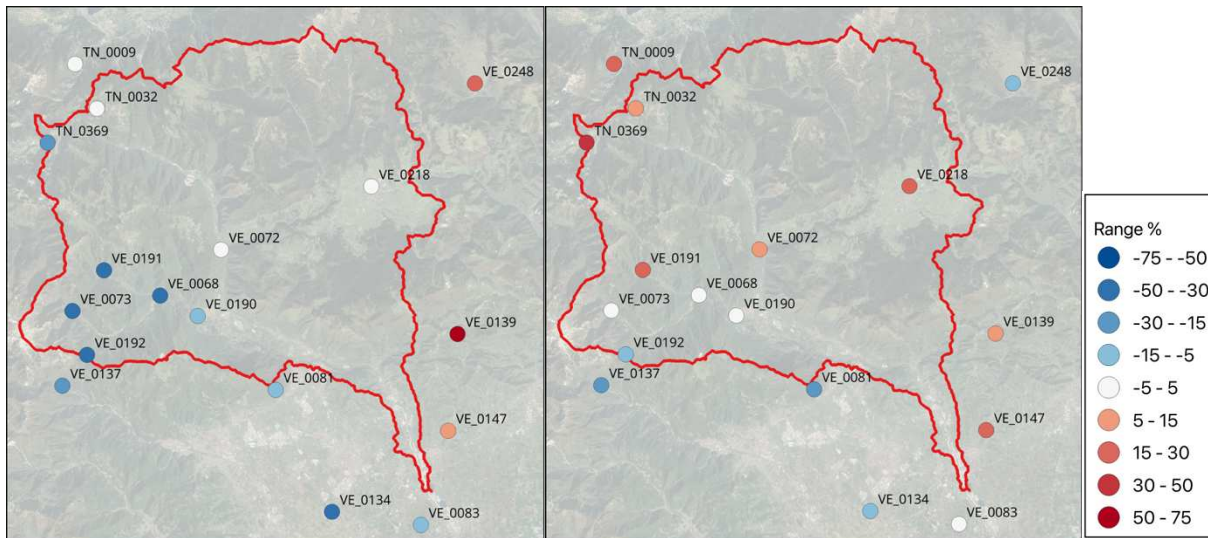


Figura 16: Change dei quantili di pioggia di 1 ora (a sinistra) e 24 ore (a destra) per un tempo di ritorno di 50 anni.

Osservando la *Tabella 6* notiamo una differenza cromatica tra le colonne delle precipitazioni di un'ora e quelle di durata giornaliera. Per gli eventi orari dominano i colori freddi, con una media di -5,31% per il tempo di ritorno di 10 anni e di -10,04% per il tempo di ritorno di 50 anni. In entrambi i tempi di ritorno, gli eventi estremi di precipitazioni che coinvolgono il bacino del torrente Astico, troviamo una diminuzione delle altezze in mm di pioggia, con una diminuzione più marcata per un tempo di ritorno di 50 anni. Anche nelle mappe situate a sinistra del foglio in *Figura 15* e *Figura 16* notiamo la colorazione blu-azzurra presente in gran parte della mappa, con delle stazioni in controtendenza nella zona est, in particolare nei pluviometri VE0139, VE0147 e VE0248. Per alcune stazioni, secondo il modello, le altezze in mm di pioggia non cambiano sensibilmente: un esempio sono le stazioni TN0009, TN0032, VE0081 e VE0218. Ciò accade per entrambi i tempi di ritorno.

Se le piogge brevi sono caratterizzate da una diminuzione dell'intensità in futuro, il modello prevede invece un aumento degli eventi estremi di durata 24 ore. La media per il tempo di ritorno di 10 anni è 5,61%, mentre per il tempo di ritorno di 50 anni misura 4,07%. Andando ad osservare le mappe poste sulla destra del foglio nella *Figura 15* e *Figura 16* notiamo che in alcuni pluviometri ci si aspetta una diminuzione delle precipitazioni come nel caso delle stazioni VE0081, VE0134, VE0137 (situate nella zona sud) e VE0248. Ciò accade per entrambi i tempi di ritorno.

Un aumento più marcato caratterizza il pluviometro TN0369, con valori molto più alti rispetto alla media.

Anche in questo caso ci sono delle stazioni che prevedono una situazione di equilibrio e che quindi hanno valori di change compresi tra il -5% e i 5%. Degli esempi possono essere i pluviometri TN0032, VE0068, VE0073 e VE0190.

Capitolo 7

Conclusioni

Questo lavoro di tesi persegue lo scopo di valutare l'accuratezza della rappresentazione delle piogge estreme nei modelli climatici ad alta risoluzione spaziale e temporale, tramite l'analisi delle precipitazioni di durata inferiore alle 24 ore con un tempo di ritorno di 10 e 50 anni. Inoltre, ha l'obiettivo di comprendere in che modo, e con quale intensità, le piogge estreme cambieranno in futuro nel bacino del fiume Astico.

Per questo lavoro di tesi ci si è affidati ad un modello ad alta risoluzione.

Lo scenario di emissione RCP8.5 è quello più critico: l'aumento delle emissioni di gas serra è costante per tutto il secolo dovuto all'inefficacia o alla mancanza di politiche in grado di mitigare le attività antropiche, con un conseguente aumento di temperatura.

Il bacino risiede in un territorio molto vario e quindi l'orografia incide molto sulle caratteristiche climatiche dell'area: il fiume nasce in montagna a circa 1600 m s.l.m., per proseguire poi verso le colline ed infine nella pianura. Per il modello potrebbe risultare difficile simulare tutti i fenomeni che avvengono in un territorio così piccolo ma allo stesso tempo così vario.

I risultati ottenuti sull'errore nei parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica mostrano che generalmente i valori del parametro a vengono sottostimati dal modello mentre il parametro n viene sovrastimato. Ciò avviene sia per gli eventi estremi con tempo di ritorno di 10 anni, sia per il tempo di ritorno di 50 anni anche se l'errore è più marcato per il tempo di ritorno più elevato.

Inoltre, il modello, sottostimando il parametro a , determina a sua volta una sottostima delle piogge di durata oraria. Questo accade in quanto il valore a è direttamente proporzionale all'altezza di pioggia e la durata di un'ora elevata alla n non altera il risultato.

Andando ad analizzare il cambiamento futuro si è trovato una diminuzione del valore del parametro a per le curve di probabilità pluviometriche per il periodo 2090-2099. Il valore medio del cambiamento risulta essere di -2,49% per il TR 10 anni e -4,64% per il TR 50 anni. Ciò significa che le curve tenderanno ad abbassarsi. Per alcune stazioni invece si è registrato un aumento di tale valore.

Se da un lato a diminuisce, il parametro n tende ad aumentare in modo più importante per gli eventi estremi con tempo di ritorno 50 anni. Le curve, dopo la durata di 1 ora, tenderanno a crescere più velocemente ricavando valori più alti di mm di pioggia caduti.

I quantili di pioggia hanno registrato un errore negativo per la durata di un'ora per entrambi i tempi di ritorno. Ciò è dimostrato, come detto in precedenza, dalla sottostima del parametro a della curva di probabilità pluviometrica adottata dal modello climatico. La sottostima del quantile di pioggia è più importante per il tempo di ritorno di 50 anni, con un valore di -10%.

Al contrario le piogge di durata giornaliera hanno registrato un errore positivo, con una sovrastima del modello rispetto alle osservazioni dei pluviometri. In questo caso troviamo stazioni caratterizzate da un errore importante, anche oltre il 50%.

Per quanto riguarda il cambiamento futuro, si ha una tendenza media di diminuzione delle altezze di pioggia orarie per entrambi i tempi di ritorno, ma con alcune stazioni nella zona orientale caratterizzate da un aumento. Per la durata di 24 ore invece, si nota un aumento dell'intensità delle piogge con una percentuale leggermente maggiore per le piogge con un tempo di ritorno di 10 anni (5,61% per TR 10 anni e 4,07% per il TR 50 anni).

In conclusione, possiamo dire che mediamente nell'area il modello tende ad avere un errore che non supera il 20% in positivo e il 10% in negativo. In particolare, ci sono dei pluviometri in cui il modello tende a sbagliare in modo più significativo, superando anche di molto la media degli errori delle singole stazioni.

Le previsioni del modello climatico, considerando le condizioni di temperatura ed emissioni peggiori, indicano una diminuzione del quantile di pioggia per la durata di un'ora ed una intensificazione invece delle piogge di durata giornaliera. Anche in questo caso alcune stazioni registreranno aumenti o diminuzioni più importanti.

Le stazioni ricoprono un dislivello maggiore di 1000 m s.l.m. e si trovano quindi in condizioni stazionali, ambientali e microclimatiche che possono variare molto. Gli errori ricavati analizzando il modello potrebbero derivare dall'incapacità del modello stesso di simulare le interazioni tra tutte le parti interessate. L'orografia della zona, segnata dalle passate ere glaciali e il passaggio del fiume stesso, è molto varia e può determinare degli errori più marcati in alcune zone. Questo spiega la tendenza delle stazioni di sbagliare o di registrare dei cambiamenti in zone più o meno raggruppate. Queste valutazioni, utilizzando dei modelli climatici che partono da alcune condizioni di criticità a livello emissivo e di temperatura, sottolineano l'importanza di adottare delle politiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Il cambiamento dell'idrologia di un determinato territorio, come il bacino del torrente Astico, può causare problemi per via del rischio idrologico ed idraulico. È di fondamentale importanza attuare una pianificazione urbanistica, di monitoraggio e manutenzione nonché di educazione e consapevolezza per ridurre i rischi e proteggere il territorio e le persone che lo abitano.

Appendice

Stazione	1	3	6	12	24
TN_0009	6,78	3,62	8,02	3,02	21,47
TN_0032	-13,39	-19,38	-14,96	-10,07	9,31
TN_0369	-4,88	-5,86	-10,09	-5,25	6,71
VE_0068	31,89	1,77	-10,86	-15,70	-8,14
VE_0072	-21,08	-16,38	-3,33	-14,75	0,55
VE_0073	21,79	-3,84	1,02	7,35	21,16
VE_0081	-28,00	-13,29	-7,30	-8,22	13,84
VE_0083	-1,59	9,55	-1,92	-4,10	2,02
VE_0134	6,48	1,74	-3,27	-4,29	5,09
VE_0137	-0,93	26,83	35,05	34,87	42,87
VE_0139	-32,66	-16,63	-16,75	-10,53	-3,19
VE_0147	-3,51	-10,95	-5,66	-9,96	-1,65
VE_0190	-14,82	-15,33	-5,03	2,64	18,83
VE_0191	3,87	-10,69	-0,48	4,33	16,01
VE_0192	0,96	-2,08	3,77	-3,23	4,47
VE_0218	-14,25	-23,24	-18,74	-0,37	24,64
VE_0248	-17,13	10,65	30,08	26,76	45,78
MEDIA	-4,73	-4,91	-1,20	-0,44	12,93

Tabella 7: Bias dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 10 anni.

Stazione	1	3	6	12	24
TN_0009	4,37	-2,31	2,36	-2,94	16,00
TN_0032	-20,49	-27,64	-25,40	-17,74	4,99
TN_0369	-9,58	-13,65	-20,70	-14,03	-0,37
VE_0068	41,91	0,61	-15,21	-18,97	-8,93
VE_0072	-29,73	-24,79	-4,75	-18,55	-1,51
VE_0073	28,07	-9,43	-6,15	2,13	22,97
VE_0081	-31,66	-14,56	-5,00	-4,75	21,81
VE_0083	-2,73	13,28	2,42	0,20	5,10
VE_0134	13,46	1,86	-4,16	-2,59	7,08
VE_0137	-5,40	30,43	38,04	37,53	47,19
VE_0139	-40,11	-23,82	-20,99	-10,55	-6,15
VE_0147	-5,37	-15,92	-4,27	-8,63	-0,29
VE_0190	-20,98	-24,33	-8,81	1,18	23,28
VE_0191	5,49	-18,47	-8,45	-1,56	13,26
VE_0192	2,43	-5,62	4,48	-8,07	4,22
VE_0218	-16,02	-28,84	-27,92	-3,44	27,11
VE_0248	-24,05	7,06	33,38	31,95	54,16
MEDIA	-6,49	-9,18	-4,18	-2,29	13,52

Tabella 8: Bias dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 50 anni.

Stazione	1	3	6	12	24
TN_0009	4,49	-4,21	0,27	6,86	12,04
TN_0032	3,80	14,84	15,80	8,10	4,88
TN_0369	-16,29	-1,43	10,74	17,01	30,31
VE_0068	-31,61	-13,38	-6,16	4,71	4,40
VE_0072	5,03	25,00	18,18	12,01	9,93
VE_0073	-32,66	-8,69	2,81	9,38	4,11
VE_0081	-3,16	-12,91	-9,98	-4,63	-16,23
VE_0083	-10,55	-24,97	-10,59	10,33	6,42
VE_0134	-27,69	-26,66	-14,25	5,35	-6,35
VE_0137	-16,81	-12,94	-9,25	-17,98	-14,58
VE_0139	57,11	18,82	9,36	3,16	9,82
VE_0147	9,62	4,60	10,77	18,80	16,31
VE_0190	-8,54	4,30	7,23	10,23	5,14
VE_0191	-19,80	1,84	4,85	18,51	16,16
VE_0192	-29,26	-11,92	-5,19	8,15	-2,05
VE_0218	3,96	9,09	25,27	25,55	22,65
VE_0248	22,17	-5,87	-20,27	-6,22	-7,57
MEDIA	-5,31	-2,62	1,74	7,61	5,61

Tabella 9: Change dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 10 anni.

Stazione	1	3	6	12	24
TN_0009	-3,27	-12,03	-1,47	9,26	15,08
TN_0032	3,06	17,38	23,29	8,94	5,47
TN_0369	-24,42	-2,78	15,17	21,50	35,11
VE_0068	-45,13	-17,30	-8,85	4,90	2,92
VE_0072	3,95	37,91	22,65	10,21	9,74
VE_0073	-44,51	-10,97	6,35	13,95	1,30
VE_0081	-9,29	-20,16	-15,95	-9,71	-22,84
VE_0083	-13,87	-33,65	-16,88	6,71	1,59
VE_0134	-39,14	-34,21	-18,27	1,84	-11,90
VE_0137	-21,63	-15,88	-9,10	-23,53	-20,27
VE_0139	76,48	28,92	11,67	-1,16	11,72
VE_0147	8,88	4,71	11,96	18,60	16,14
VE_0190	-13,16	12,29	10,24	12,23	4,33
VE_0191	-31,95	-0,32	11,06	25,67	18,38
VE_0192	-40,44	-14,25	-7,41	13,28	-5,08
VE_0218	-3,06	7,56	38,10	28,68	21,84
VE_0248	26,86	-7,28	-26,55	-12,93	-14,33
MEDIA	-10,04	-3,53	2,71	7,56	4,07

Tabella 10: Change dei quantili di pioggia per un tempo di ritorno di 50 anni.

Bibliografia

Barbi A., Cola G. e Marani L., (2018). *Inquadramento climatico del Veneto*.

Barbi A., Cagnati A., Cola G., Checchetto F., Chiaudani A., Crepaz A., Delillo I., Mariani L., Marigo G., Meneghin P., Parsi S. G., Rech F., Renon B., Robert-Luciani T., (2013). *Atlante climatico del Veneto. Precipitazioni - Basi informative per l'analisi delle correlazioni tra cambiamenti climatici e dinamiche forestali nel Veneto*. Regione del Veneto, Mestre.

Capozzi V., Budillon G., (2023). *Cambiamenti climatici*.

Dallan E., Marra F., Fossier G., Marani M., Formetta G., Schär C., Borga M., (2023). *How well does a convection-permitting regional climate model represent the reverse orographic effect of extreme hourly precipitation?*

Lucas-Picher P., Argüeso D., Brisson E., Trambly Y., Berg P., Lemonsu A., KrtlarSKI S., Caillaud C., (2021). *Convection-permitting modeling with regional climate models: Latest developments and next steps*.

Trenberth K. E., (2011). *Changes in precipitation with climate change*.

Trentin F., (2013). *Modellazione idrologica del bacino idrografico del fiume Astico*. Tesi di laurea magistrale, Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria.

<https://www.meteotrentino.it/#!/home>

<https://www.arpa.veneto.it/>

<https://cordex.org/>

<https://www.provincia.vicenza.it/ente/la-struttura-della-provincia/servizi/pesca/i-fiumi/bacino-dellastico>