

# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali**

**Corso di Tecnologie Forestali e Ambientali**

**Analisi del regime delle precipitazioni intense simulate da  
modelli climatici ad alta risoluzione per il bacino dell'Adige**

**Relatore**

**Prof. Marco Borga**

**Laureando**

**Correlatore**

**Matteo Soldà**

**Dr. Eleonora Dallan**

**Anno Accademico 2021/2022**

# INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
1.1	Area di studio .....	5
2	MATERIALI E METODI .....	7
2.1	Dati di precipitazione da pluviografo .....	7
2.2	Dati di precipitazione da CPM .....	9
2.3	Analisi statistica degli estremi di precipitazione .....	10
2.4	Analisi dei risultati .....	12
3	RISULTATI E DISCUSSIONE .....	13
3.1	Confronto dei quantili .....	13
3.2	Confronto dei parametri della distribuzione.....	23
3.3	Dipendenza con elevazione .....	26
4	CONCLUSIONI .....	31
5	BIBLIOGRAFIA .....	32

# **1 INTRODUZIONE**

La conoscenza delle variazioni climatiche future è il presupposto fondamentale della valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Rispetto alla conoscenza del clima presente e passato, quella futura si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Le proiezioni forniscono indicazioni riguardo alle possibili variazioni climatiche per i prossimi decenni, in relazione agli scenari futuri a scala globale (RCP - Representative Concentration Pathways) ridefiniti dall'IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change). Gli RCP forniscono informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Essi includono uno scenario di mitigazione (RCP2.6), due scenari intermedi (RCP4.5 e RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione (RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine "proiezione climatica", riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi sono definiti come modelli fisico-matematici che descrivono il funzionamento del clima terrestre a livello globale o locale attraverso metodi quantitativi basati su equazioni differenziali per simulare le interazioni tra le componenti fondamentali del sistema climatico (atmosfera terrestre, oceani, superficie terrestre, biosfera e criosfera). La loro classificazione si basa sulla diversa scala spaziale delle simulazioni, dividendosi in due categorie:

- GCM (Global Circulation Model – modello di circolazione generale);
- RCM (Regional Climate Model – modello climatico a scala regionale).

I GCM coprono l'intero globo terrestre a diverse risoluzioni orizzontali, indicativamente tra 50 e 100 km nelle versioni più recenti, ma risultano essere poco adeguati a valutare i cambiamenti climatici su scala regionale. A questa scala il clima è fortemente influenzato da fattori locali, come la conformazione del territorio ed in particolare l'orografia. In aiuto ci vengono i RCM, che utilizzano le simulazioni GCM come condizioni iniziali e al contorno forniscono una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala regionale e locale. Tali modelli sono in grado di produrre delle proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata, spesso dell'ordine di 10 km.

In questo lavoro di tesi è stata utilizzata una categoria emergente di RCM, il CPM (Convection Permitting Model – modello a scala regionale con convezione permessa). Questa tipologia di modello considera i processi convettivi di formazione della precipitazione ad una risoluzione spazio

temporale (pari a 2-5 km ed 1 ora, rispettivamente) che si adatta alle esigenze dell'idrologia dei processi di piena. Inoltre offre il vantaggio di migliorare la rappresentazione dell'orografia a scala fine, risultando particolarmente vantaggioso nelle regioni montuose e nelle aree con superfici terrestri eterogenee (Prein et al. 2015).

La fonte più importante e aggiornata di proiezioni modellistiche è costituita da CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), un programma del WCRP (World Climate Research Program) per valutare le prestazioni dei modelli climatici regionali attraverso una serie di esperimenti volti a produrre proiezioni climatiche regionali.

Bisogna sottolineare inoltre che i modelli climatici possono essere caratterizzati da incertezza di diversa natura ed una delle principali è il "bias", ovvero uno scostamento sistematico tra le statistiche di alcune variabili climatiche riprodotte dai modelli e le osservazioni in alcune zone, come citato nelle "Linee guida e buone pratiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici degli atenei italiani". In aree a topografia complessa, come nel nostro caso, i modelli CORDEX possono presentare importanti bias (Kotlarski et al. 2014).

Lo scopo di questo lavoro è la comprensione del grado di realismo di tali modelli utilizzati per realizzare scenari di cambiamento climatico attraverso simulazioni di precipitazione intensa per il bacino dell'Adige. Per verificarne l'affidabilità sono state confrontate serie temporali di precipitazioni osservate (dati da stazioni pluviometriche) e simulate (da modello CPM) a passo orario nel periodo 2000-2009. In particolare, sono state stimate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica dalle due serie, per diverse durate di precipitazione, e confrontati i valori dei parametri e dei quantili ricavati. Il confronto si è basato sulla quantificazione e mappatura del bias tra osservazione e modello per le diverse variabili, per coglierne sia l'entità che la distribuzione spaziale.

## 1.1 Area di studio

L'area di studio è quella della Regione Trentino-Alto Adige, riportata in Fig. 1. Il territorio è completamente montuoso inciso da numerose vallate, presentando così notevoli differenze di quota (quota min 65 m s.l.m. – quota max 3905 m s.l.m.), visibile anche nel DTM (Digital Terrain Model - Modello digitale di elevazione) in Fig. 2. Le condizioni climatiche generali della regione sono caratterizzate da un clima prealpino, con inverni rigidi ed estati fresche. La piovosità non è molto elevata, con minimi invernali e massimi di precipitazioni che hanno generalmente luogo nel periodo primaverile e autunnale. I massimi di precipitazione (pari a 1600 mm annui) si registrano nei rilievi del Trentino sudorientale, mentre i minimi (pari a 400-500 mm annui) si registrano in alcune zone dell'Alto Adige, come la Val Venosta.

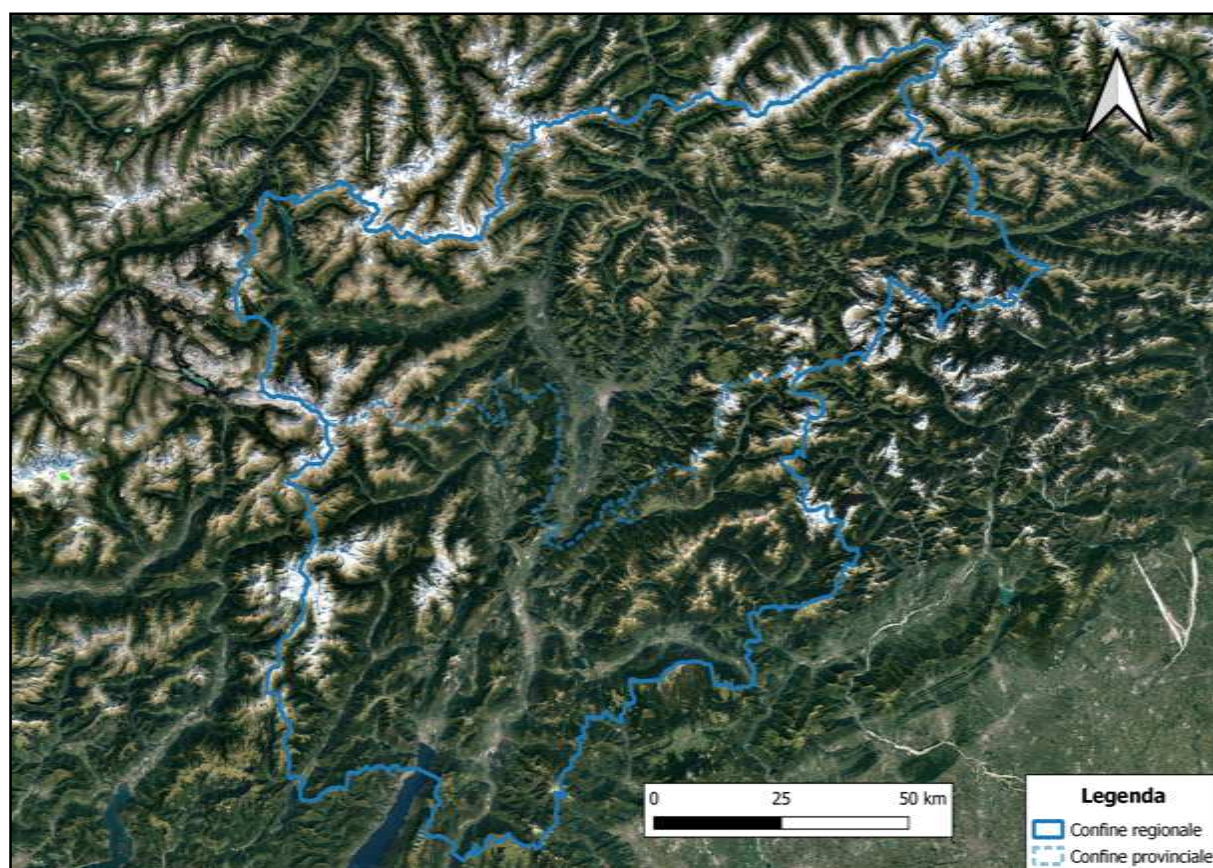


Fig. 1: Ortofoto della Regione Trentino-Alto Adige con evidenziati i confini.

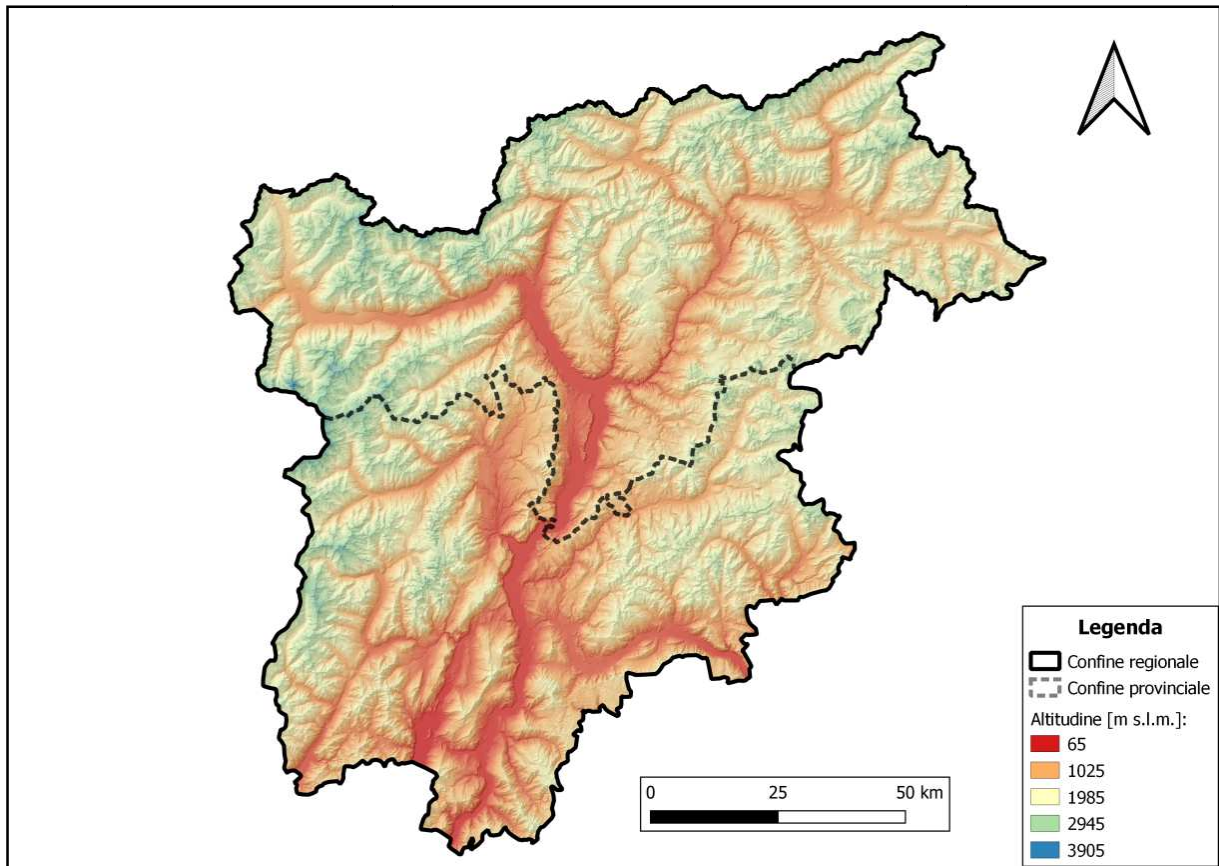


Fig. 2: DTM (Digital Terrain Model - Modello digitale di elevazione) della Regione Trentino-Alto Adige.

## 2 MATERIALI E METODI

### 2.1 Dati di precipitazione da pluviografo

I dati di precipitazione utilizzati sono relativi a 43 stazioni pluviografiche della rete meteotrentino (<https://www.meteotrentino.it>). Per ogni stazione è stata ottenuta la precipitazione oraria per il periodo 2000-2009. L'elenco delle stazioni impiegate in questa analisi è riportato in Tab. 1, dove le stazioni con "A" iniziale sono situate nella Provincia di Bolzano (13 stazioni), mentre con "T" in quella di Trento (30 stazioni). In Fig. 3 è presente una ortofoto della regione con evidenziate le posizioni delle stazioni.

CODE	DESCRIZIONE	X	Y	QUOTA
A0310	Tubre (Taufers)	611860	5165900	1245
A2320	Merano-Quarazze (Meran - Gratsch)	663374	5172720	333
A2440	Fontana bianca (Weissbrunn)	640591	5149770	1900
A3450	Ridanna (Ridnaun)	675668	5197640	1364
A4100	Dobbiaco (Toblach)	745961	5180190	1220
A4320	Monguelfo (Welsberg)	739010	5181380	1120
A4450	S. Maddalena in Casies (St.Magdalena in Gsies)	747278	5191960	1412
A4740	Anterselva di Sopra (Antholz - Obertal)	737507	5195470	1320
A5690	Molini di Tures (Mühlen in Taufers)	724491	5198300	851
A6360	S.Virgilio di Marebbe (St.Vigil in Enneberg)	723430	5176690	1150
A7240	Chiusa-Sabiona (Klausen-SÅrben)	696706	5169320	700
A8690	Ora (Auer)	677362	5135170	250
A8910	Monticolo (Montiggl)	676369	5143920	530
T0009	Centa San Nicolo'	673089	5093160	805
T0010	Levico (Terme)	678457	5097800	502
T0014	Telve (Pontarso)	692750	5109940	925
T0015	Bieno	697716	5106240	843
T0018	Pieve Tesino (O.P. Enel)	702598	5105190	775
T0024	Passo Cereda	724970	5119950	1322
T0030	Canal San Bovo	711191	5114300	750
T0032	Lavarone (Chiesa)	674697	5089880	1155
T0071	Mezzana	638273	5130430	905
T0074	Male'	647602	5134900	720
T0082	Passo Mendola	668239	5142950	1315
T0088	Tres	661775	5131820	838
T0096	Moena (Diga Pezze')	704896	5140120	1205

CODE	DESCRIZIONE	X	Y	QUOTA
T0103	Passo Rolle	714648	5130920	2012
T0104	Passo Valles	715465	5135460	2032
T0115	Segonzano (Gresta)	676612	5120060	660
T0118	Cembra	671193	5115370	652
T0139	Sant'Orsola Terme	677921	5108520	925
T0146	Aldeno (San Zeno)	662021	5092620	182
T0147	Rovereto	658565	5084560	203
T0148	Terragnolo (Piazza)	666927	5082920	800
T0153	Ala (Ronchi)	660682	5067140	692
T0179	Tione	633926	5100070	533
T0182	Montagne (Larzana)	635493	5102100	955
T0189	Santa Massenza (Centrale)	653156	5103200	252
T0193	Torbole (Belvedere)	645707	5081330	90
T0203	Forte D'Ampola	627788	5080240	740
T0210	Folgaria	667845	5086920	1121
T0212	Spormaggiore	657859	5120520	555
T0236	Romeno	662908	5139640	958

Tab. 1: Elenco delle stazioni con riportate le informazioni relative al codice, descrizione, coordinate e quota.

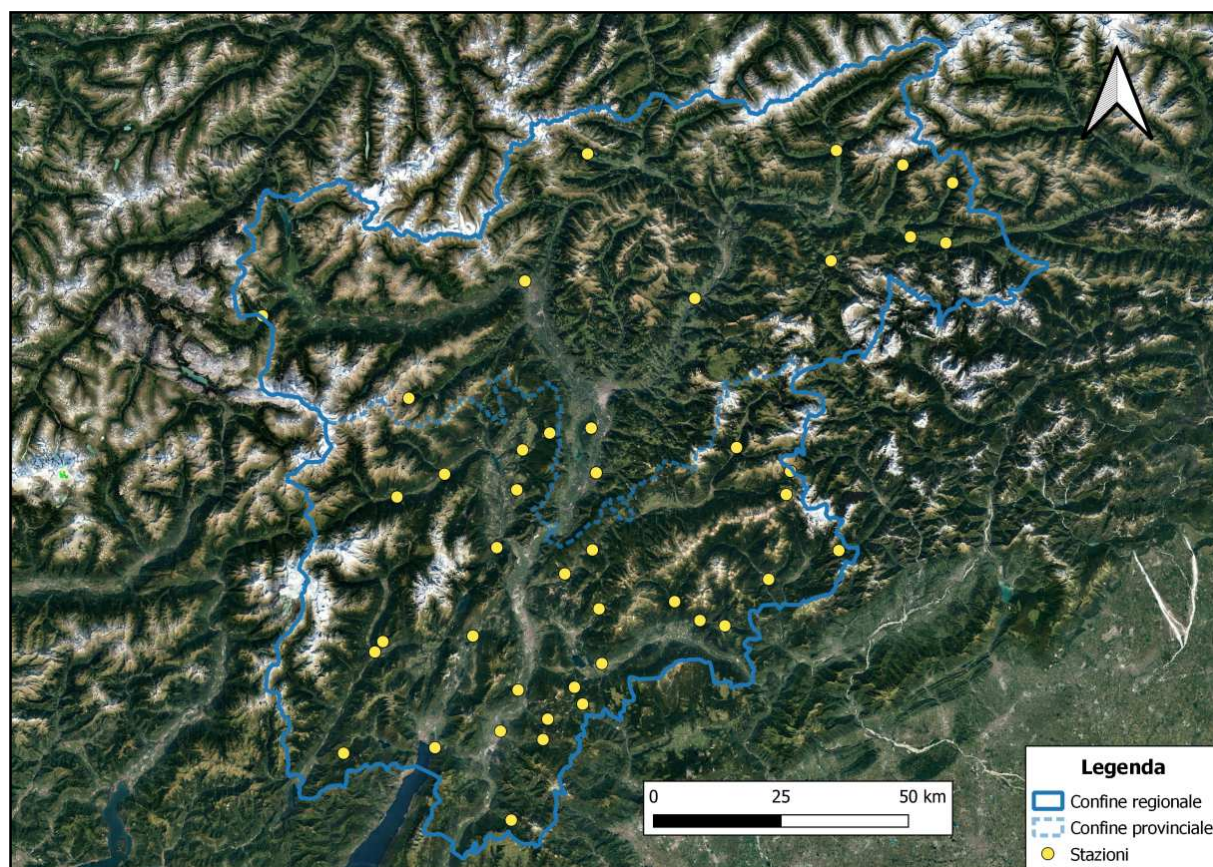


Fig. 3: Ortofoto della Regione TN-AA con evidenziate le stazioni pluviografiche e i confini.



## 2.2 Dati di precipitazione da CPM

I dati di precipitazione utilizzati sono stati estratti da modello CPM, in corrispondenza delle stazioni pluviografiche elencate in precedenza. Nello specifico è stato utilizzato il modello COSMO (Consortium for Small-scale Modeling) eseguito ad una risoluzione di 2,2 km sull'Europa, guidato con condizioni al contorno ricavate da rianalisi ERA Interim per il periodo 2000-2009. Tale modello fa parte di un insieme più ampio di simulazioni, il progetto FPS-CORDEX (Flagship Pilot Studies), disponibile per 3 fasce temporali (storico, 1996-2005; prossimo futuro, 2041-2050; futuro lontano, 2090-2099) per lo scenario di cambiamento climatico estremo, ovvero RCP8.5, oltre appunto a simulazioni basate su ERA Interim observational reanalysis (2000-2009). In Fig. 4 è riportata la griglia del modello impiegato, con evidenziati in rosso i punti più vicini alle stazioni da cui estrarre le serie temporali del modello.

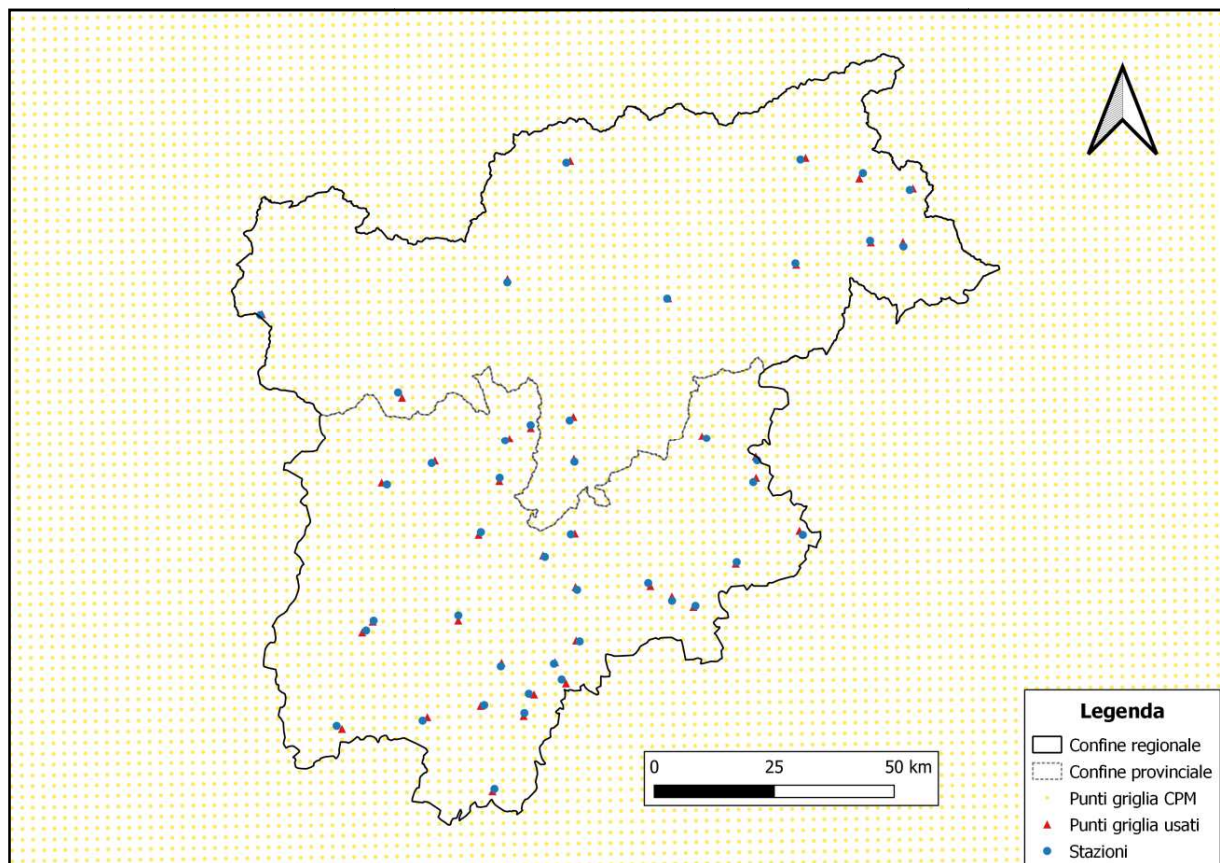


Fig. 4: Griglia del modello CPM con evidenziate le stazioni e i punti usati.

### 2.3 Analisi statistica degli estremi di precipitazione

Una volta ottenute entrambe le serie temporali a passo orario per ogni stazione, sono stati ricavati i massimi annuali a diverse durate (1, 3, 6, 9, 12, 24 ore), per poter poi applicare il modello di Gumbel con tempi di ritorno pari a 5 e 10 anni.

Come citato in “Sistemazioni idraulico-forestali” da G. Benini, uno dei metodi statistico-probabilistici più frequentemente usato nell'idrologia dei processi di piena è quello di Gumbel (1941). Si tratta di una distribuzione di probabilità continua a due parametri,  $\alpha$  e  $u$ , dove  $\alpha$  controlla la forma del grafico che rappresenta la funzione di densità di probabilità e  $u$  la sua posizione. A partire dai massimi annuali è stata calcolata la media ( $\bar{x}$ ) e la deviazione standard ( $s$ ) per poi stimare i parametri della distribuzione con il metodo dei momenti, applicando le seguenti formule (1) e (2):

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

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha \quad (2)$$

Dopo la stima dei parametri, è stata calcolata la variabile ridotta ( $W_t$ ) per tempi di ritorno pari a 5 e 10 anni, ed infine sono stati calcolati i quantili ( $X_t$ ) utilizzando le rispettive formule (3) e (4):

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

$$X_t = u + \alpha W_t \quad (4)$$

Grazie ai quantili è stata tracciata la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica. Questa linea fornisce la relazione tra durata ( $t$ ) e altezza di precipitazione ( $h$ ) con tempo di ritorno assegnato ( $T$ ). Per descrivere questa relazione è stata usata una legge di potenza monomia del tipo:

$$h = at^n \quad (5)$$

dove “a” ed “n” rappresentano due coefficienti che dipendono dal tempo di ritorno (il valore di “n” è compreso fra 0 ed 1, in quanto all'aumentare della durata l'intensità deve diminuire). Per il loro calcolo è stato usato Excel, creando prima un grafico a dispersione con i quantili e poi scegliendo come tipo di linea di tendenza quella a “potenza”. Questa funzione ha una migliore rappresentatività fornendo valori di  $R^2$  che si avvicinano all'uno.  $R^2$  o coefficiente di determinazione è un indice che esprime quanto i valori osservati si discostano da quelli attesi, quindi più grande è questo valore, minore saranno le discrepanze. Un esempio di interpolazione dei quantili stimati con la legge di potenza è mostrato in Fig. 5.

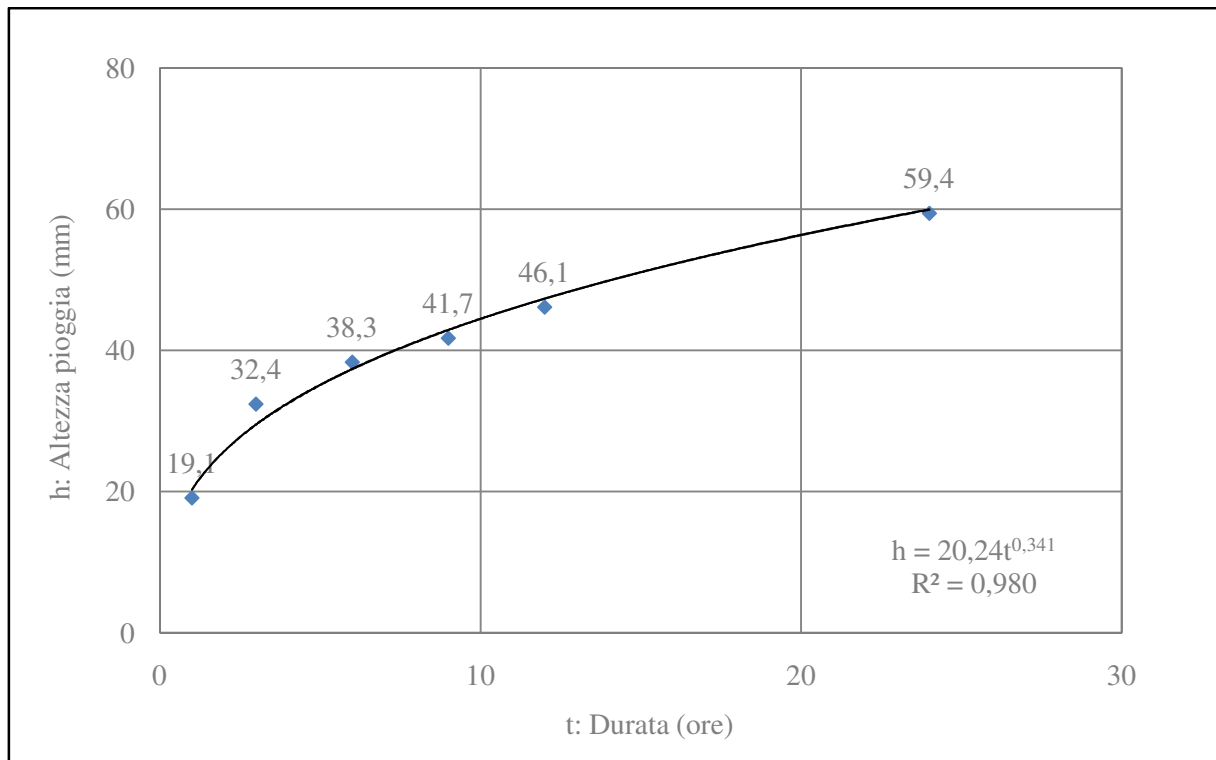


Fig. 5: Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 5 anni per la stazione di Tubre (A0310) situata ad una quota di 1245 m s.l.m..

Questa operazione è stata ripetuta per entrambe le serie temporali, per ogni stazione e con tempi di ritorno di 5 e 10 anni.

## 2.4 Analisi dei risultati

Una volta calcolati i quantili e i coefficienti della LSPP sono state realizzate delle mappe interpolate per confrontare i dati ottenuti dalle osservazioni con quelli dei modelli climatici, tramite QGIS. Per facilitare il confronto, è stata usata la stessa scala colori per entrambe le serie a parità di durata di pioggia. Dopo aver importato i layers dei confini regionali e provinciali della Regione TN-AA e i dati delle stazioni presenti nel territorio (località, coordinate e quote), è stata eseguita un'interpolazione IDW (Inverse Distance Weighting) con i risultati ottenuti. Questo metodo interpola una superficie a partire da valori puntuali (pluviometri, nel caso della precipitazione). Per ogni punto della superficie, pesa il contributo di ogni pluviometro in base all'inverso della distanza: più un pluviometro è vicino, più "pesa" sul calcolo della precipitazione. Inoltre si basa sull'autocorrelazione spaziale della precipitazione esprimendo la tendenza per siti o aree vicine ad avere valori simili della variabile in oggetto. Nel nostro caso, è stato scelto come esponente un valore pari a 2. L'esponente ha il compito di regolare come il peso diminuisce in funzione della distanza. A livello teorico se si volesse calcolare l'altezza di pioggia in un punto 0 ( $P_0$ ) a partire da una serie di valori puntuali di precipitazione, le formule da usare sono le seguenti (6 & 7):

$$P_0 = \sum_{i=1}^N P_i w_i \quad (6)$$

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_{i0}^2}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{d_{j0}^2}} \quad (7)$$

Per avere un confronto quantitativo, è stato calcolato il bias come errore relativo percentuale tra variabile da modello CPM  $X_{CPM}$  e variabile da osservazioni  $X_{obs}$  sia per i quantili che per i coefficienti della LSPP (a ed n) applicando la seguente formula (8):

$$Errore\ relativo\ \% = \frac{(X_{CPM} - X_{obs})}{X_{obs}} * 100 \quad (8)$$

In seguito sono state realizzate delle mappe interpolate anche per l'errore relativo sui quantili con durata di precipitazione di 1-6-24 ore e tempo di ritorno pari a 10 anni, per vedere dove si localizzano gli errori maggiori. Sono stati creati inoltre dei grafici e tabelle per analizzare:

- i. la relazione tra errore relativo mediano e durata di pioggia;
- ii. la relazione tra errore su "a" e su "n".

Vista la complessità orografica dell'area di studio, si è analizzata la relazione tra le variabili in esame e la quota delle relative stazioni pluviografiche.

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 3.1 Confronto dei quantili

Da Fig. 6 a Fig. 11 sono riportate le mappe interpolate con metodo IDW, come descritto al paragrafo 2.4, dei quantili con tempo di ritorno pari a 5 anni per le diverse durate di precipitazione (1, 3, 6, 9, 12, 24 ore). Si indicano con “pluvio” i risultati relativi alle osservazioni da pluviometro, e con “cordex” i risultati relativi al modello climatico.

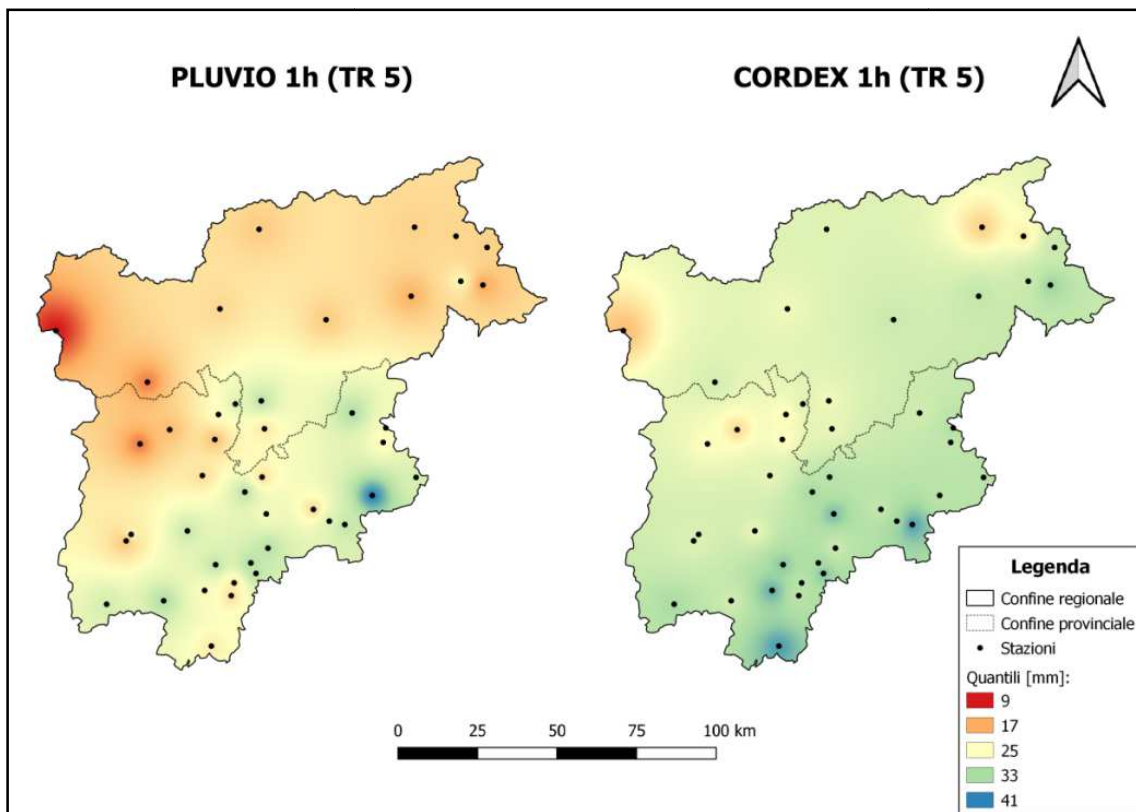


Fig. 6: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 1 ora.

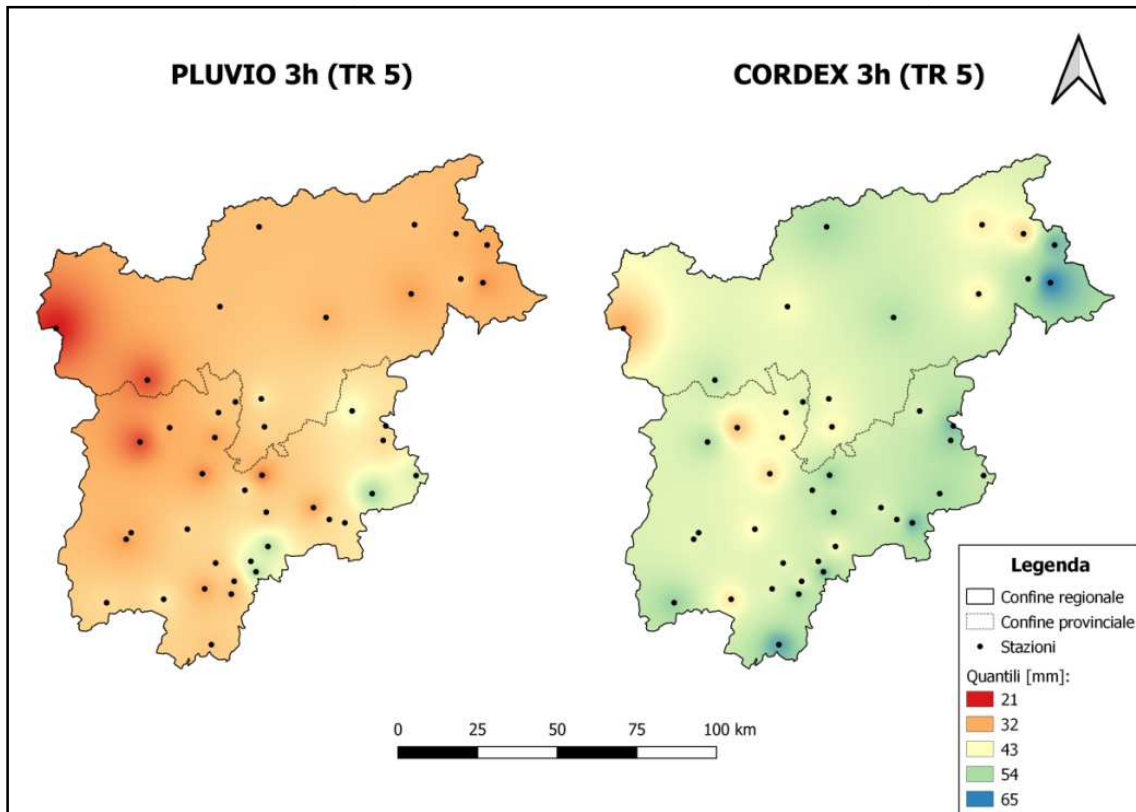


Fig. 7: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 3 ore.

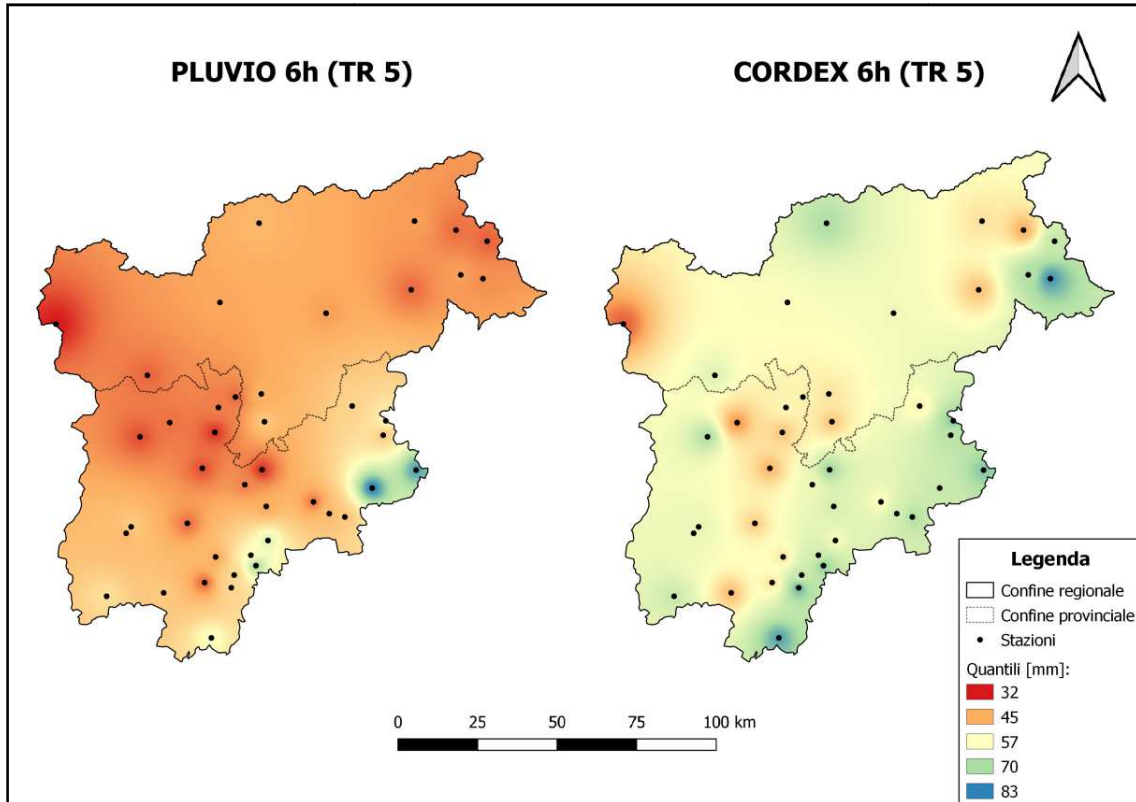


Fig. 8: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 6 ore.

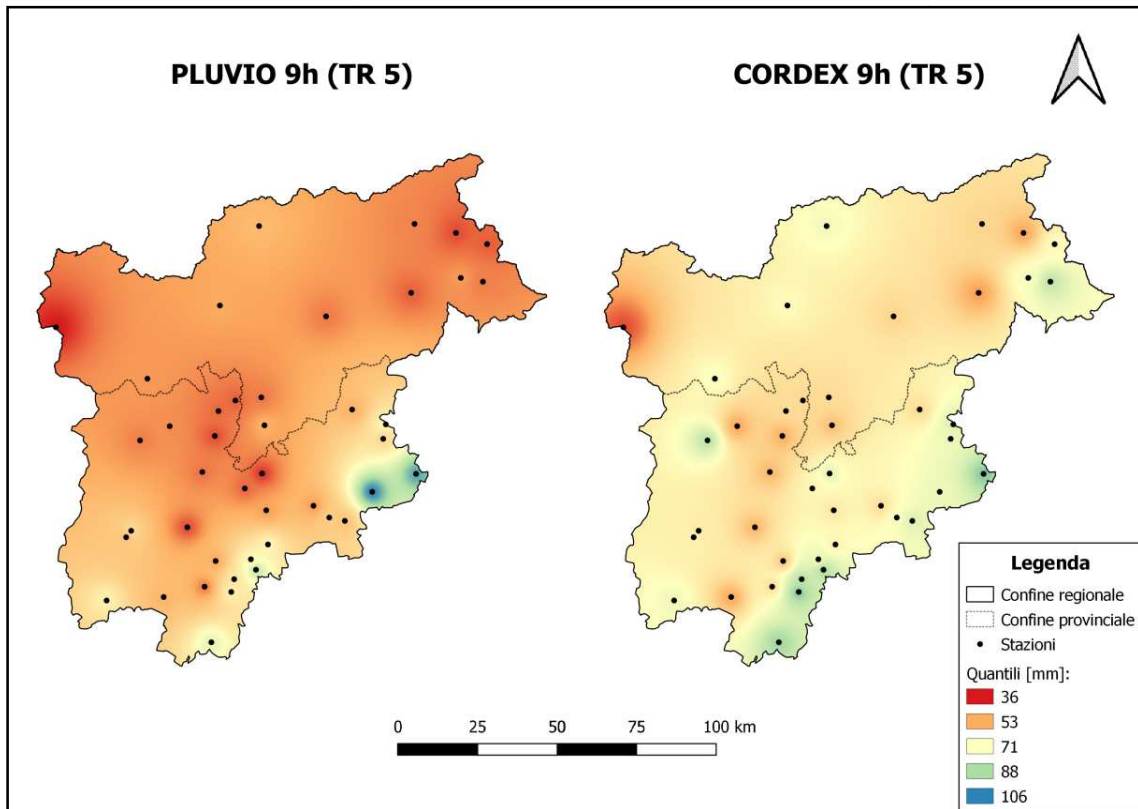


Fig. 9: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 9 ore.

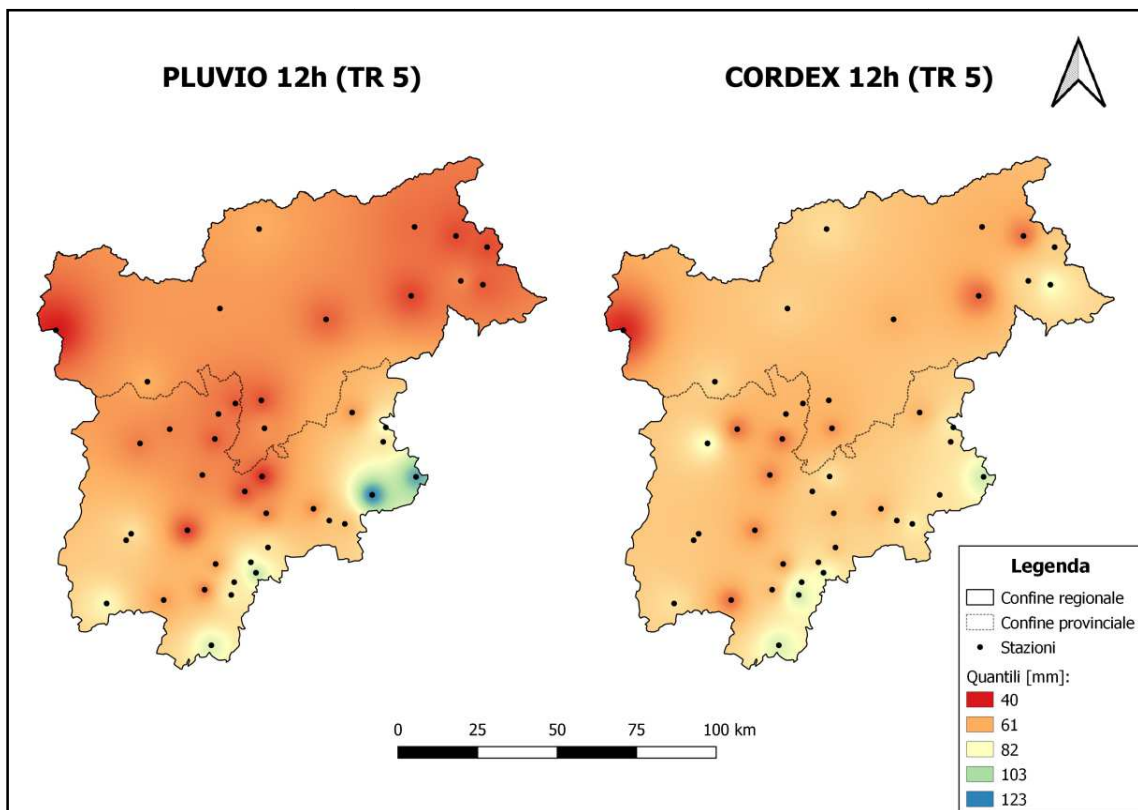


Fig. 10: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 12 ore.

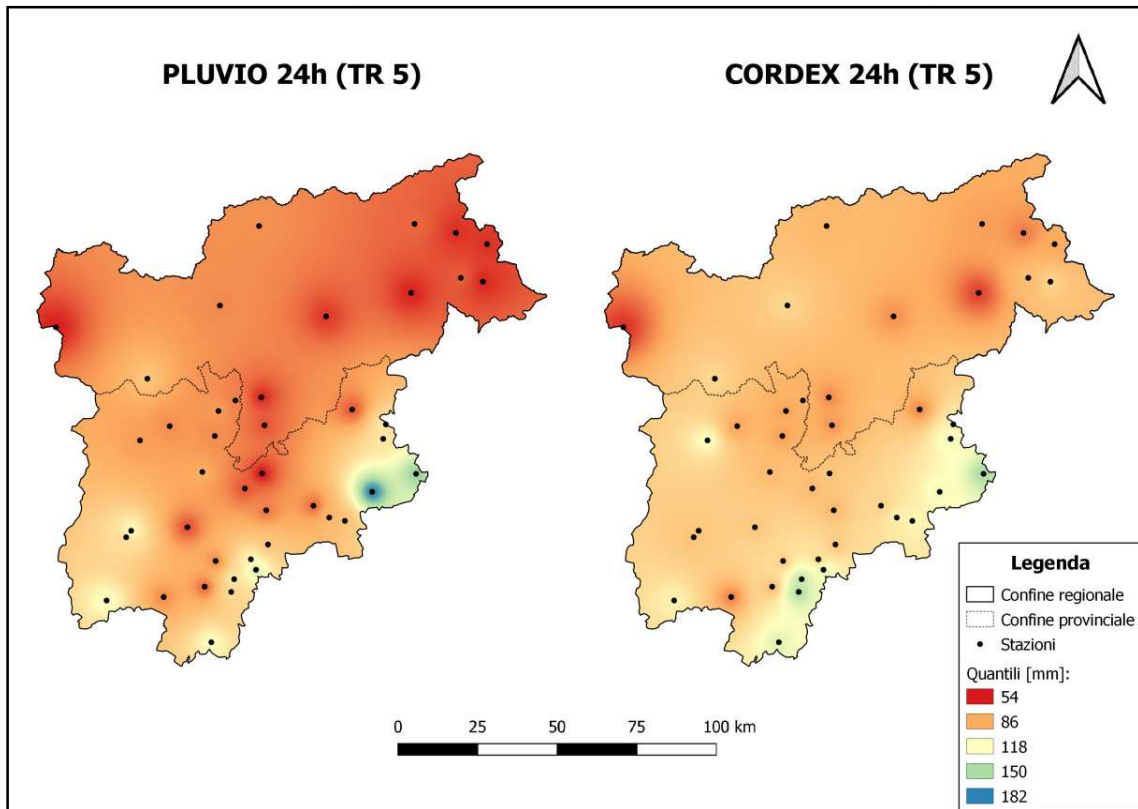


Fig. 11: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 5 anni e durata di precipitazione di 24 ore.



Da Fig. 12 a Fig. 17 sono riportate le mappe interpolate dei quantili con tempo di ritorno pari a 10 anni per le diverse durate di precipitazione (1, 3, 6, 9, 12, 24 ore).

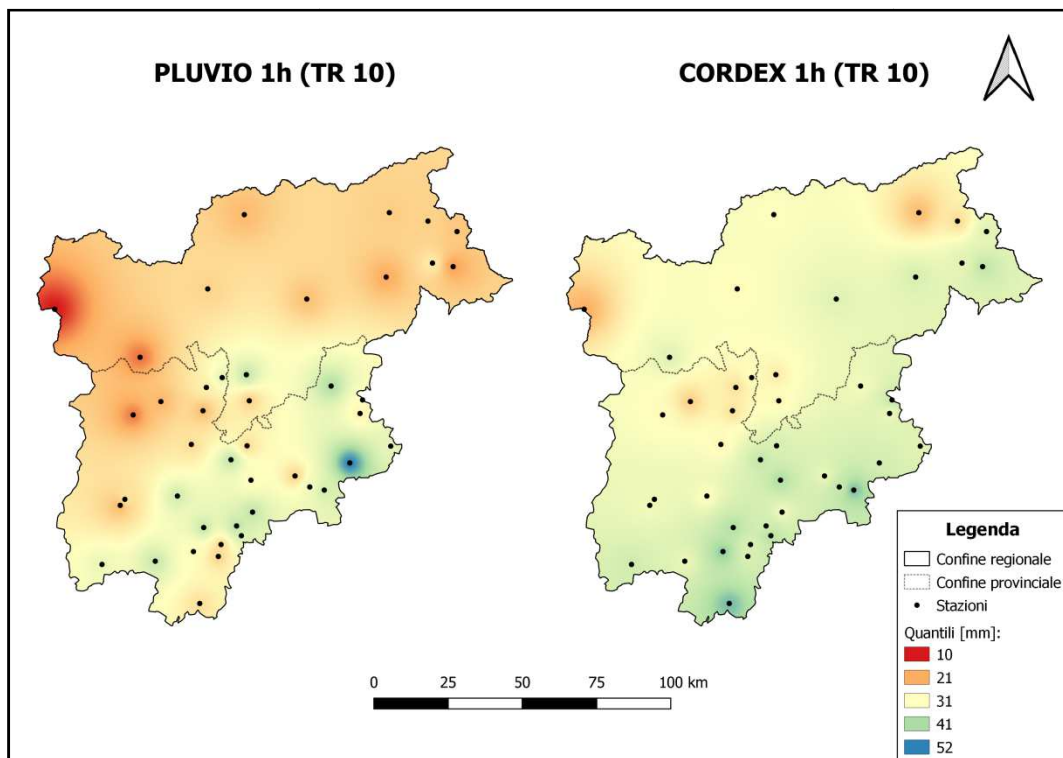


Fig. 12: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 1 ora.

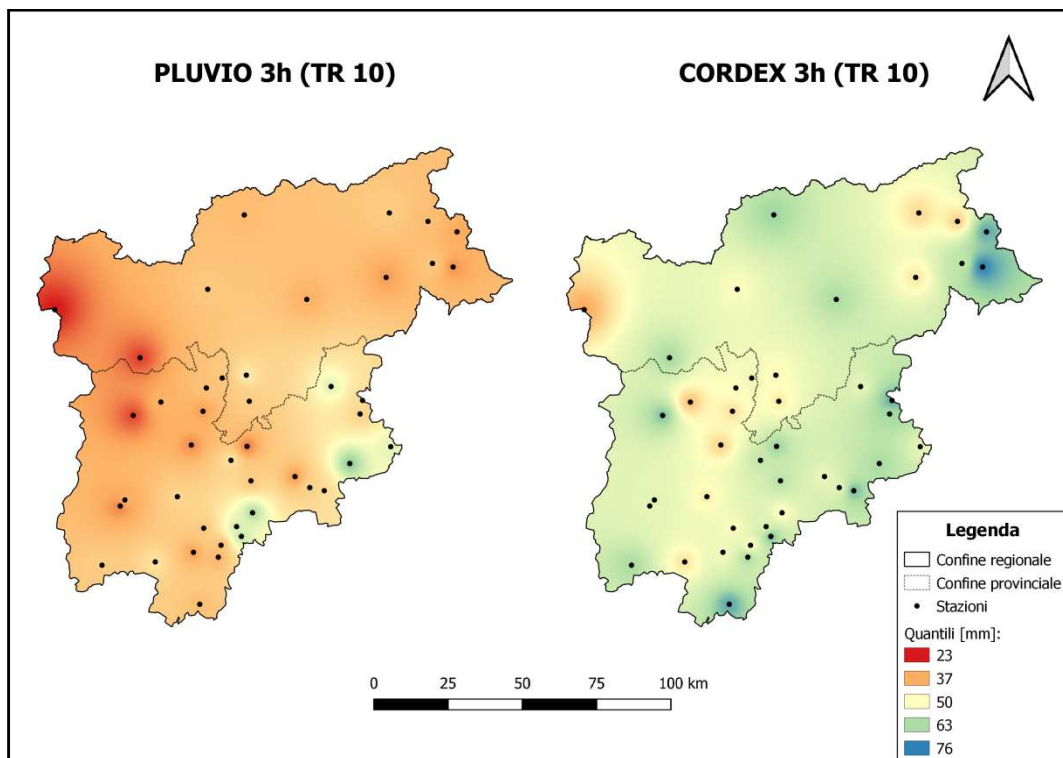


Fig. 13: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 3 ore.

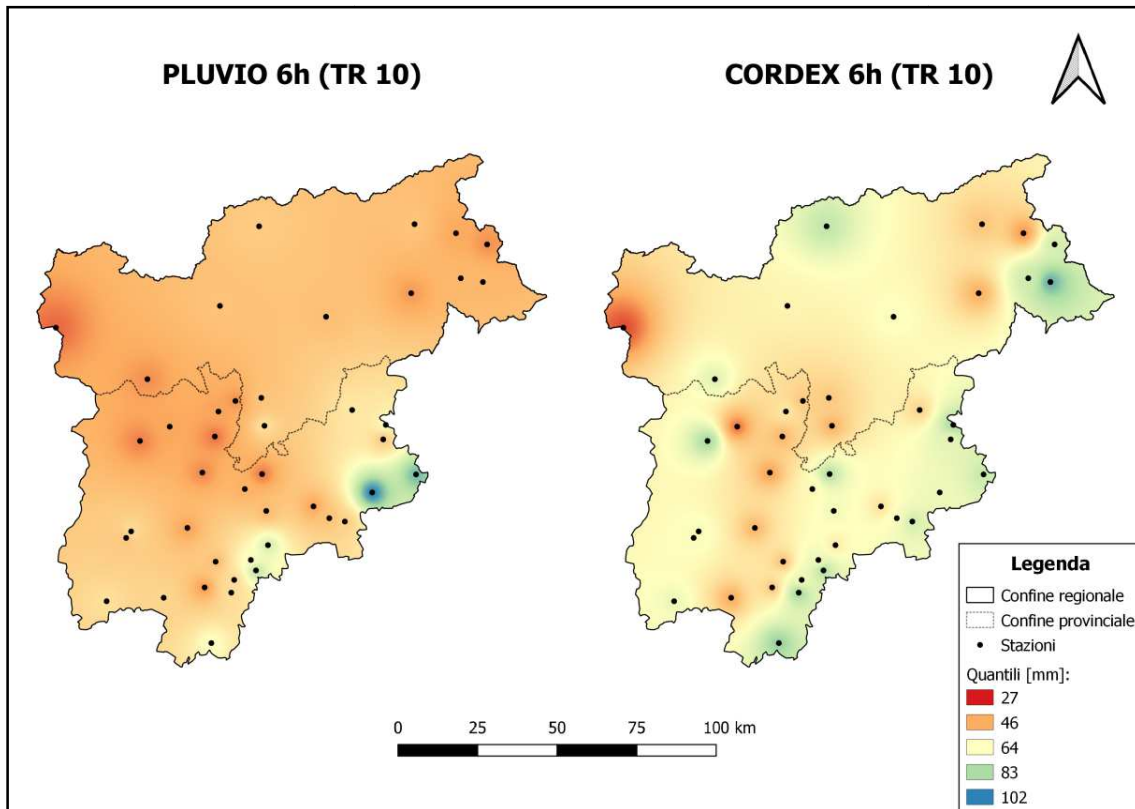


Fig. 14: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 6 ore.

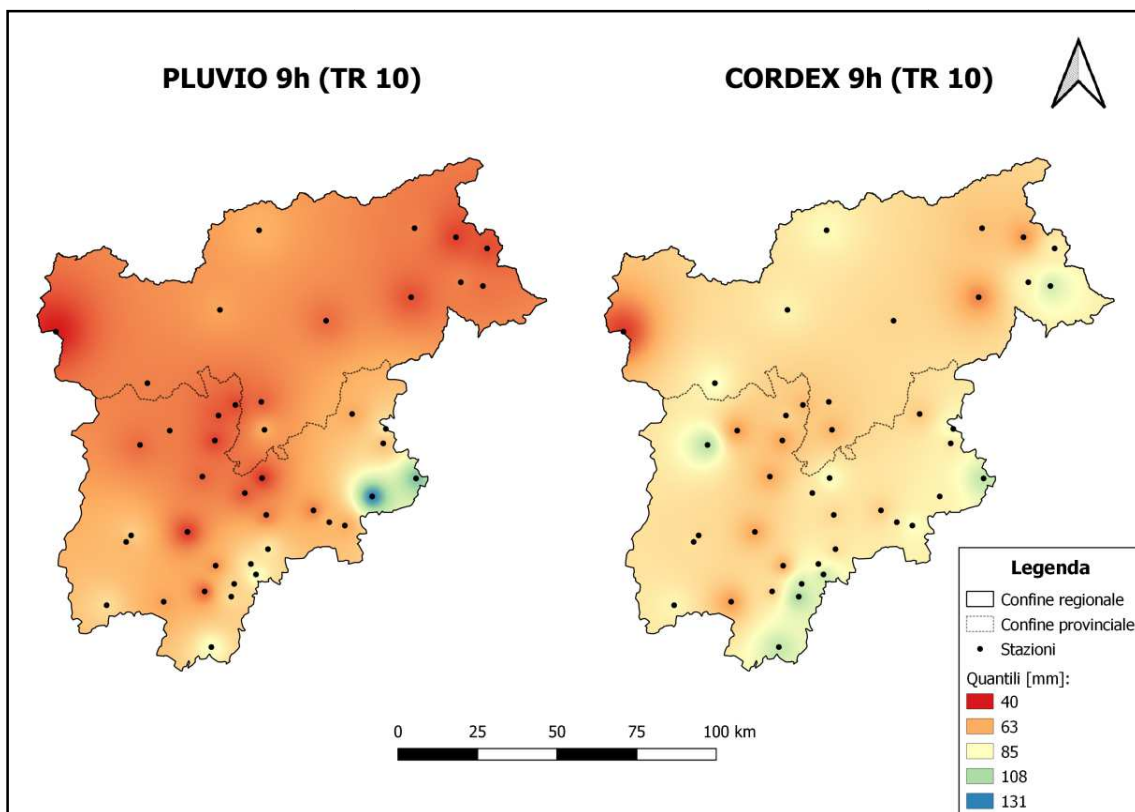


Fig. 15: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 9 ore.

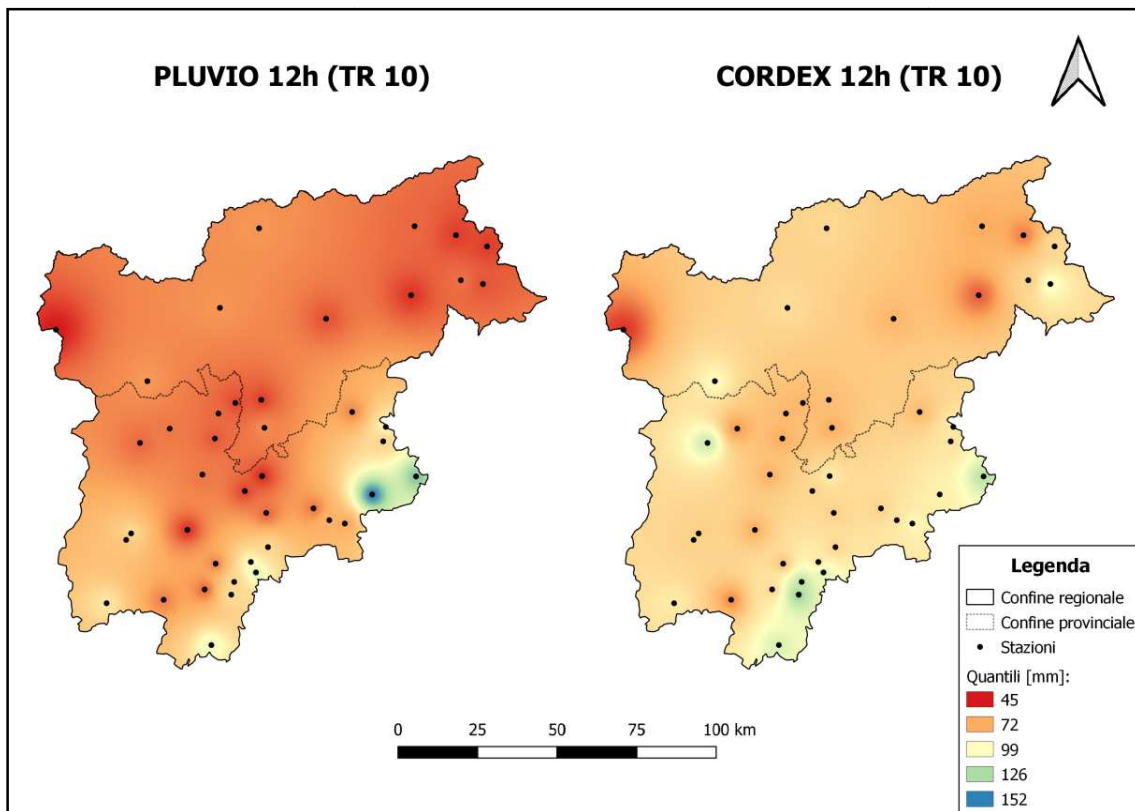


Fig. 16: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 12 ore.

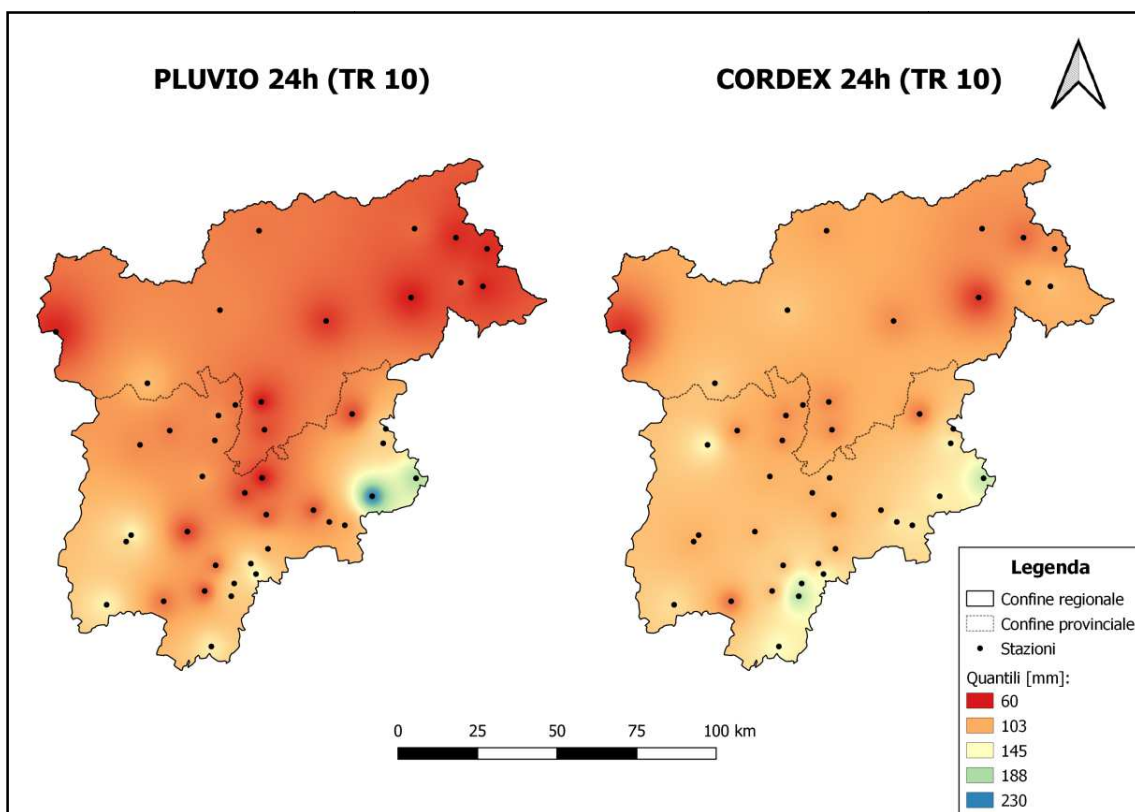


Fig. 17: Confronto dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 24 ore.

In Fig. 18 è riportata la relazione tra errore relativo mediano sul quantile e durata di precipitazione con i relativi dati che seguono in Tab. 2.

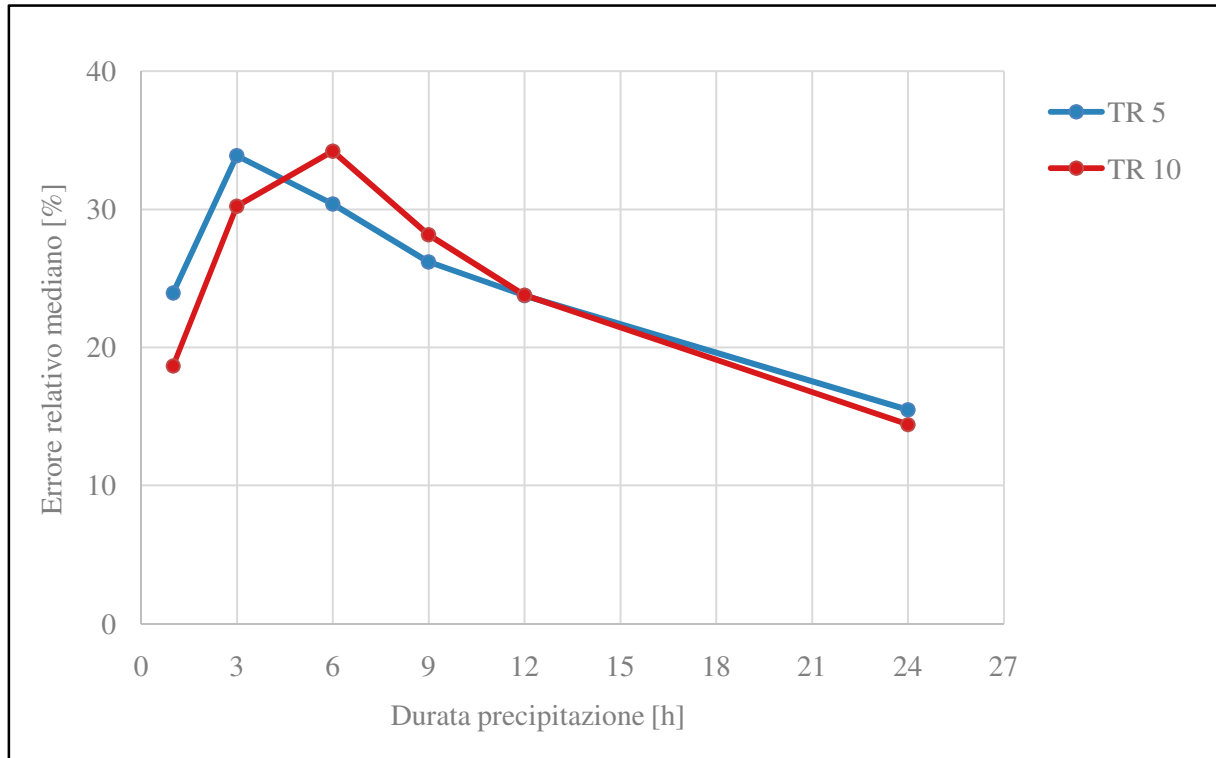


Fig. 18: Errore relativo mediano sul quantile stimato e durata di precipitazione.

<b>TR 5</b>	1	3	6	9	12	24	<b>TR 10</b>	1	3	6	9	12	24
Mediana [%]	23.9	33.9	30.4	26.2	23.7	15.5	Mediana [%]	18.6	30.2	34.2	28.1	23.8	14.4
Media [%]	26.9	39.0	31.6	26.2	23.6	18.4	Media [%]	23.3	39.8	33.7	28.1	25.9	20.0

Tab. 2: Errore relativo mediano e medio dei quantili con tempo di ritorno di 5 e 10 anni.

Da Fig. 19 a Fig. 21 sono riportate le mappe dell'errore relativo dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni per una durata di precipitazione di 1-6-24 ore.

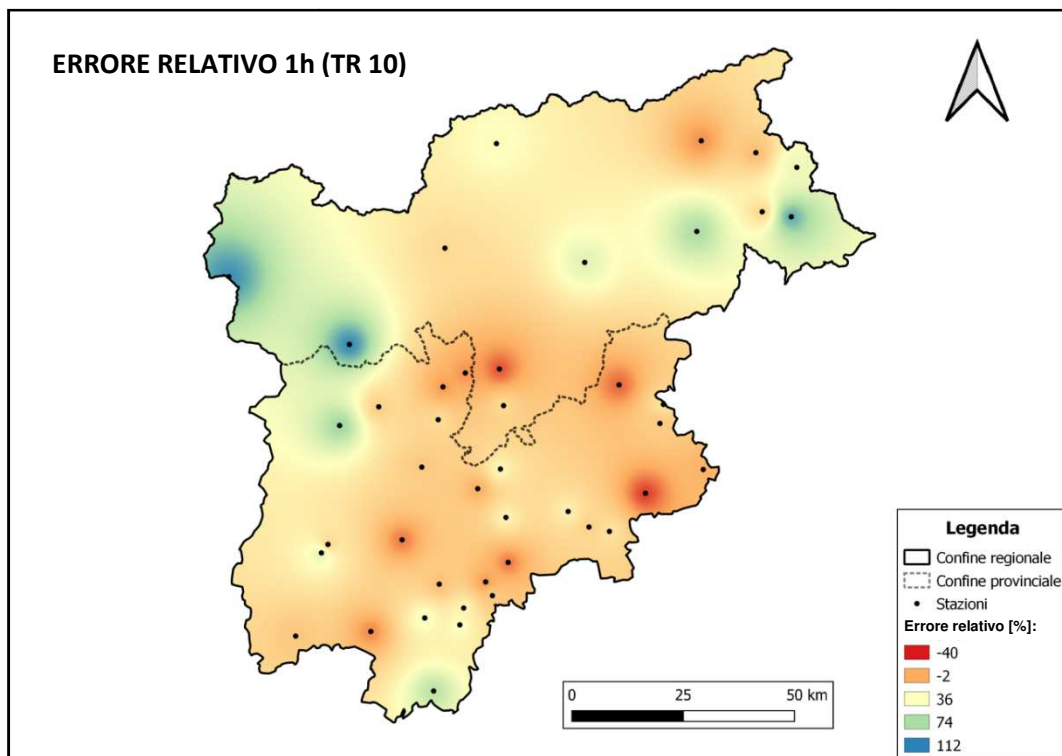


Fig. 19: Errore relativo dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 1 ora.

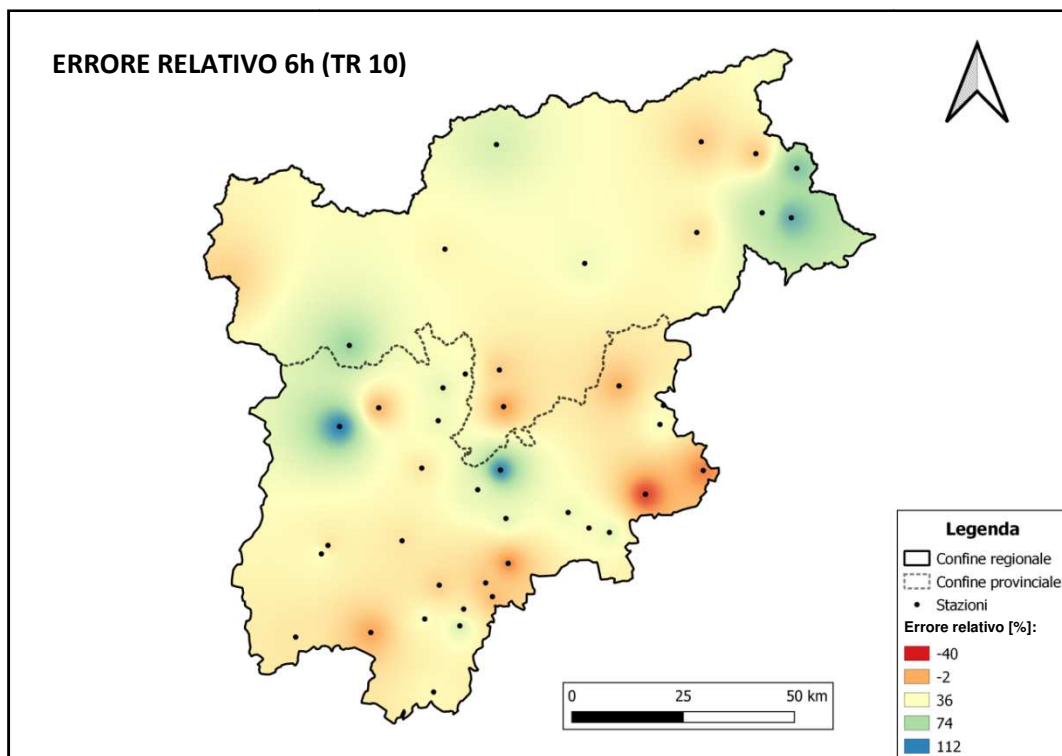


Fig. 20: Errore relativo dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 6 ore.

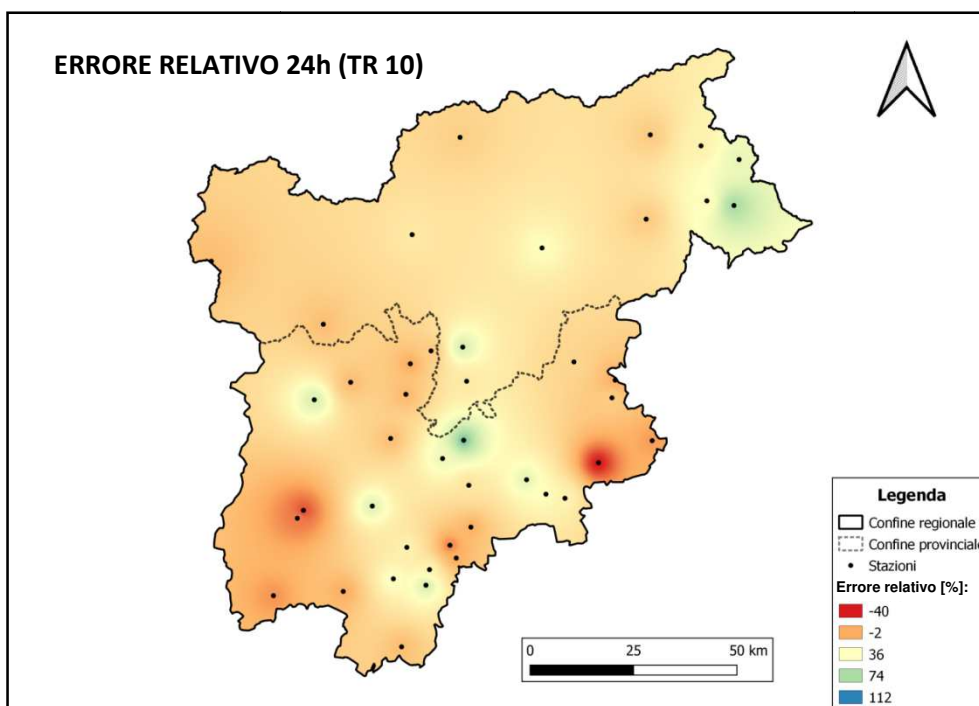


Fig. 21: Errore relativo dei quantili con tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 24 ore.

Come si nota nelle mappe interpolate dei quantili per tutte le durate di precipitazione e per entrambi i tempi di ritorno, la differenza cromatica tra le mappe realizzate con i dati da pluviografo e da modello CPM è ben evidente. Nelle mappe con tempo di ritorno pari a 5 anni, l'errore medio maggiore è stato riscontrato ad una durata di precipitazione di 3 ore riportato in Fig. 7. A questa durata è stata ottenuta una sovrastima media del 39%, al contrario a durate superiori diminuisce fino al 18.4% nelle 24 ore. La situazione è quasi analoga con un tempo di ritorno pari a 10 anni, dove l'errore medio maggiore è stato riscontrato alla stessa precedente durata, visibile in Fig. 13. A questa durata è stata ottenuta una sovrastima media del 39.8%, al contrario a durate superiori diminuisce fino al 20% nelle 24 ore.

Come riportato in Fig. 18, l'andamento dell'errore relativo mediano in relazione alla durata di pioggia rispecchia ciò che è visibile nei confronti delle mappe dei quantili per entrambi i tempi di ritorno. Per 5 anni, l'errore mediano maggiore è stato riscontrato ad una durata di 3 ore di precipitazione, pari al 33.9%, mentre per 10 anni di 6 ore, pari al 34.2%. Nelle mappe interpolate dell'errore relativo, il valore maggiore, equivalente al 112.2%, è stato registrato nella stazione pluviografica di Mezzana (T0071) situata ad una quota di 905 metri s.l.m., visibile in Fig. 20.

Quindi per quanto riguarda i quantili, le stime ottenute dai dati da CPM sovrastimano del 30% circa i quantili ottenuti dai pluviografi disposti nella regione per durate di 3-6 ore, e la sovrastima cala per durate di precipitazione fino a 24 ore.

### 3.2 Confronto dei parametri della distribuzione

A Fig. 22 e 23 sono riportate le mappe interpolate dei coefficienti “a” con tempo di ritorno di 5 e 10 anni.

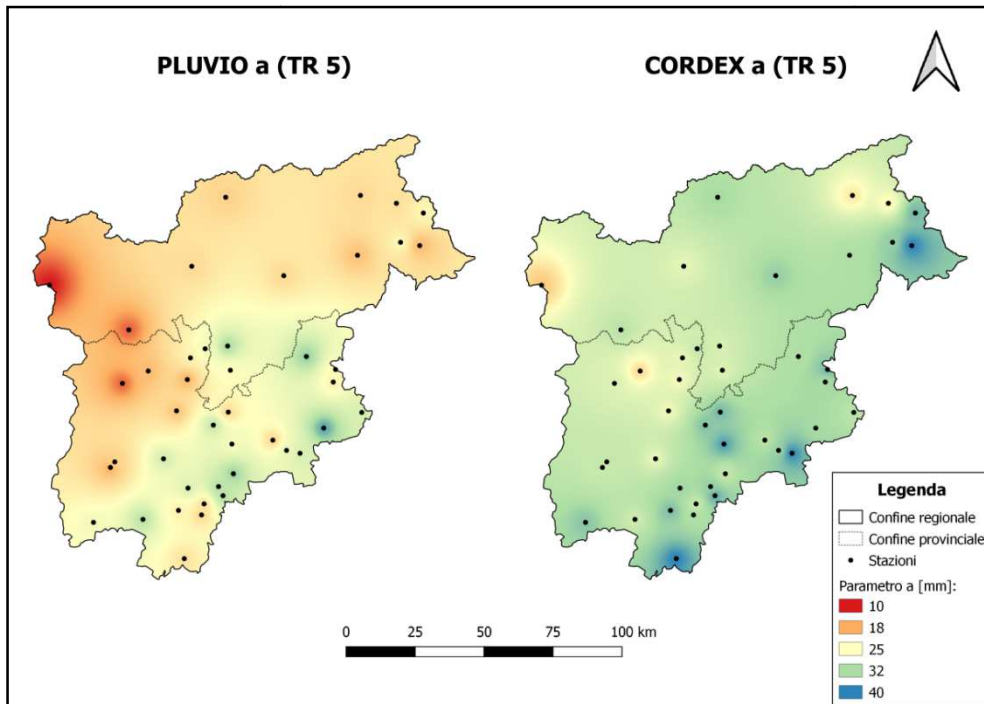


Fig. 22: Confronto dei coefficienti “a” con tempo di ritorno di 5 anni.

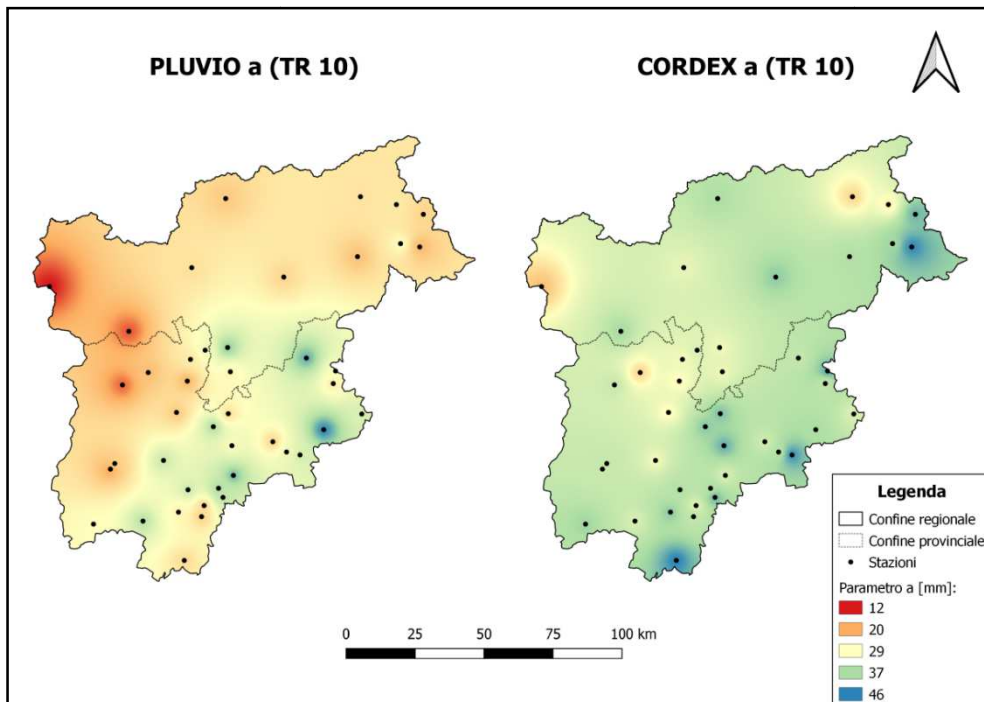


Fig. 23: Confronto dei coefficienti “a” con tempo di ritorno di 10 anni.

A Fig. 24 e 25 sono riportate le mappe interpolate dei coefficienti “n” con tempo di ritorno di 5 e 10 anni.

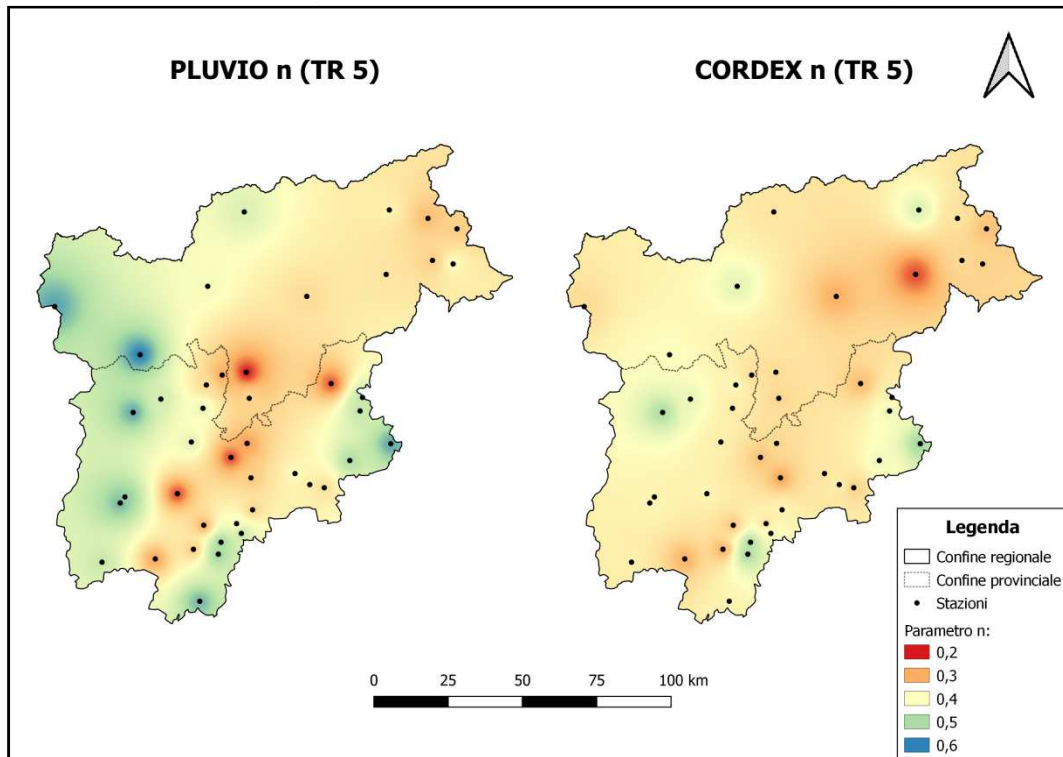


Fig. 24: Confronto dei coefficienti “n” con tempo di ritorno di 5 anni.

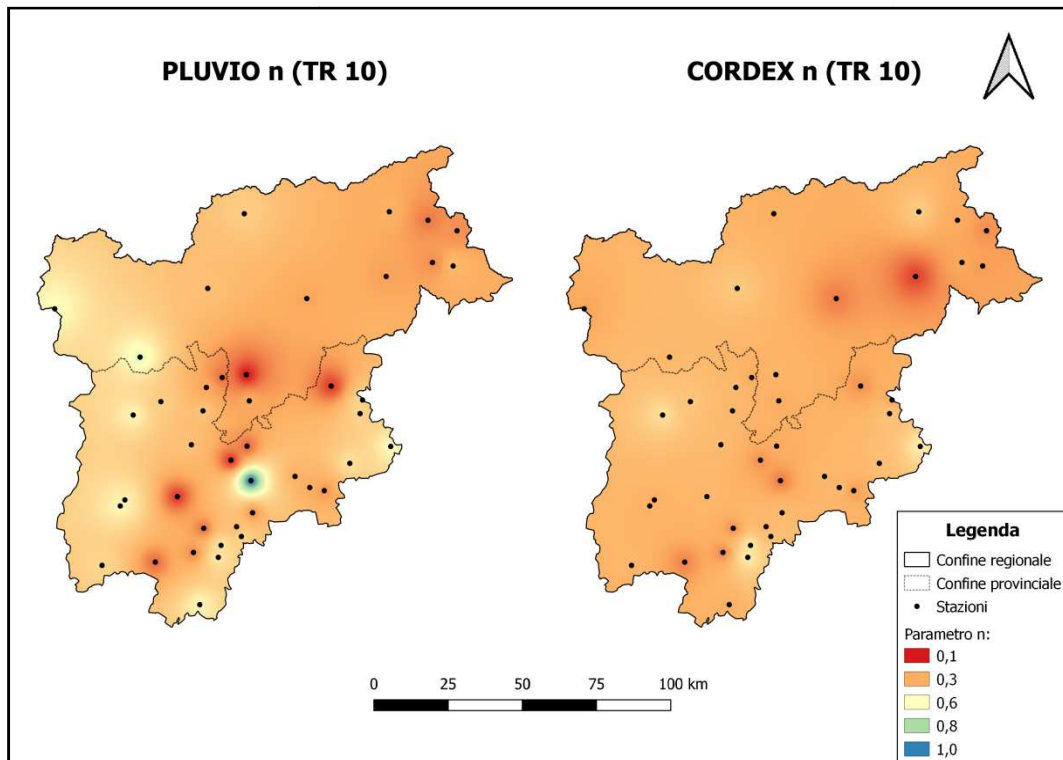


Fig. 25: Confronto dei coefficienti “n” con tempo di ritorno di 10 anni.



In Fig. 26 è riportata la relazione tra errore su “a” e su “n” con tempo di ritorno pari a 5 e 10 anni e in Tab. 3 sono presenti i dati relativi all’errore relativo mediano e medio.

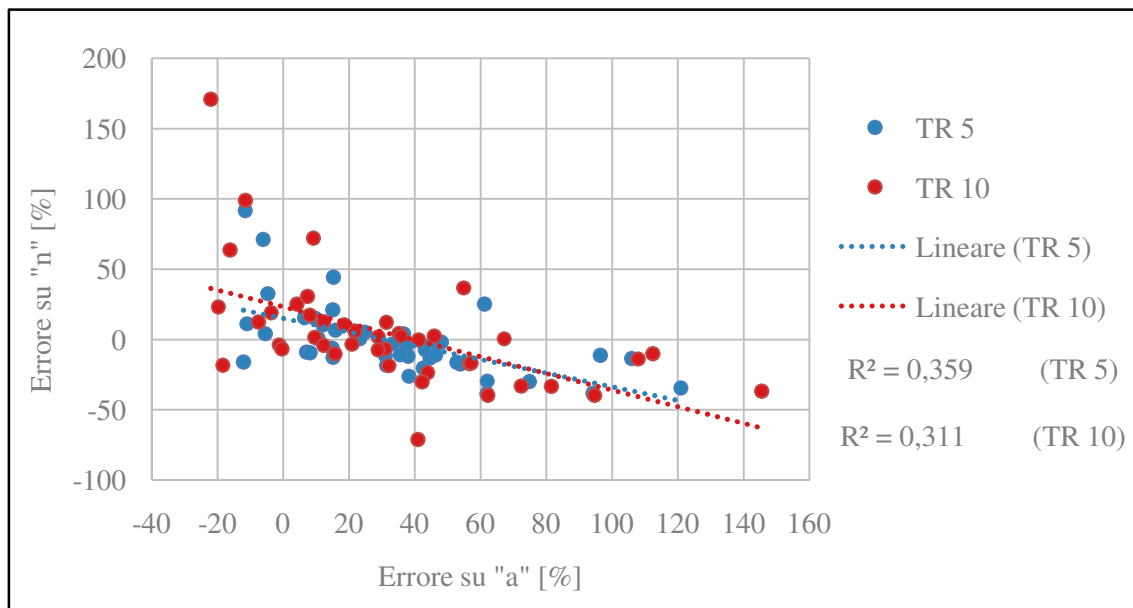


Fig. 26: Regressione fra errore su “a” ed errore su “n”.

<b>TR 5</b>	a	n	<b>TR 10</b>	a	n
Mediana [%]	33.2	-7.1	Mediana [%]	28.9	-0.3
Media [%]	34.0	-1.6	Media [%]	32.3	4.2

Tab. 3: Errore relativo mediano e medio dei coefficienti “a” e “n”, con tempi di ritorno di 5 e 10 anni.

Come si nota nelle mappe interpolate dei parametri della distribuzione, la differenza cromatica è molto più marcata in “a” rispetto ad “n”, dove risulta meno evidente. Infatti la regressione tra gli errori evidenzia una relazione lineare inversa debole con un valore di  $R^2$  pari a 0.359 per un tempo di ritorno di 5 anni e 0.311 per 10 anni, visibile in Fig. 26. Per il parametro “a” con un tempo di ritorno di 5 anni, l’errore mediano risulta del 33.2%, mentre quello medio del 34%. Situazione quasi analoga con un tempo di ritorno di 10 anni, dove i valori sono del 28.9% e del 32.3%. Per il parametro “n” con tempo di ritorno di 5 anni, l’errore mediano risulta del -7.1%, mentre quello medio del -1.6%. Situazione quasi analoga con un tempo di ritorno di 10 anni, dove i valori sono del -0.3% e del 4.2%.

Quindi per il parametro “a”, il CPM sovrastima del 30% circa mentre sottostima leggermente il parametro “n”. Questo dimostra una sovrastima delle piogge di breve durata (1-3 ore) mentre a durate più lunghe essa cala rapidamente, visibile anche in Fig. 18.

### 3.3 Dipendenza con elevazione

Da Fig. 27 a Fig. 32 sono riportate le regressioni dell'errore relativo sui quantili con la quota delle stazioni pluviografiche.

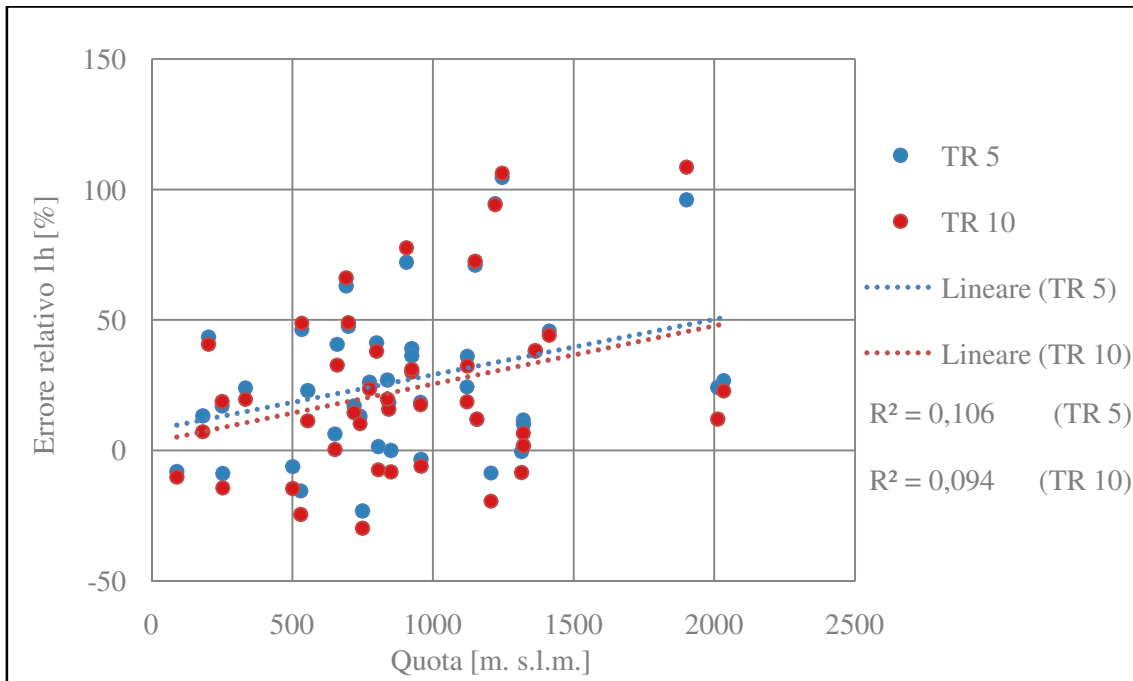


Fig. 27: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari ad 1 ora e quota.

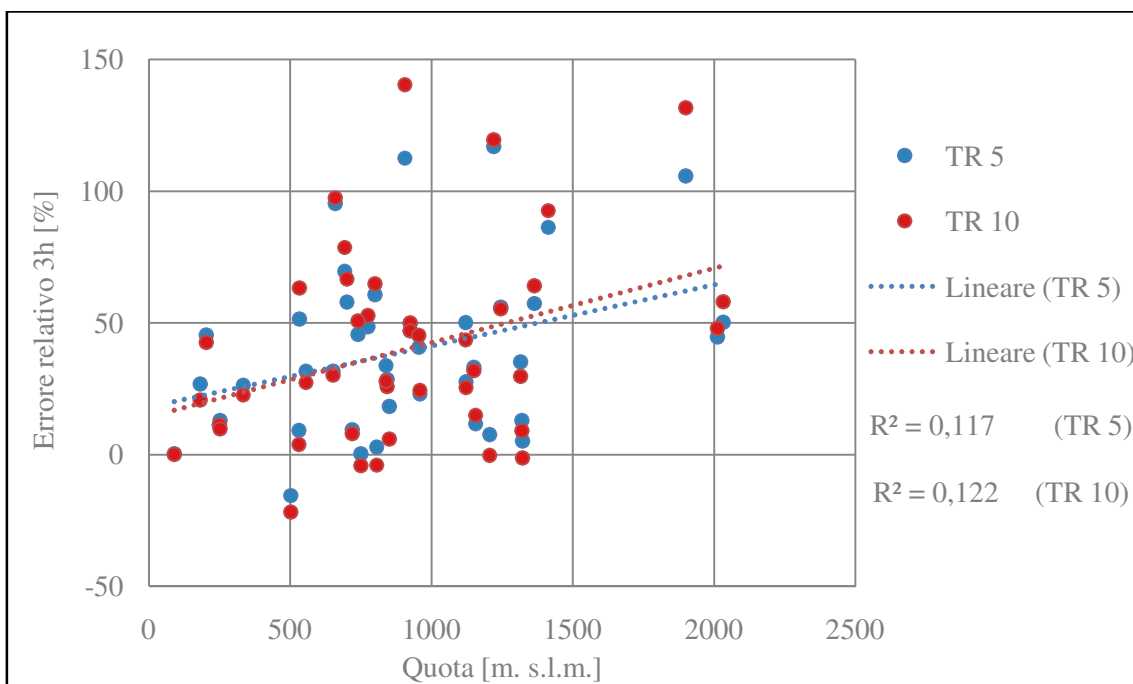


Fig. 28: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari a 3 ore e quota.

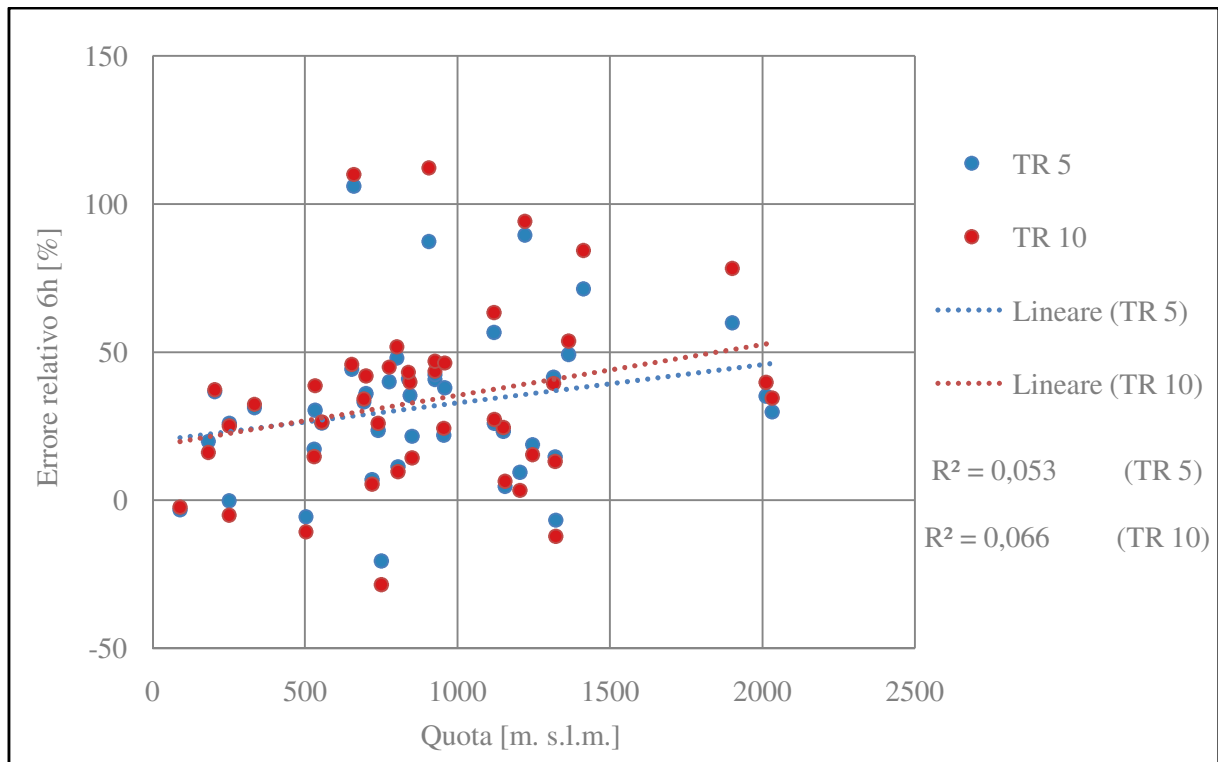


Fig. 29: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari a 6 ore e quota.

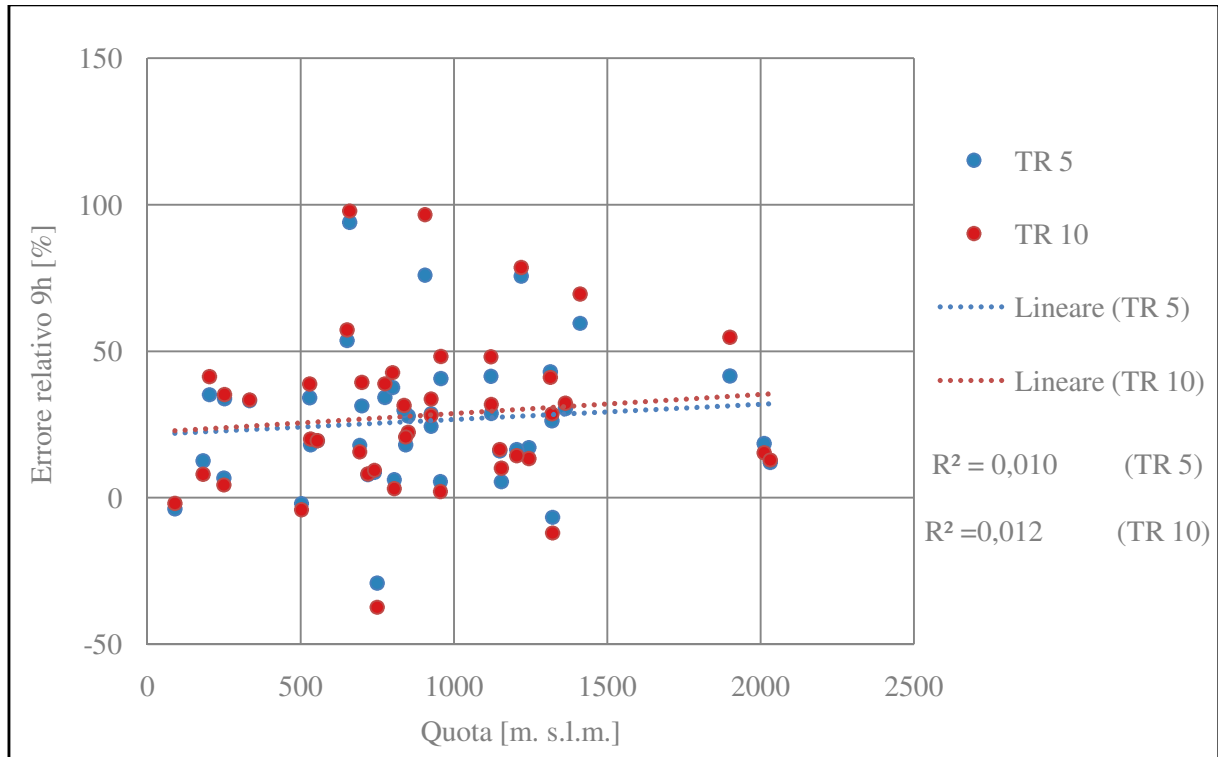


Fig. 30: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari a 9 ore e quota.

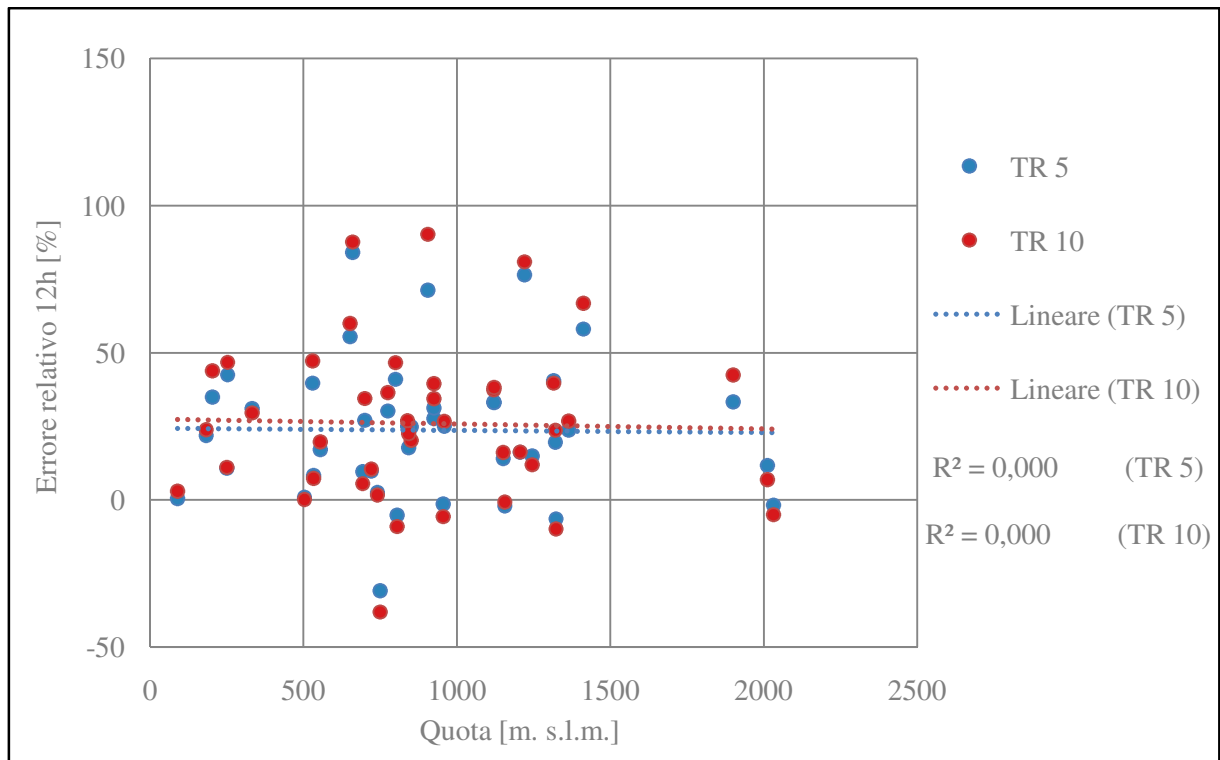


Fig. 31: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari a 12 ore e quota.

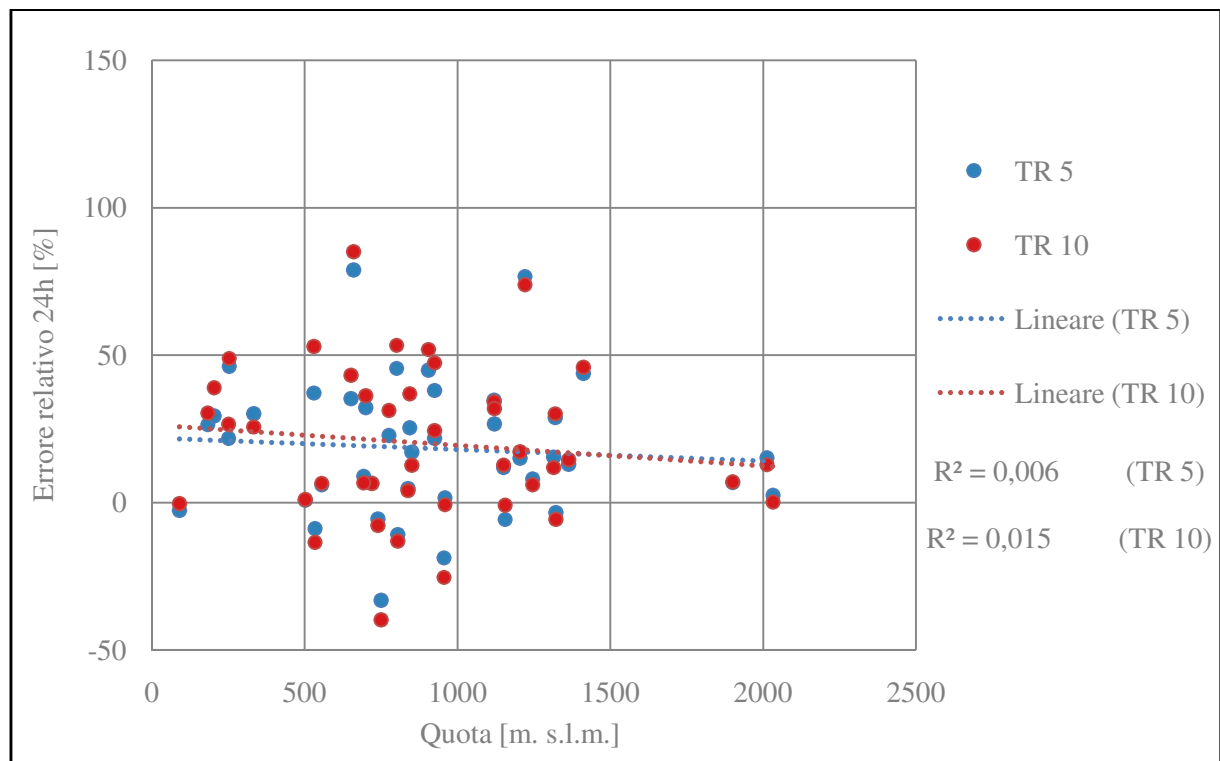


Fig. 32: Regressione dei quantili con durata di precipitazione pari a 24 ore e quota.

In Fig. 33 e 34 sono riportate le regressioni dell'errore relativo sui parametri della distribuzione con la quota delle stazioni pluviografiche.

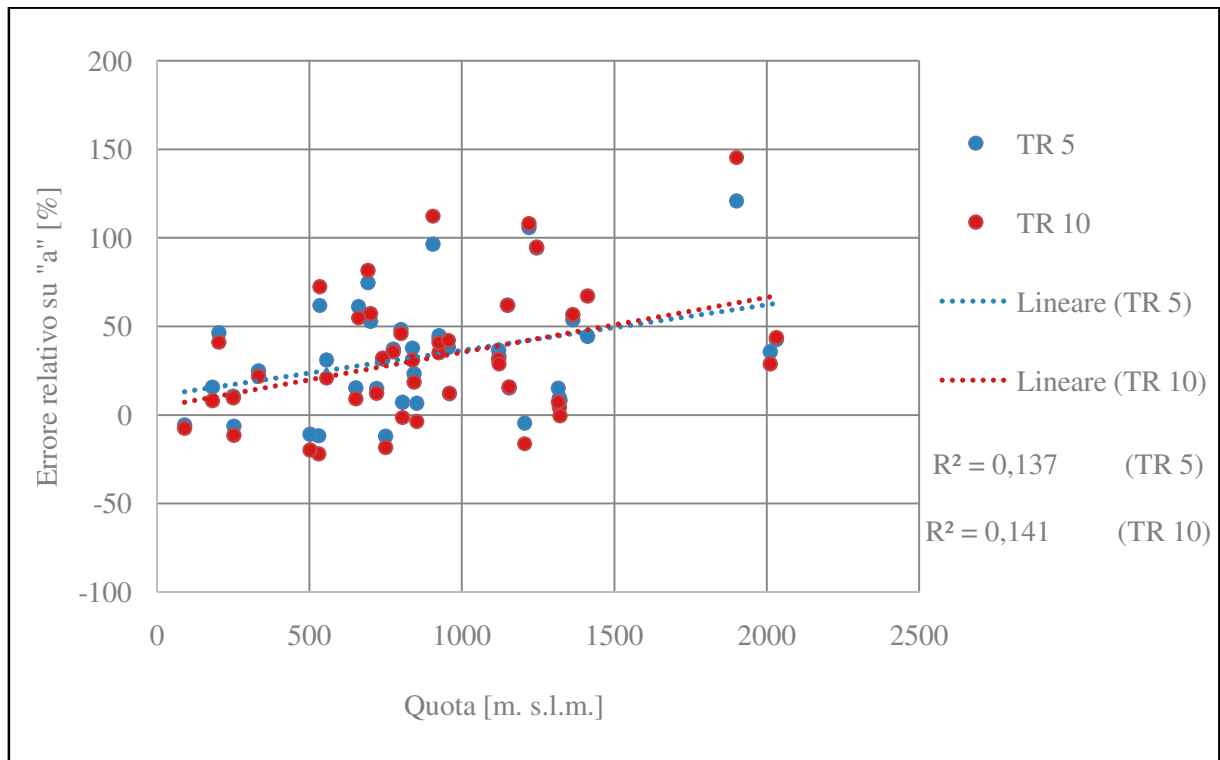


Fig. 33: Regressione fra errori su "a" e quota

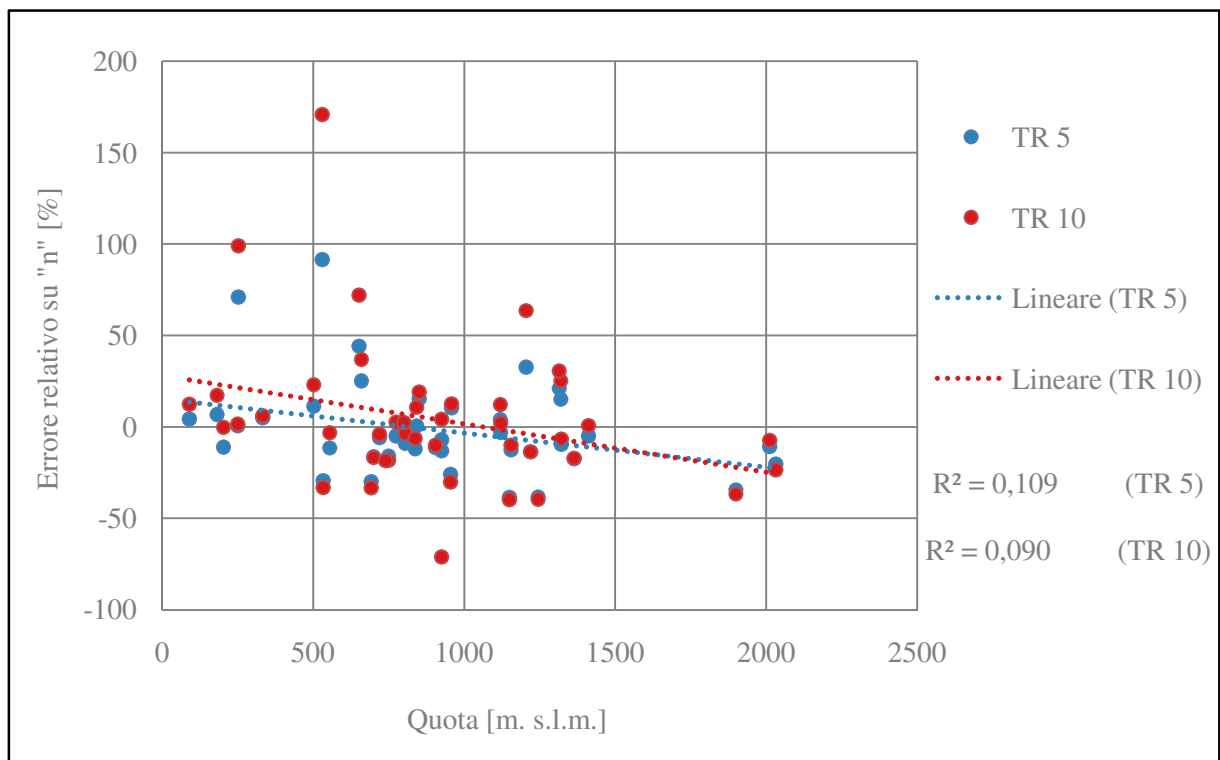


Fig. 34: Regressione fra errori su "n" e quota

Come si nota nelle figure in precedenza, la dipendenza dei quantili con l'elevazione varia a seconda della durata di precipitazione. Fino a 9 ore la relazione lineare rimane diretta debole con valori massimi di  $R^2$  pari a 0.117 per un tempo di ritorno di 5 anni e 0.122 per 10 anni, nel caso delle 3 ore (Fig. 28). A questa durata sono stati registrati gli errori maggiori pari al 116.9% per 5 anni e al 140.3% per 10 anni, rispettivamente nella stazione pluviografica di Dobbiaco (A4100) situata ad una quota di 1220 metri s.l.m. e in quella di Mezzana (T0071) a 905 metri s.l.m. . A 12 ore la relazione è nulla (Fig. 31), mentre a 24 diventa inversa debole con valori di  $R^2$  pari a 0.006 per un tempo di ritorno di 5 anni e 0.015 per 10 anni (Fig. 32). Quindi fino a 9 ore l'errore aumenta con l'aumentare di quota, poi ha la tendenza a diminuire.

Per il coefficiente "a", le figure evidenziano una relazione lineare diretta debole, con un valore di  $R^2$  pari a 0.137 per un tempo di ritorno di 5 anni e 0.141 per 10 anni (Fig. 33). Gli errori maggiori sono del 120.8% per 5 anni e del 145.5% per 10 anni, registrati in entrambi i casi nella stazione pluviografica di Fontana bianca (A2440) situata ad una quota di 1900 metri s.l.m. . Quindi per quanto riguarda la dipendenza del coefficiente "a" con l'elevazione, l'errore aumenta con l'aumentare di quota.

Al contrario per il coefficiente "n", le figure evidenziano una relazione lineare inversa debole, con un valore di  $R^2$  pari a 0.109 per un tempo di ritorno di 5 anni e 0.090 per 10 anni (Fig. 34). In questo caso gli errori maggiori sono del 91.6% per 5 anni e 170.8% per 10 anni, registrati in entrambi i casi nella stazione pluviografica di Monticolo (A8910) situata ad una quota di 530 metri s.l.m.. Quindi per quanto riguarda la dipendenza del coefficiente "n" con l'elevazione, l'errore diminuisce con l'aumentare di quota.

Riassumendo, nella dipendenza dei quantili e dei coefficienti con l'elevazione, sebbene i valori di  $R^2$  siano bassi, si osserva un aumento della sovrastima dei quantili con l'elevazione per le durate brevi (1- 6 h) mentre per le durate più lunghe la dipendenza dell'errore con l'elevazione è meno marcata. Ciò si spiega osservando anche l'andamento dell'errore sui parametri a ed n: per il parametro a, la sovrastima che aumenta con l'elevazione spiega la sovrastima in aumento alle durate brevi; per il parametro n, l'errore che cala passando da leggera sovrastima a sottostima alle elevazioni più elevate rende conto del calo dell'errore sul quantile alle durate più lunghe.

## 4 CONCLUSIONI

L'obiettivo dell'analisi era comprendere il grado di realismo dei modelli CPM utilizzati per realizzare scenari di cambiamento climatico attraverso simulazioni di precipitazione intensa per il bacino dell'Adige. Per verificarne l'affidabilità sono state confrontate due serie temporali di precipitazioni a passo orario nel periodo 2000-2009. La prima ottenuta da stazioni pluviografiche disposte sul territorio, mentre la seconda estratta da modello CPM. Da queste sono stati ricavati i massimi annuali a diverse durate, per poter poi applicare il modello di Gumbel con tempi di ritorno pari a 5 e 10 anni. Sono stati calcolati i quantili ed a seguire sono state tracciate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, ricavando i coefficienti (a e n). Grazie ai risultati è stato permesso il confronto realizzando delle mappe interpolate, calcolando il bias e verificando eventuali relazioni con l'elevazione.

Da questa analisi è emerso che:

- per i quantili, il CPM sovrastima del 30% circa i dati di precipitazione da pluviografo. L'errore medio maggiore è stato registrato ad una durata di pioggia pari a 3 ore, per entrambi i tempi di ritorno.
- per la dipendenza dei quantili con l'elevazione, i valori di  $R^2$  maggiori sono stati registrati ad una durata di 3 ore. Fino a 9 ore la relazione rimane diretta, poi diventa inversa.
- per il coefficiente "a", la sovrastima è analoga dei quantili, mentre per il coefficiente "n" il CPM sottostima leggermente i dati.
- per la dipendenza dei coefficienti con l'elevazione, in "a" è diretta con valori di  $R^2$  maggiori rispetto ad "n" dove è inversa.

Bisogna sottolineare che le proiezioni dei modelli climatici riferite alle precipitazioni sono molto più incerte di quelle della temperatura, secondo lo studio sull'analisi delle proiezioni future dei modelli regionali in Italia, contenuto nello "Stato Dell'Ambiente 58/2015" e condotto dall'ISPRA.

Questo lavoro dimostra come, in territori a orografia complessa, le procedure di correzione dell'errore del modello climatico debbano tener conto dell'effetto dell'orografia, ed ulteriori approfondimenti siano necessari per migliorare l'attendibilità delle previsioni soprattutto ad una durata di precipitazione pari a 3 ore.

## 5 **BIBLIOGRAFIA**

- Benini G., 2000, Sistemazioni idraulico-forestali, Torino, pp 90.
- Gruppo di Lavoro “Cambiamenti Climatici” della RUS, 2020, Linee guida e buone pratiche per l’adattamento ai cambiamenti climatici degli atenei italiani, Versione 5, pp 7-11.
- ISPRA, 2015, Stato dell’ambiente 58/2015, pp 6-7.
- Prein et al., 2015, A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges. <https://doi.org/10.1002/2014RG000475>
- Kotlarski S. et al., 2014, Regional climate modeling on European scales, Geosci. Model Dev. 7, 1297-1333.
- Sito dell’Autorità di bacino del fiume Adige
  - <http://www.bacino-adige.it/sito/index.php/autorita-bacino/informazioni-bacino/caratteri-fisici/orografia> (consultato il 7 marzo 2022).
  - <http://www.bacino-adige.it/sito/index.php/autorita-bacino/informazioni-bacino/caratteri-climatici-e-regime-pluviometrico> (consultato il 7 marzo 2022).
- <https://www.meteotrentino.it/#!/home>
- <https://cordex.org/>