

DIPARTIMENTO DI IDRAULICA, TRASPORTI ED INFRASTRUTTURE  
CIVILI  
POLITECNICO DI TORINO

**Elisa Bartolini<sup>1</sup>, Pierluigi Claps<sup>1</sup>, Francesco Laio<sup>1</sup>**

(1) Politecnico di Torino

[elisa.bartolini@polito.it](mailto:elisa.bartolini@polito.it)

**ANALISI DELLA VARIABILITÀ SPAZIALE DI  
VALORI CARATTERISTICI DELLE  
PRECIPITAZIONI IN PIEMONTE**

Working Paper 2008 - 01

Giugno 2008

## Sommario

La valutazione del rischio di nubifragio richiede la costruzione delle distribuzioni di probabilità degli estremi annui di pioggia in durate comprese tra 1 e 24 ore. Per regioni molto estese tale obiettivo passa per l'analisi spaziale dei parametri delle distribuzioni di probabilità associate alle diverse durate. Considerando solo i valori medi si sono qui esaminati, con riferimento alla regione idrografica di Piemonte e Valle d'Aosta, valori caratteristici di precipitazione corrispondenti ai parametri della curva di probabilità pluviometrica, ovvero il coefficiente pluviale orario  $a$  e l'esponente di invarianza di scala  $n$ . Tali valori sono stati calcolati a partire dalle serie storiche misurate nelle stazioni pluviometriche delle regioni Piemonte e Valle d'Aosta. Attraverso analisi di regressione e successiva applicazione del kriging ordinario è stata ricostruita la distribuzione spaziale dei parametri pluviometrici su una griglia regolare a maglia quadrata di 250 m di lato. I risultati sono stati validati attraverso il confronto con i valori osservati e i risultati di precedenti analoghe indagini. Ad ulteriore titolo di riferimento, è stata poi studiata la variabilità spaziale della precipitazione media annua.

**Parole Chiave:** *curva di probabilità pluviometrica, afflusso medio annuo, kriging ordinario, variabilità spaziale*

## Abstract

The evaluation of the risk of intense rainstorms requires the computation of the probability distribution of the extreme annual precipitations for durations in the interval from 1 to 24 hours. For wide regions, to achieve such objective is necessary to investigate the spatial variability of the parameters of the probability distributions for the different durations. Focusing on the mean values in this study have been investigated for the hydrographic region of Piemonte and Valle d'Aosta, characteristic values of precipitation corresponding to the parameters of the intensity-duration-frequency curve,  $a$  and  $n$ . These values have been computed from the precipitation time series of the rain gauges located in Piemonte and Valle d'Aosta. By means of regression analyses and subsequent application of ordinary kriging, the spatial distribution of the parameters have been reconstructed over a regular square grid with resolution of 250 m. The results have been validated by comparison both with measured values and with results from previous similar investigations. Finally, the spatial variability of the mean annual precipitation has been investigated for further reference.

**Keywords:** *intensity-duration-frequency curve (IDF), mean annual precipitation, ordinary kriging, spatial variability*

# INDICE

Introduzione .....	1
Variabili in esame. ....	3
1.1. Stazioni utilizzate .....	3
1.2. Determinazione dei valori caratteristici di precipitazione di interesse .....	6
1.2.1. Parametri della curva di probabilità pluviometrica .....	6
1.2.2. Afflusso medio annuo .....	8
1.3. Dipendenza dalla quota .....	8
1.3.1. Relazione tra quota e coefficiente pluviale orario $a$ .....	9
1.3.2. Relazione tra quota e coefficiente di invarianza di scala $n$ .....	11
1.3.3. Relazione tra quota e afflusso medio annuo .....	13
1.4. Procedura di eliminazione del trend .....	15
Il kriging ordinario .....	17
2.1. Coefficiente pluviale orario $a$ .....	21
2.2. Esponente di invarianza di scala $n$ .....	25
2.3. Parametro afflusso medio annuo .....	33
Analisi dei risultati .....	38
1.1. VAPI Piemonte .....	38
1.2. PAI .....	40
BIBLIOGRAFIA .....	44
Allegato I. Consistenza delle serie di precipitazione. ....	I.1
I.1 Precipitazioni estreme orarie. ....	I.1
<i>I.1.1 Precipitazione massima annua di durata pari a 1 ora</i> .....	I.1
<i>I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 3 ore</i> .....	I.2
<i>I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 6 ore</i> .....	I.4
<i>I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 12 ore</i> .....	I.5
<i>I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 24 ore</i> .....	I.7
I.2 Precipitazioni estreme giornaliere .....	I.8
I.3 Precipitazioni medie annue .....	I.18
Allegato II. Parametri della curva di probabilità pluviometrica. ....	II.1
Allegato III. Afflusso medio annuo. ....	III.1
Allegato IV. Test statistici utilizzati .....	IV.1



## Introduzione

Le regioni Piemonte e Valle d'Aosta sono localizzate in un territorio molto articolato, per il quale la gestione del rischio idrogeologico in generale, e di nubifragi in particolare, assume spesso notevole complessità a causa delle caratteristiche orografiche della regione.

Oltre alle caratteristiche topografiche locali è necessario considerare il contesto climatico in cui si colloca la regione di studio, ed in particolare l'influenza del bacino del Mar Mediterraneo. Questo da un lato agisce come mitigatore del clima ma dall'altro risulta essere la fonte delle principali perturbazioni e precipitazioni intense che interessano il territorio in esame.

Uno degli strumenti più utilizzati per la caratterizzazione degli eventi di precipitazione intensa è la curva di probabilità pluviometrica, che rappresenta una relazione analitica tra altezza di precipitazione e durata dell'evento meteorico. Essa è generalmente espressa attraverso la formula monomia  $h=a \cdot d^n$ , dove l'altezza di pioggia  $h$  è definita in funzione della durata  $d$  a meno di due parametri, il coefficiente pluviale orario  $a$  e l'esponente di invarianza di scala  $n$ .

Altro elemento caratteristico della precipitazione in una data regione è l'afflusso medio annuo, che rappresenta la quantità complessiva di pioggia caduta nell'arco dell'anno. Si tratta di una grandezza molto utilizzata nella caratterizzazione climatica di una regione, sia per la ricostruzione del bilancio idrologico medio annuo sia per classificare il tipo di clima e le sue relazioni con la vegetazione spontanea e gli apporti idrici naturali, i quali costituiscono il fattore determinante della disponibilità idrica.

Obiettivo dello studio è la ricostruzione della distribuzione nello spazio, detta anche spazializzazione, delle grandezze caratteristiche della precipitazione per il

territorio delle regioni Piemonte e Valle d'Aosta, necessaria per operare su regioni e bacini nei quali non sono disponibili misurazioni pluviometriche. Nei casi citati si interviene stimando i parametri necessari attraverso le serie storiche delle stazioni vicine. Tra le numerose procedure possibili, in questo lavoro sono state applicate le teoria fondamentali della geostatistica e delle variabili regionalizzate (Matheron, 1971), che permettono di stimare, data una serie di misure in punti definiti nello spazio, il valore della variabile in un punto qualsiasi del dominio spaziale.

Nella prima parte dello studio sono descritti i dati utilizzati, corrispondenti alle serie storiche di precipitazione massima giornaliera e di durata pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore provenienti dalle stazioni meteorologiche delle Regioni Piemonte e Valle d'Aosta. Vengono poi presentate le procedure seguite per determinare i parametri della curva di probabilità pluviometrica e l'afflusso medio annuo. Successivamente viene descritta nel dettaglio la procedura di spazializzazione dei parametri e, dove possibile, la validazione dei risultati, eseguita attraverso il confronto con analoghe indagini, ovvero i progetti PAI (Autorità di bacino del fiume Po, 1999) e VAPI (Villani, 2003).

## Variabili in esame.

### 1.1. Stazioni utilizzate

I dati utilizzati nel presente studio sono costituiti dalle serie storiche di precipitazioni estreme orarie, giornaliere e piogge totali mensili disponibili per le stazioni pluviografiche e pluviometriche situate in Piemonte, Valle d'Aosta e Liguria, aventi almeno quindici anni di osservazioni (*Tabella 1*).

Variabile	N° di stazioni considerate
Precipitazioni estreme orarie	175
Precipitazioni estreme giornaliere	663
Precipitazioni medie mensili ed annue	546

*Tabella 1: stazioni utilizzate*

Le serie storiche delle precipitazioni e sono state ricavate dalla pubblicazione su CD "Studi Climatologici in Piemonte, Precipitazioni e Temperature", edito dalla Regione Piemonte (Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione, Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio) in collaborazione con l'Università degli Studi di Torino. Per quanto riguarda massime precipitazioni giornaliere ed orarie, le serie storiche sono state aggiornate al 1991 attraverso i dati ricavati dagli Annali Idrologici per il periodo 1986-1991. La base dati così ottenuta è stata integrata attraverso le serie storiche disponibili nel database sviluppato nell'ambito del progetto CUBIST Information System ([www.cubist.polito.it](http://www.cubist.polito.it)).

Per la visualizzazione della consistenza di in termini di lunghezza dei campioni analizzati si rimanda all' Allegato I.

### 1.1.1. Il posizionamento delle stazioni

La verifica della correttezza della posizione geografica delle stazioni pluviometriche riveste un'importanza fondamentale per la corretta applicazione delle procedure di spazializzazione delle variabili.

Da un controllo in questo senso sono emerse varie incongruenze, sia per quanto riguarda la collocazione planimetrica che quella altimetrica; in particolare quest'ultima in alcune stazioni risulta essere fortemente incerta.

Il controllo delle caratteristiche di posizionamento della stazione viene effettuato con l'ausilio del modello digitale del terreno a maglia quadrata e lato pari a 250 m. Per ogni stazione considerata, attraverso il DTM è stata valutata la quota corrispondente a ciascuna coppia di coordinate planimetriche X ed Y fornite dai database di partenza e la stazione è stata poi collocata nel punto la cui quota meno si discostava dalla reale.

La soluzione proposta si considera accettabile, anche se potrebbe risultare parzialmente arbitraria alla luce di due considerazioni importanti:

- Il DTM è un modello discreto del terreno, e come tale non è esente da errori, specialmente per territori orograficamente complessi;
- Nel corso della loro vita, spesso le stazioni meteorologiche vengono spostate. Quando lo spostamento è consistente, si considera la nuova collocazione come una nuova stazione, ma quanto lo spostamento è di piccola entità spesso non viene considerato e viene aggiornata solo l'informazione relativa alla quota del punto di misura.

Pur dopo aver effettuato la correzione della collocazione delle stazioni meteorologiche, persistono alcuni dati per i quali non è possibile eliminare l'errore sulla quota, a meno di non spostare arbitrariamente il punto di misura.

In *Figura 1* e *Figura 2* sono rappresentati gli errori sulla quota ancora esistenti, rispettivamente per le stazioni pluviografiche e per le stazioni pluviometriche.

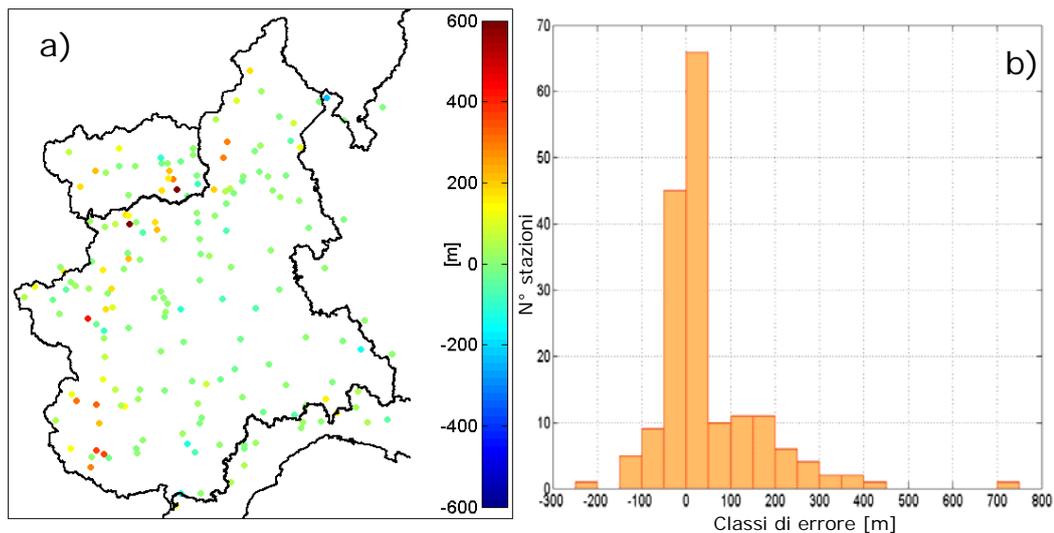


Figura 1: rappresentazione spaziale (a) e quantitativa (b) dell'errore di quota per le stazioni pluviografiche

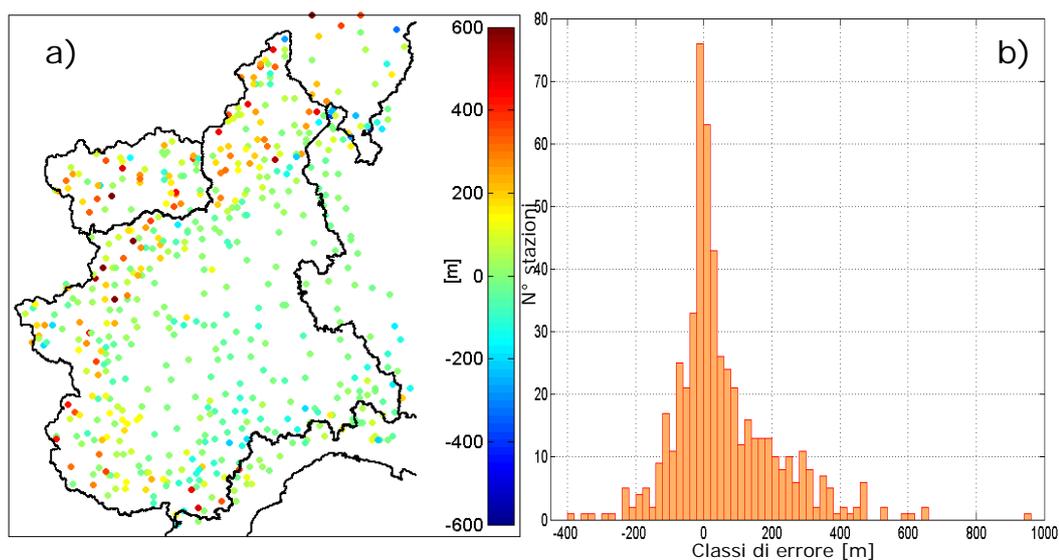


Figura 2: rappresentazione spaziale (a) e quantitativa (b) dell'errore di quota per le stazioni pluviometriche

Si osservi come l'entità dell'errore cresce notevolmente per le zone maggiormente montuose, dove il modello digitale del terreno potrebbe non garantire una corretta descrizione dell'orografia delle valli e dove anche piccoli spostamenti planimetrici comportano notevoli variazioni di quota.

## 1.2. Determinazione dei valori caratteristici di precipitazione di interesse

In questo studio vengono presi in considerazione tre valori caratteristici di precipitazione, rispettivamente il coefficiente pluviale orario  $a$  e l'esponente di invarianza di scala  $n$  della curva di probabilità pluviometrica, e l'afflusso medio annuo  $aff$ .

### 1.2.1. Parametri della curva di probabilità pluviometrica

La curva di probabilità pluviometrica consente di valutare l'altezza massima di pioggia di assegnata durata che può verificarsi in una determinata zona. Tale legge, che descrive la relazione tra la durata di un evento meteorico e la quantità di pioggia caduta, può essere espressa attraverso la formula monomia a due parametri

$$h = a \cdot d^n \quad (1.1)$$

Dove  $h$ , ovvero l'altezza di pioggia misurata in mm viene espressa in funzione della durata dell'evento meteorico  $d$  a meno di due parametri:

- il coefficiente pluviale orario  $a$ , che rappresenta l'altezza media precipitazione caduta in un intervallo di tempo pari ad un'ora;
- l'esponente di invarianza di scala  $n$ , che governa l'andamento della curva modificando la dipendenza dalla durata della precipitazione.

In letteratura è possibile osservare anche curve di probabilità pluviometrica espresse attraverso equazioni non monomie a tre parametri; in questo studio non sono state utilizzate in quanto sono maggiormente adatte a descrivere le precipitazioni di brevissima durata (inferiore all'ora) e forte intensità.

Nella valutazione del rischio di nubifragio, la curva di probabilità pluviometrica viene costruita sulla base dei valori medi dei massimi annui delle piogge di durate pari ad 1, 3, 6, 12 e 24 ore, e riferita al valore di pioggia estrema di durata  $d$  e periodo di ritorno  $T$ , attraverso la relazione:

$$X_{d,T} = a \cdot d^n \cdot K_T \quad (1.2)$$

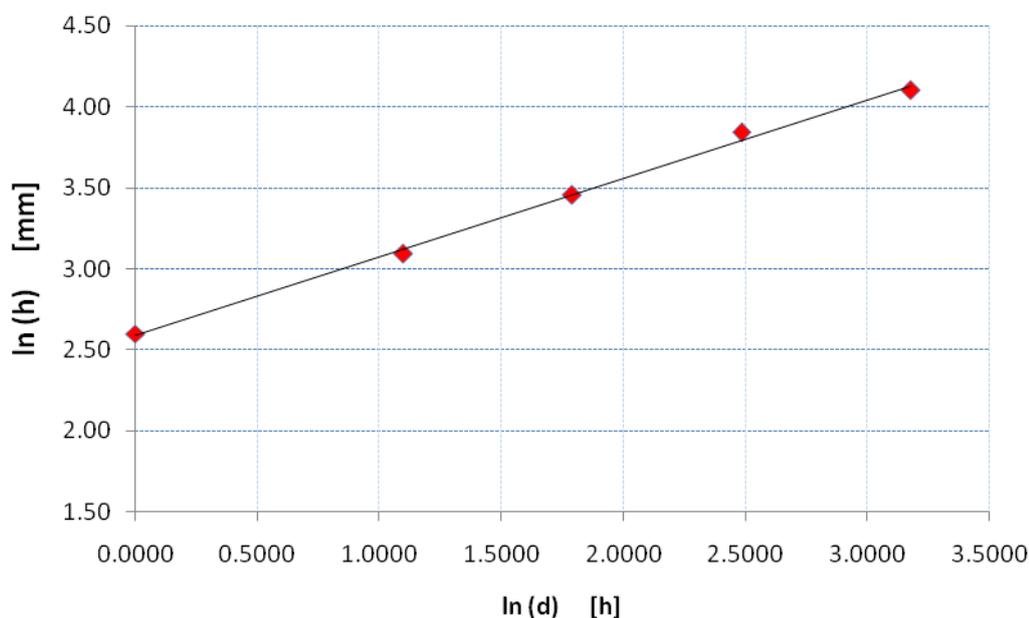
nella quale  $K_T$ , definito fattore di crescita, rappresenta il valore associato al tempo di ritorno della distribuzione di probabilità adimensionale definita dal rapporto tra il massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $d$  e tempo di ritorno  $T$  e il valore medio:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_d)} \quad (1.3)$$

In questo lavoro non viene considerata la variabilità spaziale del coefficiente  $K_T$  ma solo quella del valore medio della massima precipitazione.

Per calcolare i parametri della curva di probabilità pluviometrica si considerano i massimi annui di precipitazione di breve durata. Poiché i dati disponibili per durate inferiori all'ora sono generalmente scarsi, sono state considerate solo le durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Per ogni serie storica, la procedura standard per la stima dei parametri consiste nel riportare su un piano bilogarithmico i valori medi della precipitazione in relazione alle durate e poi interpolarli linearmente (*Figura 3*).



*Figura 3: esempio della determinazione dei parametri della curva di possibilità pluviometrica, stazione di Prigelato*

Definita la retta di regressione

$$y = INT + CA \cdot x \quad (1.4)$$

dove INT rappresenta l'intercetta all'origine mentre CA è il coefficiente angolare.

Nel piano bilogaritmico essa assume la forma

$$\ln(h) = \ln(a) + n \cdot \ln(d) \quad (1.5)$$

ed i parametri della curva di probabilità pluviometrica si determinano tramite le relazioni

$$a = e^{INT} \quad (1.6)$$

$$n = CA \quad (1.7)$$

Per la consultazione dei risultati ottenuti si rimanda all'Allegato II.

### **1.2.2. Afflusso medio annuo**

L'afflusso medio annuo è stato calcolato come somma delle precipitazioni medie mensili misurate dalla rete pluviometrica presente sul territorio. Sono stati considerati esclusivamente gli anni aventi una misurazione per ogni mese (Allegato III).

### **1.3. Dipendenza dalla quota**

La regione di studio è caratterizzata da un'orografia assai eterogenea, con quote minime dell'ordine di pochi metri sul livello del mare e massime che superano i 4000 m s.l.m. Poiché la precipitazione esibisce spesso una relazione di dipendenza rispetto all'altimetria, scopo di questa prima parte dello studio consiste proprio nell'indagarne la natura e l'intensità.

L'analisi è stata effettuata attraverso una procedura di interpolazione lineare considerando come variabile indipendente la grandezza:

$$x = \ln(\text{quota} + 1) \quad (1.8)$$

Le motivazioni per la scelta sono due:

1. Poiché la distribuzione delle stazioni meteorologiche rispetto alla quota non è uniforme, utilizzando il logaritmo è possibile limitare il maggior peso che l'interpolazione lineare attribuirebbe alle stazioni collocate a basse quote;
2. Avendo scelto di utilizzare il kriging ordinario come procedura di spazializzazione delle variabili, è necessario eliminare preventivamente i trend presenti nelle serie storiche. Poiché la variabile indipendente (1.8) utilizza l'operatore logaritmico, per depurare i parametri pluviometrici si è scelto di riportarli ad una quota pari ad 1 m s.l.m.

Per verificare l'attendibilità delle regressioni ottenute, sono stati applicati alcuni test statistici con un livello di significatività pari al 5%:

- Test della t di Student sulle stime del coefficiente angolare e sull'intercetta della retta di regressione;
- Test di normalità di Anderson-Darling (D'Agostino e Stephens, 1986) sui residui della regressione;
- Test di omoschedasticità di Breusch-Pagan sui residui della regressione (Breusch e Pagan, 1979).

### 1.3.1. Relazione tra quota e coefficiente pluviale orario $a$

Mettendo in relazione il coefficiente pluviale orario con la quota della rispettiva stazione per tutti i punti di misura si osserva chiaramente l'esistenza di un trend decrescente con la quota, secondo la relazione:

$$a = -4.29 \cdot \ln(\text{quota} + 1) + 51.47 \quad R^2 = 0.179 \quad (1.9)$$

Osservando i grafici in *Figura 4* si può notare come la nube di punti sia maggiormente diffusa alle basse quote. Tale fatto può essere imputato alla diversa densità di distribuzione delle stazioni pluviometriche sul territorio, generalmente maggiore alle basse quote e minore per altitudini elevate, il che spiega anche il basso valore presentato dal coefficiente di determinazione  $R^2$  (1.9). Nonostante ciò il test t di Student indica come significativi sia il coefficiente angolare della retta che l'intercetta all'origine.

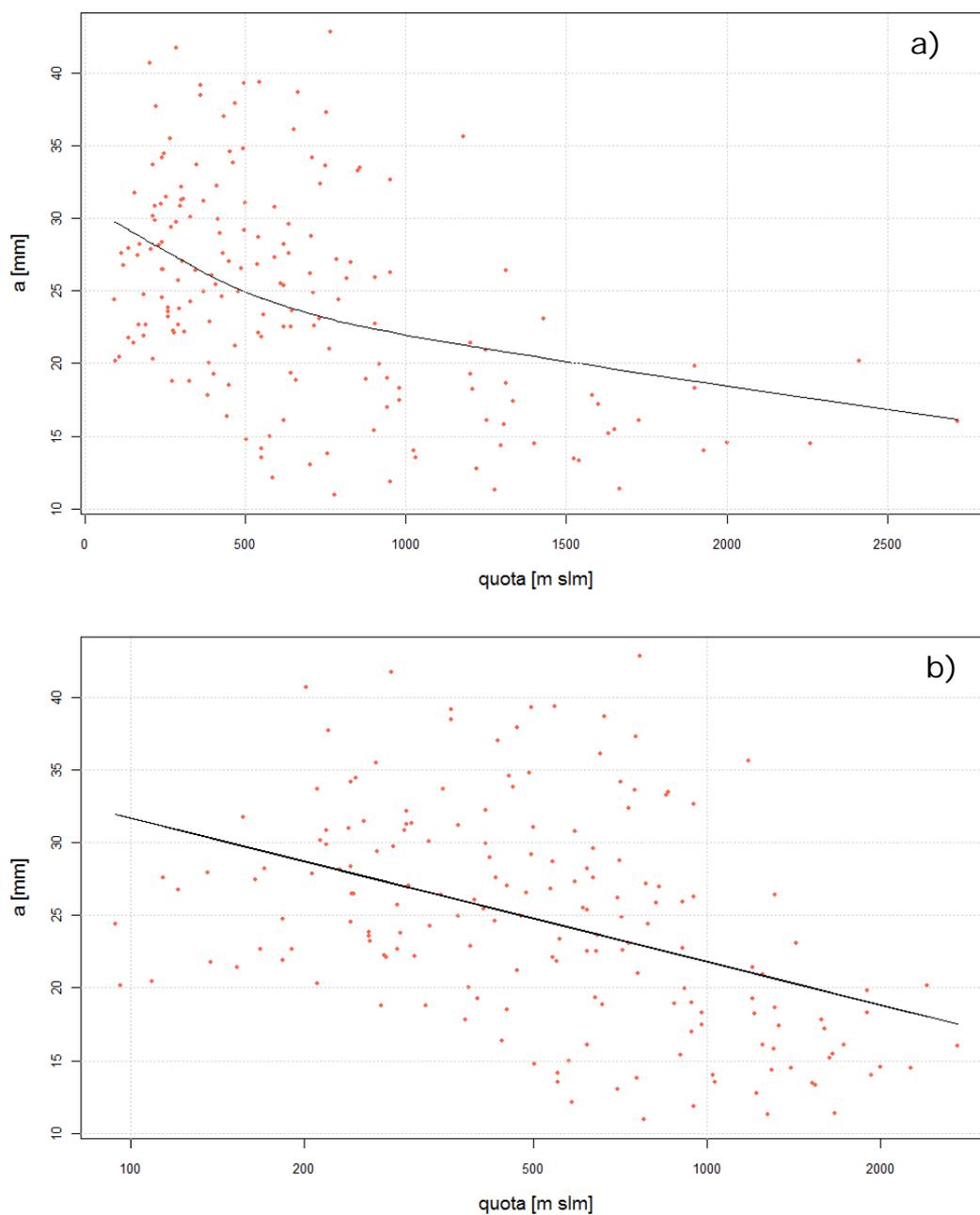


Figura 4: rappresentazione del trend esistente tra il parametro  $a$  e la quota, rispettivamente in scala lineare (a) e logaritmica (b)

L'analisi dei residui della regressione lineare, calcolati in un punto come differenza tra il valore del parametro  $a$  determinato a partire dai dati di stazione ed il valore stimato utilizzando la regressione, mostra invece che la condizione necessaria di normalità dei residui non è rispettata (Figura 5).

L'ipotesi di normalità dei residui è necessaria per l'elaborazione del test di significatività della regressione lineare; tuttavia essendo la dimensione

campionaria abbastanza grande si può ritenere che la significatività continui a valere in via approssimata per il teorema del Limite Centrale.

Il test di omoschedasticità, che verifica se i residui presentano una varianza costante oppure se potrebbero a loro volta dipendere da altre variabili, risultato superato. Tuttavia non è da ritenere attendibile, a causa della mancata normalità dei residui.

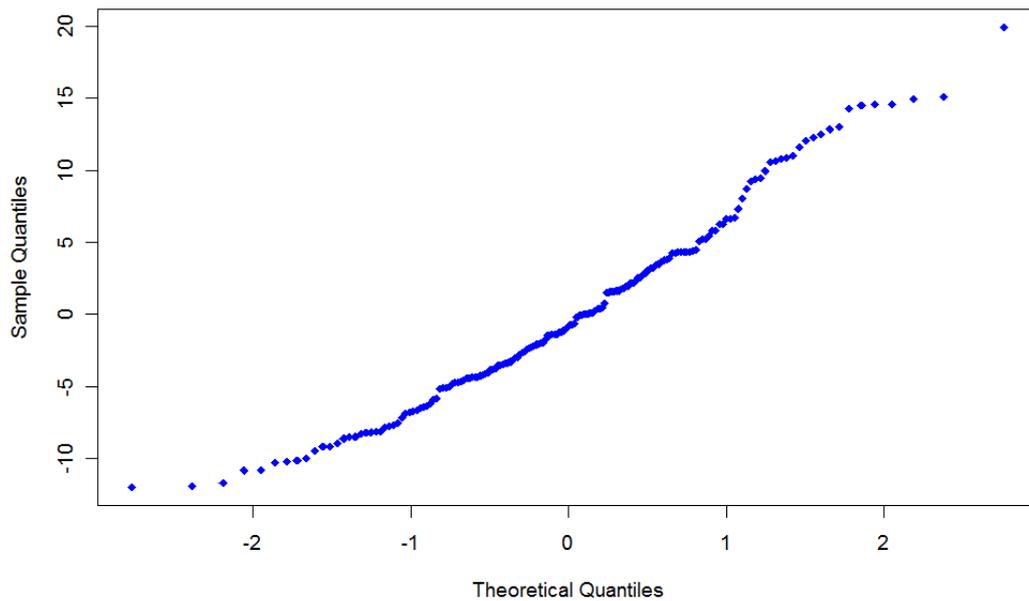


Figura 5: rappresentazione in carta normale dei residui della regressione lineare

### 1.3.2. Relazione tra quota e coefficiente di invarianza di scala $n$

Il coefficiente  $n$  presenta una tendenza opposta a quella del parametro  $a$ , ovvero cresce all'aumentare dell'altitudine della stazione meteorologica (Figura 6). La retta di interpolazione è descritta dall'equazione:

$$n = 0.087 \cdot \ln(\text{quota} + 1) - 0.12 \quad R^2 = 0.527 \quad (1.10)$$

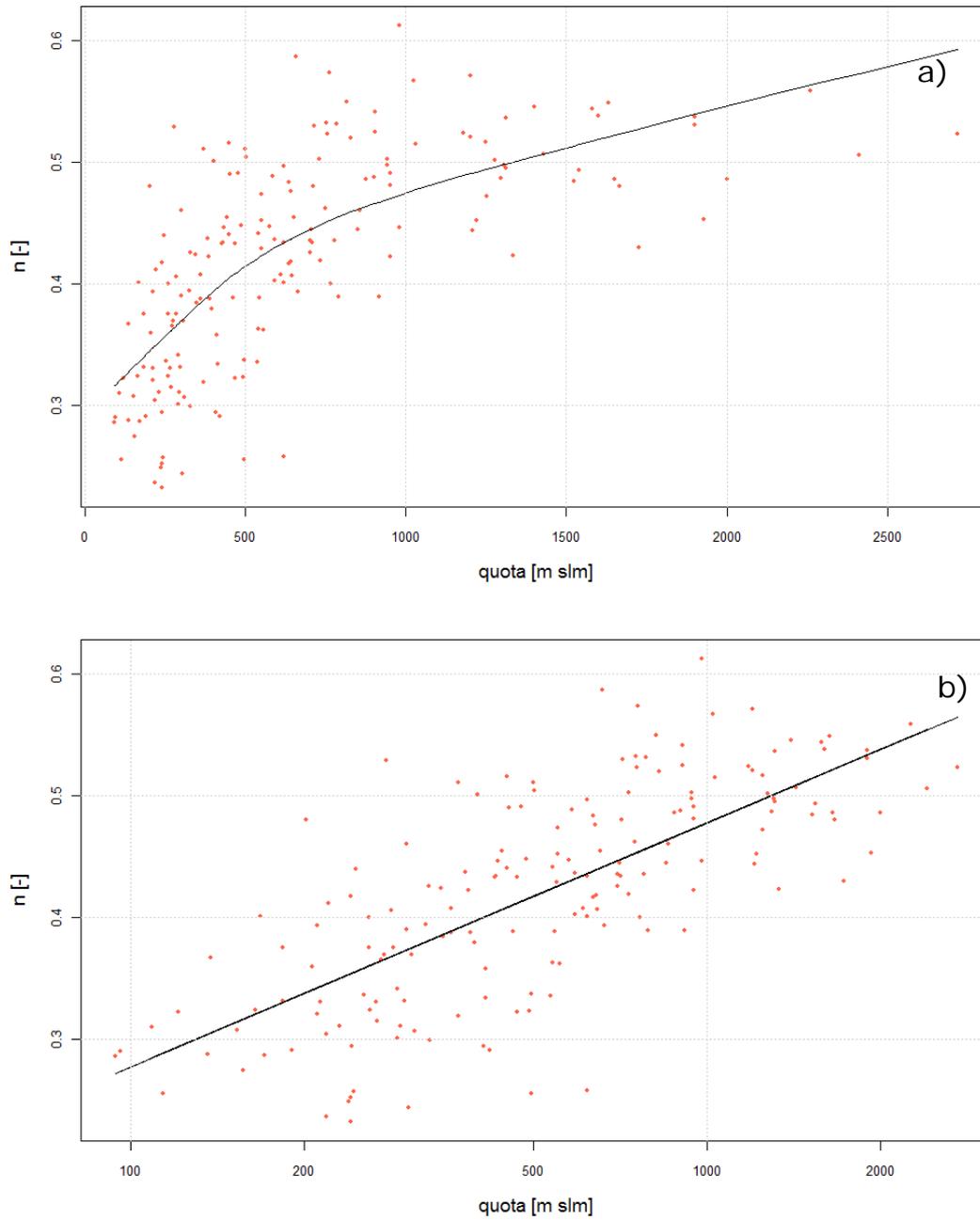


Figura 6: rappresentazione del trend esistente tra il parametro  $n$  e la quota, rispettivamente in scala lineare (a) e logaritmica (b)

Dall'analisi dei residui risultano rispettate entrambe le condizioni di normalità (Figura 7) e omoschedasticità.

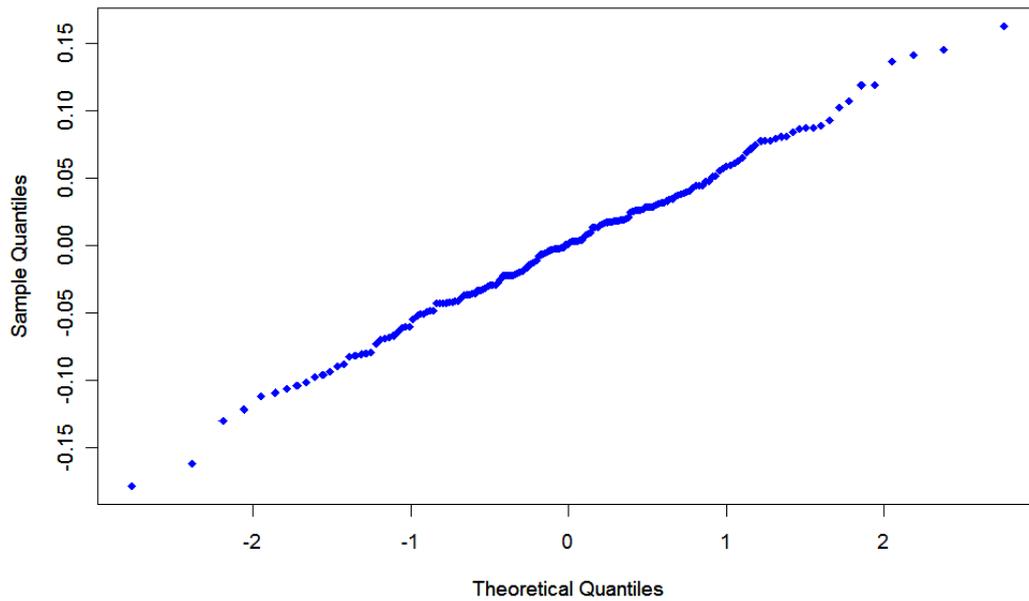


Figura 7: rappresentazione in carta normale dei residui della regressione lineare

### 1.3.3. Relazione tra quota e afflusso medio annuo

I grafici riportati in *Figura 8* permettono di osservare una leggera tendenza della precipitazione totale media annua a crescere con la quota, anche se la dispersione dei dati iniziali rispetto alla retta di regressione risulta molto elevata:

$$aff = 92.49 \cdot \ln(quota + 1) + 650.40 \quad R^2 = 0.023 \quad (1.11)$$

Applicando il test di Anderson-Darling sui residui della regressione, si verifica che esse non appartengono ad una distribuzione di tipo normale (*Figura 9*). Tuttavia, come nel caso del coefficiente pluviometrico orario  $a$ , l'elevata significatività riscontrata con il test  $t$  di Student sui coefficienti della retta di regressione, permette di considerare il trend significativo.

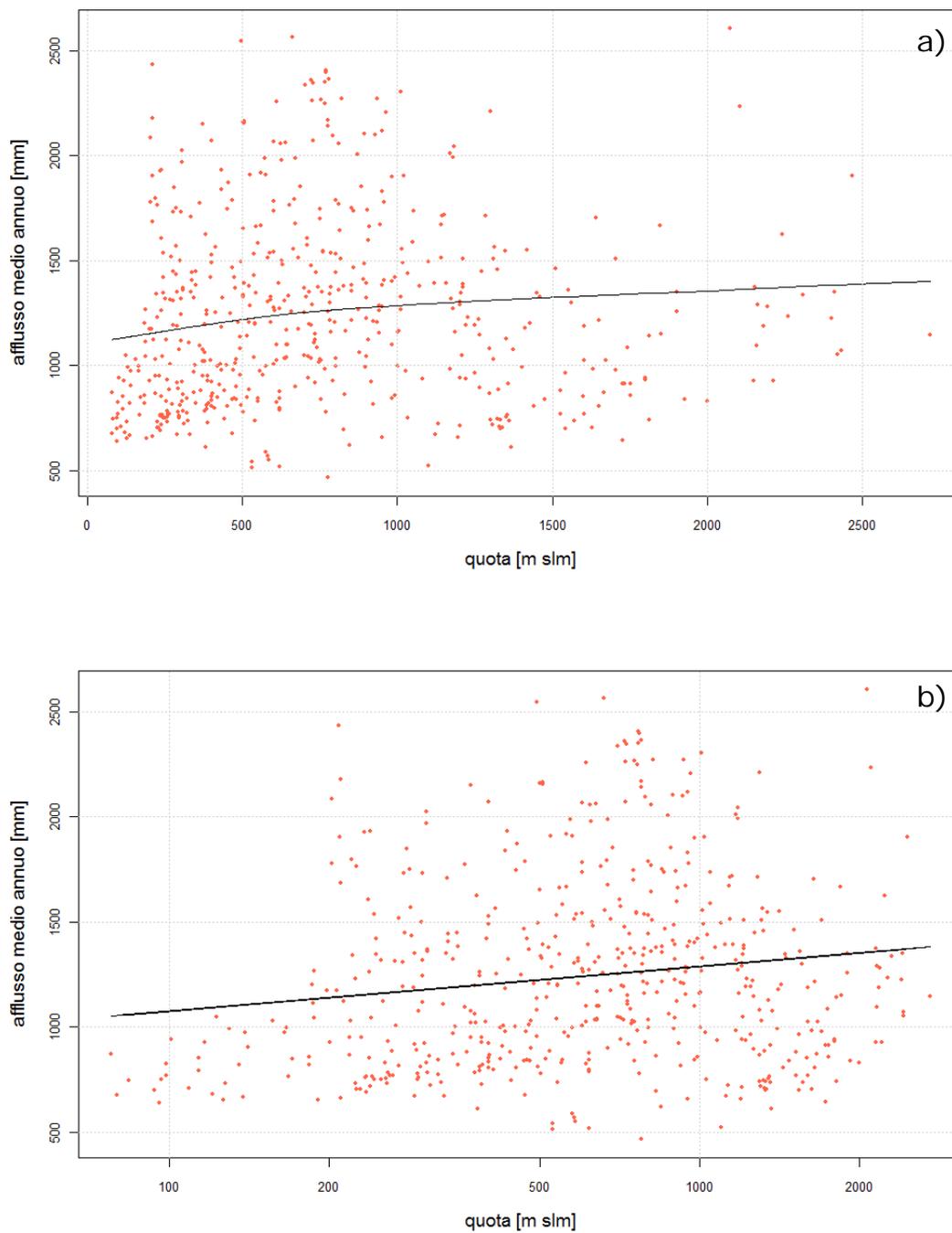


Figura 8: rappresentazione del trend esistente tra afflusso medio annuo e quota, rispettivamente in scala lineare (a) e logaritmica (b)

La condizione di omoschedasticità è invece rispettata, anche se, venendo meno l'ipotesi di normalità, i risultati del test di Breusch-Pagan potrebbero non essere attendibili.

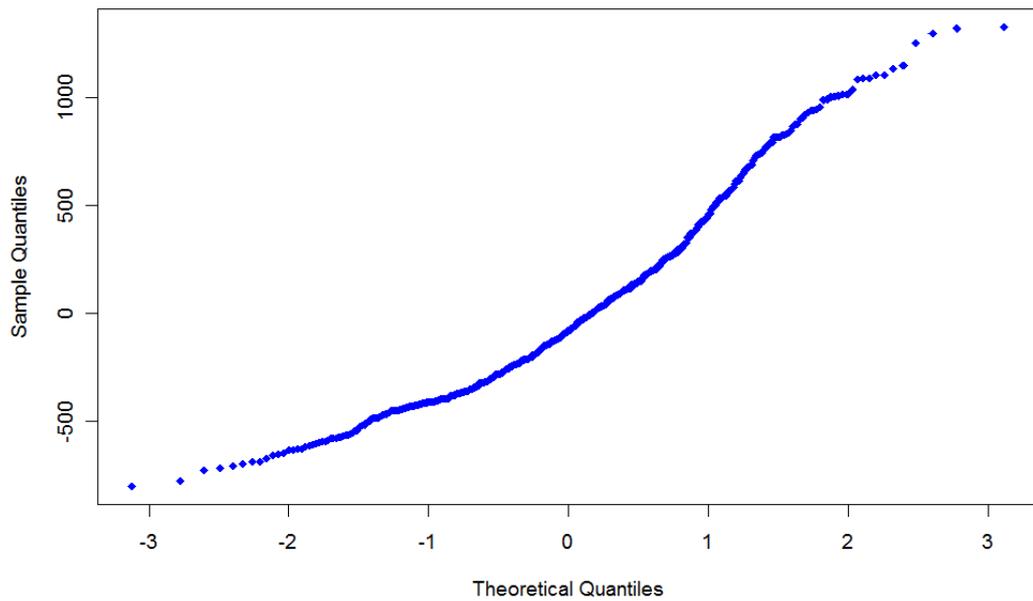


Figura 9: rappresentazione in carta normale dei residui della regressione lineare

#### 1.4. Procedura di eliminazione del trend

Per eliminare i trend riscontrati nei parametri oggetto di studio, ogni singolo punto è stato riportato ad una quota pari ad 1 m s.l.m. attraverso le leggi di crescita e decrescita determinate con la procedura di interpolazione lineare precedentemente descritta (Figura 10).

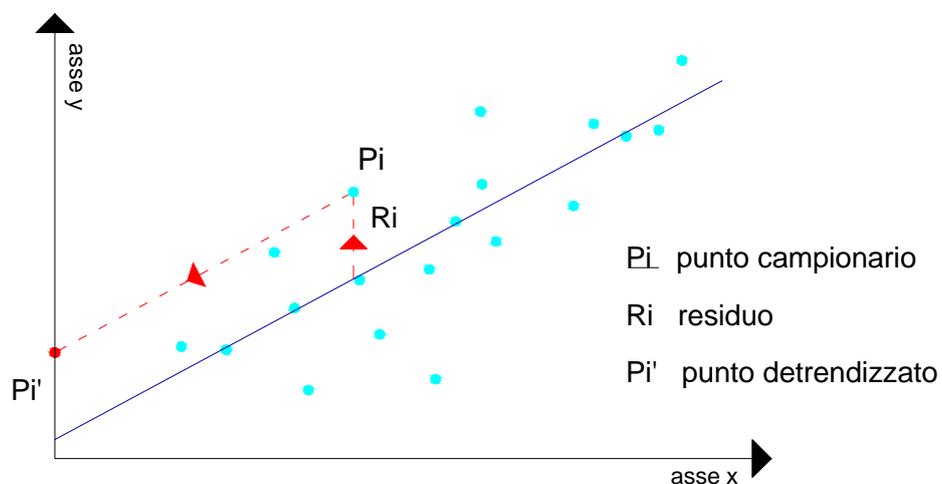


Figura 10: procedura di detrendizzazione delle variabili

Per traslare il valore caratteristico di precipitazione di una generica stazione  $i$  dalla quota originaria ad un'altra prestabilita, è necessario applicare la relazione:

$$X_{i,quota} = m \cdot \ln(quota + 1) + int + R_i \quad (1.12)$$

dove  $m$  è il coefficiente angolare della retta di interpolazione,  $int$  l'intercetta all'origine e  $R_i$  il residuo.

Assumendo il valore della variabile quota pari a zero, l'equazione (1.12) si trasforma nella

$$X_{i,quota=0} = m \cdot \ln(1) + int + R_i = R_i + int \quad (1.13)$$

## Il kriging ordinario

Da un punto di vista stocastico un fenomeno fisico osservato in un determinato punto dello spazio può da luogo ad infinite realizzazioni estratte a caso da una popolazione caratterizzata da una certa distribuzione di probabilità. Detta  $Z(x)$  la variabile regionalizzata nella posizione  $x$ , caratterizzata da una distribuzione di probabilità da cui viene estratto il valore reale, è possibile scrivere la seguente relazione:

$$Z(x) = aI + R(x) \quad (2.1)$$

nella quale  $aI$  rappresenta la componente aleatoria mentre  $R(x)$  la componente regionalizzata. Quando la componente aleatoria è dominante rispetto a  $R(x)$ , la variabile può essere studiata attraverso i metodi classici della statistica; in caso contrario è necessario rifarsi alle leggi della geostatistica, che si occupa dell'analisi di dati spaziali.

I valori caratteristici di precipitazione possono considerarsi variabili regionalizzate; infatti, come per molte altre grandezze utilizzate nell'idrologia, la loro variabilità spaziale non è puramente casuale ed in essa è spesso rintracciabile una struttura, riconducibile alla correlazione spaziale dei fenomeni. Per questa ragione, dato un certo numero di misurazioni della variabile regionalizzata in punti definiti, è possibile stimare il valore che la variabile stessa assume in tutti gli altri punti del dominio proprio a partire dalle leggi che regolano la correlazione spaziale (Matheron, 1971).

In questo studio è stato deciso di utilizzare come tecnica geostatistica predittiva il kriging ordinario, poiché in seguito all'eliminazione del trend risulta verificata l'ipotesi di stazionarietà alla base del metodo (De Marsily, 1986):

$$E[Z(x_j)] = \mu \quad \forall \quad x_j \quad (2.2)$$

dove  $Z$  la variabile regionalizzata e  $x_j$  l'insieme di punti del dominio spaziale considerato.

L'elaborazione della procedura è stata effettuata avvalendosi del software di calcolo R (R Core Team, 2007) e del pacchetto Gstat (Pebesma, 2004), formulato appositamente per il calcolo geostatistico.

La procedura applicata può essere schematizzata in cinque fasi:

» Definizione della griglia di interpolazione

La griglia di interpolazione, a maglia quadrata e di lato pari a 250 m, presenta i seguenti vertici, espressi in coordinate cartografiche nel sistema di riferimento ED50:

- Nord: 5155000 m;
- Sud: 4875000 m;
- Est: 525000 m;
- Ovest: 310000 m;

» Determinazione del semivariogramma campionario

Il semivariogramma campionario (Kitanidis, 1997) è un algoritmo geostatistico utilizzato per valutare l'autocorrelazione spaziale di dati osservati in punti georiferiti e rappresenta la semivarianza (2.3) dei valori osservati in gruppi di coppie di punti a determinate distanze (lag):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} [Z(x_{i+h}) - Z(x_i)]^2 \quad (2.3)$$

Il semivariogramma (*Figura 11*) riporta sull'asse delle ascisse le distanze e sull'asse delle ordinate i rispettivi valori di semivarianza determinati a partire dai dati sperimentali.

Per descrivere il semivariogramma si è soliti fare riferimento a tre parametri:

- Nugget: descrive la variabilità casuale dei dati campionari e rappresenta il valore di semivarianza per un lag nullo;
- Sill: esprime il massimo valore della semivarianza quando si raggiunge la stazionarietà;

- Range: massima distanza per la quale si osserva la presenza di correlazione tra semivarianza ed intervalli di distanza.

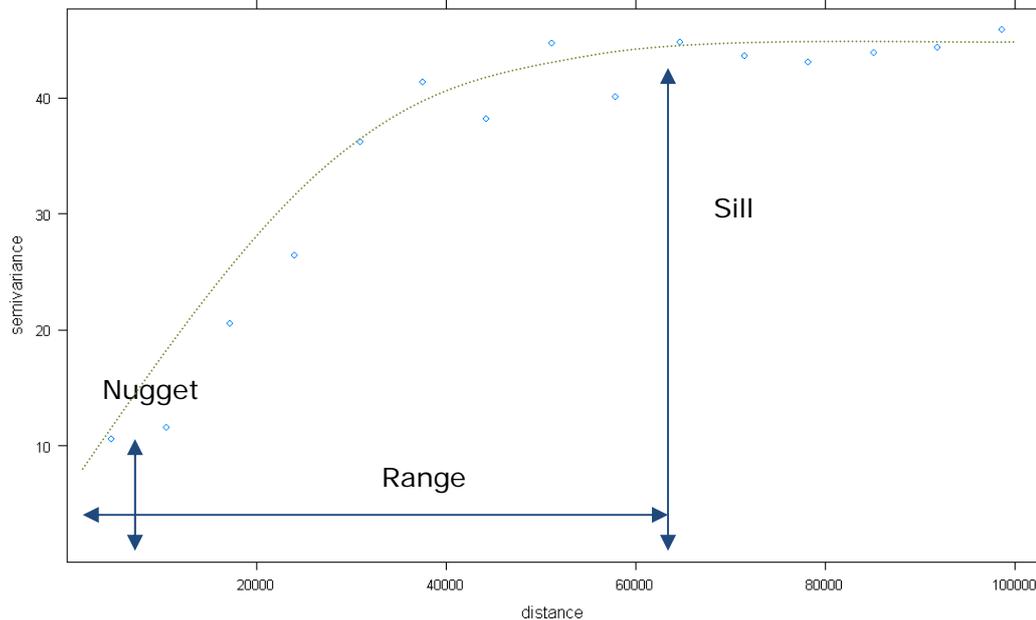


Figura 11: esempio di semivariogramma campionario

#### » Ricerca e modellazione dell'anisotropia

Lo studio dell'andamento della varianza nello spazio è molto importante, in quanto permette di identificare, se esiste, la direzione di maggiore continuità del dato, che coincide con quella per la quale si registrano minori valori di varianza.

Per valutare l'esistenza di anisotropia e la sua direzione, sono stati utilizzati due strumenti:

- Mappa del variogramma: descrive graficamente la semivarianza calcolata per diversi lag e direzioni attraverso una rappresentazione dei semivariogrammi campionari determinati in diverse direzioni in un sistema di coordinate il cui centro corrisponde a lag nullo.
- Semivariogrammi direzionali: semivariogrammi calcolati considerando solo un settore angolare dell'intero dominio, attorno alle direzioni principali prescelte rispetto all'azimut. L'asse di anisotropia corrisponde alla direzione che presenta il variogramma caratterizzato da massimo range.

Definita l'esistenza dell'anisotropia, è possibile considerarla nella procedura di kriging attraverso la determinazione della direzione principale e del rapporto tra gli assi dell'ellisse di anisotropia.

» Applicazione del variogramma modello

Una volta determinata la relazione spaziale sperimentale che lega i dati iniziali, è necessario interpolarla attraverso una funzione matematica che la trasformi da discreta a continua. La procedura consiste nello scegliere la curva che meglio approssima i punti campionari e che fornisce i pesi da assegnare alle osservazioni per stimare la variabile in tutto il dominio.

Considerato l'elevato numero di variogrammi teorici esistenti, tra i vari modelli disponibili sono stati inizialmente scelti quelli caratterizzati da un andamento simile ai variogrammi campionari (lineare, esponenziale, sferico, circolare, pentasferico, gaussiano e di Bessel). La modellazione del variogramma avviene attribuendo alle formule matematiche dei modelli i parametri nugget, sill e range stimati dal variogramma campionario. Nel caso di presenza di anisotropia, devono essere forniti anche la direzione principale e il rapporto tra i due assi dell'ellissi di anisotropia.

Per ognuno di questi modelli è stato applicato il kriging ordinario e si sono stimati i parametri pluviometrici di interesse per ogni punto della griglia precedentemente definita, secondo la relazione:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot Z(x_j) \quad (2.4)$$

dove  $\hat{Z}(x_0)$  rappresenta il parametro stimato nel punto  $x_0$ ,  $Z(x_j)$  gli  $n$  valori del parametro misurati nei punti  $x_j$  e  $\lambda_j$  i pesi da assegnare alle misure, che dipendono dalle leggi di varianza spaziale determinati con la modellazione del variogramma campionario.

Attraverso una procedura di cross validazione, è stato selezionato il modello per il quale si ottiene la minima distorsione di stima, quantificata in termini di minimo errore quadratico medio (RMSE).

» Applicazione del trend

Le variabili detrendizzate e riportate ad una quota unitaria sul livello del mare vengono ricondotte alla quota reale, stimata attraverso un DTM con risoluzione pari a 250 m, attraverso una procedura inversa a quella rappresentata in *Figura 10*.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per i vari parametri in esame.

## 2.1. Coefficiente pluviale orario $a$

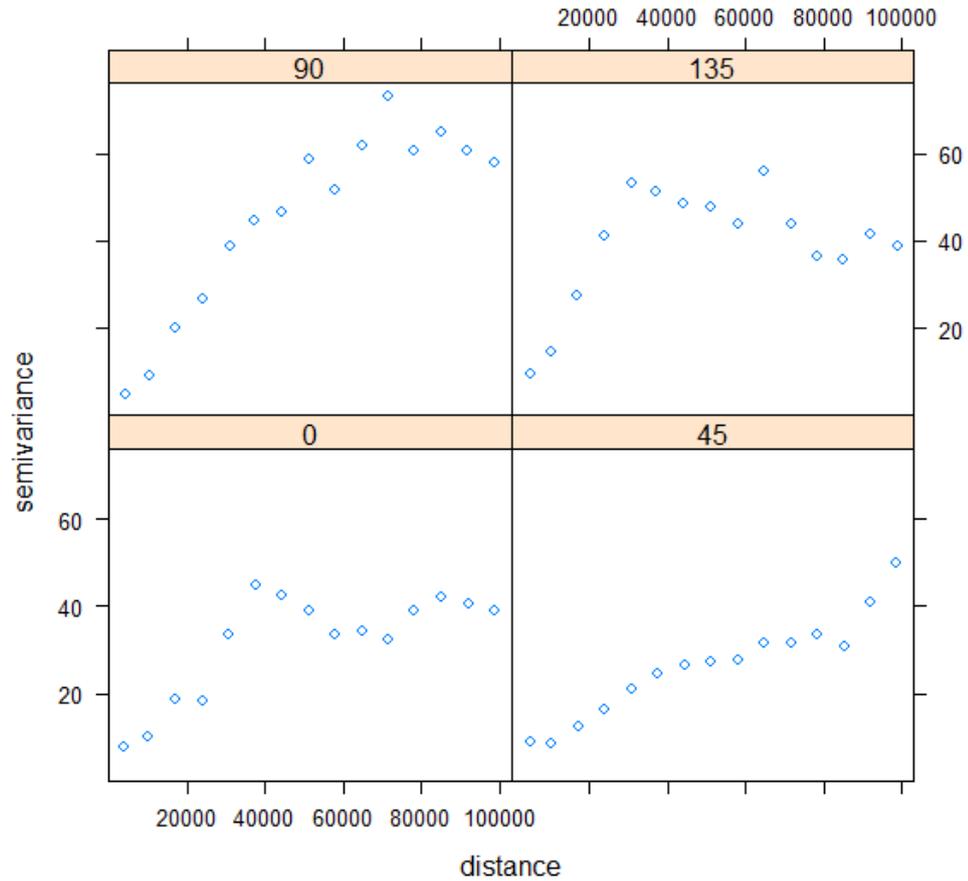


Figura 12: variogrammi campionari calcolati rispetto alle direzioni  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$

Il parametro  $a$  presenta molto chiaramente un'anisotropia che identifica come direzione principale quella orientata a  $45^\circ$  rispetto all'azimut. Dalla Figura 12, che rappresenta i variogrammi direzionali, si osserva infatti che quello relativo a  $45^\circ$  presenta un andamento sempre crescente con gli intervalli di distanza; il rapporto tra gli assi dell'ellisse di anisotropia si ottiene dalla frazione tra il range del variogramma a  $45^\circ$  e quello a  $135^\circ$ , che rappresenta la direzione perpendicolare.

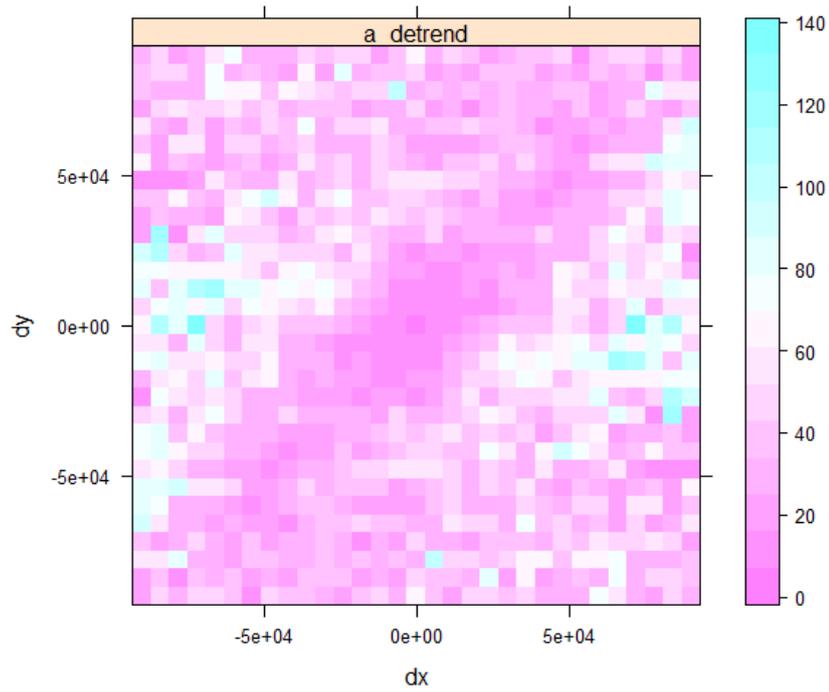


Figura 13: mappa del variogramma

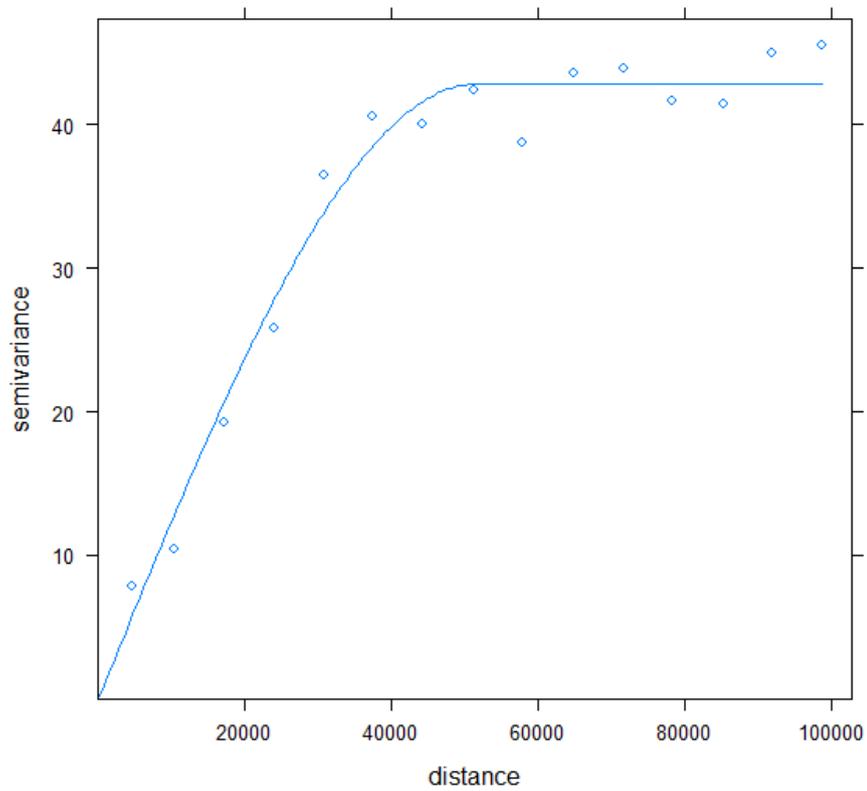


Figura 14: applicazione del variogramma modello sferico

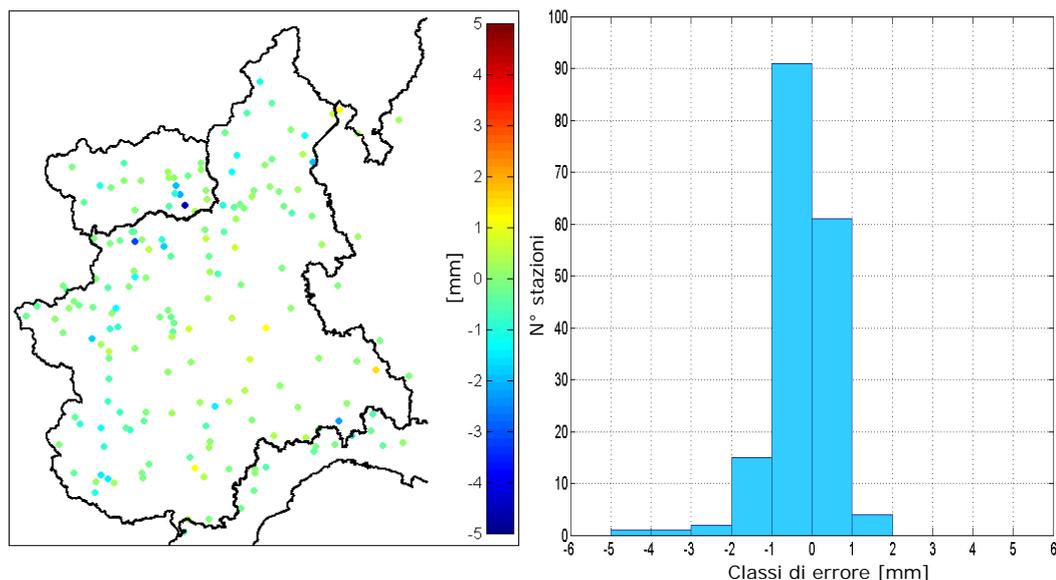


Figura 15: differenza tra valore stimato ed osservato in corrispondenza delle stazioni pluviografiche

La mappa del variogramma (Figura 13) conferma l'anisotropia, identificata dalla banda rosa, che rappresenta un pattern di varianza minima.

L'errore commesso nella stima del coefficiente pluviale orario si assesta, utilizzando il modello sferico, intorno al valore 3.27 mm.

Confrontando, per ogni punto, il valore reale del coefficiente pluviale orario misurato e quello stimato attraverso il kriging (Figura 15a) si osserva uno scostamento in generale abbastanza contenuto, fatta esclusione per alcune stazioni situate al confine tra Piemonte e Valle d'Aosta. In Figura 15b è stato invece riportato un istogramma dell'errore di stima, che riporta sull'asse delle ascisse le classi di errore e sull'asse delle ordinate il numero di punti appartenenti alla classe stessa.

Di seguito sono riportate le mappe che rappresentano il parametro  $a$  riferito rispettivamente alla quota unitaria utilizzata per eliminare il trend e alla quota reale.

Coerentemente con quanto descritto dal trend che la variabile presenta in funzione della quota, i valori riportati in Figura 16 sono decisamente maggiori rispetto a quelli di Figura 17.

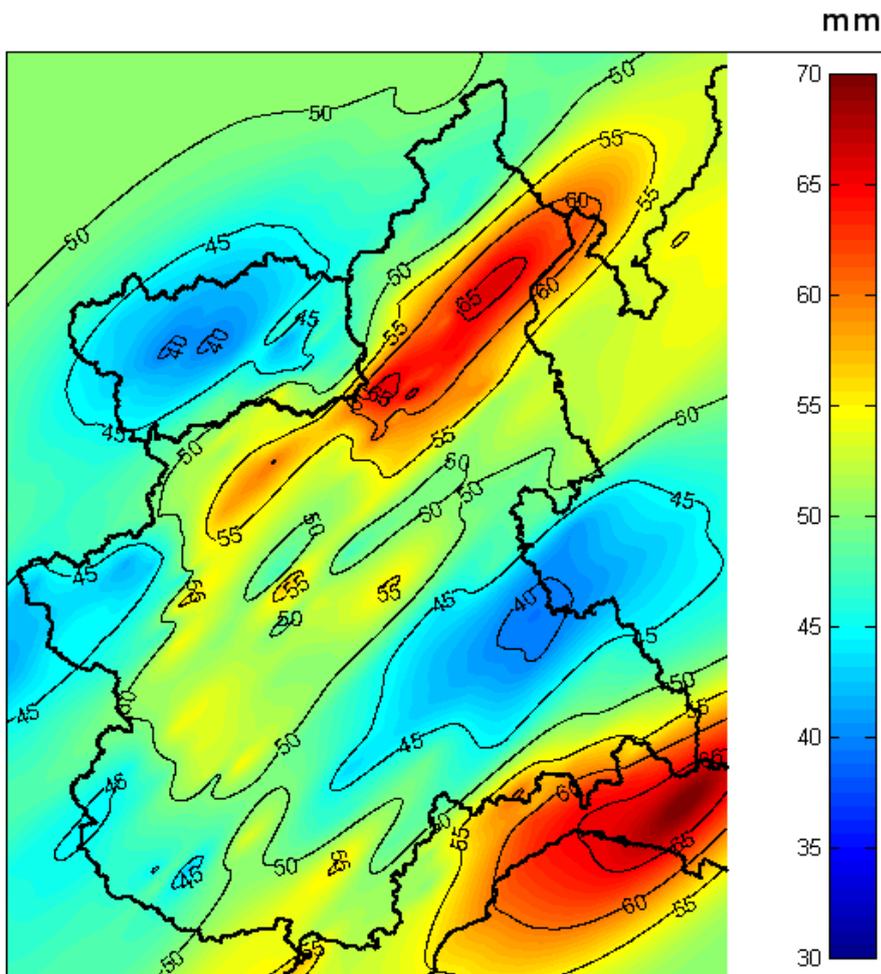


Figura 16: mappa del parametro pluviale orario a riferito alla quota unitaria

Le aree caratterizzate dal colore rosso in *Figura 17* non presentano un valore attendibile del parametro  $a$ . Corrispondono infatti alla zona dei laghi alpini, per la quale non erano disponibili le quote della superficie liquida, che è stata quindi posta arbitrariamente pari ad 1 m s.l.m.

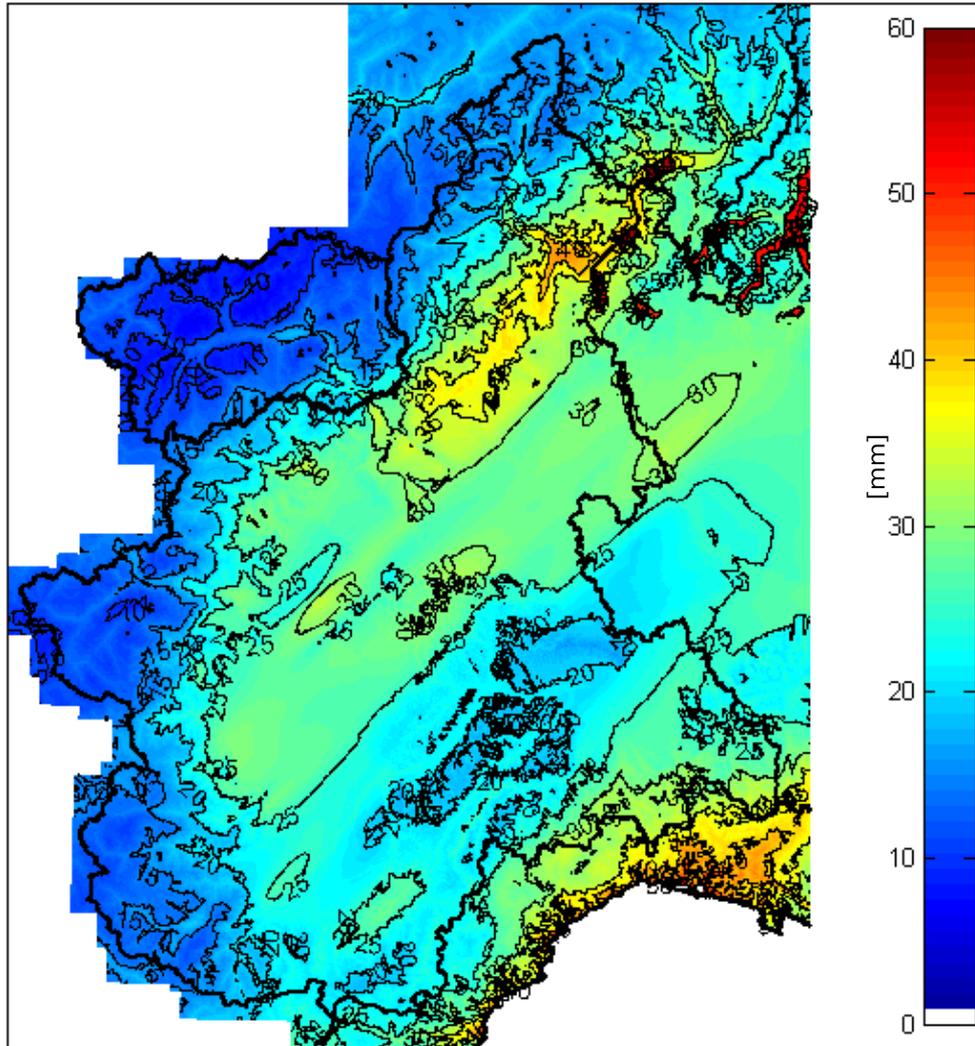


Figura 17: mappa del parametro pluviale orario a riferito alla quota reale

## 2.2. Esponente di invarianza di scala $n$

Poiché nell'applicazione di una tecnica geostatica la possibilità di disporre di un elevato numero di dati iniziali ben distribuiti influenza notevolmente la qualità del risultato finale, per quanto riguarda la stima del parametro di invarianza di scala  $n$  è stato deciso di procedere secondo un approccio differente rispetto a quello tradizionalmente utilizzato e descritto al paragrafo 1.2.1.

L'esponente di invarianza di scala rappresenta il coefficiente angolare della retta ottenuta interpolando i cinque punti corrispondenti alle altezze di pioggia relative alle varie durate. In prima approssimazione è comunque possibile

determinare tale parametro utilizzando solo due punti, ovvero l'altezza di pioggia corrispondente ad un evento meteorico di una e 24 ore.

Applicando la formula monomia (1.1) alla durata di 24 ore si ottiene:

$$h_{24} = a \cdot 24^n \quad (2.5)$$

$$\frac{h_{24}}{a} = 24^n \quad (2.6)$$

Applicando la trasformazione logaritmica:

$$\ln\left(\frac{h_{24}}{a}\right) = n \cdot \ln(24) \quad (2.7)$$

Da cui risulta che il parametro  $n$  è pari a:

$$n = \frac{\ln(h_{24}) - \ln(a)}{\ln(24)} \quad (2.8)$$

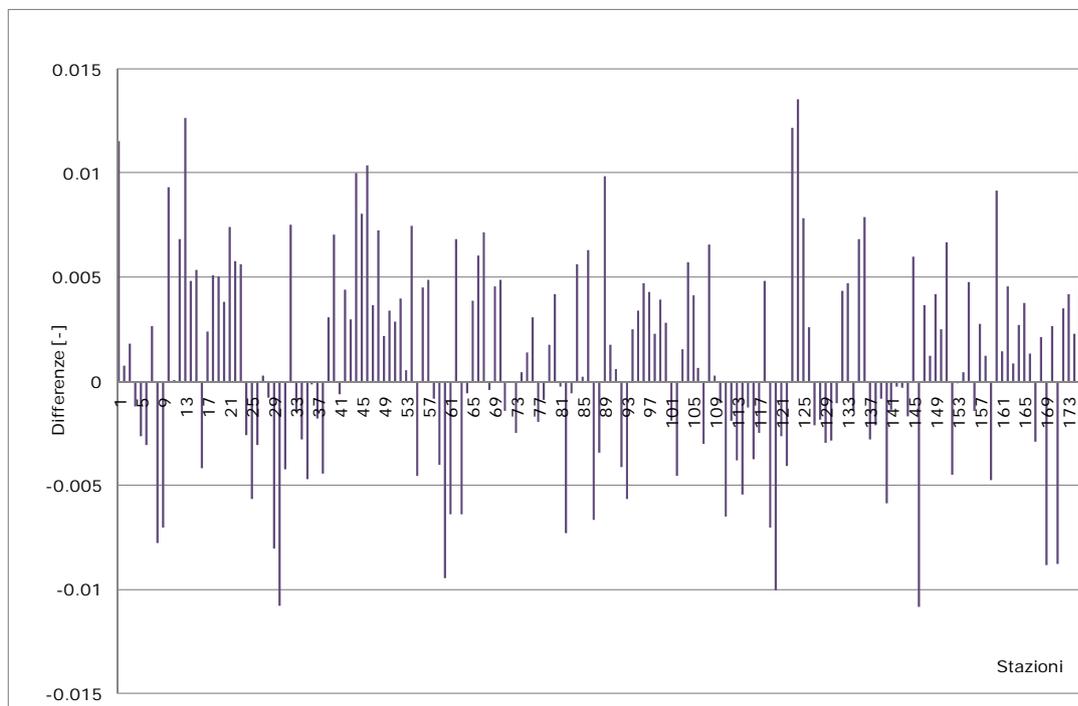


Figura 18: Differenza tra il parametro  $n$  calcolato attraverso l'interpolazione tra 5 e 24 punti per ogni stazione considerata (Allegato II)

Appare evidente che tale procedura può portare ad una certa imprecisione nella stima dell'esponente di invarianza di scala (*Figura 18*), in quanto l'interpolazione lineare tra due punti non solo è sempre possibile ma è anche sempre esatta e non associabile a misure di dispersione del campione.

Poiché la precipitazione giornaliera viene misurata dalla rete pluviometrica, assai più densa di quella pluviografica, sostituendo la massima precipitazione registrata nelle 24 ore con la massima precipitazione giornaliera ed utilizzando i valori del coefficiente pluviale orario ottenuti dal kriging, è possibile usufruire di un campione del parametro  $n$  di dimensione maggiore.

Tuttavia, come è noto, le letture della massima precipitazione giornaliera e per 24 ore consecutive sono due valori distinti: la prima infatti viene determinata per un periodo di tempo prefissato, che va dalle nove del mattino precedente fino alle 9 del mattino successivo, giorno a cui viene attribuita la lettura, mentre la seconda corrisponde al massimo annuale di precipitazione registrato in 24 ore consecutive con inizio in un istante qualsiasi.

Per questa ragione è necessario determinare un coefficiente di trasformazione tra le due variabili: identificate le stazioni per le quali esistono entrambe le misurazioni, il fattore di trasformazione si ottiene come media del rapporto tra precipitazione massima giornaliera e di 24 ore.

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_{1d}}{h_{24h}} \quad (2.9)$$

Nel caso in esame:

$$k = 0.8961$$

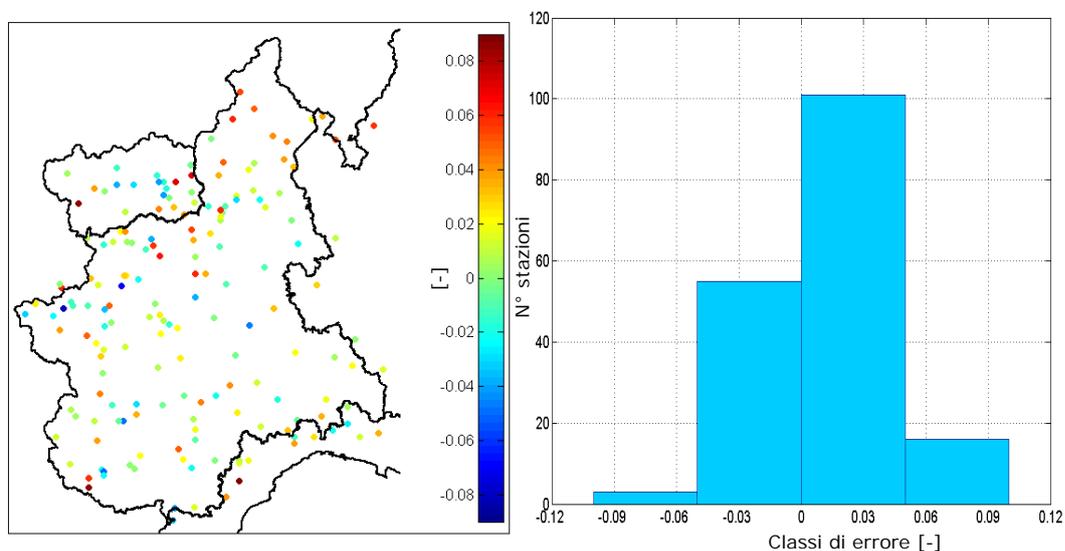
$$\sigma^2(k) = 0.0294$$

Le serie storiche di massima precipitazione giornaliera sono state dunque convertite in valori di precipitazione relativi a 24 ore consecutive:

$$h_{24} = \frac{1}{k} \cdot h_{1d} \quad (2.10)$$

Le storie storiche così ottenute sono state regionalizzate attraverso il kriging ordinario, e per mezzo della (2.8) è stato calcolato il valore dell'esponente di invarianza di scala.

Per valutare l'affidabilità della procedura, i valori del parametro  $n$  ottenuti sono stati confrontati con quelli determinati secondo il metodo standard precedentemente descritto.



*Figura 19: differenza tra i valori di  $n$  stimati a partire dalle serie storiche delle stazioni pluviografiche e pluviometriche*

L'errore commesso nella stima del parametro  $n$  è considerevole, compreso nell'intervallo  $(-0.1 \div 0.1)$ .

Tale errore può essere attribuito alla procedura di interpolazione modificata che considera solo due valori di durata; tuttavia, osservando il confronto tra l'esponente di invarianza di scala determinato per interpolazione tra cinque e due punti (*Figura 18*) risulta evidente che l'errore commesso è in questo caso decisamente minore a quanto riscontrato introducendo la precipitazione giornaliera.

Esiste infatti un'altra fonte di errore da considerarsi, ovvero la variabilità spaziale del coefficiente di trasformazione  $k$ . Tale parametro è stato mantenuto costante per l'intero dominio di studio, ma presenta in realtà disomogeneità marcate. Nella *Figura 20* infatti, dove è rappresentata la variabilità spaziale del coefficiente  $k$  attraverso il metodo delle distanze quadratiche inverse pesate, si osserva chiaramente l'esistenza di sub-regioni caratterizzate da una certa persistenza di coefficienti maggiori o minori del valore medio (aree in blu-azzurro e giallo-rosso).

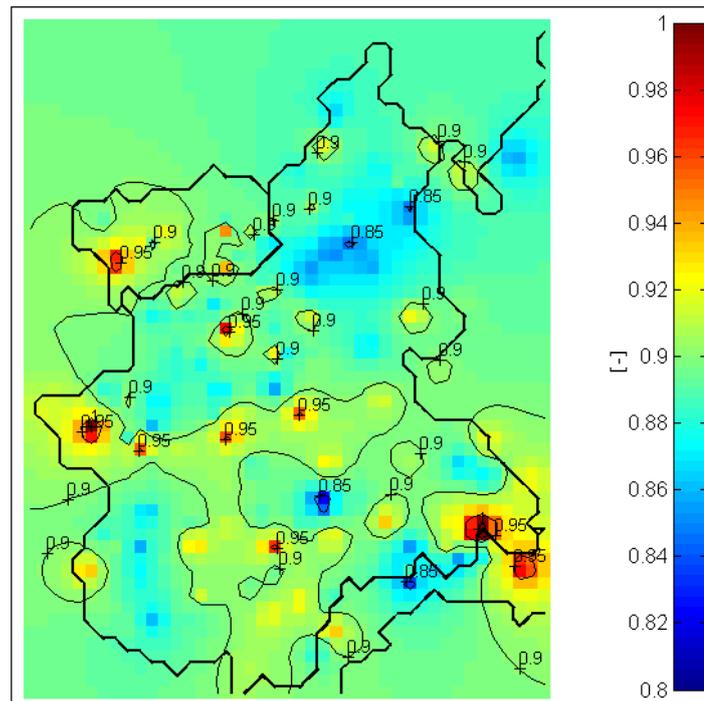


Figura 20: variazione spaziale del coefficiente di trasformazione  $k$

Si osservi inoltre come la valutazione della propagazione dell'errore risulti molto complessa; essa infatti dipende sia dall'incertezza di stima sul parametro  $n$  e sul coefficiente  $k$ , che dagli errori commessi nella spazializzazione del coefficiente pluviale orario e della massima precipitazione giornaliera.

A fronte delle osservazioni presentate si è ritenuto opportuno procedere utilizzando come campione iniziale i valori dell'esponente di invarianza di scala ottenuto dall'applicazione della procedura standard di stima (paragrafo 1.2.1).

Anche per il parametro  $n$  è possibile identificare un comportamento anisotropo, orientato in direzione  $45^\circ$  rispetto alla retta azimutale, anche se meno marcato rispetto al caso del coefficiente pluviale orario. Infatti, anche se dalla mappa del variogramma (Figura 22) si può osservare una nuvola di punti caratterizzata da bassa varianza, i variogrammi direzionali (Figura 21) non si discostano molto l'uno dall'altro.

Effettuando il kriging sia nell'ipotesi di comportamento isotropo che anisotropo, si è osservato un minor errore complessivo sulla stima, motivo per cui non è stata assegnata una direzione preferenziale di correlazione spaziale.

Il modello di variogramma sperimentale applicato è di tipo circolare, con un errore associato espresso in termini di RMSE pari a 0.044.

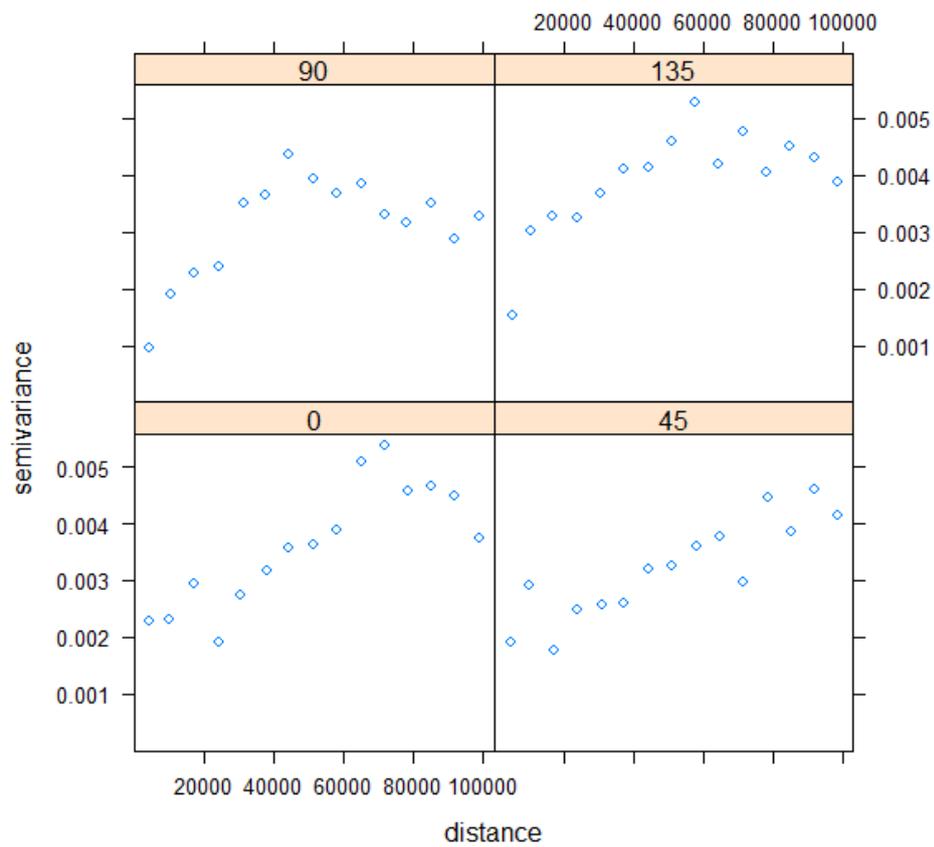


Figura 21: variogrammi campionari calcolati rispetto alle direzioni  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$

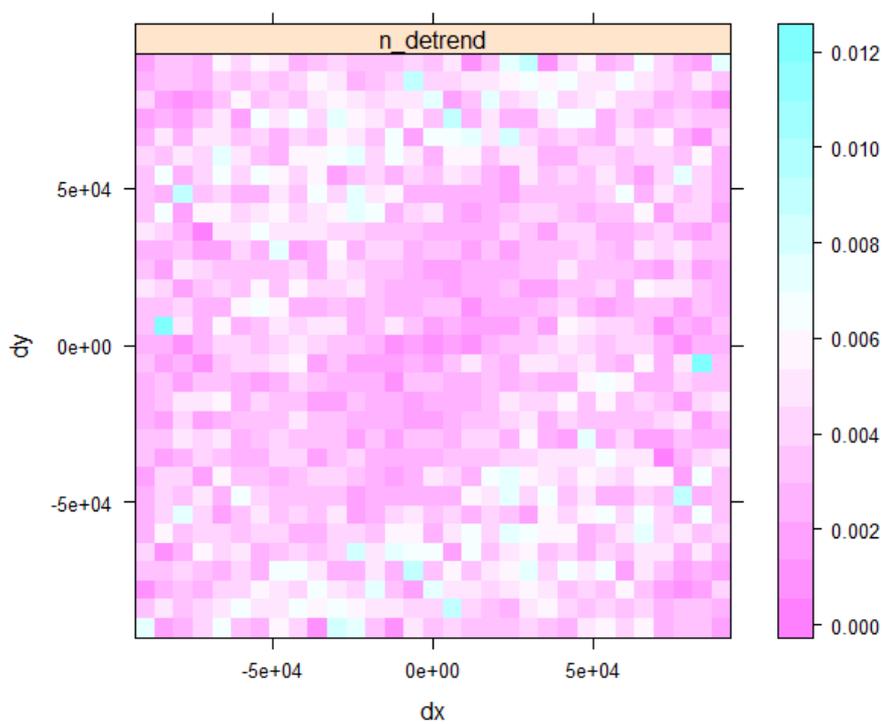


Figura 22: mappa del variogramma

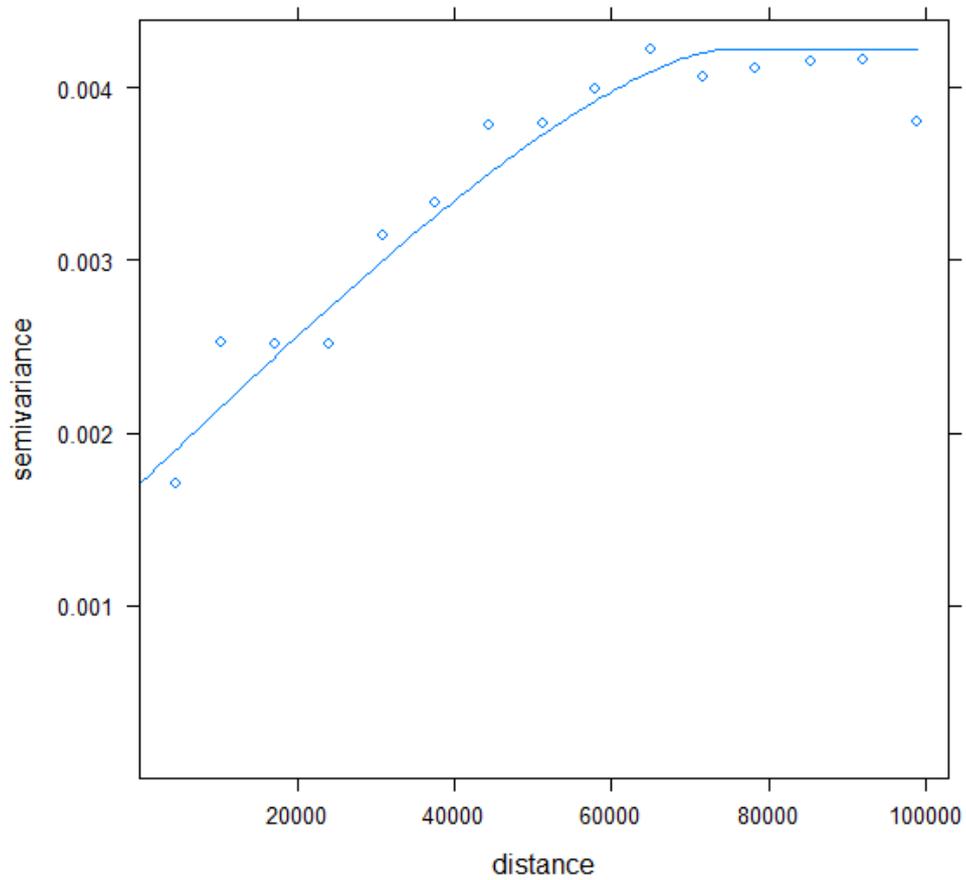


Figura 23: applicazione del modello circolare al variogramma campionario

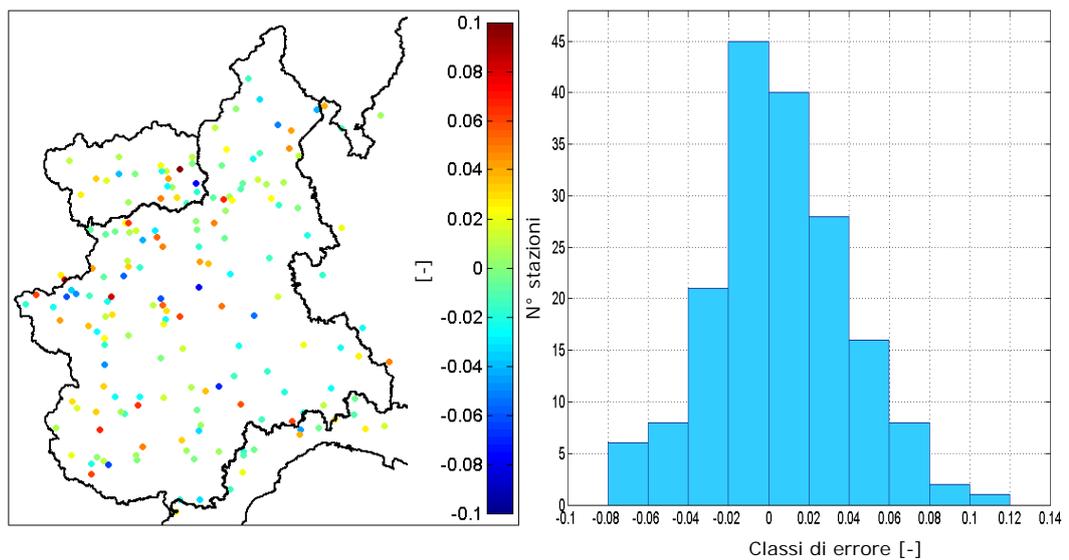


Figura 24: differenza tra valore stimato ed osservato in corrispondenza delle stazioni pluviografiche

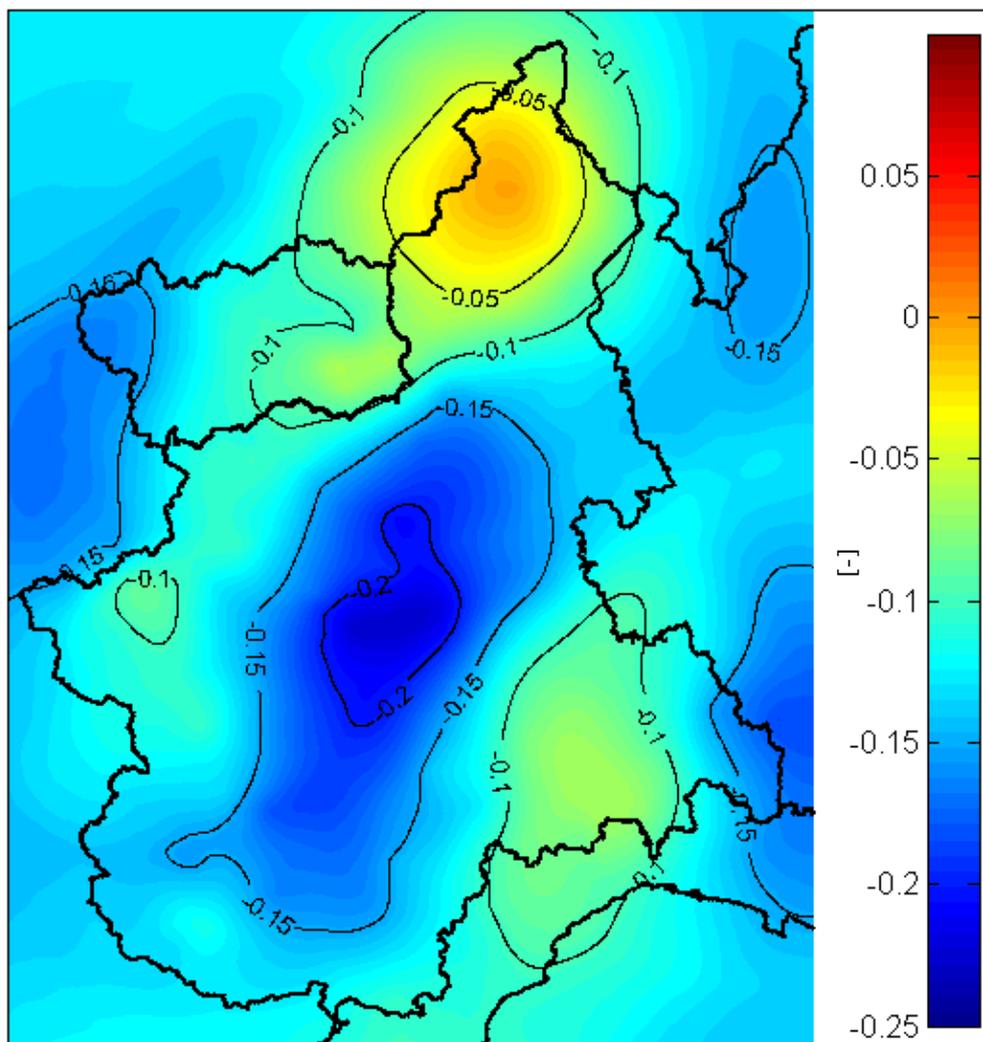


Figura 25: mappa dell'esponente di invarianza di scala  $n$  riferito alla quota unitaria

Si osservi come, pur avendo utilizzato come input iniziale l'insieme dei valori del parametro  $n$  determinati secondo il metodo più robusto, la differenza tra il dato osservato e la variabile stimata si mantiene abbastanza significativa (Figura 24). Questo fatto può essere in parte imputato all'elevato valore che l'esponente  $n$  assume per le regioni caratterizzate da una quota elevata, in quanto la limitata presenza di stazioni meteorologiche potrebbe avere un effetto sul trend precedentemente calcolato (paragrafo 1.2.1).

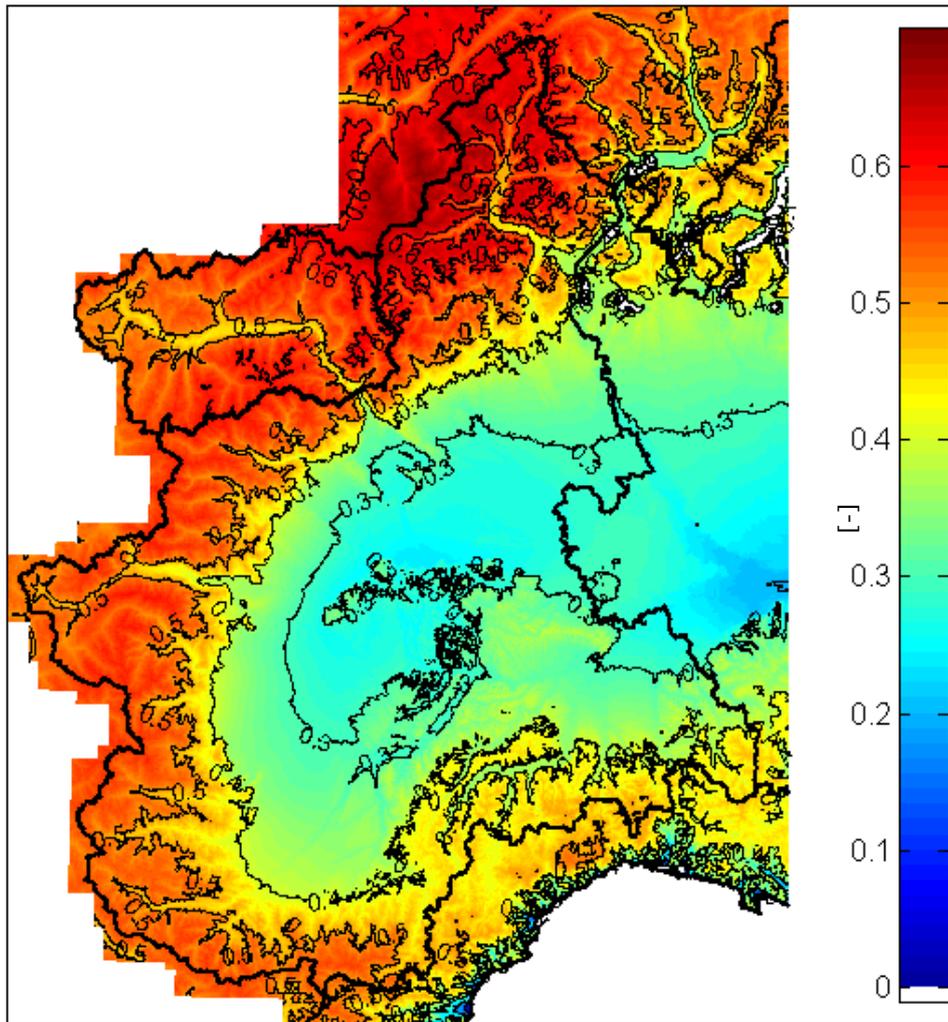


Figura 26: mappa dell'esponente di invarianza di scala  $n$  riferito alla quota reale

### 2.3. Parametro afflusso medio annuo

Dall'osservazione dei grafici in *Figura 27* e *Figura 28* si percepisce chiaramente l'esistenza di una direzione di anisotropia; tuttavia, mentre la mappa del variogramma indica la direzione orientata a  $45^\circ$  rispetto al nord, il variogramma che presenta il maggiore range ed il massimo valore di sill è orientato a  $90^\circ$  rispetto al nord. Tenendo in considerazione le analogie con i risultati riscontrati nella regionalizzazione dei precedenti valori caratteristici di precipitazione è stato deciso di considerare come direzione preferenziale quella indicata dalla mappa del variogramma.

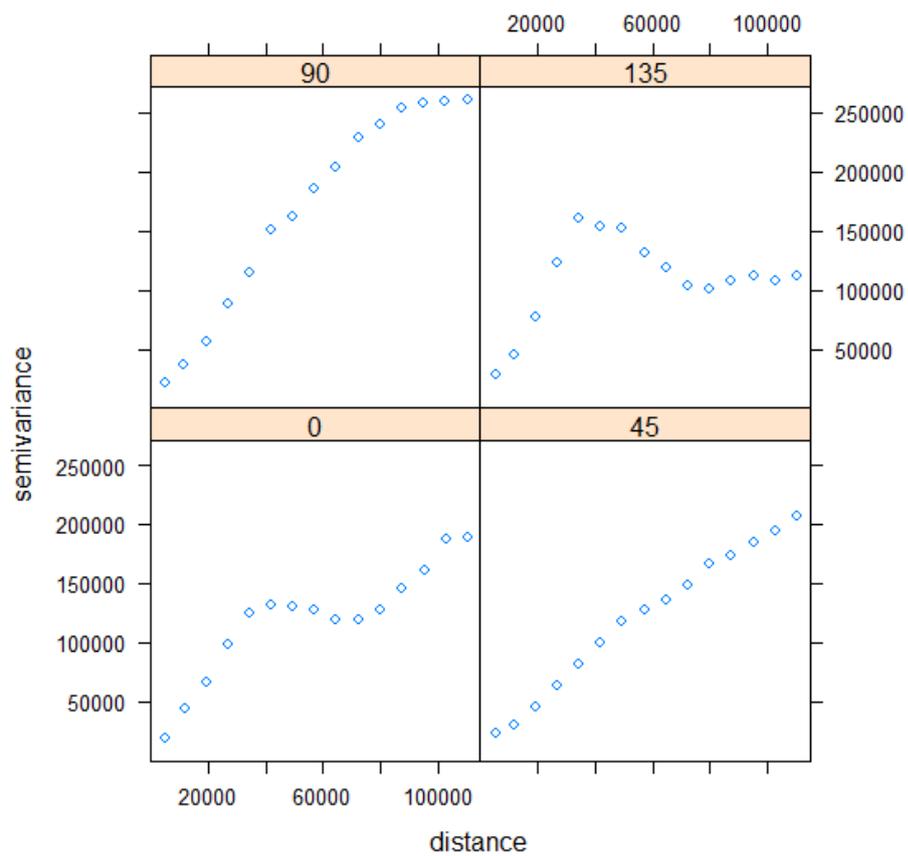


Figura 27: variogrammi campionari calcolati rispetto alle direzioni  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$

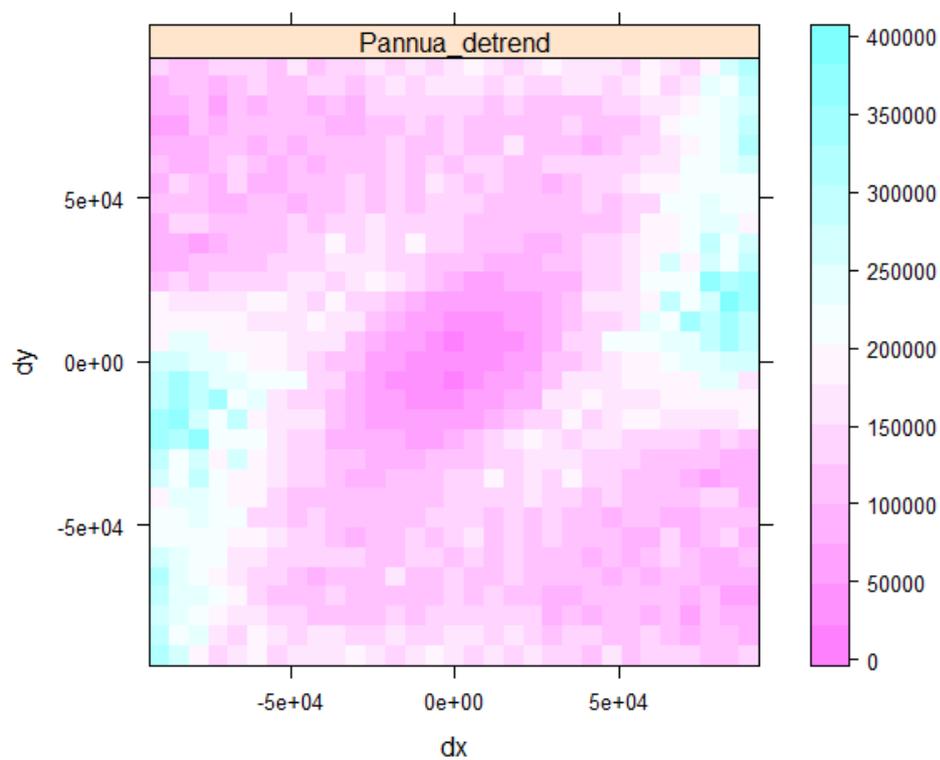


Figura 28: mappa del variogramma

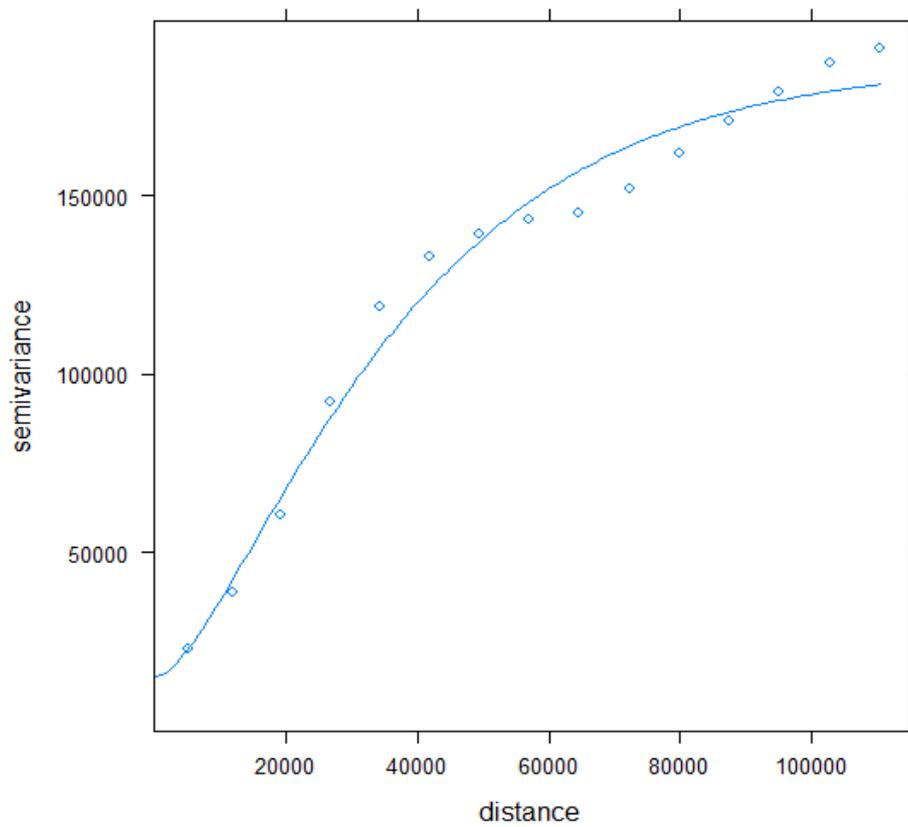


Figura 29: applicazione del modello di Bessel al variogramma campionario

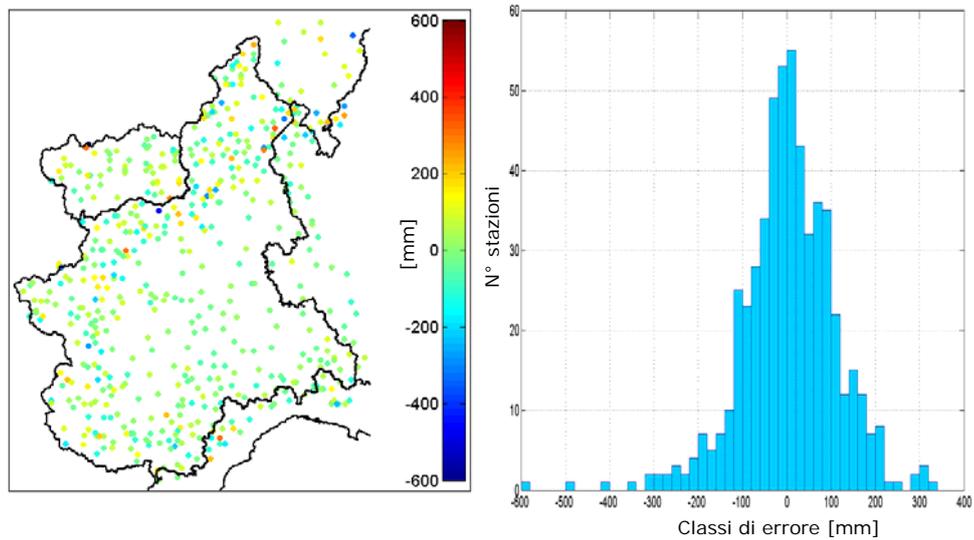


Figura 30: differenza tra valore stimato ed osservato in corrispondenza delle stazioni pluviografiche

Per la modellazione del semivariogramma campionario è stato applicato il modello di Bessel, con un errore di stima descritto in termini di RMSE pari a 160.12 mm.

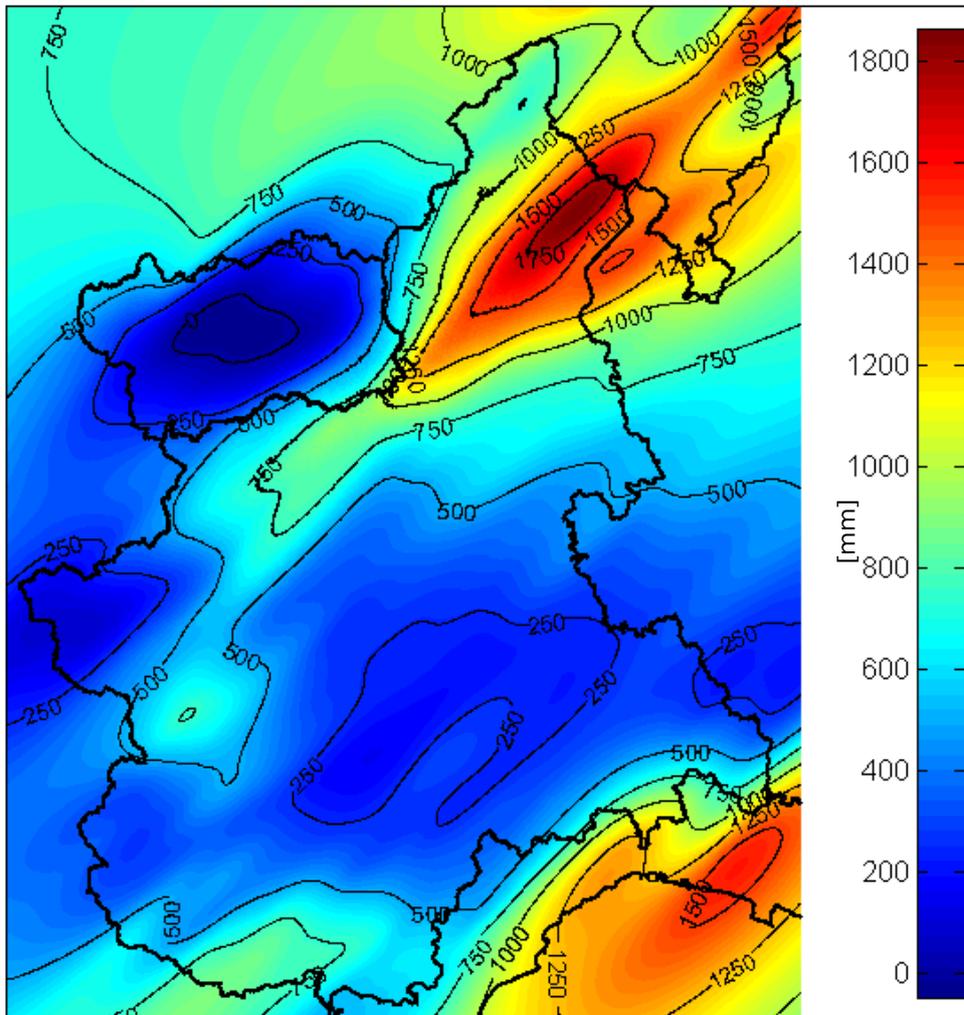


Figura 31: mappa dell'afflusso medio annuo riferito a quota unitaria

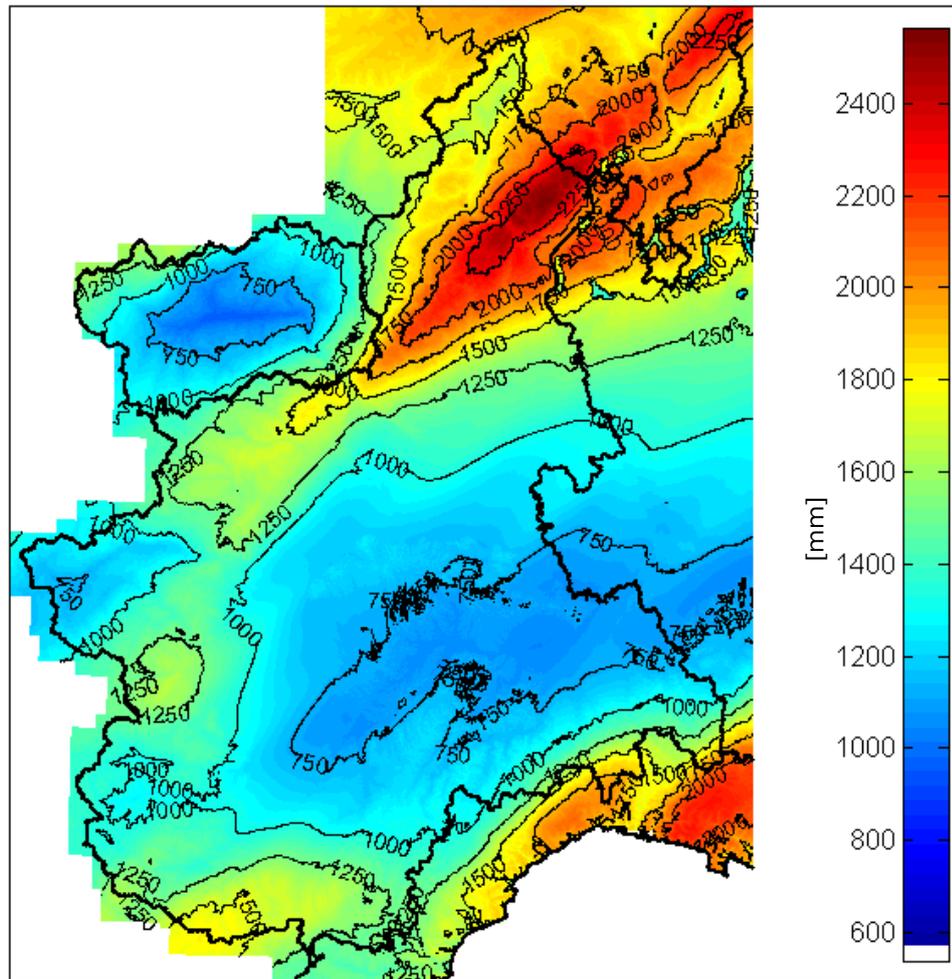


Figura 32: mappa dell'afflusso medio annuo riferito alla quota reale

## Analisi dei risultati

Per validare la procedura di regionalizzazione applicata in questo studio si è ritenuto opportuno confrontare i risultati ottenuti con quelli presentati in ricerche affini, come il progetto VAPI ed il progetto PAI. Tuttavia il confronto non è stato possibile per quanto riguarda l'afflusso medio annuo, in quanto non sono stati rintracciati studi simili in letteratura.

### 1.1. VAPI Piemonte

Il progetto VAPI Piemonte nasce, dapprima in modo informale e in seguito attraverso una convenzione tra la Regione Piemonte ed il Cugri (Consorzio Universitario per la previsione e la prevenzione dei grandi rischi), a seguito di alcune alluvioni del fiume Tanaro, con lo scopo di caratterizzare il rischio idrogeologico nel territorio regionale.

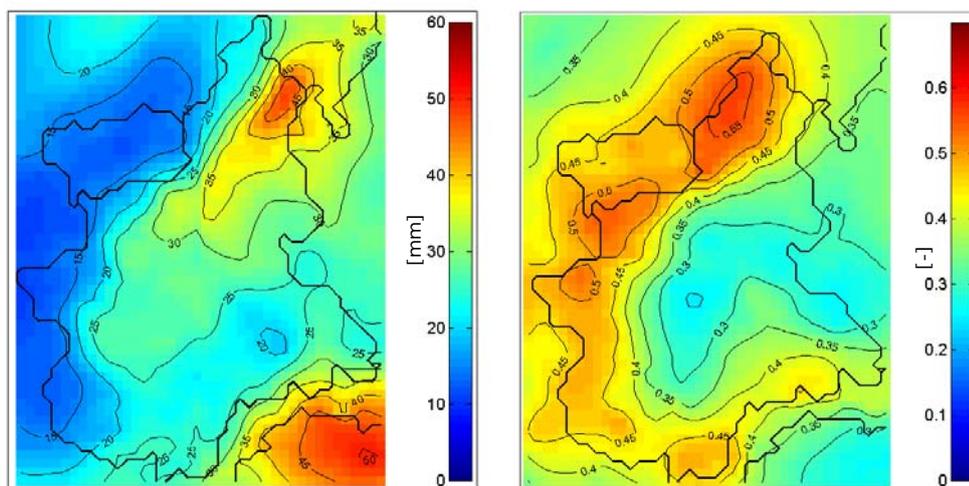


Figura 33: mappe dei parametri  $a$  (destra) ed  $n$  (sinistra) come desunti dal progetto VAPI Piemonte

I risultati della regionalizzazione dei parametri della curva di probabilità pluviometrica appartengono ad una griglia quadrata di lato pari a 5 km proiettata secondo il sistema di riferimento Gauss Boaga.

Per permettere il confronto con i valori determinati nel presente studio è stato necessario ricampionarli, in modo da ottenere una griglia con le stesse dimensioni. Le mappe VAPI sono invece state riproiettate in coordinate UTM ED50.

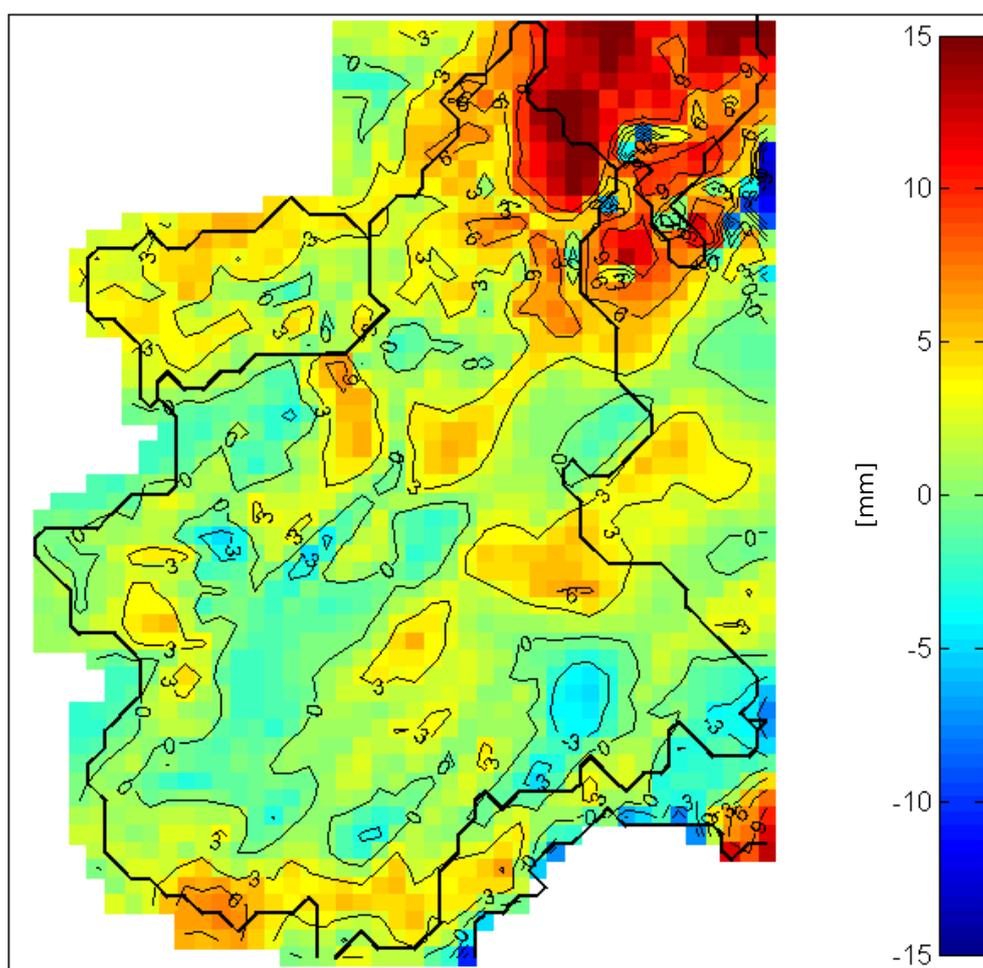
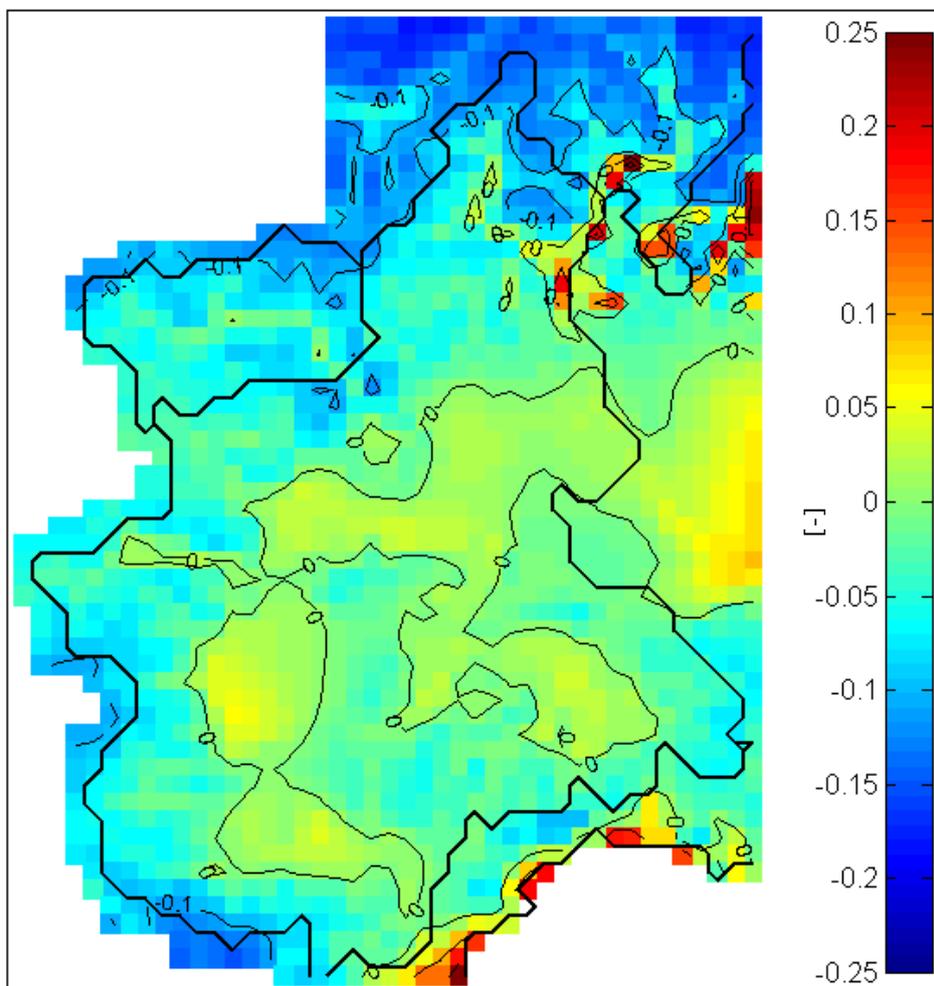


Figura 34: mappe delle differenze tra i valori stimati nel VAPI Piemonte e nel presente studio per il coefficiente pluviale orario.

Per quanto riguarda il coefficiente pluviale orario  $a$  le differenze restano approssimativamente contenute nell'intervallo  $(-5 \div 9)$ . Differenze maggiori si riscontrano in modo particolare per l'estremità settentrionale del Piemonte, dove, nonostante gli elevati valori di  $a$  determinati (confronta Figura 17), sembra che il modello qui presentato dia luogo ad una leggera sottostima. Si consideri comunque che in quest'area non si dispone di un numero sufficiente di stazioni pluviografiche, pressoché assenti.

Anche per quanto riguarda l'esponente di invarianza di scala  $n$ , le differenze si mantengono abbastanza contenute, comprese nell'intervallo  $(-1 \div 1)$ , fatta eccezione per la linea della costa ligure, la regione dei laghi alpini ed il versante alpino appartenente alla Svizzera.



*Figura 35: mappe delle differenze tra i valori stimati nel VAPI Piemonte e nel presente studio per l'esponente di invarianza di scala*

## 1.2. PAI

Dalla Direttiva 2 del Piano di stralcio per l'assetto idrologico (PAI), promosso dall'Autorità di bacino del fiume Po, è possibile reperire i parametri della curva di probabilità pluviometrica, determinati attraverso l'applicazione del modello probabilistico di Gumbel per 229 stazioni appartenenti al bacino con riferimento a tempi di ritorno pari rispettivamente a 20, 100, 200 e 500 anni, e successivamente interpolati su una griglia quadrata di lato pari a 2 km.

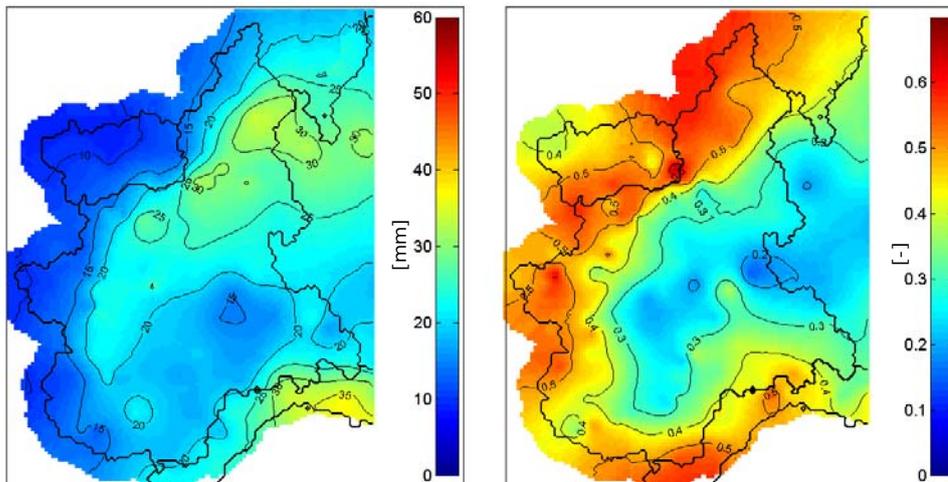


Figura 36: mappe dei parametri  $a$  (destra) ed  $n$  (sinistra) come desunti dal progetto PAI, relativi alla regione di studio

Poiché nel presente studio i parametri della curva di probabilità pluviometrica non sono stati associati al tempo di ritorno, allo scopo di permettere il confronto è stato necessario rielaborare i dati PAI.

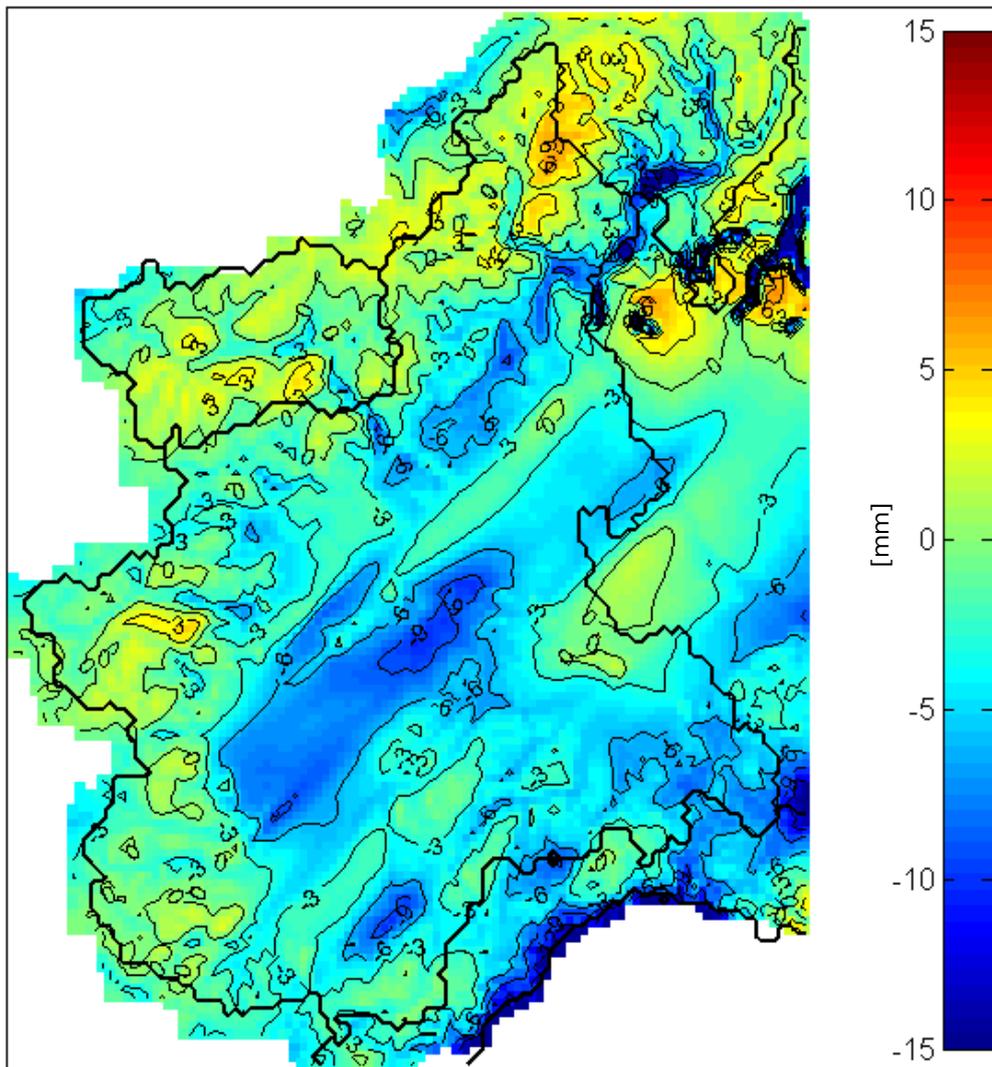
Noti i parametri puntuali della legge di Gumbel  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  desunti dalle stime delle precipitazioni intense (Magro, 2007), è possibile ricondursi al valore medio del coefficiente pluviale orario e dell'esponente di invarianza di scala (Figura 36) attraverso le relazioni:

$$\sigma = \frac{\pi}{\alpha \cdot \sqrt{6}} \quad (2.9)$$

$$\mu = \varepsilon + 0.456 \cdot \sigma \quad (2.10)$$

Il confronto effettuato permette di concludere che i risultati del PAI sono caratterizzati da una leggera sottostima del coefficiente pluviale orario (Figura 37), in modo particolare per le aree del Piemonte centrale.

Altre differenze significative si possono osservare per la punta settentrionale del Piemonte, dove il PAI non identifica, a differenza del VAPI e del presente studio, una zona caratterizzata da elevati valori del parametro  $a$ .



*Figura 37: mappe delle differenze tra i valori stimati nel PAI e nel presente studio per il coefficiente pluviale orario.*

Per quanto riguarda il parametro  $n$  le differenze appaiono nuovamente leggermente maggiori rispetto al confronto precedentemente effettuato con i valori presentati nel progetto VAPI. Anche se le aree caratterizzate da elevata diversità si mantengono pressoché le stesse (linea della costa ligure e regione dei laghi alpini), la sottostima dei parametri PAI risulta abbastanza significativa.

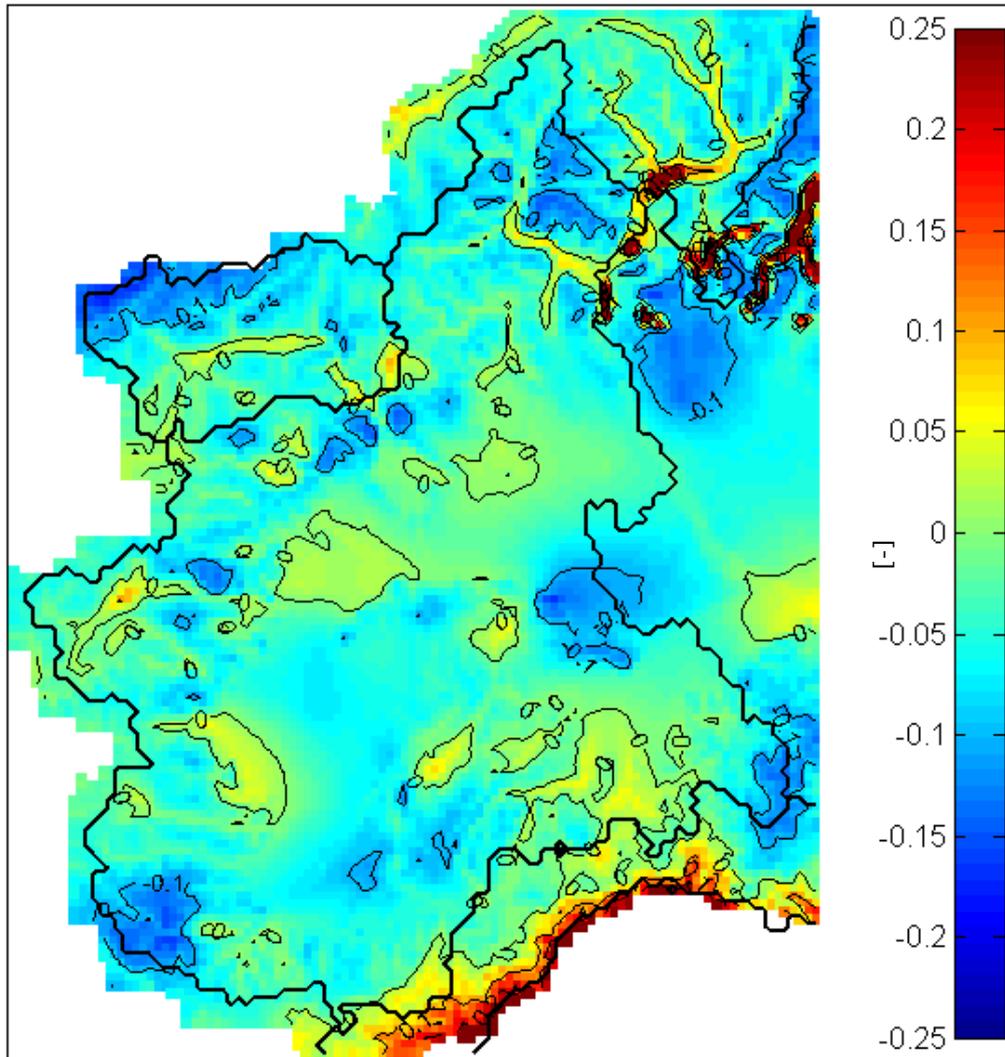


Figura 38: mappe delle differenze tra i valori stimati nel PAI e nel presente studio per l'esponente di invarianza di scala  $n$

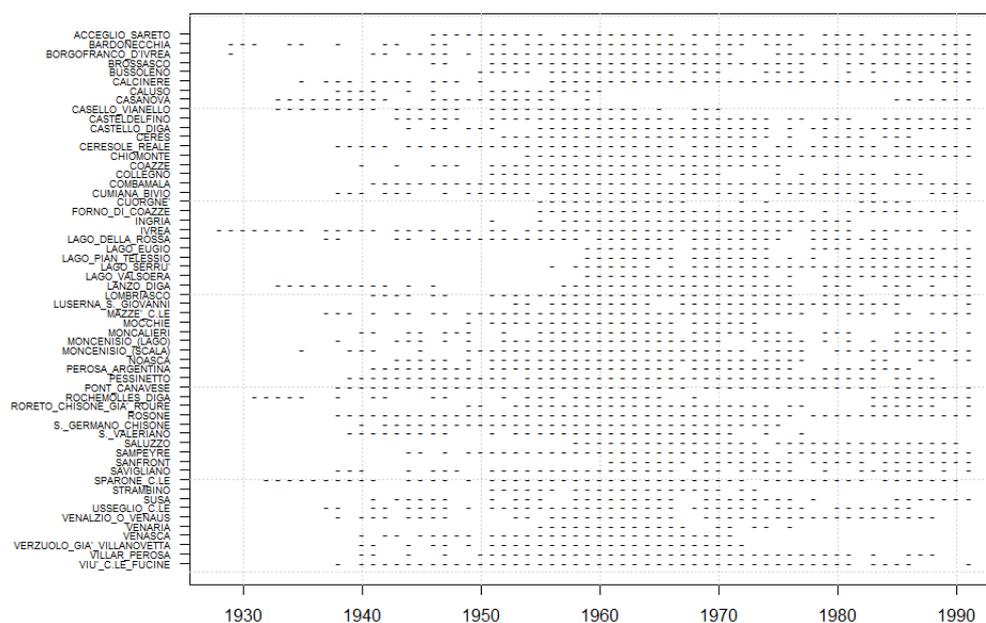
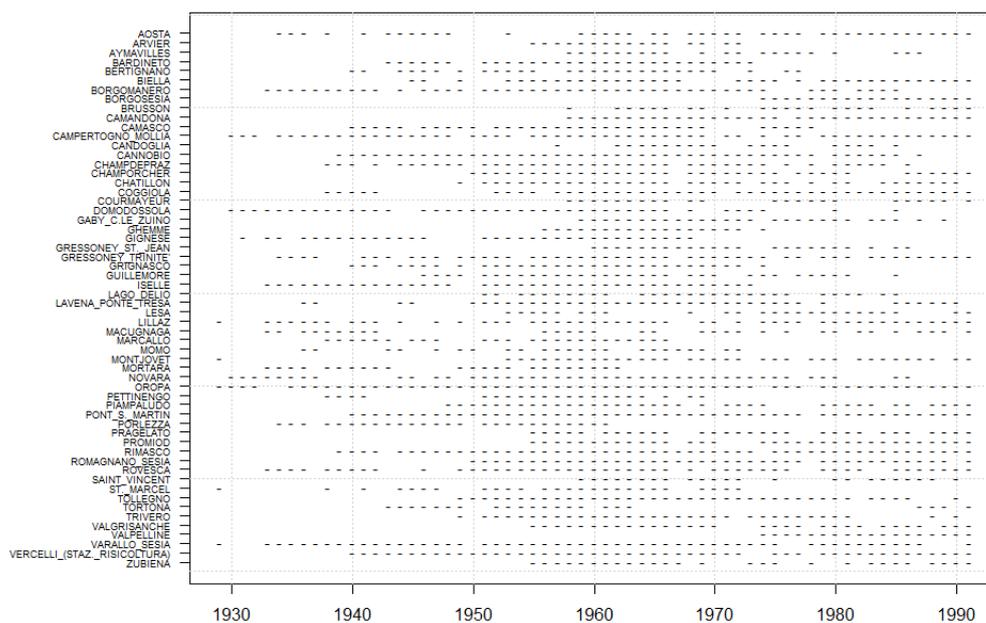
## BIBLIOGRAFIA

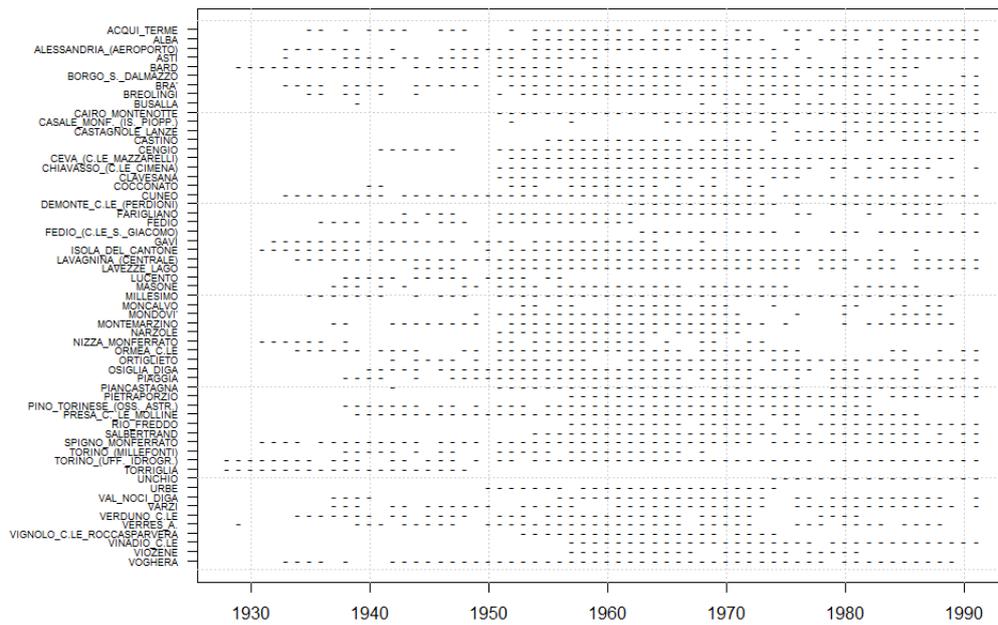
- [1] Autorità di bacino del fiume Po, 1999. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). <http://www.adbpo.it/piano/Pai2001/pai2001.htm>
- [2] Breusch T. S., Pagan A. R. 1979. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica* 47, 1287–1294
- [3] D'Agostino R., Stephens M. 1986. Goodness-of-Fit Techniques, chapter: Tests based on EDF statistics. Marcel Dekker, New York.
- [4] De Marsily G. 1986. Quantitative hydrogeology: groundwater hydrology for engineers. Chapter 11: Geostatistic and stochastic approach in hydrogeology. Academic Press.
- [5] Kitanidis P. K. 1997. Introduction to Geostatistics, Applications in hydrogeology. Cambridge University Press.
- [6] Hothorn T., Zeileis A., Millo G., Mitchell D. 2007. The lme4 package: Testing Linear Regression Model. Versione 0.9-21.
- [7] Magro P. 2007. Gestione informatizzata del rischio di nubifragio nel bacino del Po. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
- [8] Matheron G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications. Ecole de Mines, Fontainebleau, France, 212 pp.
- [9] Pebesma, E.J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.
- [10] R Development Core Team (2007). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- [11] Studi climatologici in Piemonte, precipitazione e temperature. 1987. Regione Piemonte e Università degli studi di Torino (risorsa elettronica).
- [12] Villani P. (a cura di), 2003. Rapporto sulla Valutazione delle piene in Piemonte, in Relazione delle attività del CUGRI fino al 2001, 89-118, Ed. Del Paguro, Fisciano.

## Allegato I. Consistenza delle serie di precipitazione.

### I.1 Precipitazioni estreme orarie.

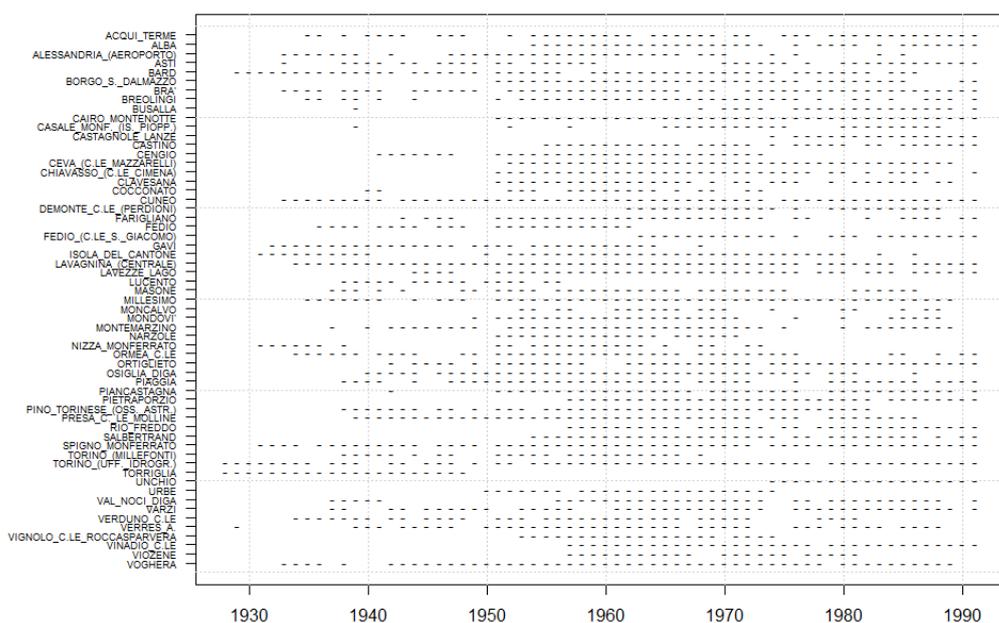
#### I.1.1 Precipitazione massima annua di durata pari a 1 ora



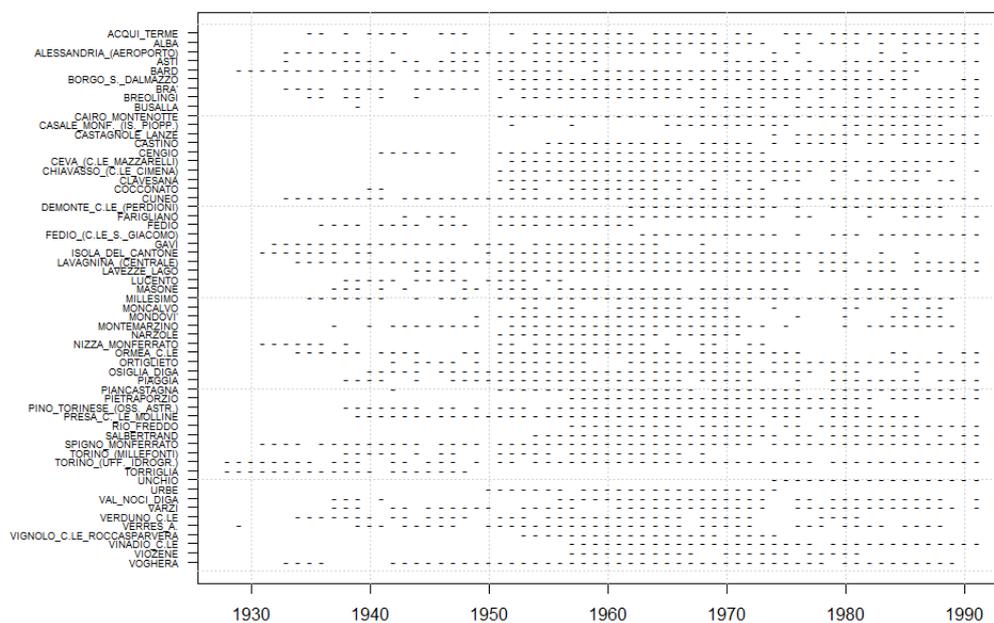


*I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 3 ore*



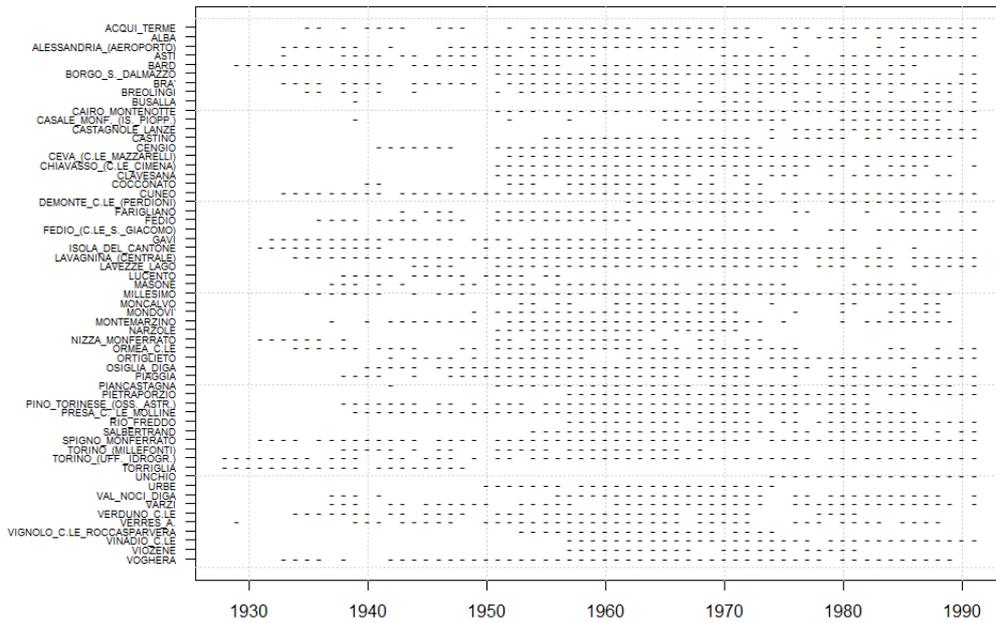




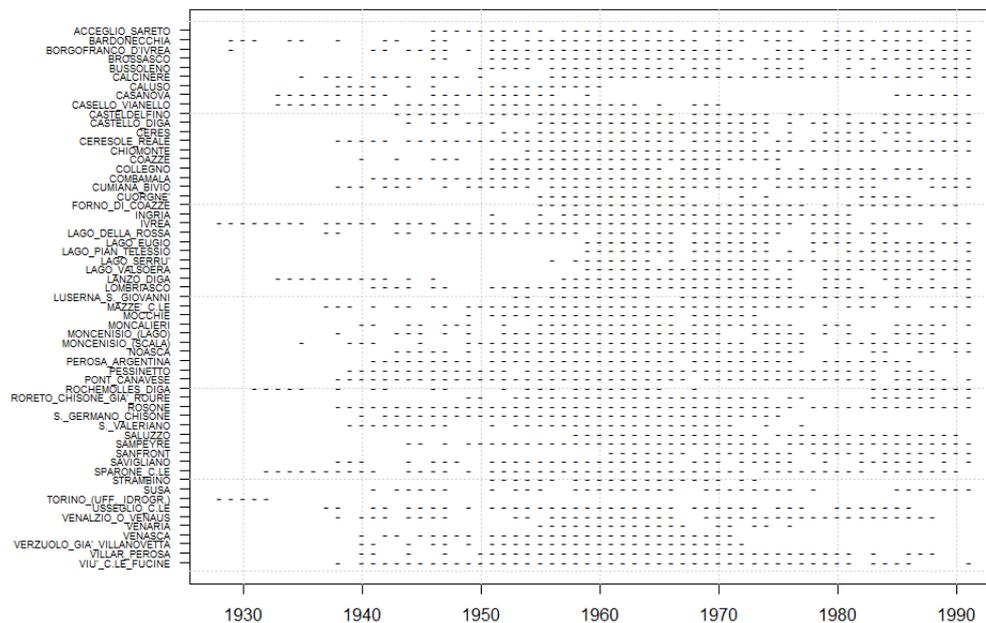
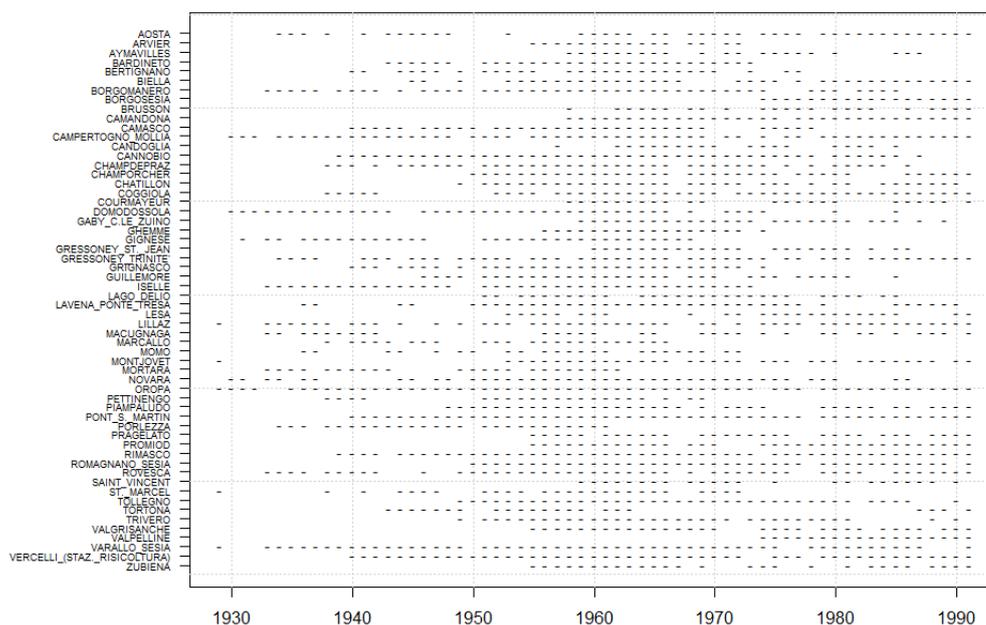


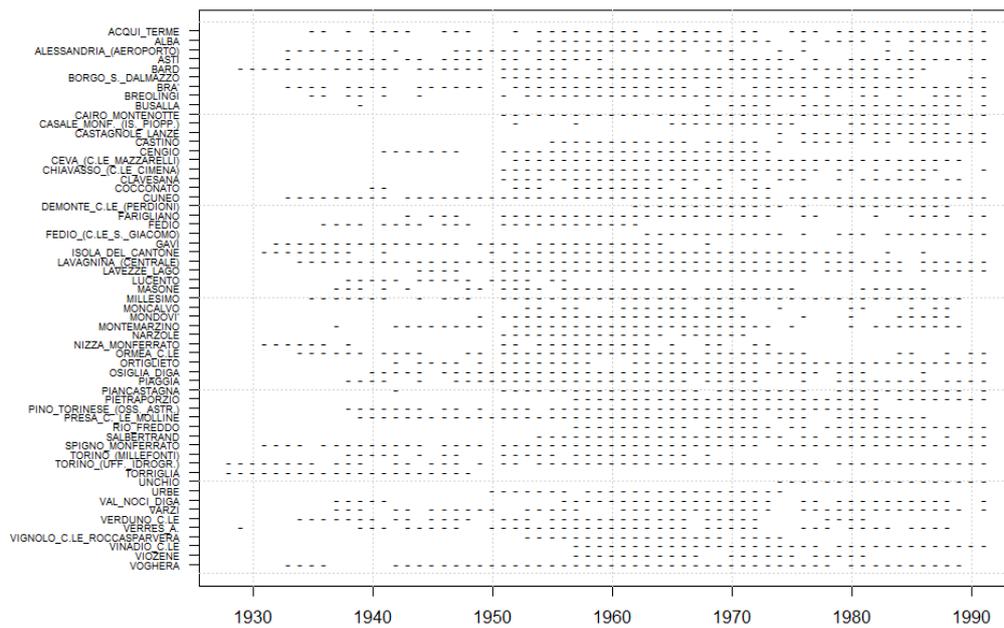
### I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 12 ore





### I.1.2 Precipitazione massima annua di durata pari a 24 ore





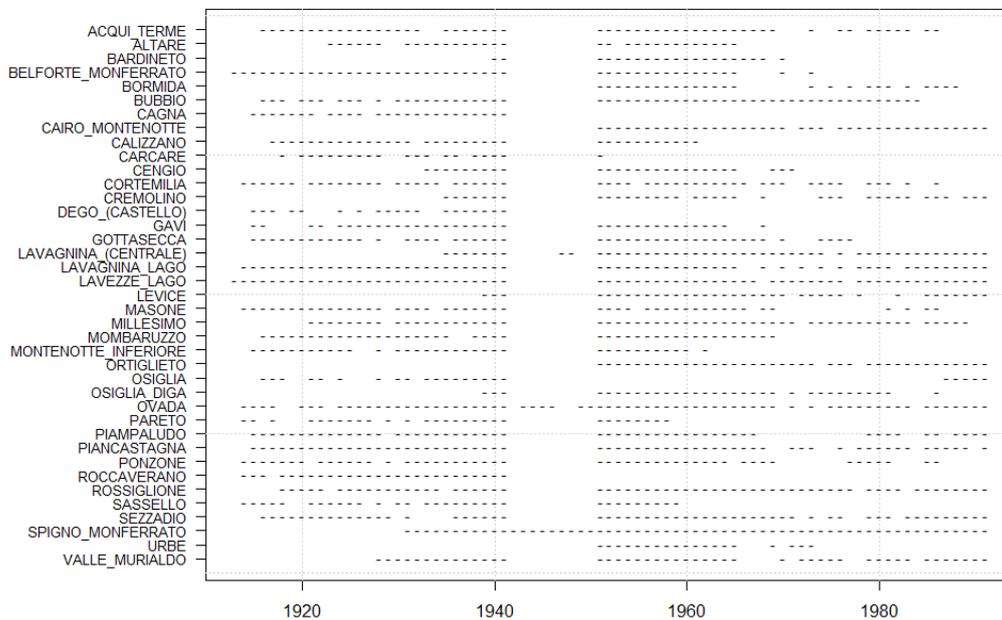
## I.2 Precipitazioni estreme giornaliere.

Le stazioni sono state raggruppate in funzione del bacino di appartenenza (*Tabella I. 1*).

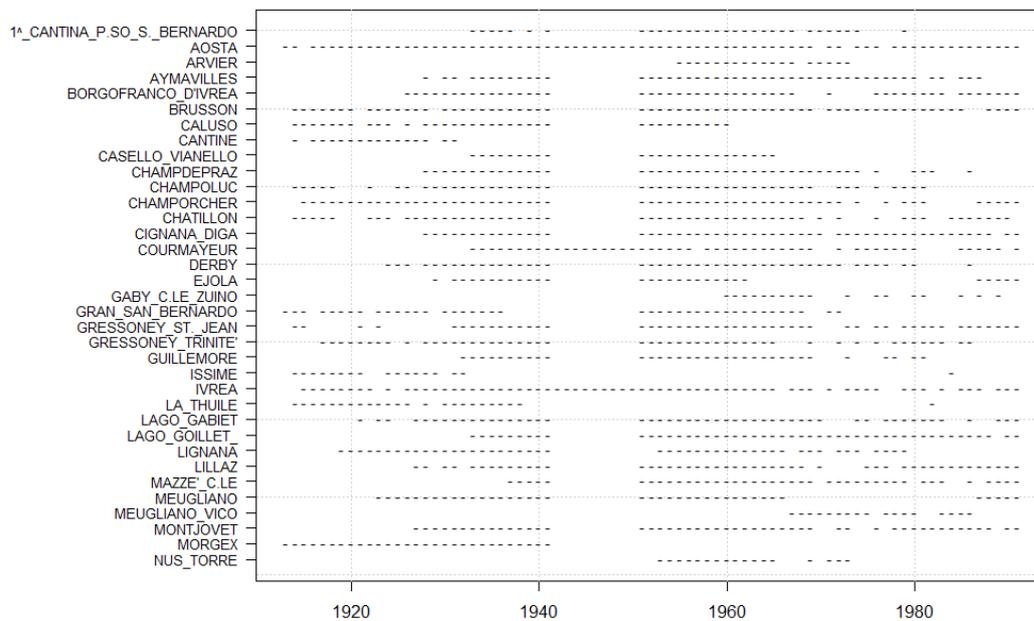
Bacino	N° di stazioni
Bormida	39
Dora Baltea	69
Dora Riparia	27
Maira	17
Orco	20
Pellice	18
Po	35
Scrvia	31
Sesia	48
Stura di Lanzo	19
Tanaro	90
Ticino	74
Toce	39
Scuropasso, Varaita, Staffora, Agogna e Curona	32
Liguria e Valle d'Aosta	105
<b>Totale</b>	<b>663</b>

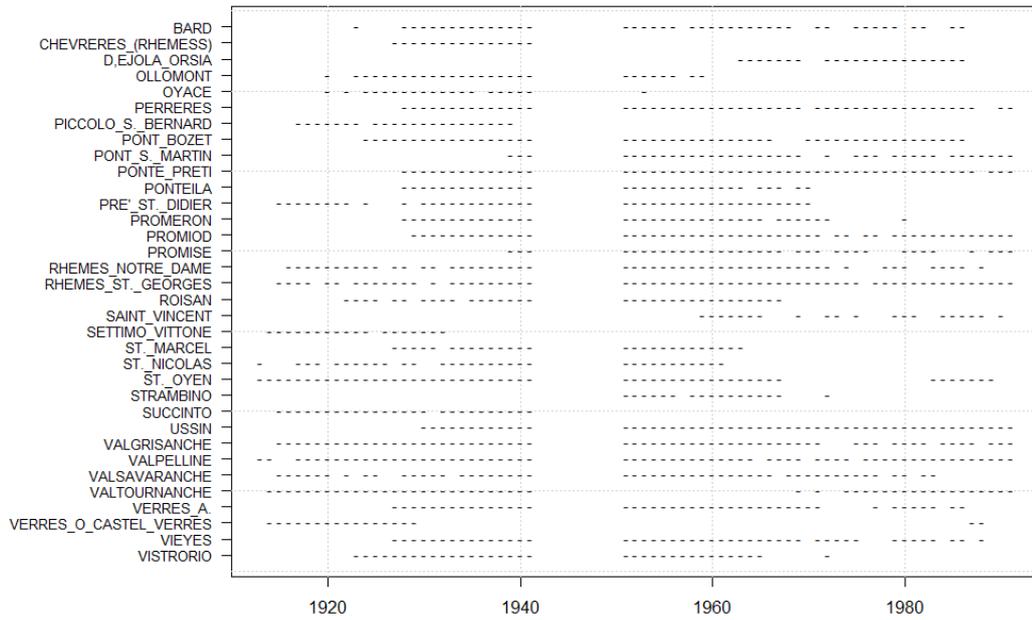
*Tabella I. 1: stazioni per la misura della massima precipitazione annua giornaliera suddivise per bacino di appartenenza*

## Bormida

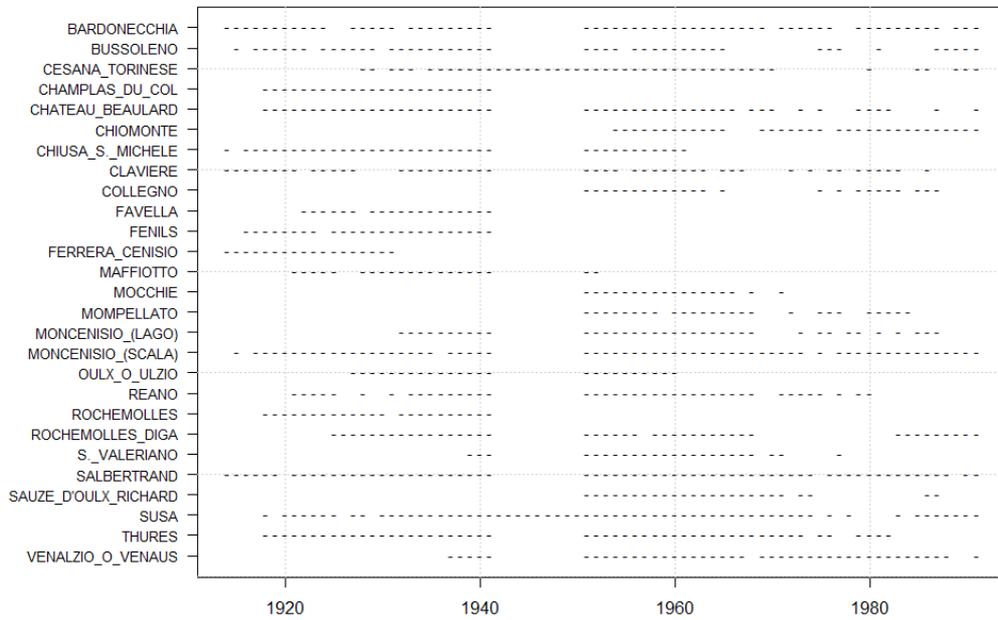


## Dora Baltea

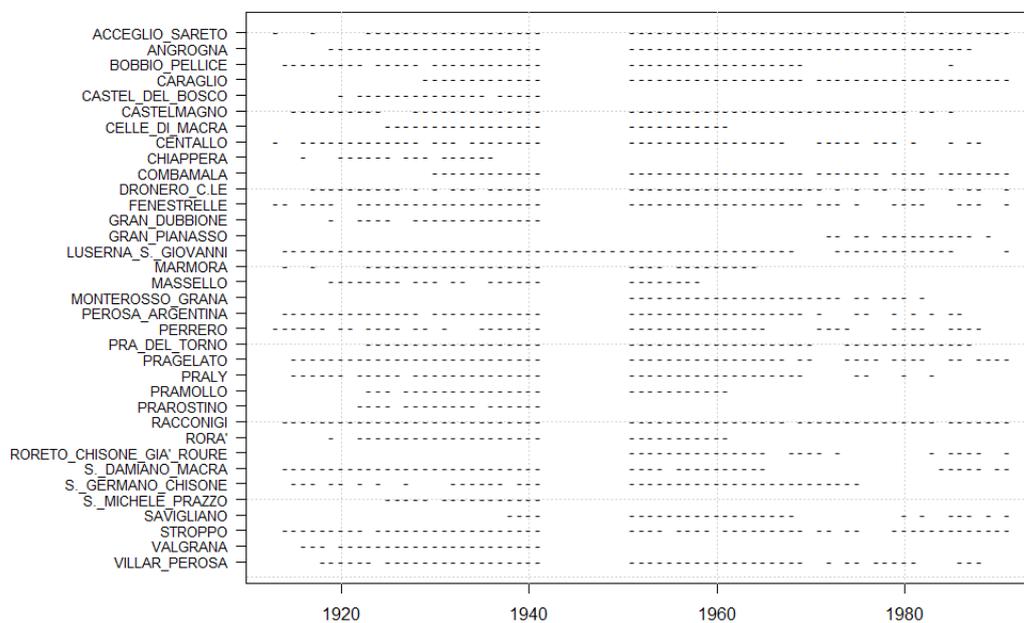




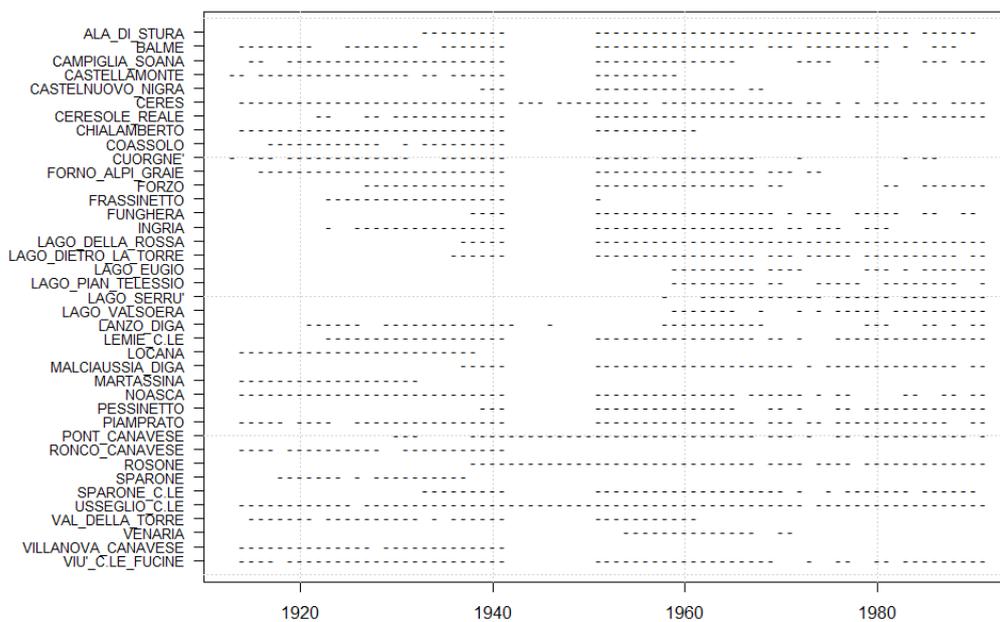
Dora Riparia



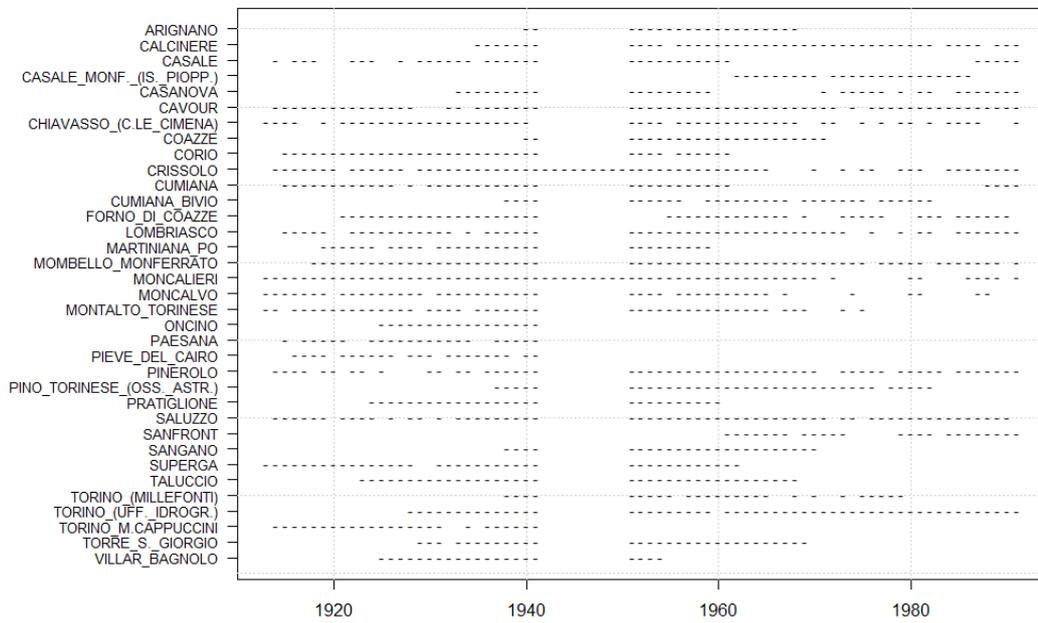
## Maira e Pellice



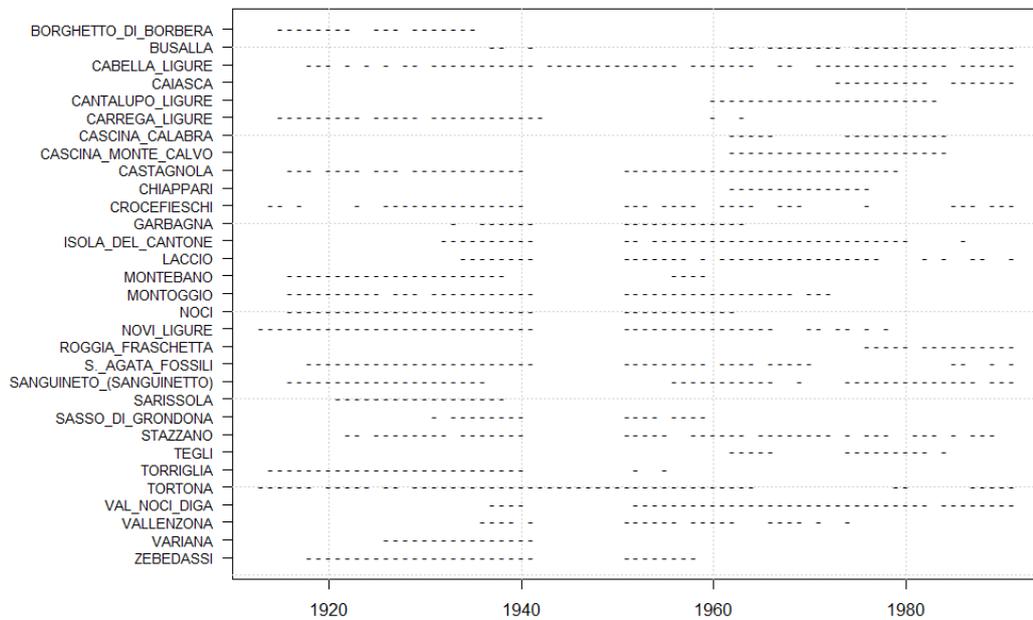
## Orco e Stura



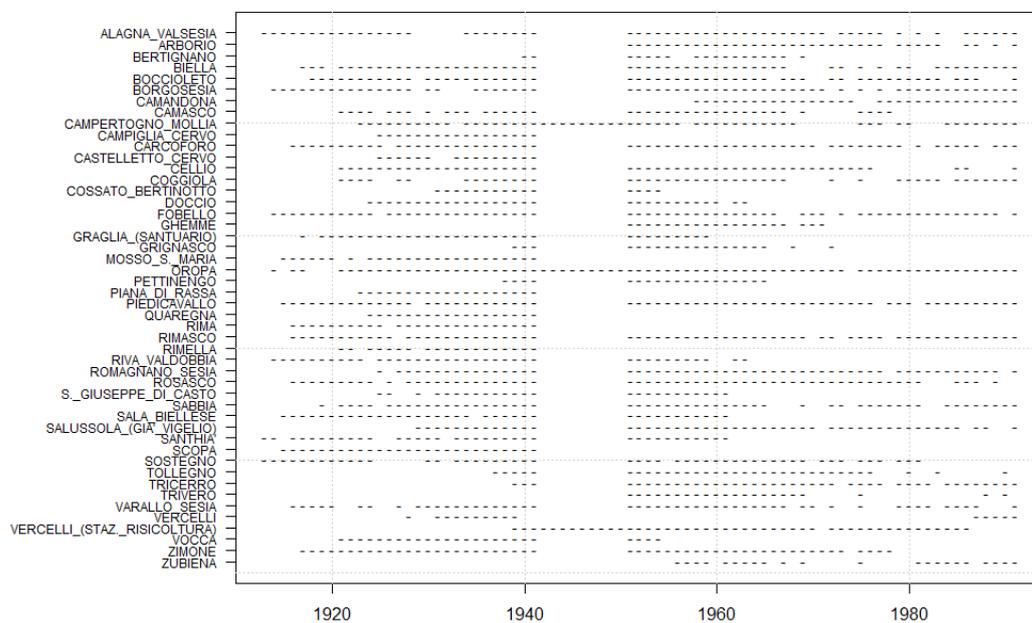
Po



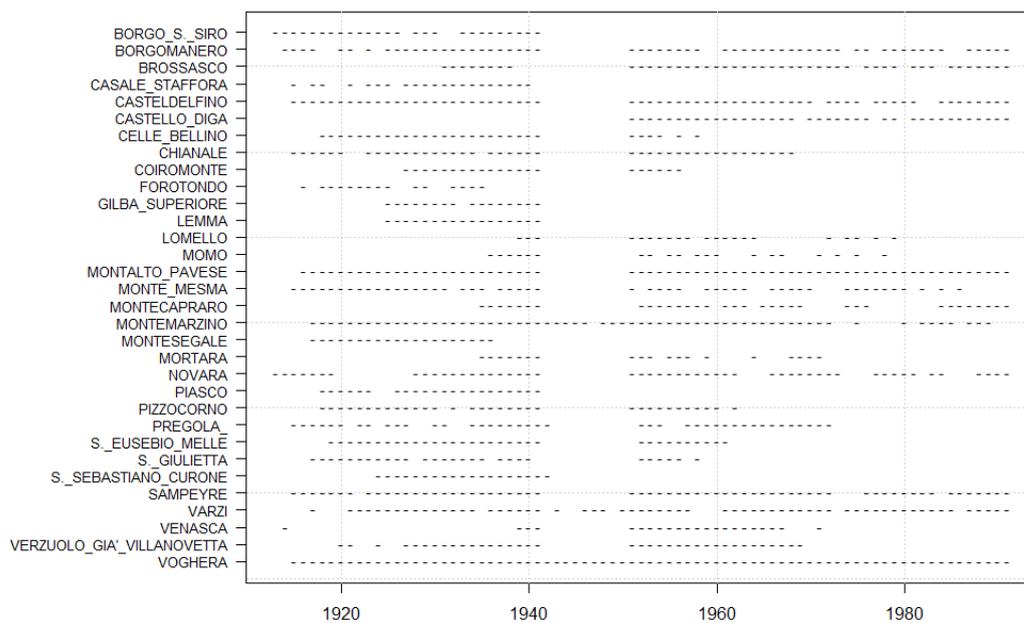
Scrvia



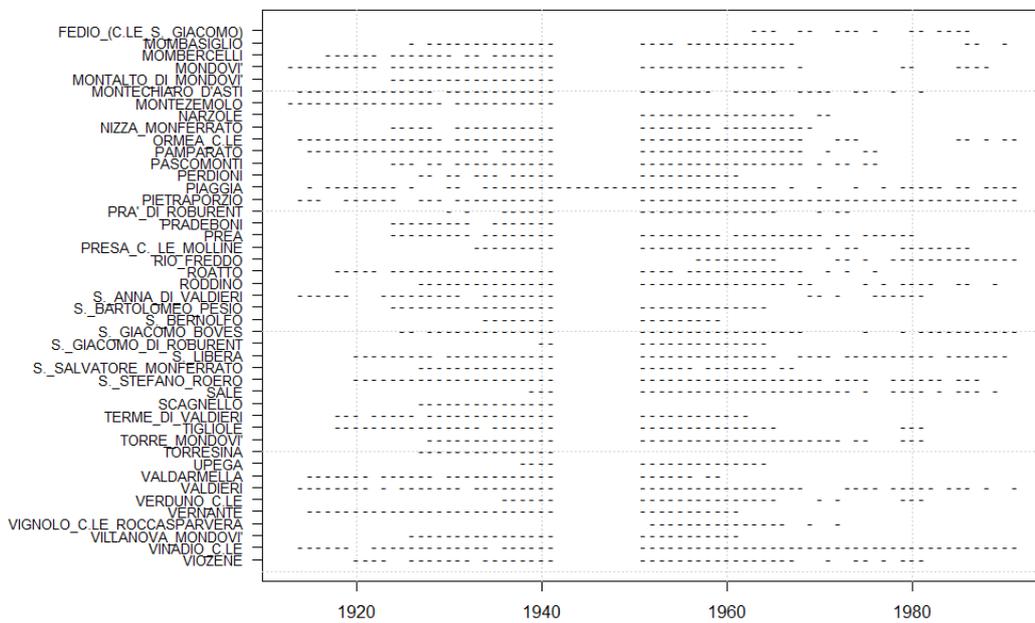
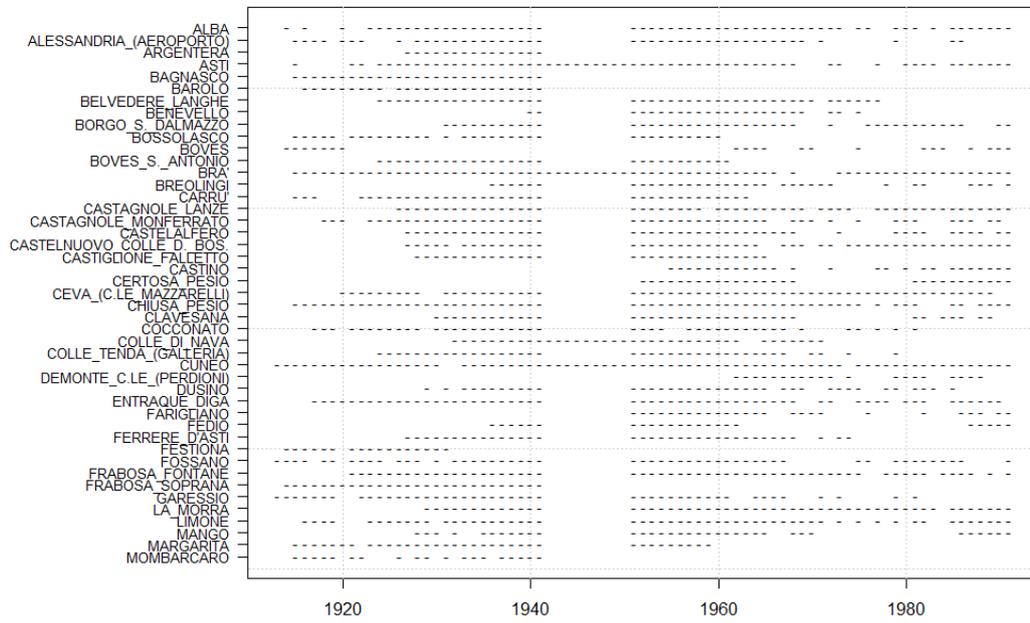
## Sesia



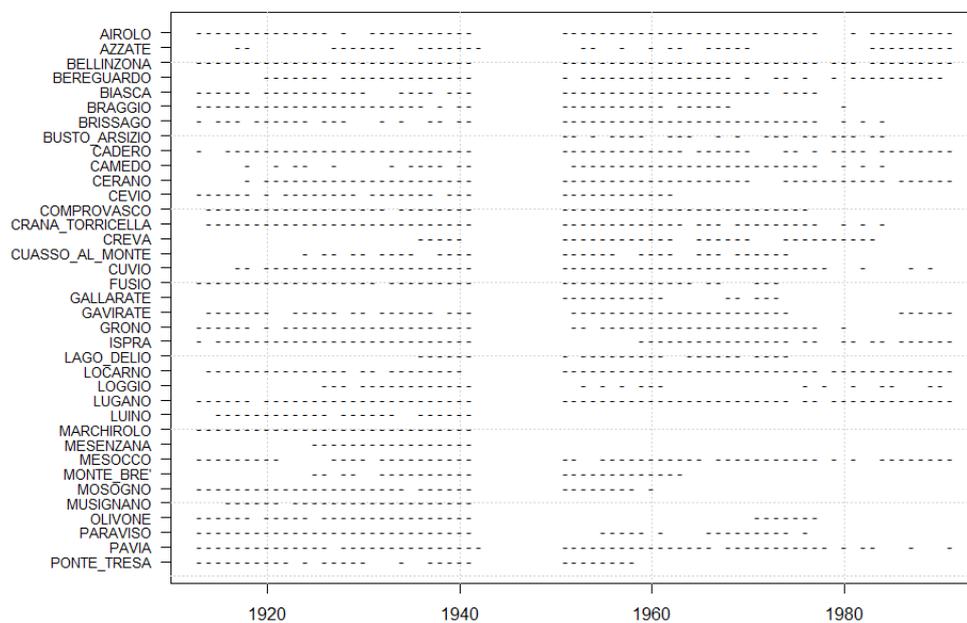
## Scuropasso, Varaita, Staffora, Agogna e Curona



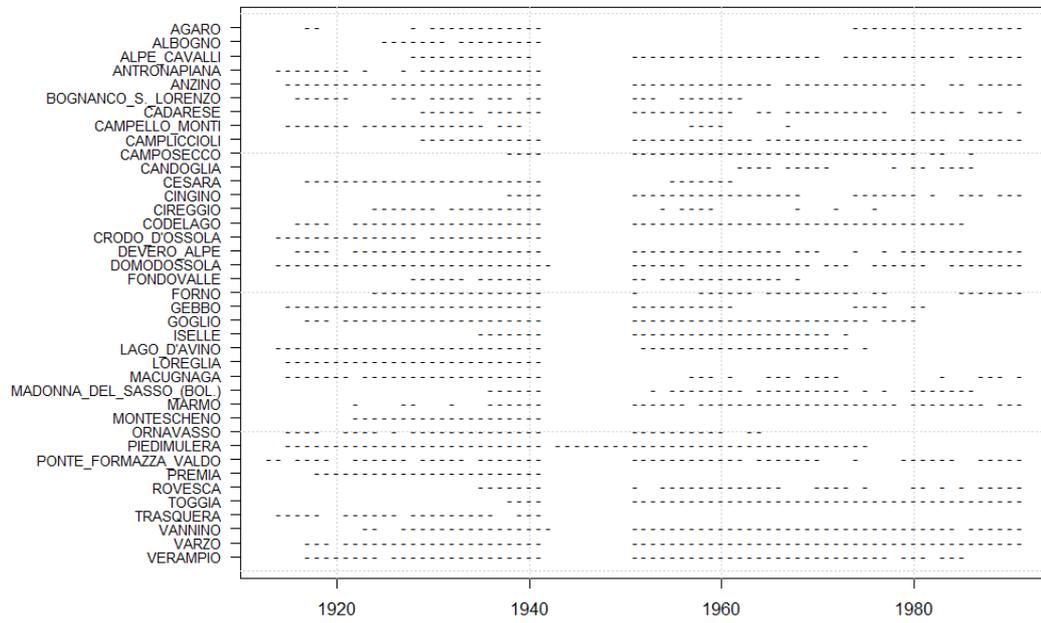
Tanaro



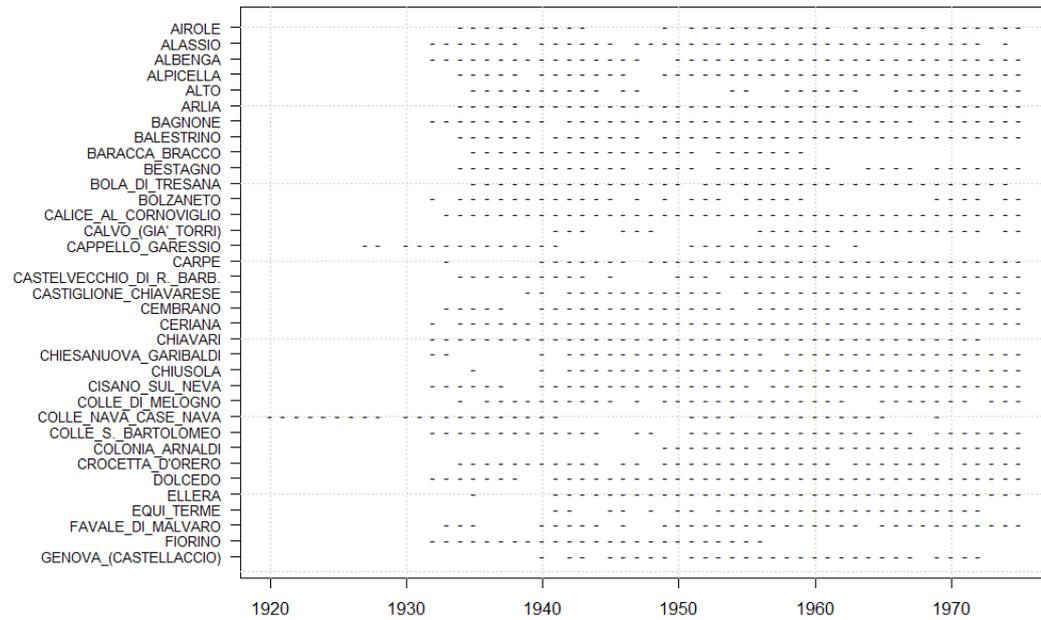
## Ticino

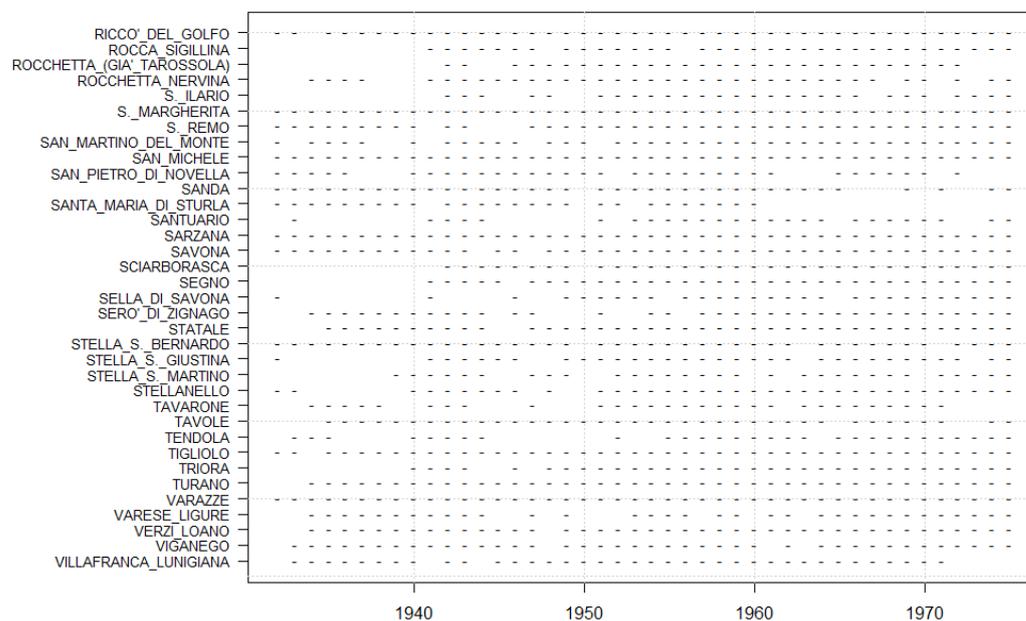
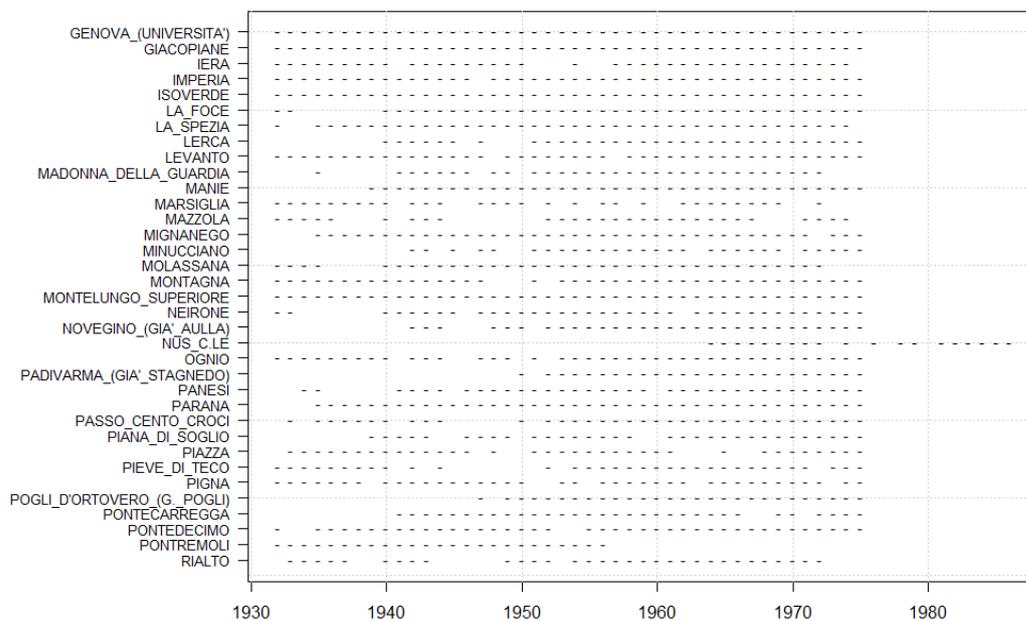


Toce



Liguria e Valle d'Aosta





### I.3 Precipitazioni medie annue

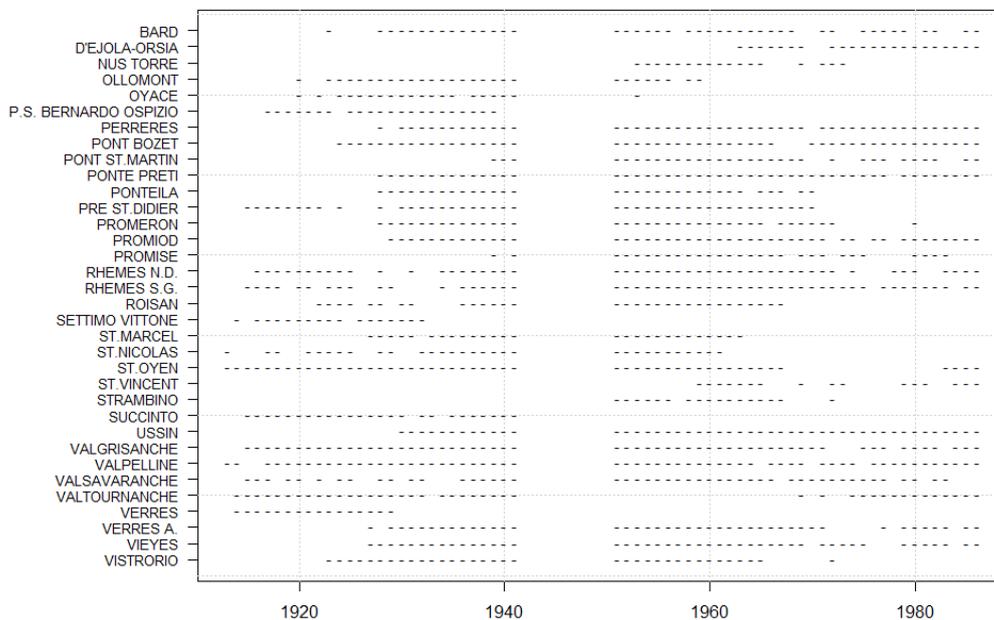
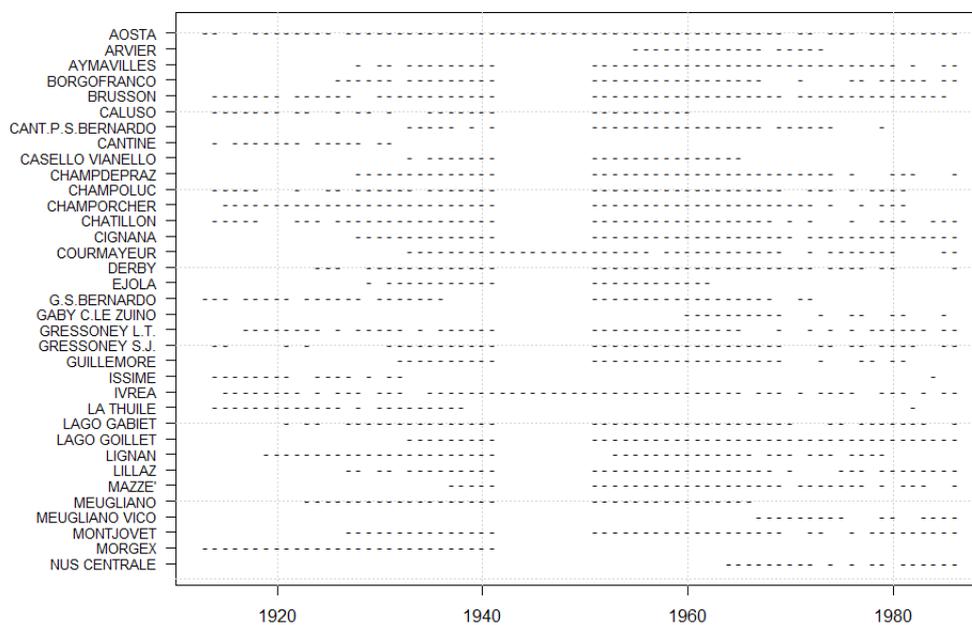
Bacino	N° di stazioni
Bormida	38
Dora Baltea	69
Dora Riparia	27
Maira	16
Orco	20
Pellice	18
Po	35
Scivia	29
Sesia	46
Stura di Lanzo	19
Tanaro	89
Ticino	72
Toce	38
Scuropasso, Varaita, Staffora, Agogna e Curona	30
<b>Totale</b>	<b>546</b>

Tabella I. 2: stazioni per la della precipitazione media mensile suddivise per bacino di appartenenza.

#### Bormida



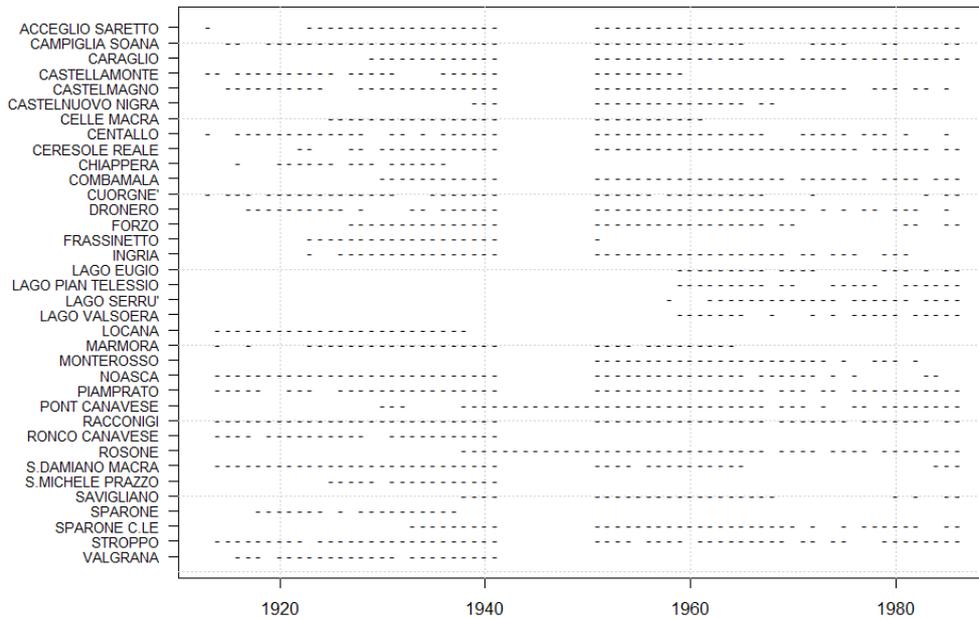
## Dora Baltea



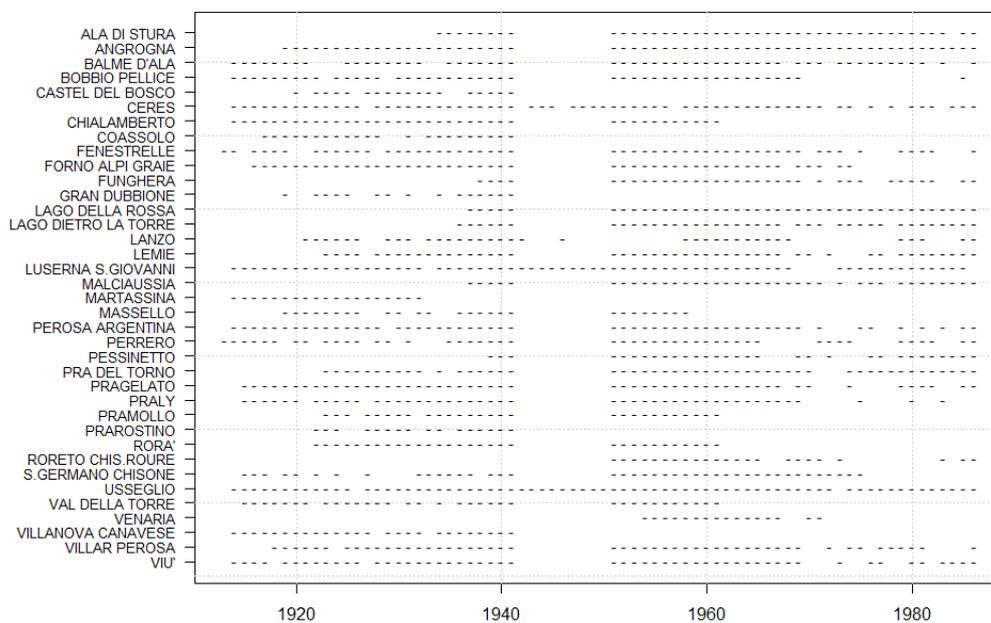
Dora Riparia



Maira e Orco



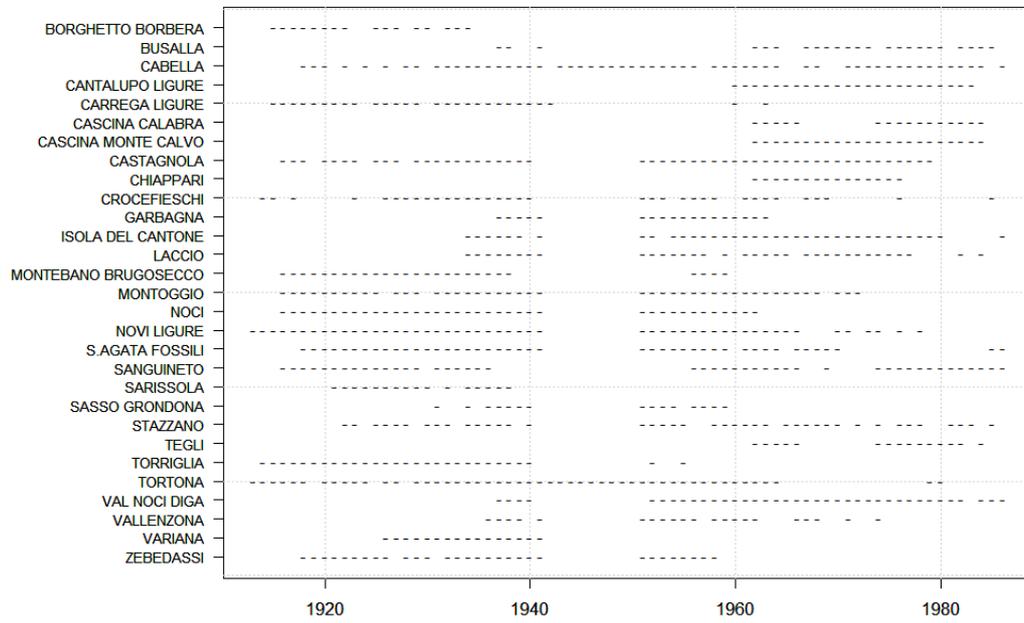
## Pellice e Stura



## Po



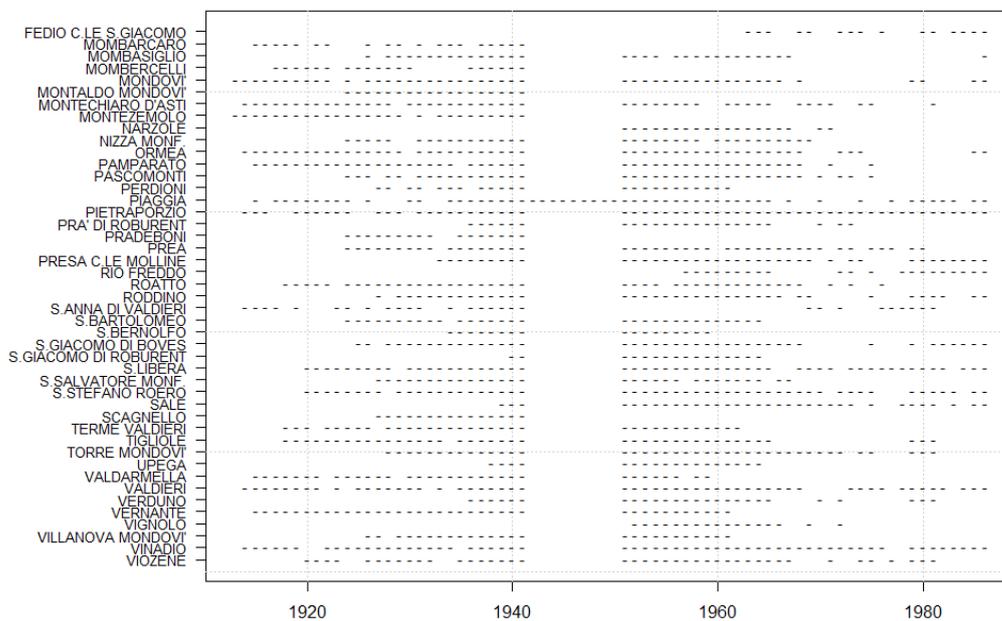
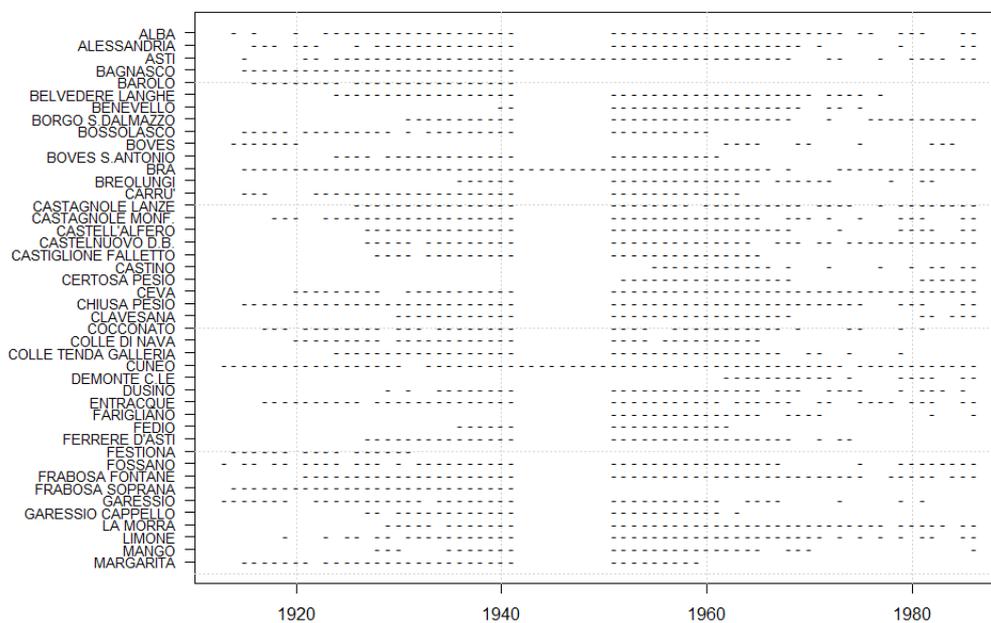
Scrivia



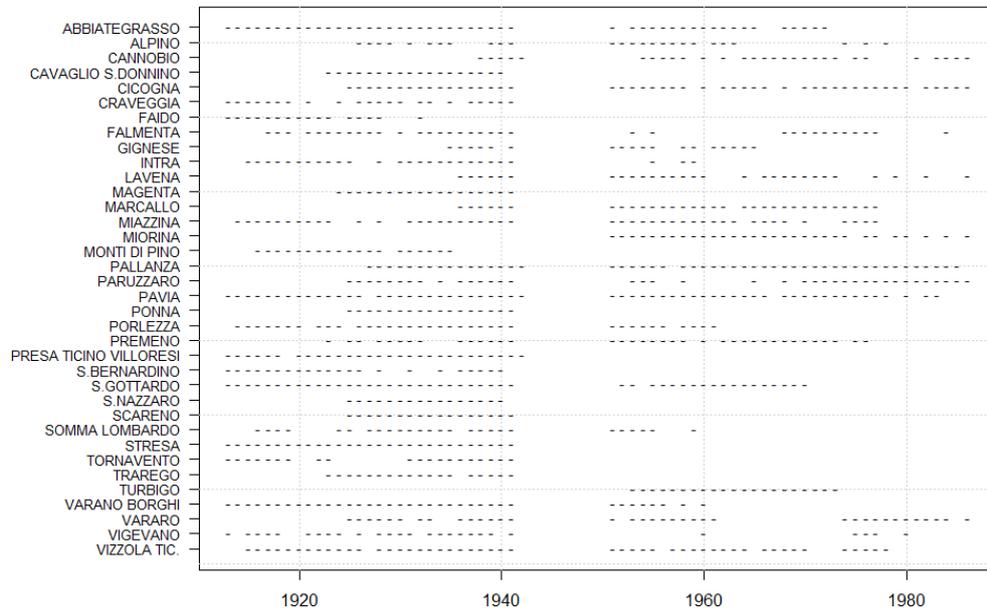
Sesia



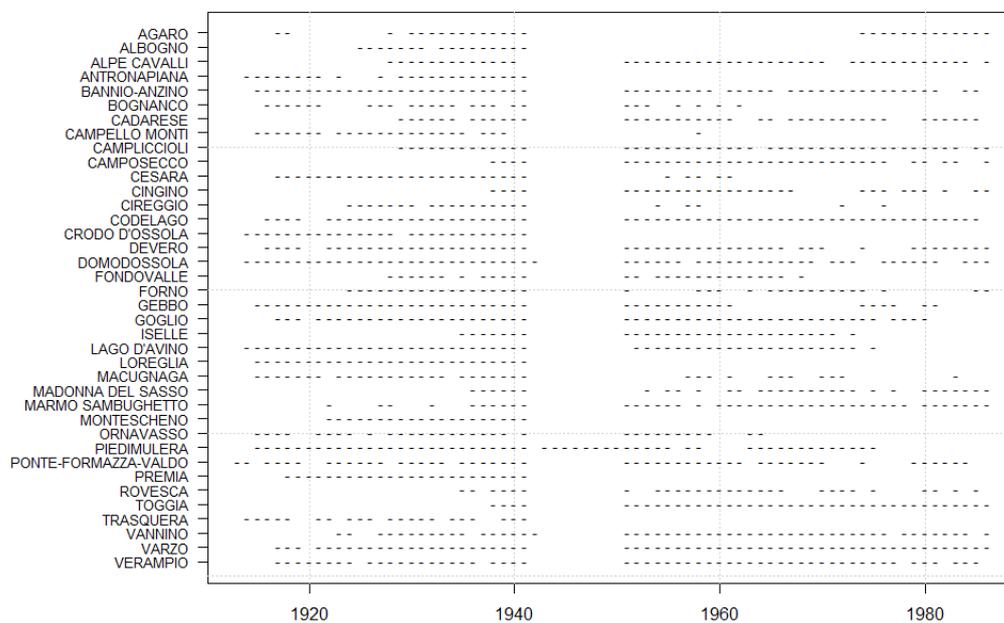
## Tanaro



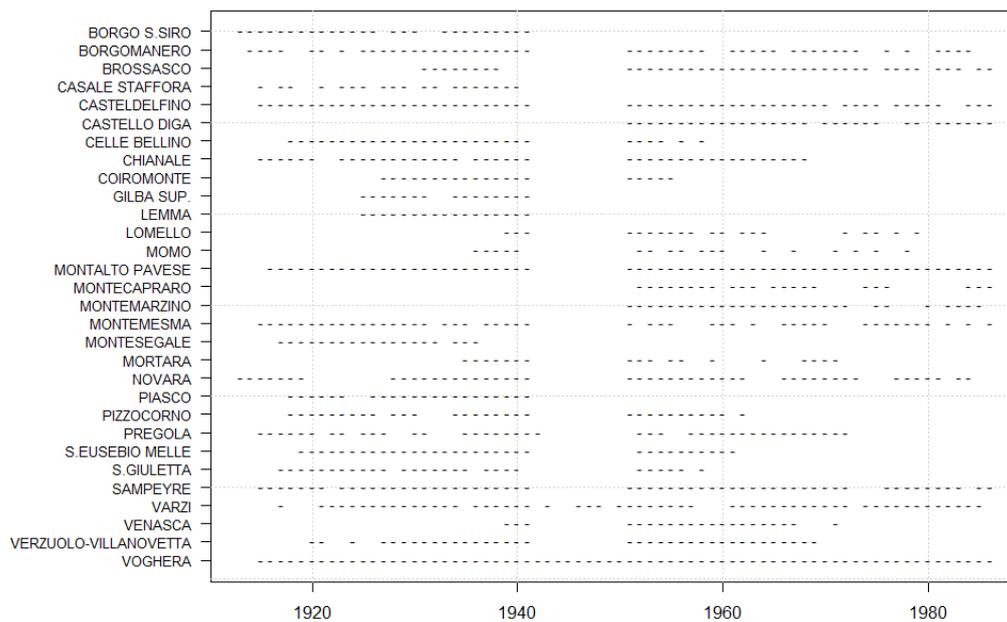
Ticino



## Toce



## Scuropasso, Varaita, Staffora, Agogna e Curona





## Allegato II. Parametri della curva di probabilità pluviometrica.

NOME	X_UTM [m]	Y_UTM [m]	QUOTA [m slm]	a [mm]	enne1	enne2
PRAGELATO	337813	4985990	1524	13.447	0.484	0.473
TORTONA	489051	4971200	120	26.723	0.323	0.322
BARDINETO	429564	4894550	711	24.872	0.480	0.478
PIAMPALUDO	467007	4923880	857	33.467	0.460	0.462
MARCALLO	489725	5036740	156	31.738	0.274	0.277
CANNOBIO	476383	5100853	220	37.711	0.412	0.415
LAGO DELIO	480257	5102691	950	32.676	0.423	0.420
PORLEZZA	510465	5097850	298	30.846	0.331	0.339
LAVENA PONTE TRESA	489392	5090390	285	29.731	0.376	0.383
ISELLE	439161	5117777	657	18.841	0.587	0.578
DOMODOSSOLA	445491	5106605	277	22.098	0.529	0.529
ROVESCA	432549	5101177	760	21.030	0.574	0.567
MACUGNAGA	421373	5090940	1200	19.290	0.572	0.559
CANDOGLIA	454960	5092450	201	40.721	0.480	0.475
GIGNESE	461331	5079450	850	33.284	0.445	0.440
LESA	466488	5075710	210	33.704	0.394	0.398
BORGOMANERO	458623	5060950	306	31.324	0.370	0.367
MOMO	465774	5047199	213	30.122	0.331	0.326
NOVARA	470907	5032360	164	27.445	0.324	0.319
MORTARA	479222	5010850	108	20.465	0.310	0.307
CAMPERTOGNO MOLLIA	425001	5070520	815	25.873	0.550	0.542
RIMASCO	427130	5079014	905	25.908	0.541	0.536
CAMASCO	445228	5076976	752	37.282	0.533	0.527
VARALLO SESIA	441874	5074050	453	34.565	0.490	0.493
BORGOSESIA	444369	5062910	360	39.178	0.388	0.394
TRIVERO	435229	5057450	750	33.618	0.462	0.465
COGGIOLA	435997	5060397	468	37.888	0.433	0.433
GRIGNASCO	448974	5060227	348	33.658	0.385	0.385
ROMAGNANO SESIA	451512	5052849	266	35.515	0.331	0.339
GHEMME	455384	5049117	206	27.872	0.360	0.370
TOLLEGNO	426072	5051990	495	39.300	0.338	0.342
OROPA	420330	5053169	1180	35.653	0.524	0.516
BIELLA	426739	5045683	412	32.261	0.358	0.360
PETTINENGO	430703	5051194	664	38.676	0.393	0.396
CAMANDONA	428697	5053810	708	34.170	0.434	0.439
ZUBIENA	420716	5039090	492	34.778	0.323	0.323
BERTIGNANO	426566	5030870	370	31.164	0.319	0.321
VERCELLI (STAZ. RISICOLTURA)	450518	5020260	135	27.963	0.288	0.292
COURMAYEUR	342841	5073168	1220	12.739	0.452	0.449
VALGRISANCHE	348869	5054490	1664	11.342	0.481	0.473
ARVIER	356877	5063560	776	10.925	0.436	0.437
LILLAZ	374780	5050212	1600	17.165	0.538	0.534
AYMAVILLES	362607	5062320	700	13.038	0.436	0.433
AOSTA	369170	5065880	583	12.095	0.488	0.478
VALPELLINE	369365	5075150	950	11.867	0.491	0.483
ST. MARCEL	378250	5065700	550	13.523	0.453	0.442

## II.2

PROMIOD	392035	5070265	1305	15.824	0.498	0.494
CHATILLON	392544	5067290	551	14.114	0.474	0.467
SAINT VINCENT	395134	5067250	575	15.000	0.448	0.445
MONTJOVET	396372	5063530	381	17.800	0.437	0.434
CHAMPDEPRAZ	395736	5059088	450	18.512	0.516	0.513
BRUSSON	402372	5068242	1332	17.426	0.423	0.419
CHAMPORCHER	392289	5052480	1427	23.056	0.507	0.506
GRESSONEY TRINITE'	408957	5075242	1631	15.146	0.549	0.542
GRESSONEY ST. JEAN	408907	5071847	1400	14.461	0.546	0.550
GABY C.LE ZUINO	411340	5060699	980	17.459	0.613	0.608
GUILLEMORE	411833	5055880	905	22.716	0.525	0.520
PONT S. MARTIN	405982	5049665	345	26.416	0.425	0.425
BORGOFRANCO D'IVREA	411050	5040330	253	31.458	0.337	0.341
IVREA	411546	5035510	267	29.388	0.315	0.325
STRAMBINO	412723	5026230	230	28.152	0.311	0.318
CALUSO	413349	5018074	303	27.000	0.244	0.237
MAZZE' C.LE	417817	5016900	218	30.847	0.237	0.243
CASELLO VIANELLO	429516	5011210	170	28.175	0.287	0.288
LAGO SERRU'	353634	5035850	2260	14.479	0.559	0.555
CERESOLE REALE	361956	5032690	1579	17.824	0.544	0.538
NOASCA	367204	5034440	1200	21.400	0.521	0.513
LAGO EUGIO	378393	5035321	1900	19.814	0.537	0.538
LAGO VALSOERA	374553	5039102	2410	20.173	0.506	0.502
ROSONE	375024	5034280	714	22.608	0.530	0.525
LAGO PIAN TELESSIO	373256	5039128	1900	18.323	0.531	0.532
SPARONE C.LE	382199	5029692	635	29.574	0.483	0.483
PONT CANAVESE	390057	5031402	461	33.808	0.388	0.391
INGRIA	388818	5035128	827	26.933	0.520	0.520
CUORGNE'	393150	5026530	413	29.940	0.334	0.333
CERES	374152	5018734	704	28.755	0.445	0.442
PESSINETTO	374657	5015760	590	30.758	0.436	0.438
LAGO DELLA ROSSA	355007	5014330	2716	16.036	0.523	0.524
USSEGLIO C.LE	360882	5009750	1310	18.615	0.536	0.534
VIU' C.LE FUCINE	371933	5010250	785	27.138	0.532	0.528
LANZO DIGA	380614	5014904	540	28.725	0.442	0.442
VENARIA	392097	4998028	258	23.544	0.376	0.383
ROCHEMOLLES DIGA	324527	5000270	1926	13.981	0.453	0.453
BARDONECCHIA	319124	4994860	1275	11.289	0.502	0.496
CHIOMONTE	340976	4999102	1025	13.984	0.567	0.567
SUSA	346264	5000824	501	14.789	0.505	0.498
MONCENISIO (LAGO)	337919	5011030	2000	14.578	0.486	0.493
MONCENISIO (SCALA)	339899	5008393	1726	16.084	0.430	0.433
VENALZIO O VENAUS	343689	5002740	620	16.093	0.497	0.487
BUSSOLENO	353362	4999540	441	16.323	0.455	0.453
S. VALERIANO	363220	4996732	385	20.039	0.422	0.422
MOCCHIE	365158	4999280	791	24.426	0.389	0.393
COLLEGNO	388100	4994393	293	23.776	0.311	0.317
LUSERNA S. GIOVANNI	361733	4962310	476	24.981	0.491	0.489
RORETO CHISONE GIA' ROURE	352978	4982880	876	18.897	0.486	0.483
PEROSA ARGENTINA	357604	4980183	640	19.338	0.476	0.472
VILLAR PEROSA	361467	4976393	590	27.300	0.403	0.398

S. GERMANO CHISONE	361387	4972690	486	26.514	0.448	0.446
CALCINERE	360907	4950473	700	26.177	0.426	0.422
SANFRONT	367397	4944780	430	27.593	0.434	0.431
VERZUOLO GIA' VILLANOVETTA	379780	4939720	420	28.986	0.291	0.293
SALUZZO	380615	4944522	395	26.025	0.380	0.384
CASTELLO DIGA	344110	4942340	1650	15.470	0.486	0.484
CASTELDELFINO	346664	4938570	1296	14.324	0.487	0.481
SAMPEYRE	357206	4936480	980	18.324	0.447	0.443
BROSSASCO	370444	4936200	609	25.537	0.407	0.407
VENASCA	372502	4935416	549	21.807	0.429	0.432
ACCEGLIO SARETO	335801	4927720	1540	13.290	0.493	0.487
COMBAMALA	359064	4926433	915	19.984	0.390	0.389
SAVIGLIANO	393833	4944291	330	24.245	0.300	0.301
LOMBRIASCO	392119	4965430	241	26.442	0.294	0.301
CASANOVA	404059	4970800	243	26.455	0.257	0.259
CUMIANA BIVIO	374657	4977974	290	25.705	0.342	0.345
MONCALIERI	393739	4983930	240	24.553	0.252	0.258
FORNO DI COAZZE	362291	4988230	950	26.265	0.481	0.483
COAZZE	365886	4989601	635	27.567	0.417	0.421
TORINO (UFF. IDROGR.)	395177	4991310	238	30.988	0.249	0.252
TORINO (MILLEFONTI)	394535	4986875	218	29.867	0.304	0.300
PINO TORINESE (OSS. ASTR.)	402442	4988601	620	25.351	0.258	0.265
CHIVASSO (C.LE CIMENA)	412416	5004010	183	24.726	0.332	0.342
MONCALVO	442397	4988860	325	18.789	0.394	0.397
CASALE MONF. (IS. PIOPP.)	455028	4999123	113	27.591	0.256	0.260
PIAGGIA	400065	4881970	1310	26.440	0.495	0.483
VIOZENE	402256	4888606	1248	20.945	0.517	0.503
ORMEA C.LE	412921	4888456	730	23.100	0.502	0.495
CEVA (C.LE MAZZARELLI)	423147	4914990	388	22.874	0.388	0.385
MONDOVI'	405885	4915210	555	23.331	0.362	0.364
BREOLINGI	403315	4920810	310	22.190	0.307	0.309
CLAVESANA	412670	4926230	275	22.256	0.370	0.373
FARIGLIANO	413463	4929185	260	23.222	0.324	0.327
NARZOLE	411501	4937360	210	20.300	0.321	0.322
PIETRAPORZIO	343398	4912710	1250	16.094	0.472	0.468
RIO FREDDO	354551	4902454	1208	18.194	0.444	0.439
VINADIO C.LE	354675	4908007	900	15.376	0.488	0.489
DEMONTE C.LE (PERDIONI)	363980	4907807	754	13.800	0.523	0.516
FEDIO (C.LE S. GIACOMO)	357414	4911651	940	16.992	0.503	0.495
VIGNOLO C.LE ROCCASPARVERA	378707	4913073	645	23.648	0.407	0.410
CUNEO	382020	4917460	536	26.814	0.336	0.338
BORGO S. DALMAZZO	379231	4910100	641	22.489	0.419	0.420
BRA'	408452	4949623	290	22.680	0.301	0.307
VERDUNO C.LE	416352	4947664	190	22.692	0.291	0.292
ALBA	423563	4950170	183	21.927	0.375	0.376

## II.4

COCCONATO	424823	4993853	495	29.189	0.255	0.255
ASTI	434351	4972270	152	21.382	0.308	0.310
CASTINO	435355	4940790	540	22.075	0.363	0.357
CASTAGNOLE LANZE	431545	4955630	271	18.765	0.366	0.376
NIZZA MONFERRATO	449465	4958429	137	21.792	0.367	0.363
ALESSANDRIA (AEROPORTO)	469318	4973116	95	20.131	0.290	0.289
OSIGLIA DIGA	436311	4903740	620	22.498	0.434	0.430
MILLESIMO	436401	4913000	427	24.608	0.433	0.430
CENGIO	436419	4914850	450	27.047	0.440	0.434
CAIRO MONTENOTTE	442494	4915902	328	30.054	0.426	0.430
SPIGNO MONFERRATO	446614	4932531	258	23.807	0.400	0.400
PIANCASTAGNA	463072	4931300	732	32.384	0.419	0.418
ACQUI TERME	458626	4947254	167	22.659	0.401	0.396
URBE	467772	4926837	500	31.054	0.511	0.512
ORTIGLIETO	469141	4936087	300	32.172	0.461	0.458
MASONE	477624	4927540	433	37.022	0.446	0.445
LAVEZZE LAGO	486336	4932325	652	36.112	0.454	0.459
LAVAGNINA (CENTRALE)	479739	4939748	245	34.445	0.440	0.431
GAVI	483730	4948944	240	28.338	0.417	0.416
TORRIGLIA	512825	4928620	764	42.857	0.400	0.395
VAL NOCI DIGA	502227	4927065	544	39.343	0.389	0.388
BUSALLA	496175	4934910	360	38.448	0.408	0.405
ISOLA DEL CANTONE	496934	4943420	300	31.293	0.391	0.387
MONTEMARZINO	498825	4966380	468	21.229	0.322	0.321
VARZI	515391	4963803	409	25.452	0.294	0.297
VOGHERA	500895	4982299	93	24.408	0.286	0.284
UNCHIO	462500	5089320	283	41.761	0.406	0.414
BARD	400605	5053270	370	24.935	0.511	0.508
LUCENTO	393346	4994303	240	34.188	0.232	0.241
SALBERTRAND	334040	4993540	1031	13.527	0.515	0.511
PRESA C. LE MOLLINE	410319	4910530	620	28.196	0.401	0.397
VERRES A.	398327	5058737	400	19.276	0.501	0.499
FEDIO	361371	4909714	940	19.017	0.498	0.486

## Allegato III. Afflusso medio annuo.

NOME	X_UTM [m]	Y_UTM [m]	QUOTA [m slm ]	AFF [mm]	ANNI
BORGO_S.SIRO	493042	5010080	98	825.81	26
BORGOMANERO	458059	5060210	306	1361.97	50
COIROMONTE	458146	5073170	810	2059.29	20
LOMELLO	483852	4997130	96	752.73	20
MOMO	465774	5047200	213	1120.97	18
MONTEMESMA	456825	5069480	575	1907.06	48
MORTARA	478659	5011960	108	708.01	18
NOVARA	470907	5032360	164	976.29	48
ACQUI	458626	4947250	167	764.75	52
ALTARE	447760	4910300	473	1422.00	31
BARDINETO	430311	4893800	711	1045.68	21
BELFORTE	473134	4941620	275	1193.93	46
BORMIDA	438390	4902980	586	1534.88	24
BUBBIO	444078	4945510	224	734.05	55
CAGNA	435967	4927070	600	1004.64	25
CAIRO_MONTENOTTE	442494	4915900	328	1110.89	33
CALIZZANO	429039	4899370	647	1333.07	35
CARCARE	443790	4912190	343	970.62	19
CAVALLOTTI-OSIGLIA_DIGA	435766	4906710	620	843.58	32
CENGIO	431817	4910450	400	923.46	26
CORTEMILIA	436058	4936330	305	828.88	52
CREMOLINO	466533	4943510	420	998.77	32
GAVI	483730	4948990	240	1041.79	37
GOTTASECCA	433278	4923400	710	940.65	45
LAVAGNINA_C.LE	479739	4939750	245	1344.10	43
LAVAGNINA_LAGO	481062	4939740	335	1408.61	56
LAVEZZE	486336	4932330	652	1765.16	61
LEVICE	433373	4932650	550	841.71	32
MASONE	477055	4928650	433	1934.25	42
MILLESIMO	437149	4912250	427	1006.13	52
MOMBARUZZO	456059	4958380	321	772.28	42
MONTENOTTE_INF.	453128	4917670	580	1515.56	33
ORTIGLIETO	469141	4936090	300	1241.94	34
OVADA	471820	4943480	187	1042.74	63
PARETO	450572	4930650	476	1009.91	27
PIAMPALUDO	466437	4924990	857	1737.34	48
PIANCASTAGNA	462503	4932420	732	1123.88	55
PONZONE	457243	4938010	610	1097.80	49
ROCCAVERANO	442691	4938120	764	981.54	27
ROSSIGLIONE	474427	4934210	270	1520.60	53
SASSELLO	459809	4925030	385	1241.98	28
SEZZADIO	466619	4960170	127	733.60	52
SPIGNO_MONF.	446614	4932530	258	782.49	56
URBE	467772	4926840	500	1652.04	19
VALLE_MURIALDO	430449	4906760	600	1275.29	42
OSIGLIA	435730	4903010	715	1351.72	16
MONTECAPRARO	512771	4956390	828	860.72	22

MONTEMARZINO	499580	4965640	468	677.06	28
AOSTA	369928	5066980	583	552.49	68
NUS_CENTRALE	379005	5066800	529	543.32	19
ARVIER	356877	5063570	776	465.83	18
AYMAVILLES	364662	5063390	620	518.17	45
BORGOFRANCO	411050	5040330	253	1123.97	42
BRUSSON	402372	5068240	1332	741.42	59
CALUSO	413349	5018070	303	921.09	30
CANT.P.S.BERNARDO	336022	5060370	2180	1187.66	31
CANTINE	355967	5080260	2211	927.52	15
CASELLO_VIANELLO	424998	5008670	170	846.59	23
CHAMPDEPRAZ	395736	5059090	450	805.76	43
CHAMPOLUC	401194	5075670	1570	735.52	48
CHAMPORCHER	393045	5053580	1427	1202.50	54
CHATILLON	391970	5066560	580	567.92	51
CIGNANA	390934	5081400	2150	929.57	49
COURMAYEUR	342841	5073170	1220	938.75	46
DERBY	351732	5065540	827	693.20	45
EJOLA	407722	5079270	1850	1151.67	24
G.S.BERNARDO	357304	5082080	2467	1906.34	41
GABY.C.LE ZUINO	411340	5060700	980	1100.59	16
GRESSONEY.L.T.	408957	5075240	1631	983.25	48
GRESSONEY.S.J.	408907	5071850	1400	992.71	44
GUILLEMORE	411314	5058850	905	1122.65	34
ISSIME	411314	5058850	940	1157.22	16
IVREA	412275	5034760	267	1008.73	60
LA_THUILE	340060	5065830	1441	807.79	24
LAGO_GABIET	410283	5077380	2430	1073.74	48
LAGO GOILLET	396202	5086870	2420	1051.70	45
LIGNAN	381703	5072310	1628	704.70	47
LILLAZ	374780	5050210	1600	770.66	43
MAZZE'	417269	5018020	218	868.61	36
MEUGLIANO	404508	5038270	680	1512.52	35
MEUGLIANO_VICO	404517	5038880	738	1442.66	15
MONTJOVET	395829	5064640	381	611.24	46
MORGEX	346636	5069370	920	814.82	29
NUS TORRE	379040	5068650	1100	524.52	17
OLLOMONT	368867	5078120	1337	704.89	28
OYACE	374044	5078010	1367	612.33	20
P.S.BERNARDO_OSPIZIO	334724	5060410	2158	1094.11	22
PERRERES	392292	5085080	1750	915.28	48
PONT_BOZET	396912	5051660	775	1257.00	51
PONT_ST.MARTIN	405982	5049670	345	1004.18	32
PONTE PRETI	403067	5029340	290	1352.56	49
PONTEILA	401076	5068260	1300	741.60	32
PRE_ST.DIDIER	344043	5069430	990	857.39	42
PROMERON	392217	5080760	1750	857.38	36
PROMIOD	392035	5070270	1305	720.49	46
PROMISE	341262	5062090	1475	841.22	29
RHEMES N.D.	352636	5048840	1731	913.72	50
RHEMES S.G.	356707	5056160	1200	713.19	52
ROISAN	370045	5072540	846	618.65	31

SETTIMO VITONE	408501	5044070	275	1308.14	17
ST.MARCEL	378968	5064950	529	514.16	27
ST.NICOLAS	358175	5063540	1196	659.26	31
ST.OYEN	361060	5076440	1327	709.99	50
ST.VINCENT	394595	5068370	575	586.20	16
STRAMBINO	412146	5025500	230	952.21	17
SUCCINTO	399362	5042360	1170	2012.67	25
USSIN	392196	5079520	1322	747.85	48
VALGRISANCHE	348869	5054490	1664	869.56	58
VALPELLINE	370122	5076240	950	658.12	60
VALSAVARANCHE	360480	5050510	1541	699.12	48
VALTOURNANCHE	393521	5081350	1524	879.77	42
VERRES	398342	5059660	390	819.94	16
VIEYES	364541	5057840	1130	723.05	46
VISTRORIO	403124	5033040	467	1469.37	35
BARD	400840	5053450	370	1074.82	43
VERRES A.	398327	5058740	400	805.25	43
D'EJOLA-ORSIA	407695	5077420	1743	1085.27	22
BARDONECCHIA	318535	4994140	1360	738.78	58
BUSSOLENO	354127	5000640	441	747.74	42
COLLEGNO	388100	4994390	293	779.85	22
CESANA	326053	4980960	1354	765.66	44
CHAMPLAS DU COL	329948	4979010	1727	644.90	24
CHATEAU BEAULARD	324942	4988410	1330	698.58	49
CHIOMONTE	340976	4999100	1025	973.59	29
CHIUSA S.MICHELE	368465	4996620	370	948.99	38
CLAVIERES	322058	4979220	1800	932.38	46
FENILS	326104	4982820	1350	755.03	25
FERRERA CENISIO	341208	5008360	1450	1343.98	18
MAFFIOTTO	360720	5002340	1324	886.62	21
MOCCHIE	365960	5002230	791	927.43	18
MONCENISIO LAGO	339946	5010240	2000	830.00	36
MONCENISIO SCALA	339899	5008390	1726	911.62	58
MOMPELLATO	372547	5003950	1100	1493.87	26
OULX	328881	4988300	1121	672.94	25
REANO	376224	4990910	480	1030.24	41
SAUZE D'OULX RICHARDET	332820	4988190	1810	743.75	24
ROCHEMOLLES DIGA	323936	4999550	1926	840.25	38
ROCHEMOLLES	322574	4997740	1597	852.74	22
S.VALERIANO	363220	4996730	385	810.43	24
SUSA	346264	5000820	501	778.87	58
THURES	328583	4977190	1703	976.75	53
VENAUS	343689	5002740	620	796.50	40
FAVELLA	372510	5002100	921	1211.84	18
SALBERTRAND	334278	4993720	1031	750.61	62
ACCEGLIO SARETTO	335203	4927000	1540	964.03	56
CARAGLIO	374864	4920550	575	995.15	48
CASTELMAGNO	357576	4919060	1262	1219.50	55
CELLE MACRA	355087	4926520	1265	893.39	28
CENTALLO	386966	4929590	480	900.18	50
CHIAPPERA	335250	4928850	1650	1214.18	16
COMBAMALA	359064	4926430	915	922.38	45

DRONERO	368343	4926240	619	874.41	48
MARMORA	348416	4924820	1170	982.27	34
MONTEROSSO	366866	4918860	720	1194.51	28
RACCONIGI	395395	4959080	255	828.55	61
S.DAMIANO MACRA	361754	4928230	734	918.12	45
S.MICHELE PRAZZO	345852	4928590	1358	912.96	16
SAVIGLIANO	393833	4944290	330	671.09	26
STROPPO	351195	4930310	1080	936.34	56
VALGRANA	370847	4918780	640	1169.49	24
CAMPIGLIA SOANA	385079	5044460	1350	1125.40	48
CASTELLAMONTE	399095	5025690	343	1323.85	32
CASTELNUOVO NIGRA	397910	5033120	850	1383.06	20
CERESOLE REALE	362675	5031940	1600	1026.77	50
CUORGNE'	393906	5027630	413	1251.48	44
FORZO	382407	5040800	1180	1271.20	38
FRASSINETTO	391393	5033230	1047	1589.72	20
INGRIA	388818	5035130	827	1377.69	44
LAGO EUGIO	378393	5035320	1900	1257.46	19
LAGO PIAN TELESSIO	373256	5039130	1900	1353.10	22
LAGO SERRU'	353634	5035850	2260	1235.62	24
LAGO VALSOERA	374558	5039100	2410	1348.95	20
LOCANA	379590	5029740	615	1394.28	25
NOASCA	367968	5035530	1200	1291.55	53
PIAMPRAATO	389015	5046240	1550	1358.10	57
PONT CANAVESE	390057	5031400	461	1249.40	47
RONCO CANAVESE	386279	5038880	950	1280.07	25
ROSONE	375751	5033520	714	1196.61	46
SPARONE C.LE	382199	5029690	635	1310.13	39
SPARONE	386112	5029620	537	1530.48	18
ANGROGNA	359950	4967160	782	1340.85	59
BOBBIO PELLICE	350643	4963670	732	1148.76	46
FENESTRELLE	347308	4989680	1200	941.86	53
CASTEL DEL BOSCO	353745	4983980	800	996.27	18
GRAN DUBBIONE	362902	4981920	1000	1160.19	15
LUSERNA S.GIOVANNI	361187	4963430	476	1371.78	67
MASSELLO	347087	4980430	1185	1161.07	26
PEROSA ARGENTINA	357604	4980180	640	1038.40	54
PERRERO	350987	4978480	832	1163.30	47
PRA DEL TORNO	356039	4969100	980	1403.17	50
PRAGELATO	338026	4986210	1524	768.91	53
PRALY	346954	4974870	1372	1074.23	47
PRAMOLLO	358796	4974600	700	1251.40	28
PRAROSTINO	362624	4968960	850	1217.39	16
RORA'	357192	4961670	942	1671.80	31
RORETO CHIS.ROURE	352431	4984010	876	1062.25	23
S.GERMANO CHISONE	361387	4972690	486	1206.91	42
VILLAR PEROSA	361467	4976390	590	1207.81	51
ARIGNANO	412943	4988450	321	843.02	20
CALCINERE	360907	4950470	700	1047.70	40
CASALE	456339	4999110	113	793.76	29
CASALE MONF.IST.PIOPP.	455028	4999120	113	851.18	24
CASANOVA	404792	4970050	243	752.84	28

CAVOUR	371657	4959510	360	1097.09	57
CHIVASSO	413171	5005110	183	859.73	52
COAZZE	365686	4989270	635	1036.24	23
CORIO (T. MALONE)	384604	5018530	630	1480.66	36
CRISSOLO	354304	4950620	1410	1178.44	58
CUMIANA	372101	4981730	377	1060.54	35
CUMIANA BIVIO	374657	4977970	290	919.55	32
FORNO DI COAZZE	361748	4989350	950	1382.31	44
LOMBRIASCO	392881	4966530	241	762.91	51
MARTINIANA	370003	4942870	430	1182.73	29
MOMBELLO MONF.	441907	4997380	294	752.42	57
MONCALIERI	397101	4983130	225	705.73	62
MONCALVO	441823	4988120	325	735.64	45
MONTALDO TORINESE	409032	4990360	400	853.45	45
ONCINO	356904	4948710	1220	1192.46	17
PAESANA	363509	4948570	680	1174.90	20
PIEVE DEL CAIRO	485146	4989720	79	676.39	19
PINEROLO	367930	4970700	377	1196.74	50
PINO TOR.	402442	4988600	620	789.34	36
PRATIGLIONE (T.MALONE)	389927	5024000	601	1543.41	28
SALUZZO	380615	4944520	395	1023.14	57
SANFRONT	367397	4944780	430	979.41	19
SANGANNO	377465	4987180	342	873.01	24
SUPERGA	403810	4992280	420	847.36	39
TALUCCO	365452	4978160	786	1160.87	36
TORINO M.CAPPUCCINI	397216	4990230	297	810.27	24
TORINO MILLEFONTI	394535	4986880	218	949.22	26
TORINO UFF.IDR.	394627	4992430	238	853.83	49
TORRE S.GIORGIO	383426	4953730	262	887.69	31
VILLAR BAGNOLO	365024	4957790	520	1379.11	19
BORGHETTO BORBERA	495619	4952680	295	1074.93	16
BUSALLA	495607	4936020	400	1488.63	23
CABELLA	507505	4947130	515	1140.82	57
CANTALUPO LIGURE	503538	4952680	378	1022.03	24
CARREGA LIGURE	514122	4941580	955	1779.34	27
CASCINA MONTE CALVO	491635	4934170	750	1745.72	23
CASTAGNOLA	491640	4937870	560	1665.88	50
CHIAPPARI	492961	4936020	535	1428.59	15
CROCFIESCHI	502224	4936010	742	1376.51	35
GARBAGNA	499579	4958230	292	892.58	18
ISOLA DEL CANTONE	496934	4943420	300	1317.94	37
LACCIO	510178	4926760	600	2066.75	34
MONTEBANO BRUGOSECCE	504878	4926760	935	2273.71	26
MONTOGGIO	503551	4928610	450	1747.86	45
NOCI	506203	4926760	776	2168.86	36
NOVI LIGURE	485068	4956400	200	925.74	51
S.AGATA FOSSILI	492987	4960090	425	907.48	44
SANGUINETO	502227	4926450	560	1918.94	44
SARISSOLA	496931	4936010	400	1530.04	16
SASSO GRONDONA	499579	4950820	519	1208.95	15
STAZZANO	489019	4952690	219	1030.26	41
TORRIGLIA	512825	4928620	764	2249.95	28

TORTONA	489051	4971200	120	682.35	51
VAL NOCI DIGA	502227	4927070	544	1660.52	38
VALLENZONA	507513	4939720	721	1477.99	21
VARIANA	495616	4948980	300	1119.01	16
ZEBEDASSI	503537	4954530	492	955.59	30
TEGLI	492963	4937870	600	1783.87	15
CASCINA CALABRA	491637	4936020	600	1737.51	16
ALAGNA	418073	5079130	1205	1348.52	52
ARBORIO	452700	5038030	185	1203.75	33
BERTIGNANO	426566	5030870	370	1022.98	18
BIELLA	426739	5045680	412	1563.08	50
BOCCIOLETO	430971	5075270	667	1793.62	54
BORGOSIESA	443800	5062170	360	1776.49	54
CAMANDONA	429445	5054910	708	1607.76	27
CAMASCO	445228	5076980	752	2268.23	35
CAMPERTOGNO	424452	5071640	815	1506.95	51
CAMPIGLIA CERVO	421675	5056860	775	2142.16	17
CARCOFORO-FERRATE	425903	5084590	1150	1719.55	56
CELLIO	446443	5067710	685	1852.69	49
COGGIOLA	435997	5060400	468	1788.79	34
COSSATO BERTINOTTO	435864	5047440	350	1381.21	15
DOCCIO	442554	5067740	400	2070.40	30
FOBELLO	434933	5082630	800	1787.75	57
GHEMME	455384	5049120	206	1176.22	20
GRAGLIA	418934	5045780	812	1641.87	32
GRIGNASCO	448974	5060280	348	1449.78	20
MOSSO S.MARIA	433342	5054870	625	1980.93	23
OROPA	420330	5053170	1180	1992.01	66
PETTINENGO	430703	5051190	664	1554.23	19
PIANA DI RASSA	421838	5069820	1139	1673.16	18
PIEDICAVALLO	419126	5060590	1050	1735.22	59
QUAREGNA	434564	5047450	306	1367.71	18
RIMA	422002	5082780	1417	1549.56	25
RIMASCO	427130	5079010	905	1595.55	58
RIMELLA	436245	5084470	1181	2043.63	19
RIVA VALDOBBIÀ	419319	5075410	1117	1394.85	37
ROMAGNANO	451512	5052850	266	1313.83	48
ROSASCO	466880	5010160	100	939.51	56
S.GIUSEPPE DI CASTO	428104	5051220	670	1990.06	23
SABBIA	440069	5078880	726	2074.14	44
SALA BIELLESE	418862	5040220	626	1500.37	32
SALUSSOLA	430498	5032680	289	1190.06	44
SANTHIA'	435618	5023360	186	1112.76	36
SCOPA	430930	5071560	622	2059.83	27
SOSTEGNO	443750	5056620	397	1421.34	50
TOLLEGNO	425483	5049400	495	1494.41	33
TRICERRO	447258	5010290	140	903.90	36
VERCELLI IST. RIS.	451254	5019520	135	821.89	47
VARALLO	442606	5073300	453	1872.90	48
VOCCA	437444	5075200	506	2166.55	24
ZIMONE	425284	5032740	435	1322.49	52
TRIVERO	434680	5058560	750	1701.82	20

ZUBIENA	421443	5038340	492	1082.21	18
ALA DI STURA	366312	5018900	1210	1372.43	43
BALME D'ALA	359779	5019040	1458	1325.59	54
CERES	374152	5018730	704	1327.30	64
CHIALAMBERTO	370346	5024370	875	1268.23	39
COASSOLO	379378	5018630	745	1016.92	22
FORNO ALPI GRAIE	361208	5024560	1226	1231.46	48
FUNGHERA	378000	5014950	502	1339.18	34
LAGO DELLA ROSSA	354468	5015450	2716	1145.80	41
LAGO DIETRO LA TORRE	355733	5013570	2400	1223.48	39
LANZO	380614	5014900	540	1195.74	36
LEMIE	366116	5009640	940	1287.16	48
MALCIAUSSIA	354297	5008050	1810	1142.37	38
MARTASSINA	365005	5018920	1210	1388.05	19
PESSINETTO	375422	5016860	590	1311.87	31
USSEGLIO	360882	5009750	1265	1145.83	71
VAL DELLA TORRE	377750	5001990	505	1391.36	34
VENARIA	392097	4998030	258	932.38	16
VILLANOVA CANAVESE	387085	5011080	384	1262.81	26
VIU'	372696	5011350	785	1375.62	54
ALBA	424322	4951270	183	820.69	52
ALESSANDRIA	469318	4973120	95	640.10	44
ASTI	437722	4971490	126	651.36	57
BAGNASCO	423802	4906840	492	1135.72	27
BAROLO	416256	4940260	309	861.66	25
BELVEDERE LANGHE	418739	4927270	639	1033.95	43
BENEVELLO	429502	4941950	671	901.79	24
BORGO S.DALMAZZO	379967	4909350	641	1100.43	41
BOSSOLASCO	425407	4930890	770	778.34	34
BOVES	383954	4909270	590	1326.40	17
BOVES S.ANTONIO	382625	4909300	700	1371.28	28
BRA	408452	4949620	290	671.78	67
BREOLUNGI	404052	4920060	310	721.22	30
CARRU'	410762	4925520	364	882.67	36
CASTAGNOLE LANZE	432302	4956740	271	813.97	47
CASTAGNOLE MONF.	445682	4978830	229	703.68	47
CASTELL'ALFERO	437812	4980750	235	692.46	40
CASTELNUOVO D.B.	418194	4988380	306	784.62	46
CASTIGLIONE FALLETTO	418924	4942080	350	821.92	28
CASTINO	434791	4941900	540	734.98	20
CERTOSA PESIO	393136	4901710	859	1469.10	23
CEVA	422582	4916110	388	926.63	56
CHIUSSA PESIO	394586	4909090	580	1304.70	57
CLAVESANA	413413	4925480	400	833.75	35
COCCONATO	424823	4993850	495	810.54	42
COLLE DI NAVA	410179	4882940	933	1207.74	35
COLLE TENDA GALLERIA	386323	4892570	1321	1459.68	39
CUNEO	384085	4916680	536	1039.11	71
DEMONTE C.LE	363980	4907810	754	839.11	18
DUSINO	419343	4975400	263	769.93	37
ENTRACQUE	371812	4900240	900	1324.12	52
FARIGLIANO	413463	4929190	260	771.59	21

FEDIO	361361	4909710	940	1262.49	18
FERRERE D'ASTI	420590	4969830	295	760.19	36
FESTIONA	366639	4907750	720	1034.01	16
FOSSANO	398947	4933100	376	784.40	49
FRABOSA FONTANE	406414	4899660	957	1406.78	54
FRABOSA SOPRANA	405164	4905230	890	1413.30	28
GARESSIO	422319	4893890	603	1262.58	44
GARESSIO CAPPELLO	417014	4895810	1157	1391.05	26
LA MORRA	414982	4943980	513	849.25	46
LIMONE	386387	4896270	1010	1265.95	46
MANGO	432224	4949330	521	884.84	29
MARGARITA	394735	4918350	448	1002.67	35
MOMBARCARO	426669	4925320	896	993.08	19
MOMBASIGLIO	418577	4914310	565	955.44	32
MOMBERCELLI	444239	4964030	234	758.82	19
MONDOVI'	406653	4916320	555	974.20	48
FEDIO C.LE S.GIACOMO	357414	4911650	1310	1029.92	15
MONTALDO MONDOVI'	409205	4908870	796	1207.94	18
MONTECHIARO D'ASTI	429968	4984540	235	763.46	47
MONTEZEMOLO	431855	4914150	741	1083.49	27
NARZOLE	410940	4938480	210	661.76	19
NIZZA MONF.	449465	4958430	137	667.79	34
ORMEA	412921	4888460	730	1109.58	50
PAMPARATO	413118	4903270	782	1214.90	46
PASCOMONTI	412012	4919950	388	952.48	38
PIAGGIA	399477	4881240	1600	1189.59	55
PIETRAPORZIO	342799	4911990	1250	964.72	59
PRA' DI ROBURENT	409102	4901470	1014	1557.10	24
PRADEBONI	391866	4905440	900	1390.50	16
PREA	399817	4903460	850	1353.87	43
PRESA C.LE MOLLINE	410559	4910710	620	1270.06	39
RIO FREDDO	354551	4902450	1208	1049.00	21
ROATTO	423334	4979060	256	756.19	43
RODDINO	422825	4936470	610	823.00	39
S.ANNA DI VALDIERI	366488	4900350	990	1420.19	28
S.BARTOLOMEO	393587	4904010	755	1351.34	31
S.BERNOLFO	343907	4902700	1702	1509.09	17
S.GIACOMO DI BOVES	385218	4905550	800	1534.63	42
S.GIACOMO DI ROBURENT	410483	4905150	1011	1329.13	16
S.LIBERA	438827	4949260	402	867.96	53
S.SALVATORE MONF.	465421	4982390	257	730.11	30
S.STEFANO ROERO	416520	4960620	388	727.33	52
SALE	485124	4980470	83	745.04	34
SCAGNELLO	419836	4908740	748	1029.05	15
TERME VALDIERI	362418	4896730	1346	1544.65	34
TIGLIOLE	427193	4971600	239	718.42	41
TORRE MONDOVI'	411912	4912540	470	979.09	41
UPEGA	398228	4886820	1297	1081.86	18
VALDARMELLA	410280	4890340	900	1224.84	33
VALDIERI	371884	4903940	780	1301.50	54
VERDUNO	416352	4947660	190	652.15	26
VERNANTE	382459	4900040	800	1444.57	38

VIGNOLO	378707	4913070	645	1098.94	17
VILLANOVA MONDOVI'	401259	4910840	540	1200.54	26
VINADIO	354675	4908010	900	1041.86	59
VIOZENE	402256	4888610	1248	1192.52	42
PERDIONI	362651	4907840	754	1025.85	23
AIROLO	470201	5154590	1143	1712.50	51
AZZATE	484037	5069350	332	1348.67	29
BELLINZONA	503448	5117480	237	1604.59	62
BEREGUARDO	502200	5008220	98	770.87	48
BIASCA	498311	5135990	300	1732.35	41
BRAGGIO	509859	5128590	1313	1564.21	37
BRISSAGO	477700	5108260	210	2180.10	40
CADERO	482830	5100830	570	1987.54	55
CAMEDO	469992	5111990	610	2257.01	23
CERANO	482629	5028610	129	994.97	54
CEVIO	470082	5130510	430	1838.80	32
COMPROVASCO	495753	5145260	544	1346.88	52
CRANA TORRICELLA	493143	5100810	1010	2303.70	52
CREVA	481518	5093430	233	1927.64	32
CUASSO AL MONTE	490539	5084150	524	1908.85	31
CUVIO	478898	5082330	305	1970.16	46
FUSIO	473987	5143460	1285	1715.14	39
GAVIRATE	477585	5076770	284	1751.00	41
GRONO	512437	5123040	335	1443.03	48
ISPRA	469802	5073100	225	1766.38	51
LAGO DELIO	480257	5102690	950	1828.22	25
GALLARATE	484004	5056390	238	1261.79	15
PONTE TRESA	489260	5091560	280	1846.85	27
LOCARNO	484152	5113790	239	1931.78	60
LOGGIO	504749	5097110	380	1623.95	22
LUGANO	495718	5095250	276	1734.35	62
LUINO	480233	5095280	210	1686.18	24
BUSTO ARSIZIO	487889	5050820	224	1229.41	20
MARCHIROLO	486669	5087860	505	2156.09	29
MESENZANA	481501	5087870	305	2025.60	17
MESOCO	518814	5137880	785	1536.41	38
MONTE BRE'	499589	5095250	910	1663.58	25
MOSOGNO	472590	5117540	790	2094.33	28
MUSIGNANO	480251	5100840	928	2098.94	25
OLIVONE	495760	5154520	893	1484.14	30
PARAVISO LANZO D'INTELVI	500880	5093400	818	2271.14	42
PAVIA	511366	5004530	77	870.27	59
PONNA	507334	5093400	870	2006.88	17
PORLEZZA	509907	5098960	298	1497.69	36
PRESA TICINO VILLORESI	474915	5056420	187	1266.86	29
S. BERNARDINO	514947	5147120	2073	2608.22	21
S. GOTTARDO	467655	5156450	2103	2233.38	47
S. NAZZARO	509898	5104520	961	2205.47	16
SOMMA LOMBARDO	477518	5058260	286	1436.55	26
TORNAVENTO	477478	5047150	198	1174.51	20
TRAREGO	473789	5097160	768	2408.79	18
VARANO BORGHI	477558	5069370	245	1422.68	37

VARARO	473742	5086050	728	2347.87	36
VIGEVANO	489134	5019340	116	926.67	27
VIZZOLA TIC.	476199	5052710	221	1342.40	49
ABBIATEGRASSO	494365	5026740	122	1046.45	48
MARCALLO	490466	5036000	156	1030.23	32
CANNOBIO	476383	5100850	220	1796.51	29
LAVENA	490548	5089700	285	1568.85	29
MAGENTA	490463	5034150	138	973.96	18
MONTI DI PINO	481551	5104540	950	2118.30	19
SCARENO	467329	5095340	702	2338.08	17
FAIDO	485523	5148980	759	1545.46	16
CAVAGLIO S.DONNINO	472524	5102720	494	2546.57	17
CRAVEGGIA	460971	5110190	883	1852.22	22
CICOGNA	460877	5095380	770	2397.05	44
FALMENTA	468657	5102740	660	2567.35	33
GIGNESE	462065	5078700	850	1752.92	18
INTRA	467290	5087930	209	1906.11	27
MIAZZINA	463436	5091660	721	2361.87	41
PALLANZA	467280	5086080	202	1777.71	50
PARUZZARO	461986	5065740	334	1707.72	38
PREMENO	468601	5091630	810	1771.14	36
MIORINA	473640	5061980	250	1319.04	31
TURBIGO	480061	5041580	166	995.75	21
ALPINO	462075	5080250	778	2366.72	26
STRESA	464664	5080540	202	2084.72	29
AGARO	446972	5128820	1561	1301.77	28
ALBOGNO	455822	5110230	1020	1904.83	16
ALPE CAVALLI	431301	5104900	1510	1464.31	46
ANTRONAPIANA	431260	5101190	902	1740.08	23
BANNIO-ANZINO	435050	5093740	670	1674.84	58
BOGNANCO	436474	5106690	980	1898.60	26
CADARESE	450807	5126930	725	1289.86	41
CAMPELLO MONTI	441451	5088120	1300	2211.42	23
CAMPLICCIOLI	428660	5099370	1310	1511.01	47
CAMPOSECCO	426103	5101250	2308	1338.73	35
CESARA	450405	5076930	500	2162.57	30
CINGINO	426059	5097550	2192	1281.41	30
CIREGGIO	453022	5080620	370	2149.45	22
CODELAGO	445705	5130680	1846	1669.18	59
CRODO D'OSSOLA	448161	5117690	503	1328.46	27
DEVERO	443122	5128850	1640	1703.50	52
DOMODOSSOLA	445491	5106610	277	1449.34	59
FONDOVALLE	455983	5132450	1210	1510.09	28
PONTE-FORMAZZA-VALDO	456009	5136150	1270	1446.64	50
FORNO	445327	5088090	892	2106.83	33
GEBBO	439198	5121480	1015	1491.49	44
GOGLIO	443105	5127000	1140	1515.90	53
ISELLE	439161	5117780	657	1257.21	29
LAGO D'AVINO	432773	5121550	2240	1624.43	51
LOREGLIA	451758	5084330	725	2260.87	26
MACUGNAGA	420827	5092060	1200	1305.09	36
MADONNA DEL SASSO	451656	5071370	638	2061.55	31

MARMO SAMBUGHETTO	446587	5084370	765	2349.43	40
MONTESCHENO	440303	5102950	709	1572.89	20
ORNAVASSO	454398	5091720	208	2437.03	31
PIEDIMULERA	442829	5097370	243	1534.97	55
PREMIA	448208	5123250	810	1361.23	24
ROVESCA	432549	5101180	760	1542.96	29
TOGGIA	456050	5141710	2160	1292.53	40
TRASQUERA	440447	5117760	1033	1439.85	21
VANNINO	449600	5136200	2153	1372.84	51
VARZO	443018	5117740	550	1583.83	60
VERAMPPIO	448193	5121400	525	1285.62	56
BROSSASCO	369891	4937320	610	1026.47	41
CASTELDELFINO	347438	4939660	1296	868.92	59
CASTELLO DIGA	344837	4941580	1650	805.31	32
CELLE BELLINO	342101	4937940	1671	1026.62	30
CHIANALE	340960	4945380	1800	943.54	42
GILBA SUP.	363353	4941160	1171	1320.26	15
LEMMA	371104	4931740	1002	995.46	17
PIASCO	377831	4937170	472	842.94	22
S.EUSEBIO MELLE	365883	4935550	800	1036.35	33
SAMPEYRE	356658	4937600	980	843.67	58
VENASCA	372502	4935420	549	830.38	21
VERZUOLO-VILLANOVETTA	379189	4938990	440	879.96	37
MONTALTO PAVESE	516666	4980470	466	841.43	62
S.GIULETTA	514021	4987870	250	752.89	28
CASALE STAFFORA	518068	4949000	1070	1379.15	19
PIZZOCORNO	510118	4965640	478	840.13	31
PREGOLA	522011	4954570	1005	1164.88	39
VARZI	515391	4963800	409	798.48	57
VOGHERA	500895	4982300	93	699.87	72
MONTESEGALE	510106	4973050	384	791.36	19



## **Allegato IV. Test statistici utilizzati.**

### **Test di Anderson-Darling**

Il test d'ipotesi di Anderson-Darling permette di verificare la bontà di adattamento di una serie di dati ad una determinata distribuzione di probabilità, che nel presente studio era appunto la distribuzione normale dei residui della regressione lineare.

L'ipotesi nulla  $H_0$  implica che i dati del campione appartengono ad una popolazione con una distribuzione di probabilità specifica; il test viene eseguito attraverso il calcolo della statistica  $A^2$ , secondo la relazione:

$$A^2 = -n \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} \cdot \{ \ln[f(y_i)] + \ln[f(y_{n+1-i})] \} \quad (IV.1)$$

dove  $n$  rappresenta il numero delle osservazioni del campione, ovvero il vettore ordinato  $y_i$ , mentre  $f$  è la distribuzione di densità cumulata che viene testata.

Scelto un livello di significatività è possibile accettare l'ipotesi nulla se il valore determinato di  $A$  è minore del valore critico, ottenibile in letteratura.

Nel caso di distribuzione normale e livello di significatività pari a 0.5, il valore di  $A_{crit}$  è pari a 0.752.

### **Test di Breusch –Pagan**

L'ipotesi di omoschedasticità dei residui ottenuti in seguito alla regressione lineare per mezzo del metodo dei minimi quadrati ordinari (OLS) riveste un ruolo molto importante in relazione alla validità della stima stessa dei regressori e agli errori commessi.

Per l'esecuzione del test è necessario:

- Determinazione dei residui della regressione lineare del campione di dati;
- Elevare al quadrato i residui ed eseguire per essi una nuova regressione lineare rispetto alla medesima variabile indipendente utilizzata per il campione iniziale dei dati;
- Ottenuto il coefficiente di dispersione  $R^2$  moltiplicarlo per la numerosità del campione  $N$ ;

La variabile  $X = R^2 N$  segue la statistica chi-quadro con  $k$  gradi di libertà, essendo  $k$  il numero di regressori utilizzati nella regressione lineare dei residui.

Se  $\chi^2$  è significativo è necessario rigettare l'ipotesi nulla di omoschedasticità.

Si noti che alla base del test è necessario un campione numeroso e distribuito in modo normale.

---