

Convenzione del 25 ottobre 2005

tra

Regione Autonoma Valle D'Aosta
Assessorato territorio, ambiente e opere pubbliche
Dipartimento territorio, ambiente e risorse idriche
e

Centro di ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale
delle Università degli Studi di Genova e della Basilicata

La regionalizzazione delle precipitazioni e delle
portate e l'implementazione di modellistica idrologica
- idraulica per la previsione del rischio idrogeologico

**Rapporto tecnico-scientifico della
regionalizzazione delle precipitazioni intense**

N° 347/07

Aprile 2007

aggiornato ad agosto 2009

Il Direttore del Centro

Prof. Ing. Franco Siccardi



I Responsabili Scientifici

Prof. Ing. Luca Ferraris



Prof. Ing. Giorgio Roth

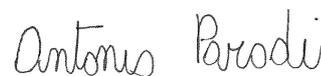


I Collaboratori Scientifici

Prof. Ing. Giorgio Boni



Dott. Ing. Antonio Parodi



Dott. Ing. Debora Daniela Piazza



| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Premessa | 5 |
| 2 | Regionalizzazione precipitazioni intense | 5 |
| 2.1 | LA CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE..... | 6 |
| 2.2 | Applicazione al territorio della Valle d'Aosta: i risultati | 9 |
| 2.2.1 | Scelta del modello probabilistico: la distribuzione TCEV | 9 |
| 2.2.2 | Stima dei parametri della distribuzione di probabilità genitrice. | 12 |
| 2.2.2.1 | Regione e sottoregione padana | 15 |
| 2.2.2.2 | Regione e sottoregione Valle d'Aosta | 21 |
| 2.2.3 | Terzo livello di regionalizzazione: la variabilità spaziale della pioggia indice. 29 | |
| 2.2.4 | Definizione delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica..... | 31 |
| 2.2.5 | Definizione del fattore di crescita K_T | 32 |
| 2.2.6 | Valutazione del fattore di pioggia indice RI_1 | 34 |
| 2.2.7 | Valutazione dell'esponente di scala n | 39 |
| 2.2.8 | Mappe di altezza di precipitazione per assegnata durata o tempo di ritorno 41 | |
| 2.3 | Confronto con studi precedenti | 42 |
| 2.3.1 | Confronto con lo studio CIMA-INTERREGII | 42 |
| 2.3.2 | Confronto con i risultati del modello di regionalizzazione POLIMI | 45 |
| 2.3.3 | Confronto con i risultati della regionalizzazione PAI | 60 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | Estensione della regionalizzazione alle durate inferiori a 1 ora. | 66 |
| 3.1 | Campo di applicazione della regionalizzazione delle precipitazioni intense ... | 66 |
| 3.2 | Analisi dei dati di precipitazione | 68 |
| 3.2.1 | I Set | 68 |
| 3.2.2 | II Set..... | 70 |
| 3.3 | Procedura di validazione delle osservazioni | 73 |
| 3.4 | Procedura di validazione della regionalizzazione | 74 |
| 3.5 | Analisi dei risultati..... | 75 |
| 3.5.1 | I Set | 75 |
| 3.5.2 | II set | 77 |
| 4 | Considerazioni conclusive | 81 |
| 4.1 | La scelta della forma della distribuzione di probabilità genitrice..... | 81 |
| 4.2 | La pioggia indice..... | 82 |
| 4.3 | Le durate inferiori a 1 ora..... | 83 |
| 5 | Bibliografia | 84 |
| 6 | Appendice A: Esempio di applicazione della procedura | 86 |
| 7 | Appendice B: confronto cv e cs dei dati osservati e generati..... | 93 |
| 7.1 | Regione padana..... | 93 |
| 7.2 | Regione Valle d'Aosta | 98 |

| | | |
|------|---|-----|
| 8 | Appendice C: confronto puntuale dati osservati, TCEV e GEV regione Valle d'Aosta durata 1 ora..... | 103 |
| 9 | Appendice D: confronto puntuale dati osservati, TCEV e GEV regione Valle d'Aosta durata 24 ore..... | 123 |
| 10 | Appendice E: Mappe di pioggia per la regione Valle d'Aosta per assegnato tempo di ritorno | 143 |
| 10.1 | tempo di ritorno 50 anni..... | 144 |
| 10.2 | tempo di ritorno 200 anni..... | 149 |
| 11 | Appendice F: confronto a sito singolo tra Studio PAI e metodo CIMA..... | 154 |
| 11.1 | Tempo di ritorno 20 anni..... | 154 |
| 11.2 | Tempo di ritorno 100 anni | 174 |
| 11.3 | Tempo di ritorno 200 anni | 194 |
| 12 | Appendice G: validazione dell'estensione della regionalizzazione alle durate inferiori a 1 ora – Set I | 214 |
| 12.1 | Durata 15 minuti..... | 214 |
| 12.2 | Durata 30 minuti..... | 219 |
| 13 | Appendice H: validazione dell'estensione della regionalizzazione alle durate inferiori a 1 ora – Set II | 224 |
| 13.1 | Durata 10 minuti..... | 224 |
| 13.2 | Durata 20 minuti..... | 229 |
| 13.3 | Durata 30 minuti..... | 234 |

1 PREMESSA

In data 25 ottobre 2005 è stata stipulata la convenzione tra la Regione Autonoma Valle D'Aosta – Assessorato territorio, ambiente e opere pubbliche, Dipartimento territorio, ambiente e risorse idriche - e questo Centro di ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale delle Università degli Studi di Genova e della Basilicata (CIMA), *"per la regionalizzazione delle precipitazioni e delle portate e l'implementazione di modellistica idrologica-idraulica per la previsione del rischio idrogeologico"*.

A norma dell'articolo 2 della Convenzione, la stessa avrà durata di 24 mesi dalla data della stipula.

Il presente documento, rappresenta il rapporto tecnico-scientifico della regionalizzazione delle precipitazioni intense, così come previsto dall'Allegato tecnico alla Convenzione.

Al presente lavoro hanno contribuito attivamente la Dott.ssa Sara Ratto, l'Ing. Hervé Stevenin e l'Ing. Franco Collé della Regione Autonoma della Valle d'Aosta.

2 REGIONALIZZAZIONE PRECIPAZIONI INTENSE

Nel presente rapporto viene descritto il lavoro svolto relativo all'analisi statistica regionale delle precipitazioni massime annuali per le durate da 1 a 24 ore.

Diverse sono le metodologie tecnico-scientifiche che possono essere utilizzate per giungere alla caratterizzazione statistica delle piogge intense. Alcune sono basate principalmente sull'analisi separata delle singole registrazioni effettuate alle stazioni di misura (analisi a sito singolo) altre sull'uso congiunto dei dati osservati in regioni estese (analisi regionale). L'esperienza nell'ambito del progetto Valutazione delle Piene in Italia (VAPI) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, ha mostrato che l'analisi regionale risulta, per l'Italia, il metodo più adatto per la stima affidabile dei quantili dei massimi annuali di precipitazione per

elevato periodo di ritorno. Tra l'altro il principale risultato che deve essere riconosciuto al progetto VAPI è di aver definito per il territorio nazionale una procedura standard validata e di elevato contenuto tecnico-scientifico.

Queste sono le motivazioni che hanno condotto il CIMA ad adottare, per le attività di regionalizzazione delle precipitazioni intense sul territorio della Regione Valle d'Aosta, la procedura del Progetto VAPI. Essa è stata particolarizzata per la suddetta Regione, includendo le osservazioni di tutte le stazioni pluviometriche-idrometriche disponibili ad oggi. Inoltre è stata messa a punto una metodologia originale per la caratterizzazione spaziale della pioggia indice, per la quale questo lavoro rappresenta la prima validazione operativa. I risultati della regionalizzazione delle piogge massime annuali per le durate da 1 a 24 ore è illustrata nei prossimi capitoli come segue: nel capitolo 2 viene presentata la metodologia generale del progetto VAPI; nel capitolo 3 vengono mostrati i risultati per diverse ipotesi di regionalizzazione; nel capitolo 4 vengono illustrate e giustificate le scelte effettuate tra i risultati delle diverse ipotesi.

2.1 LA CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

La caratterizzazione statistica delle precipitazioni intense in una determinata porzione di territorio è un problema complesso nel quale una serie di fattori intervengono a condizionare le scelte metodologiche.

Le finalità dell'analisi rappresentano senza dubbio il fattore maggiormente condizionante. Quando, come nel caso presente, le analisi siano finalizzate alla caratterizzazione delle portate al colmo di piena per i bacini di una porzione di territorio montano non si può prescindere da considerazioni che riguardano l'omogeneità della procedura su tutta la porzione del territorio considerata e le scale spaziali e temporali caratteristiche dei bacini idrografici interessati. Tenendo inoltre conto che gli utenti finali della procedura proposta sono sia gli enti pubblici che i professionisti che si trovano ad operare sulla porzione di territorio considerata, il metodo deve essere concepito per poter essere applicato con una procedura standard

e facilmente riconoscibile. Ciò si collega anche con il problema dell'omogeneità dei risultati sul territorio: una procedura standardizzata e riconoscibile assicura tale omogeneità, riducendo i gradi di libertà nell'applicazione della stessa e consentendone un facile controllo.

Alla luce delle considerazioni precedenti, le scelte adottate per la regionalizzazione delle precipitazioni intense sul territorio della Regione Autonoma Valle d'Aosta sono state le seguenti:

- analisi di frequenza con approccio regionale: l'approccio di tipo regionale consente di utilizzare contemporaneamente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio. Esso è senz'altro da preferire ad un approccio a sito singolo, in quanto le valutazioni statistiche che ne risultano presentano una disomogeneità spaziale dovuta alla differente lunghezza delle serie storiche osservate ai diversi siti di misura. Inoltre la limitata estensione del campione osservato a sito singolo fa sì che l'incertezza associata alle stime sia inaccettabile, specialmente per gli eventi rari. L'uso di tutta l'informazione disponibile sul territorio consente invece di ridurre tale incertezza al massimo livello possibile.
- utilizzo dei valori massimi annuali di precipitazione per le brevi durate: lo scopo dello studio è quello di arrivare ad una migliore caratterizzazione delle portate al colmo di piena nei bacini montani di medio-piccole dimensioni, intendendo con tale termine i bacini di scala fino ai 1000 km². I tempi di risposta di tali bacini ad eventi estremi sono contenuti in poche ore e comunque non superano mai le 24 ore. Sono quindi stati analizzati i massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Tali dati sono stati tratti dagli annali idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI), parte I, integrati dai dati delle stazioni della rete telerilevata della Regione Piemonte e dalla Regione Valle D'Aosta. Per il territorio svizzero sono stati usati dati delle stazioni gestite da Meteo Swiss.

Determinato quindi quali fossero il metodo ed i dati da utilizzare per l'analisi, si sono identificati i diversi passi necessari per giungere alla caratterizzazione statistica delle piogge. La procedura di analisi statistica regionale prevede i seguenti passi:

1. scelta della *distribuzione di probabilità genitrice*: per poter eseguire una analisi statistica occorre prima di tutto identificare la distribuzione di probabilità più adatta a descrivere statisticamente le osservazioni. Nell'approccio di tipo regionale tale distribuzione è assunta unica, nella sua forma adimensionale, nella porzione di territorio ritenuta statisticamente omogenea. Essa deve quindi essere in grado di descrivere il comportamento d'insieme dei dati, in termini di variabilità nello spazio dei momenti di ordine superiore osservati. Inoltre essa deve prestarsi ad una stima dei parametri su base regionale attraverso una procedura ben definita in letteratura. La distribuzione del valore estremo a due componenti (TCEV) presenta tutti questi vantaggi, come ben documentato in una serie di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali (si veda ad esempio Rossi et al., 1984; Arnell e Gabriele, 1988) e dal suo impiego con successo sul territorio italiano, nel progetto VAPI-VALutazione delle Piene in Italia (Versace et al., 1989; Cannarozzo et al., 1993);
2. identificazione delle regioni omogenee: una volta scelta la forma della *distribuzione di probabilità genitrice* occorre identificare le porzioni di territorio su cui quest'ultima può essere assunta unica nella sua forma adimensionale. Le tecniche usualmente suggerite in letteratura utilizzano criteri di tipo matematico o empirico, che generalmente non hanno alcuna giustificazione dal punto di vista fisico o al più molto debole. È quindi stata elaborata una tecnica innovativa che consentisse la determinazione delle regioni omogenee sulla base di considerazioni relative alla fisica delle tempeste mediterranee e sull'evidenza sperimentale fornita da sensori remoti;
3. stima dei parametri della curva di crescita che deriva dalla *distribuzione di probabilità genitrice* prescelta: attraverso le tecniche suggerite in letteratura per la distribuzione prescelta (Gabriele e Arnell, 1991) si passa poi alla stima dei parametri all'interno delle regioni omogenee, che definiscono la curva di crescita, ed alla verifica dell'omogeneità;
4. caratterizzazione della *pioggia indice*: la curva di crescita viene assunta unica all'interno di una regione omogenea nella sua forma adimensionale. Per consentire la particolarizzazione della distribuzione in un sito generico occorre procedere alla caratterizzazione spaziale del parametro di dimensionalizzazione denominato

pioggia indice. In analogia alla tecnica di identificazione delle zone omogenee, è stata elaborata una tecnica innovativa, recentemente proposta per la pubblicazione su rivista internazionale (Boni et al, 2006) e già applicata con successo al territorio della Regione Liguria, che mette in relazione la pioggia indice con fattori climatici e morfologici;

5. definizione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP): l'ultimo passo da compiere per la completa caratterizzazione delle precipitazioni in un sito generico del territorio analizzato è la definizione delle LSPP. Esse consentono, per assegnato periodo di ritorno, di disegnare un evento di precipitazione di progetto, il quale può essere utilizzato per la generazione delle portate al colmo di piena, con opportuna tecnica di trasformazione afflussi-deflussi.

I risultati dell'applicazione della metodologia esposta, relativamente ai punti 1,2 e 3 sopra menzionati, sono riportati nei capitoli della presente relazione. In particolare al capitolo 3 vengono esposti in dettaglio i risultati della procedura che riguarda la stima dei parametri della *distribuzione di probabilità genitrice* all'interno delle regioni omogenee identificate.

2.2 APPLICAZIONE AL TERRITORIO DELLA VALLE D'AOSTA: I RISULTATI

2.2.1 Scelta del modello probabilistico: la distribuzione TCEV

L'ipotesi fondamentale alla base della derivazione dell'espressione del modello probabilistico del valore estremo a doppia componente (TCEV), proposto da Rossi e Versace (1984) è che i valori estremi delle variabili idrologiche in esame, principalmente piogge e portate, non appartengano tutti alla medesima, ma a due differenti popolazioni, ciascuna descritta statisticamente da una distinta funzione di probabilità, i cui membri si osservino a seguito del darsi di eventi meteorologici dalle caratteristiche distinte. Si distinguono quindi una componente medio-alta e una componente straordinaria.

Questa ipotesi è suffragata da evidenze sperimentali sulla base delle quali numerose serie storiche dei massimi annuali delle piogge o delle portate al colmo di piena

presentano valori nettamente superiori agli altri e tali da non apparire provenienti dalla medesima popolazione dei restanti dati.

Queste osservazioni di valore elevato, dette "outliers", presentano da un lato una grande importanza, in quanto si riferiscono sempre ad eventi molto gravosi, ma dall'altro la loro caratterizzazione statistica risulta particolarmente incerta, a causa proprio della rarità con cui vengono osservati. Proprio per questo ultimo motivo sovente sono stati considerati anomali e quindi trascurati nelle elaborazioni, mentre devono essere assunti, quando accertata la loro validità, come elemento caratterizzante della serie storica.

La distribuzione di probabilità cumulata (CDF) della TCEV risulta essere il prodotto di due espressioni di tipo Gumbel e assume la seguente forma:

$$F_x(x) = \exp\left(-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\theta_2}\right)\right) \quad x \geq 0 \quad (1)$$

dove: Λ_1 , Λ_2 , θ_1 e θ_2 sono i parametri della distribuzione .

Ai quattro parametri può essere attribuito un chiaro significato fisico: Λ_1 rappresenta il numero medio di eventi indipendenti della componente medio-alta; Λ_2 il numero medio di eventi indipendenti della componente extra-ordinaria; θ_1 corrisponde al valore atteso della componente medio-alta; θ_2 corrisponde infine al valore atteso della componente extra-ordinaria. Da ciò risulta necessariamente che $\Lambda_1 > 0$; $\Lambda_2 > 0$; $\theta_2 > \theta_1$; $\Lambda_2 \gg \Lambda_1$.

La corrispondente densità di probabilità (PDF) della distribuzione è data dalla seguente relazione:

$$\begin{cases} f_x(x) = \exp(-\Lambda_1 - \Lambda_2) & x = 0 \\ f_x(x) = \left[\frac{\Lambda_1}{\theta_1} \exp\left(-\frac{x}{\theta_1}\right) + \frac{\Lambda_2}{\theta_2} \exp\left(-\frac{x}{\theta_2}\right) \right] * \exp\left[-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\theta_2}\right)\right] & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Nella procedura gerarchica di stima dei parametri è utile riferirsi alla variabile normalizzata:

$$Y = \frac{X}{\theta_1} - \ln(\Lambda_1)$$

se si pone infatti: $\theta_* = \frac{\theta_2}{\theta_1}$ e $\Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\left(\frac{1}{\theta_*}\right)}$, sostituendo si ricava:

$$F_Y(y) = \exp\left[-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\theta_*}\right)\right] \quad (3)$$

Questa equazione risulta di particolare importanza per la stima dei parametri: infatti è possibile dimostrare che il coefficiente di asimmetria teorico CS dipende soltanto da Λ_* e θ_* , risultando quindi indipendente da Λ_1 e θ_1 . Il coefficiente CS è caratterizzato da variabilità spaziale bassa in confronto alla variabilità campionaria, mentre CV ha variabilità spaziale maggiore e variabilità campionaria minore. Pertanto CS ed i parametri ad esso legati devono essere stimati in regioni grandi, mentre CV e i rispettivi parametri vincolati possono essere stimati in sottoregioni nell'ambito delle regioni dove CS è stimato.

Seguendo queste osservazioni Rossi (1986) conclude che sia conveniente stimare il valore dei parametri con un approccio regionale di tipo gerarchico suggerito da Fiorentino et al. (1985).

E' inoltre importante rilevare come il coefficiente di variazione teorico della componente base, analogamente alla relazione valida per la distribuzione di Gumbel (EV1), dipenda soltanto dal parametro Λ_1 mediante la relazione :

$$CV=0.557/[\log(\Lambda_1)+0.251]$$

Nel caso di stime regionali è necessario definire non solo la distribuzione di probabilità, ma anche studiare la variabilità spaziale dei parametri propri della stessa: di tale aspetto si discuterà nel paragrafo successivo.

2.2.2 *Stima dei parametri della distribuzione di probabilità genitrice.*

Il metodo utilizzato per la stima dei parametri della distribuzione TCEV fa riferimento al metodo della Massima Verosimiglianza secondo un approccio di tipo gerarchico proposto da Gabriele e Arnell (1991) che perviene alla stima dei parametri per passi successivi, attraverso un approccio gerarchico. Il primo passo della procedura effettua la stima dei parametri θ^* e Λ^* da cui dipende il coefficiente di asimmetria (CS) della *distribuzione di probabilità genitrice* utilizzata nella forma dell'equazione (3). Successivamente si passa alla stima di Λ_1 che caratterizza il coefficiente di variazione (CV). Ultimo viene stimato il parametro di dimensionalizzazione o pioggia indice. In questo elaborato, al paragrafo 2.2.3 si propone la metodologia di stima adottata per la redazione del rapporto tecnico-scientifico della regionalizzazione delle precipitazioni intense.

Per ciascuno dei passi indicati viene effettuato un test atto a verificare che la regione assunta come omogenea lo sia effettivamente e che non rimanga della variabilità non spiegabile con l'errore di campionamento.

In maggior dettaglio, assunta come *distribuzione di probabilità genitrice* la TCEV, si procede come segue:

- si identificano una o più regioni e sottoregioni omogenee, secondo un criterio predefinito. In questo lavoro si è fatto riferimento ad un criterio di tipo geografico-meteorologico che tiene in considerazione quelle che sono le caratteristiche e l'evoluzione dello scenario meteorologico che produce eventi estremi nelle varie parti del territorio indagato;
- si stimano, con il metodo della massima verosimiglianza (ML) i parametri θ^* e Λ^* . Con metodo Monte-Carlo si generano n serie storiche sintetiche per le quali si stima $CS_i(i=1\dots n)$, essi forniscono una misura della variabilità campionaria dei CS osservati nell'ipotesi che il valore atteso, nella regione omogenea sia unico. Se le variabilità del campione generato e osservato non sono statisticamente distinguibili, allora la regione analizzata si può ritenere omogenea al primo livello di regionalizzazione;

- si stima ancora con il metodo ML il parametro Λ_1 che, con Λ_* e θ_* , definisce, per la TCEV, CV. Con metodo analogo al precedente si ottiene un campione sintetico di CV che viene confrontato con il campione osservato. Analoghe considerazioni sulle variabilità campionarie dei CV consentono di validare l'ipotesi di omogeneità al secondo livello di generalizzazione.

In una regione che risulta omogenea ad entrambi i livelli di regionalizzazione si definisce una unica curva di crescita, derivata dalla *distribuzione di probabilità genitrice* in forma adimensionale:

$$F_{(X')} (x') = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp[-\eta x'] - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} \exp[-\eta x' \theta_*]\right\} \quad (4)$$

dove: $\eta(\theta_*, \Lambda_*, \Lambda_1) = \ln(\Lambda_1) + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\theta_*}\right)$, $X'=X/\mu$ e $\mu=E[X]$

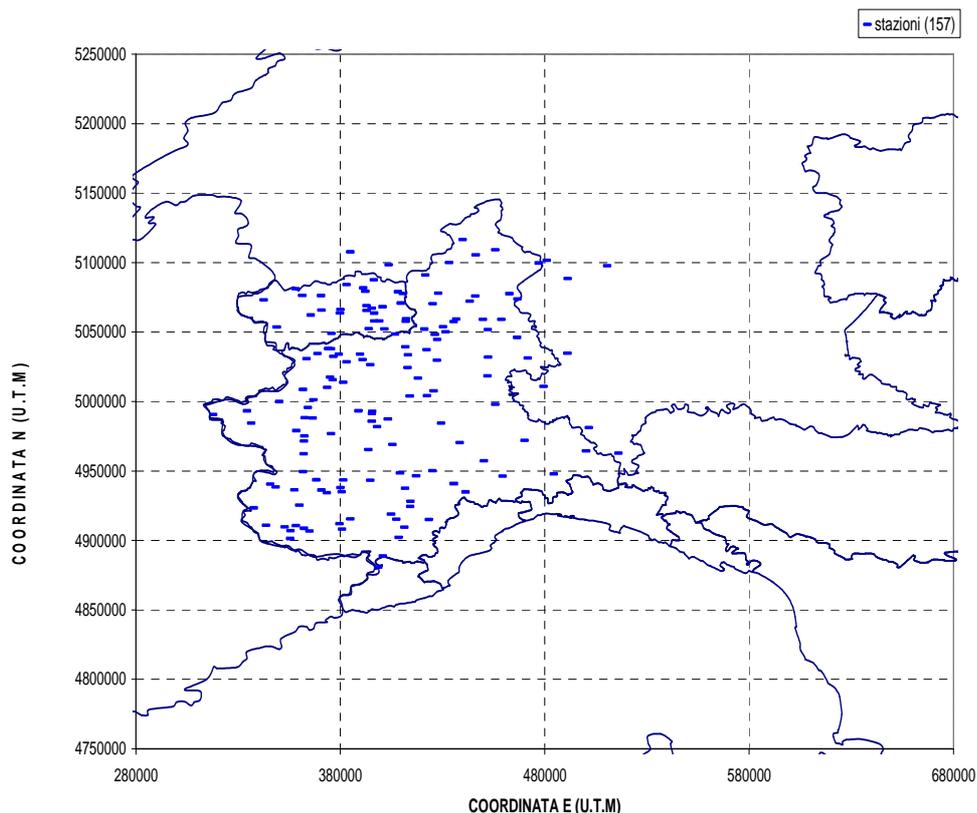


Figura 1: Rappresentazione del territorio oggetto di studio relativo alla regione e sottoregione Padana.

Lo studio è stato condotto formulando due diverse ipotesi di regioni e sottoregioni omogenee:

1. La prima ipotesi è illustrata nella Figura 1 ed è denominata **regione e sottoregione padana (CIMA INTERREG II)**. Essa comprende l'insieme delle stazioni ricadenti in Piemonte e in Valle D'Aosta e coincide con l'ipotesi formulata in un precedente studio condotto nell'ambito di un progetto europeo transfrontaliero Interreg II;
2. la seconda ipotesi, che comprende un'area di studio minore, denominata **regione e sottoregione Valle D'Aosta (CIMA VDA)**, comprende delle stazioni ricadenti nella Regione Valle D'Aosta e Svizzera meridionale è rappresentata in Figura 2.

Nei paragrafi successivi è data una descrizione dettagliata dei risultati ottenuti per ciascuna delle due ipotesi.

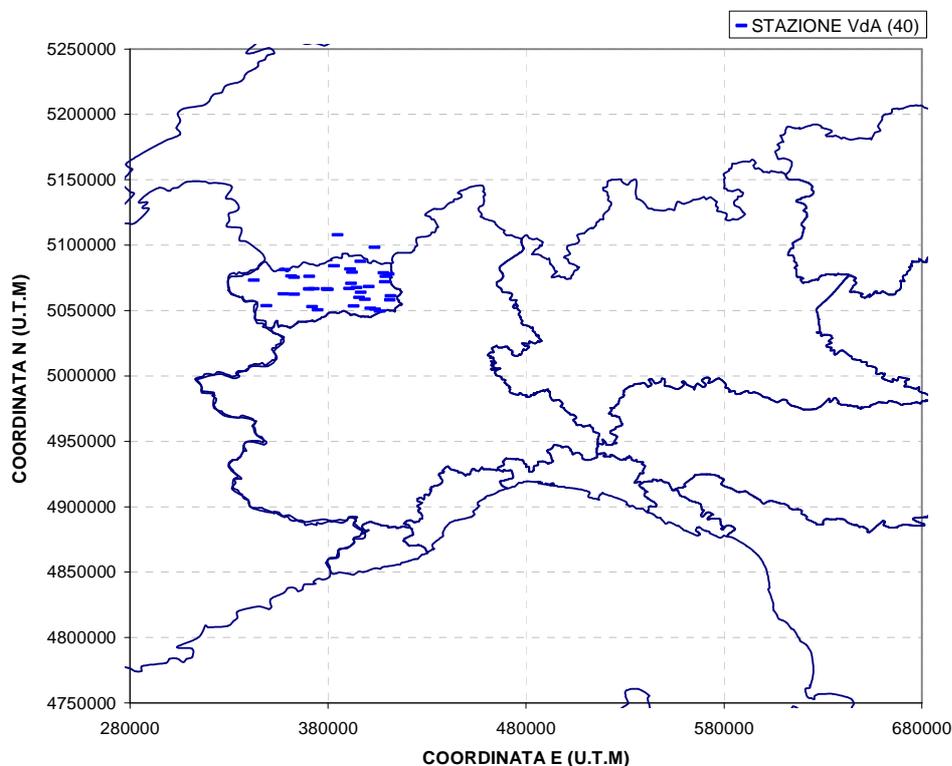


Figura 2: : Rappresentazione del territorio oggetto di studio relativo alla regione e sottoregione Valle D'Aosta.

2.2.2.1 Regione e sottoregione padana

Questa regione, come risulta dalla Figura 1, comprende l'insieme delle 157 stazioni ricadenti in Piemonte e in Valle D'Aosta per un numero di anni pluviometro pari a 5300. Nel caso in esame si è giunti a stimare i parametri relativi al primo e secondo livello del procedimento di regionalizzazione, assumendo quale ipotesi di lavoro, come già precisato in precedenza, quella di considerare l'intero territorio analizzato come zona e sottozona omogenea rispetto al coefficiente di asimmetria e di variazione.

La verifica dell'omogeneità della regione proposta al primo livello è stata fatta confrontando la distribuzione di frequenza dei coefficienti di asimmetria campionari con quella ottenuta mediante la generazione, con metodo Montecarlo, di 10000 serie di lunghezza variabile di valori distribuiti secondo i parametri stimati al primo livello dal campione osservato. Il confronto è stato condotto usando il test Chi-quadro (χ^2) per assegnato livello di significatività pari al 5%.

Per ciascuna delle durate e dei parametri considerati si è assunta accettabile l'ipotesi di zonizzazione fatta nel caso in cui il test risulti superato. Per il test χ^2 sono stati utilizzati i valori delle occorrenze del coefficiente di asimmetria CS per 25 classi equiprobabili con gradi di libertà pari a 3. Nella Tabella 1 sono riportate le statistiche relative ai valori osservati e quelli generati del CS e dei parametri della distribuzione ad esso legati (Λ^* e θ^*).

Tabella 1: confronto tra le popolazioni dei coefficienti di asimmetria delle serie campionarie utilizzate e delle 10000 serie sintetiche generate a partire da una popolazione TCEV caratterizzata dai parametri di forma indicati, ottenuti dalla stima eseguita con il metodo della Massima Verosimiglianza.

| Durata | Parametri di forma | | Coeff.asimm.camp. | | Coeff.asimm.gen. | |
|--------|--------------------|------------|-------------------|---------|------------------|---------|
| | Λ^* | θ^* | media | dev.st. | media | dev.st. |
| 1 | 0.1245 | 1.8008 | 1.0072 | 0.7535 | 1.0502 | 0.6905 |
| 3 | 0.2195 | 1.9749 | 1.1515 | 0.8333 | 1.1858 | 0.7440 |
| 6 | 0.0898 | 2.4265 | 1.1924 | 0.8747 | 1.1870 | 0.8131 |
| 12 | 0.1657 | 1.8412 | 1.1135 | 0.7307 | 1.0820 | 0.7028 |
| 24 | 0.1445 | 1.6352 | 0.9970 | 0.6728 | 1.0142 | 0.6634 |

È stato inoltre eseguito il confronto tra la distribuzione teorica ed osservata dei coefficienti di asimmetria CS e di variazione CV, il quale ha evidenziato che il campione di pioggia osservato, per ogni ora, è appartenente alla stessa distribuzione. Questo risultato è avvalorato dall'esito del test χ^2 i cui risultati sono riportati nella Tabella 2. Come evidenziato in tabella, l'ipotesi di regionalizzazione viene rigettata solo per una delle 5 durate analizzate, ovvero per le 12 ore. Resta comunque possibile considerare l'intera area studiata come omogenea rispetto al CS.

Tabella 2: Risultati del test del χ^2 relativo al primo livello di regionalizzazione; è possibile accettare l'ipotesi di zona unica omogenea rispetto al coefficiente di asimmetria

| | | | | | | | $\alpha=0.05$ |
|------------|---------|------------|-------|-------|--------|--------|---------------|
| 1° Livello | Ipotesi | 1 ora | 3 ore | 6 ore | 12 ore | 24 ore | χ^2 |
| | | zona unica | 29.69 | 27.78 | 24.92 | 36.70 | 29.38 |

Nella Figura 3 si riporta, a titolo di esempio, il confronto tra le distribuzioni teoriche e osservate del CS relative alla regione padana e per durata 1 ora.

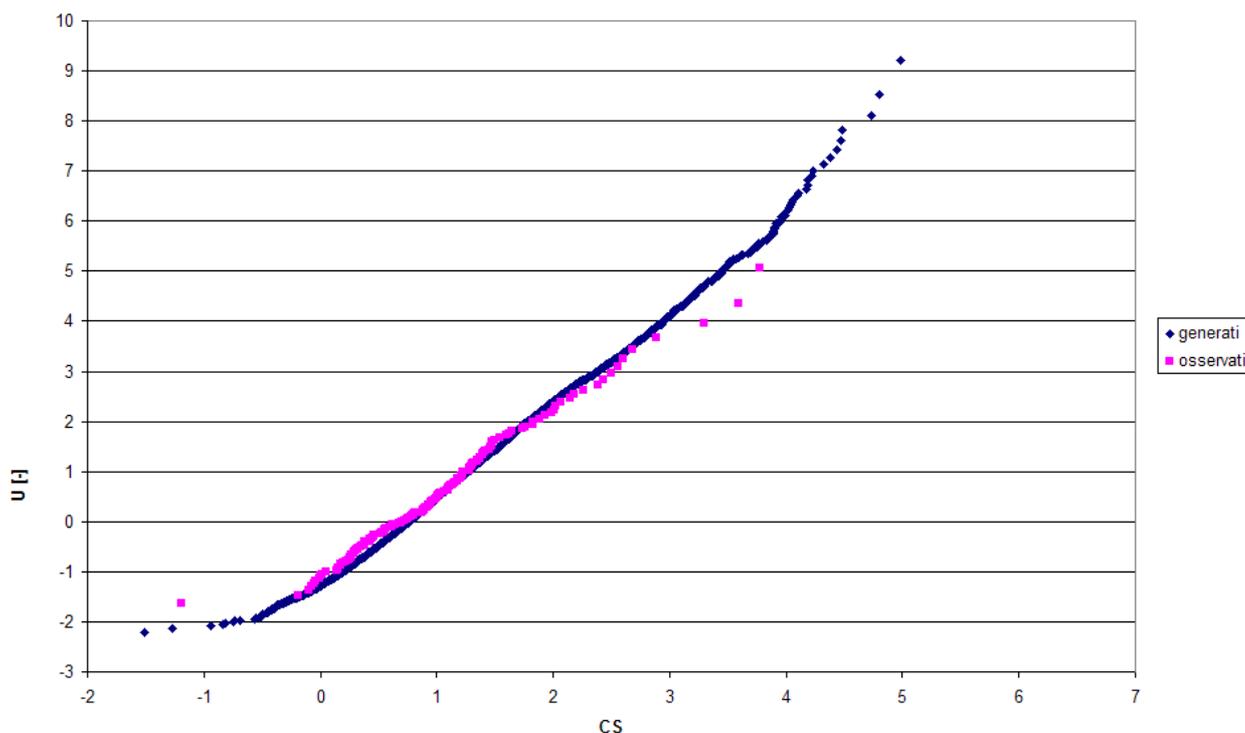


Figura 3: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione padana con i parametri stimati per d=1 ora.

Al secondo livello l'ipotesi presa in esame è stata quella di considerare ancora un'unica sottozona omogenea coincidente con la zona omogenea delimitata al primo livello di regionalizzazione.

Sempre con il metodo numerico basato sulle generazioni Montecarlo si sono derivate le distribuzioni di probabilità teoriche per CV. Nella Tabella 3 sono riportati i valori campionari e generati del coefficiente di variazione, nonché il parametro Λ_1 ad esso legato.

Tabella 3: confronto tra le popolazioni dei coefficienti di variazione delle serie campionarie utilizzate e delle 10000 serie sintetiche generate a partire da una popolazione TCEV caratterizzata dai parametri di scala sopra indicati e dai parametri di forma Λ_* e θ_* indicati in tabella 1.

| Durata | Parametro di forma | Coeff.var.camp. | | Coeff.var.gen. | |
|--------|--------------------|-----------------|---------|----------------|---------|
| | | media | dev.st. | media | dev.st. |
| | Λ_1 | | | | |
| 1 | 19.3621 | 0.3805 | 0.0731 | 0.3739 | 0.0686 |
| 3 | 27.0162 | 0.3706 | 0.0833 | 0.3974 | 0.0802 |
| 6 | 28.2408 | 0.3661 | 0.0842 | 0.3572 | 0.0783 |
| 12 | 28.4184 | 0.3543 | 0.0710 | 0.3474 | 0.0675 |
| 24 | 23.8456 | 0.3573 | 0.0707 | 0.3490 | 0.0617 |

In Tabella 4 è riportato il risultato del test del χ^2 per le durate prese in esame per il quale sono stati usati un numero di classi equiprobabili pari a 25 e gradi di libertà pari a 4. Dalla tabella si evince che l'ipotesi di regione omogenea al secondo livello può essere accettata per tutte le durate considerate.

Tabella 4: Risultati del test del χ^2 relativo al secondo livello di regionalizzazione; è possibile accettare l'ipotesi di sottozona unica omogenea rispetto al coefficiente di variazione.

| | | | | | | | $\alpha=0.05$ |
|------------|---------|------------|-------|-------|--------|--------|---------------|
| 1° Livello | Ipotesi | 1 ora | 3 ore | 6 ore | 12 ore | 24 ore | χ^2 |
| | | zona unica | 34.47 | 60.90 | 32.88 | 31.92 | 38.61 |

Il confronto tra la distribuzione campionaria e osservata del coefficiente di variazione (Figura 4) è risultato congruente con i risultati dal test del χ^2 .

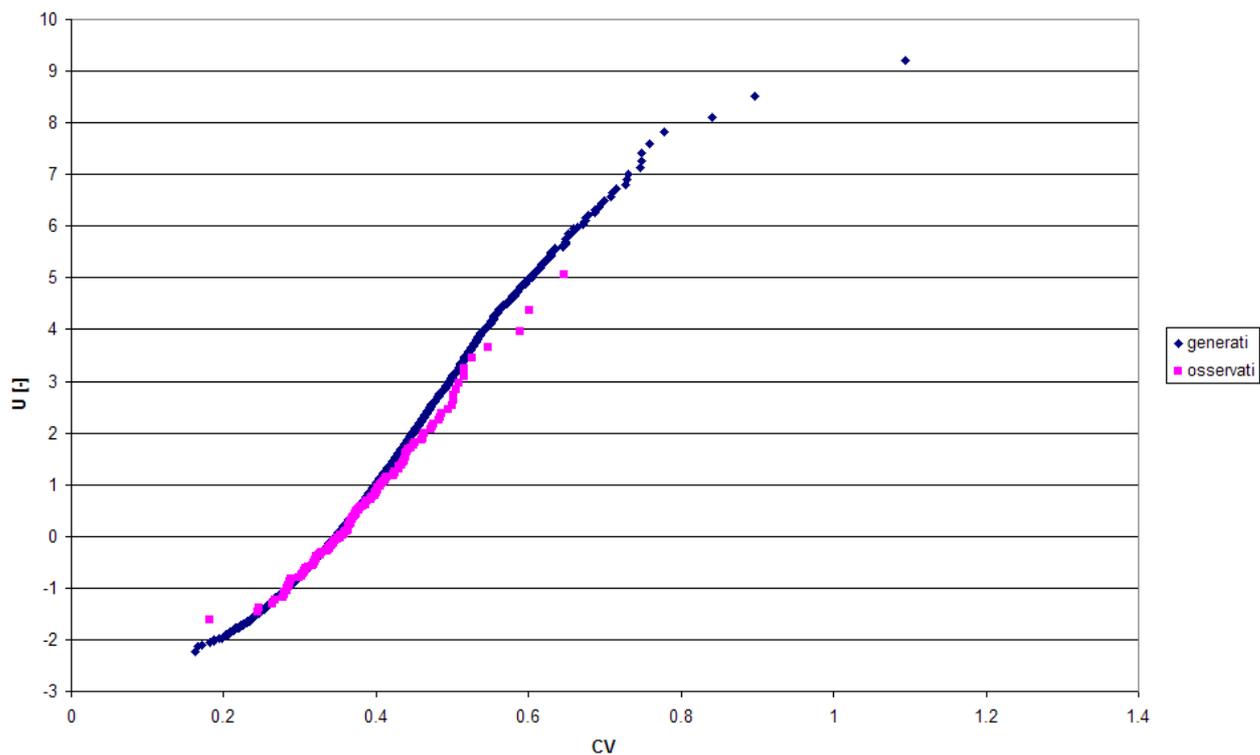


Figura 4: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione padana con i parametri stimati per d=1 ora.

Dal confronto delle curve TCEV per le diverse durate, illustrato nelle Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 si può constatare l'ottimo accordo tra l'andamento delle distribuzioni teoriche e i dati osservati.

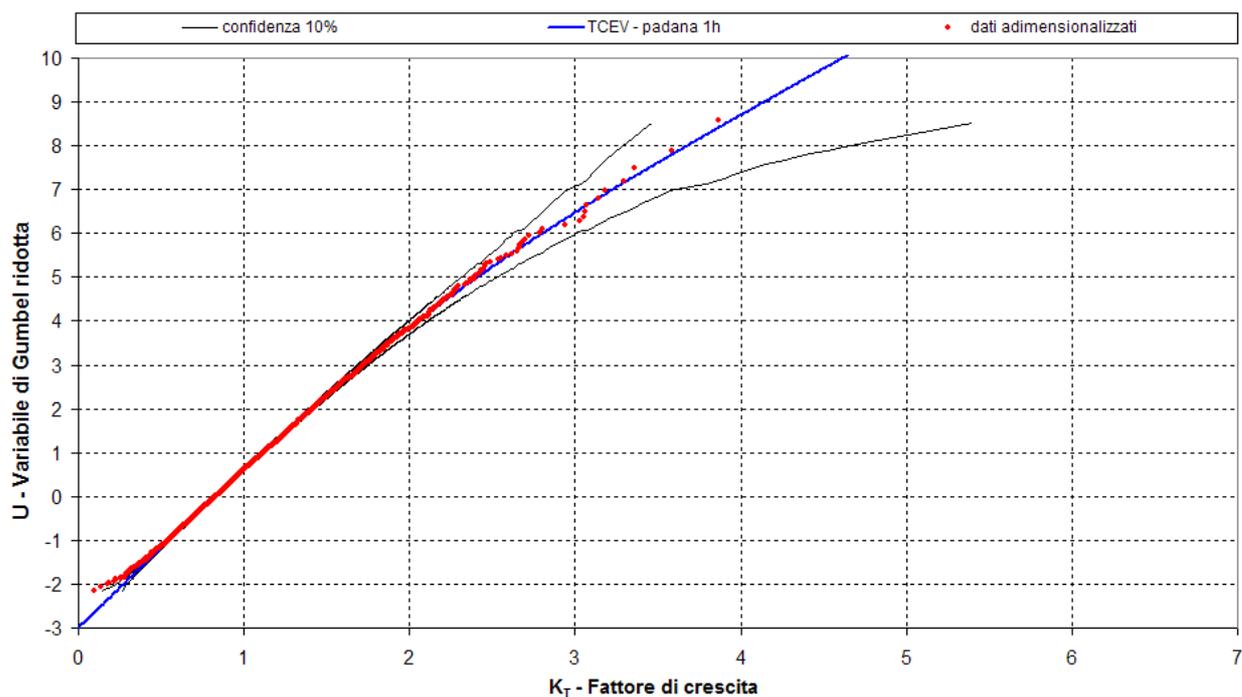


Figura 5: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 1 ore per la regione e sottoregione padana, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

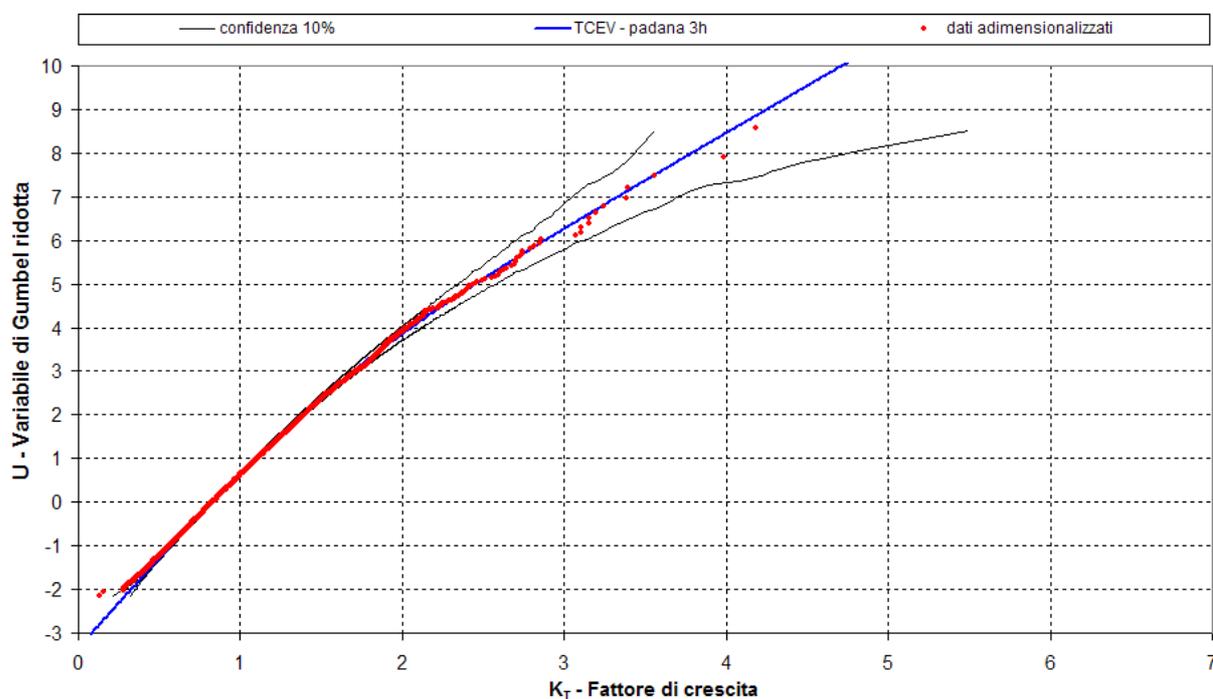


Figura 6: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 3 ore per la regione e sottoregione padana, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

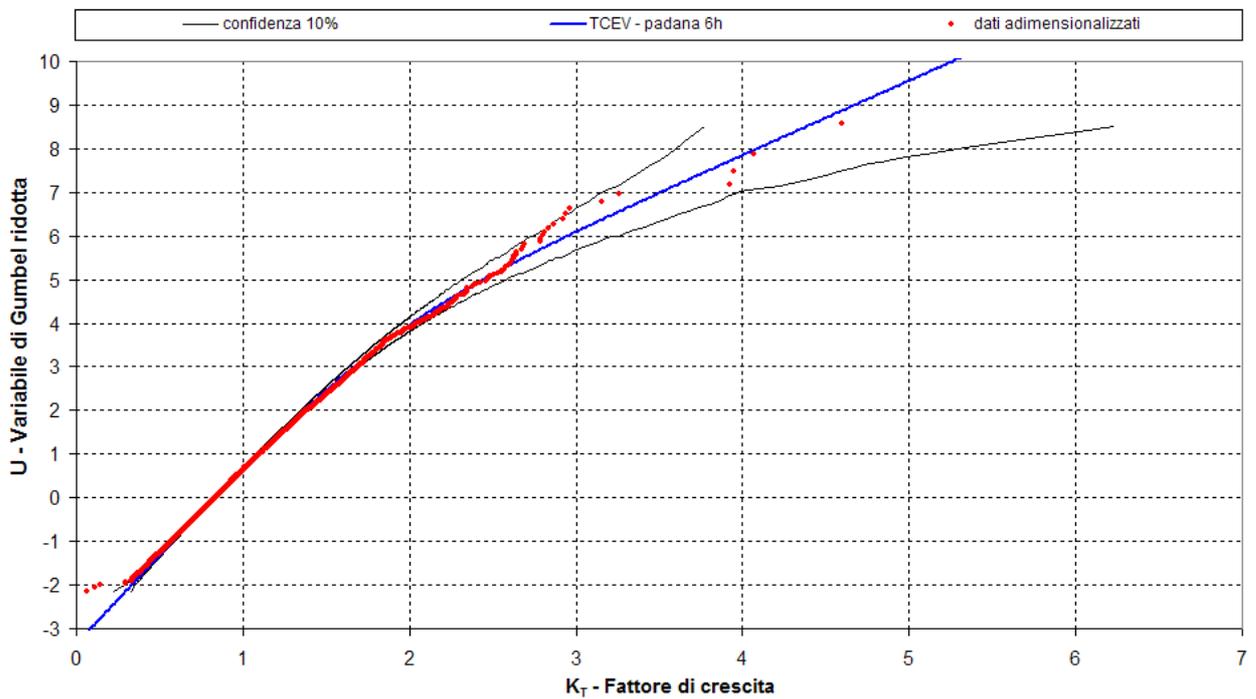


Figura 7: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 6 ore per la regione e sottoregione padana, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

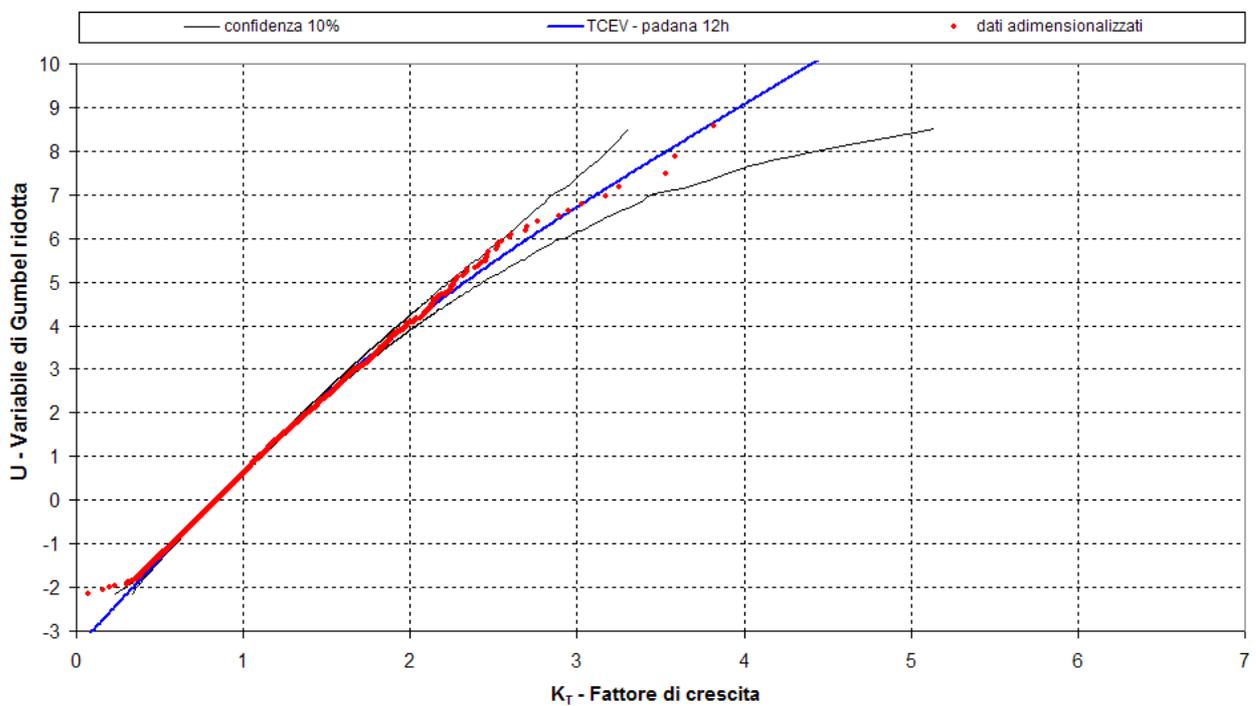


Figura 8: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 12 ore per la regione e sottoregione padana, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

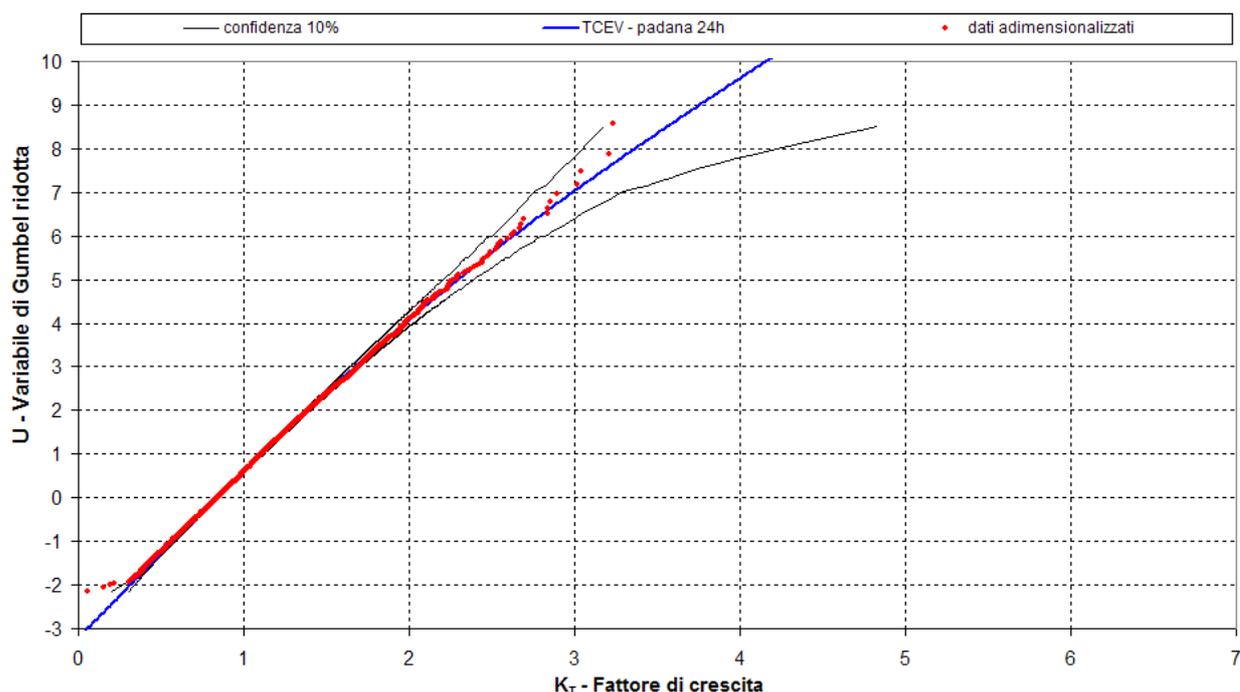


Figura 9: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 24 ore per la regione e sottoregione padana, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

2.2.2.2 Regione e sottoregione Valle d'Aosta

Questa regione, come risulta dalla Figura 2, comprende l'insieme delle 40 stazioni della Valle D'Aosta, Svizzere e ARPA-Piemonte, complessivamente aventi un numero di anni pluviometro pari a 1230. Le stazioni utilizzate costituiscono un sottoinsieme ridotto di quelle impiegate per la determinazione della curva di crescita per l'ipotesi "regione-sottoregione padana". L'utilizzo di un campione ridotto, in un'analisi statistica regionale, conduce a stime necessariamente affette da maggiore incertezza. Si è voluto comunque prendere in considerazione la presente ipotesi al fine di evidenziare eventuali effetti locali (a scala regionale) nella forma della distribuzione di probabilità genitrice, effetti eventualmente nascosti dal peso ridotto dell'informazione raccolta sul territorio della Valle d'Aosta all'interno del database esteso utilizzato nell'ipotesi regione-sottoregione padana.

Nel caso in esame si è giunti a stimare i parametri relativi al primo e secondo livello del procedimento di regionalizzazione, assumendo quale ipotesi di lavoro, come già precisato in precedenza, quella di considerare l'intero territorio della Regione come zona e sottozona omogenea rispetto a CS e CV.

Attraverso la generazione sintetica tipo Montecarlo, la verifica dell'omogeneità della regione proposta al primo livello è stata fatta ancora una volta usando il test χ^2 per assegnato livello di significatività, pari al 5%. Per ciascuna delle durate e dei parametri considerati si è assunta accettabile l'ipotesi di zonizzazione fatta nel caso in cui il test utilizzato risulti superato.

In riferimento, al test χ^2 per le cinque durate considerate i valori delle occorrenze del coefficiente di asimmetria CS sono stati raggruppati in 8 classi equiprobabili con 3 gradi di libertà. Nella Tabella 5 sono riportate le statistiche relative ai valori osservati e quelli generati del CS e dei parametri della distribuzione ad esso legati (Λ^* e θ^*).

Tabella 5: confronto tra le popolazioni dei coefficienti di asimmetria delle serie campionarie utilizzate e delle 10000 serie sintetiche generate a partire da una popolazione TCEV caratterizzata dai parametri di forma indicati, ottenuti dalla stima eseguita con il metodo della Massima Verosimiglianza.

| Durata | Parametri di forma | | Coeff.asimm.camp. | | Coeff.asimm.gen. | |
|--------|--------------------|------------|-------------------|---------|------------------|---------|
| | Λ^* | θ^* | media | Dev.st. | media | dev.st. |
| 1 | 0.0918 | 2.4722 | 1.143 | 0.956 | 1.191 | 0.842 |
| 3 | 0.0712 | 3.0155 | 1.131 | 1.060 | 1.279 | 0.923 |
| 6 | 0.0243 | 3.6013 | 1.023 | 1.009 | 1.136 | 0.912 |
| 12 | 0.4616 | 1.5391 | 0.997 | 0.841 | 1.018 | 0.663 |
| 24 | 0.2445 | 1.8791 | 1.101 | 0.778 | 1.135 | 0.743 |

Nella Tabella 6 è riportato l'esito del test del χ^2 : si può vedere che il test risulta sempre superato tranne che per la durata di 3 ore.

Tabella 6: Risultati del test del χ^2 relativo al primo livello di regionalizzazione.

| | | | | | | | $\alpha=0.05$ |
|------------|---------|------------|-------|-------|--------|--------|---------------|
| 1° Livello | Ipotesi | 1 ora | 3 ore | 6 ore | 12 ore | 24 ore | χ^2 |
| | | zona unica | 8.92 | 14.11 | 9.79 | 10.22 | 10.22 |

È stato eseguito il confronto tra la distribuzione teorica ed osservata del coefficiente di asimmetria CS, che ha evidenziato come l'accordo tra di essi non sia sempre ottimale. Nella Figura 10 e Figura 11 si riporta a titolo di esempio, il confronto tra le distribuzioni teoriche e osservate del CS relativo alla regione e sottoregione Valle d'Aosta rispettivamente per le durate 1 e 3 ore.

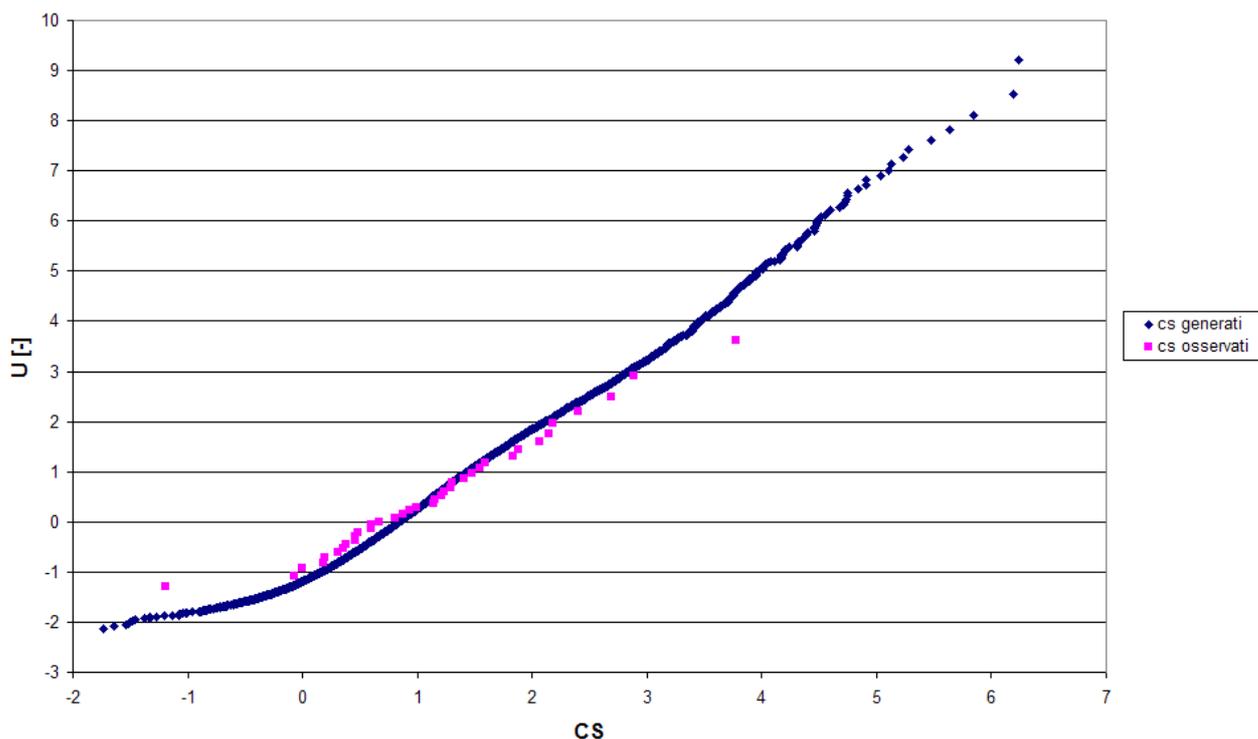


Figura 10: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per d=1 ora.

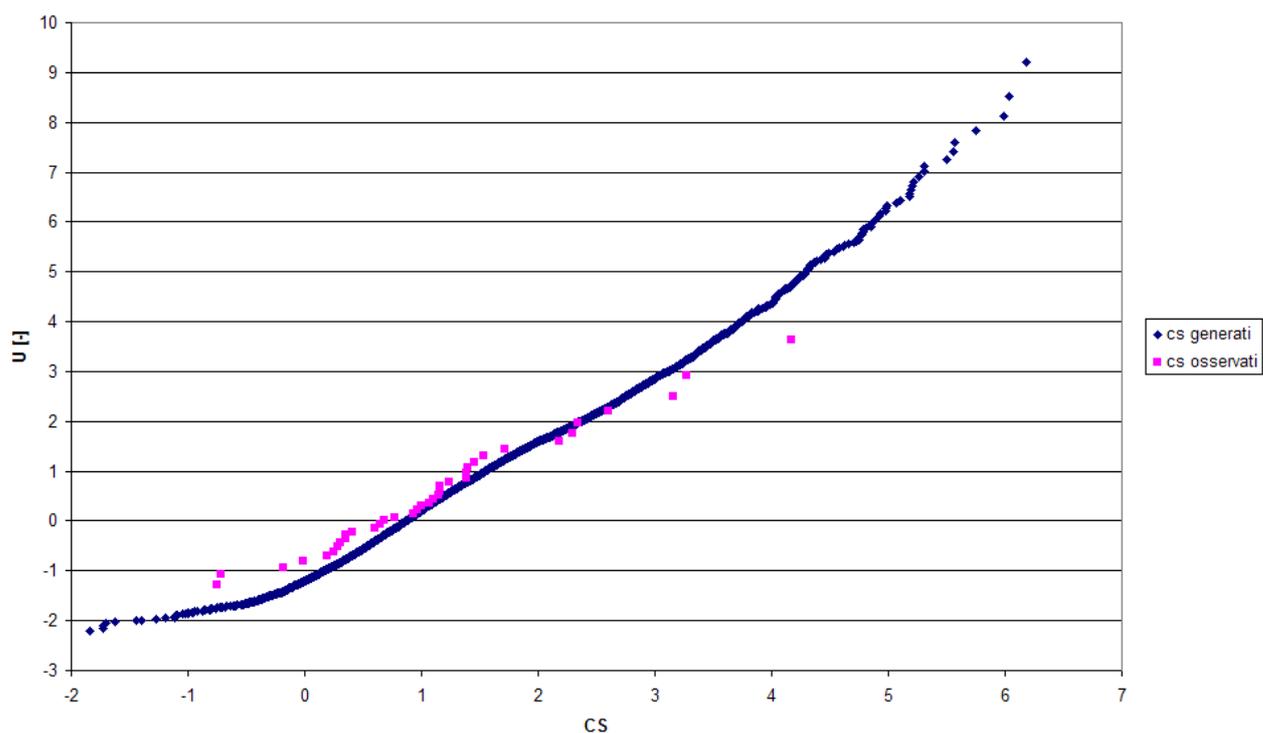


Figura 11: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=3$ ore.

Al secondo livello è stata presa in considerazione l'ipotesi di considerare ancora un'unica sottozona omogenea coincidente con la zona omogenea delimitata al primo livello di regionalizzazione. Per ogni durata sono stati stimati i valori del parametro Λ_1 e sono state confrontate le distribuzioni dei coefficienti di variazione campionari con quelle ottenute dalla generazione sintetica. Nella Tabella 7 sono riportati i valori campionari e generati del coefficiente di variazione.

Tabella 7: confronto tra le popolazioni dei coefficienti di variazione delle serie campionarie utilizzate e delle 10000 serie sintetiche generate a partire da una popolazione TCEV caratterizzata dai parametri di scala sopra indicati e dai parametri di forma Λ_* e θ_* indicati in tabella 5.

| Durata | Parametri di forma | Coeff.var.camp. | | Coeff.var.gen. | |
|--------|--------------------|-----------------|---------|----------------|---------|
| | | media | dev.st. | media | dev.st. |
| | Λ_1 | | | | |
| 1 | 23.0030 | 0.382 | 0.084 | 0.377 | 0.100 |
| 3 | 24.3779 | 0.382 | 0.105 | 0.382 | 0.099 |
| 6 | 22.3437 | 0.372 | 0.089 | 0.369 | 0.095 |
| 12 | 17.4079 | 0.385 | 0.082 | 0.377 | 0.070 |
| 24 | 17.4325 | 0.418 | 0.099 | 0.402 | 0.082 |

In Tabella 8 è riportato il risultato del test del χ^2 per le durate prese in esame, per il quale sono stati adoperati un numero di classi equiprobabili pari a 8 e gradi di libertà pari a 4. Da essa si vede come l'ipotesi di regione omogenea al secondo livello non sia accettabile se non per un numero ridotto di durate (1 su 5).

Tabella 8: Risultati del test del χ^2 relativo al secondo livello di regionalizzazione; non è possibile accettare l'ipotesi di sottozona unica omogenea rispetto al coefficiente di variazione.

| | | | | | | | $\alpha=0.05$ |
|------------|---------|------------|-------|-------|--------|--------|---------------|
| 1° Livello | Ipotesi | 1 ora | 3 ore | 6 ore | 12 ore | 24 ore | χ^2 |
| | | zona unica | 10.22 | 20.17 | 9.79 | 8.92 | 10.65 |

È stato eseguito il confronto tra la distribuzione teorica ed osservata del coefficiente di variazione CV, che ha evidenziato come l'accordo tra di essi non sia sempre ottimale. Nella Figura 12 e Figura 13 si riporta a titolo di esempio, il confronto tra le distribuzioni teoriche e osservate del CV relativo alla regione Valle d'Aosta rispettivamente per le durate 1 e 3 ore. Come illustrato nelle Figura 12 e Figura 13 il confronto tra la distribuzione campionaria e osservata del coefficiente di variazione, è del tutto congruente con i risultati ottenuti dal test del χ^2 .

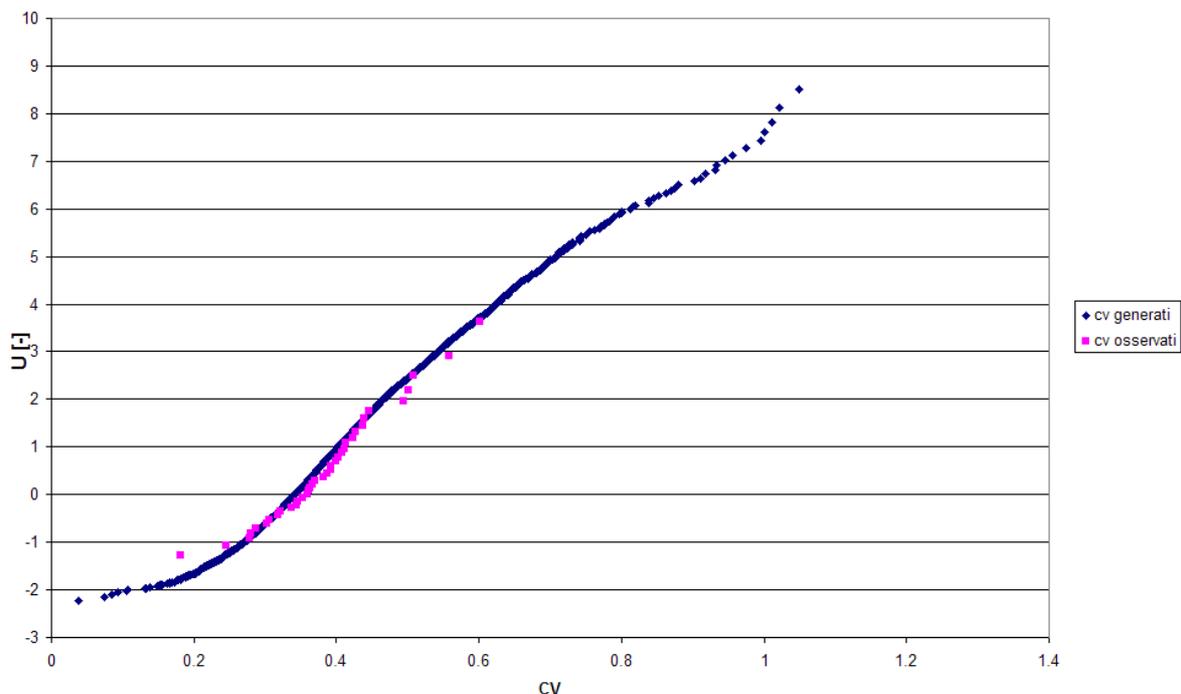


Figura 12: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per d=1 ora.

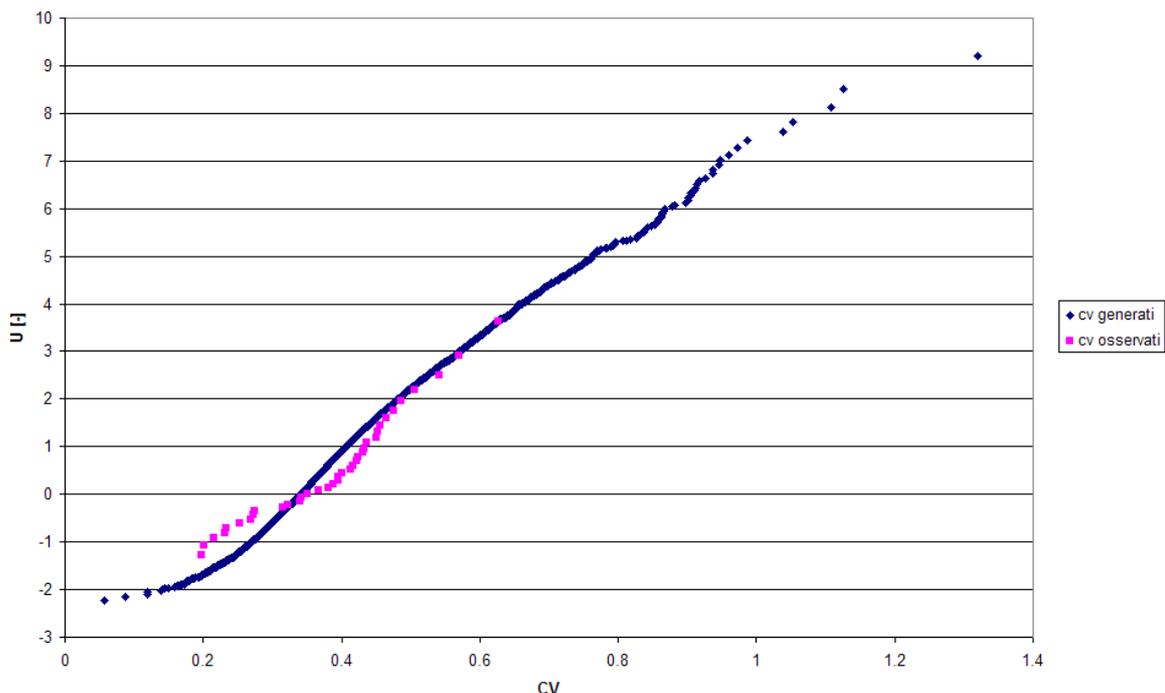


Figura 13: 2° livello di regionalizzazione: confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per d=3 ore.

Nonostante l'esito non soddisfacente del test al 2° livello del procedimento di regionalizzazione, il confronto tra le curve TCEV per le diverse durate e i rispettivi dati campionari, illustrato nelle Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 appare soddisfacente e le curve comprese tutte dentro fasce di confidenza per $\alpha=10\%$. Questo risultato, unito alle considerazioni riportate in un paragrafo successivo (2.2.5), che evidenziano come la scelta delle TCEV derivate dall'ipotesi di regione omogenea "Valle d'Aosta" risultino, nella prospettiva di un utilizzo per la valutazione delle sollecitazioni di progetto su opere idrauliche, a vantaggio di sicurezza, porta a suggerirne l'adozione in sostituzione delle curve TCEV della regione omogenea padana.

E' inoltre possibile che il fallimento del test di omogeneità, data la ridotta dimensione del campione, possa essere imputato all'effetto di "outliers" presenti nella serie, non mitigato appunto da una estensione maggiore del campione. Tale effetto si esplica nella modifica della forma della coda della TCEV adimensionale, che si ripercuote marcatamente sui valori dei momenti di ordine superiore (CS e CV) stimati con metodo Montecarlo, e quindi sulle loro distribuzioni teoriche.

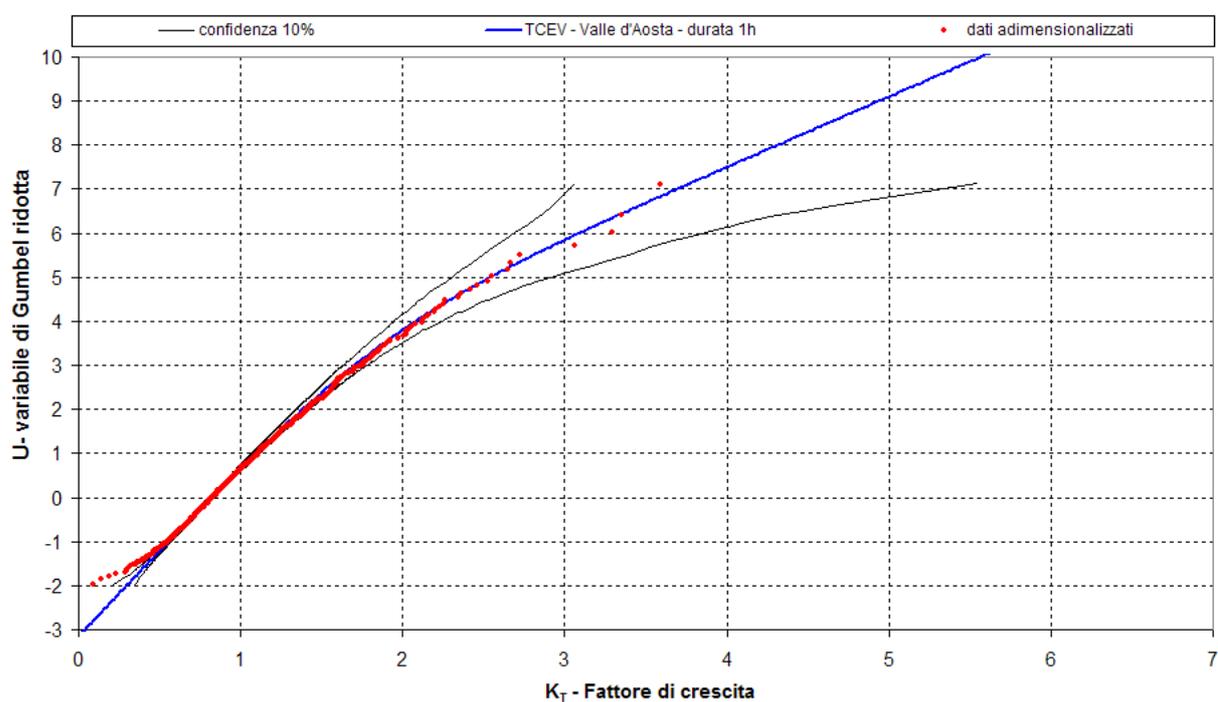


Figura 14: Andamento su carta di Gumbel dei massimi su 1 ora per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

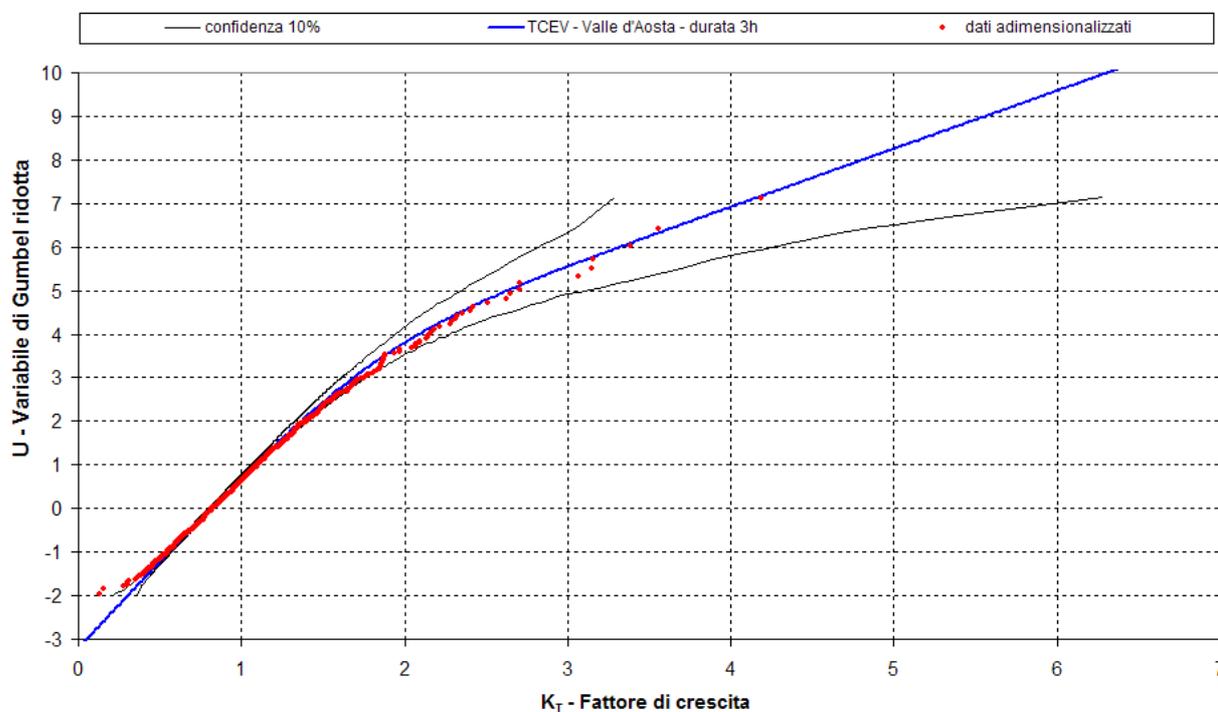


Figura 15: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 3 ore per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$

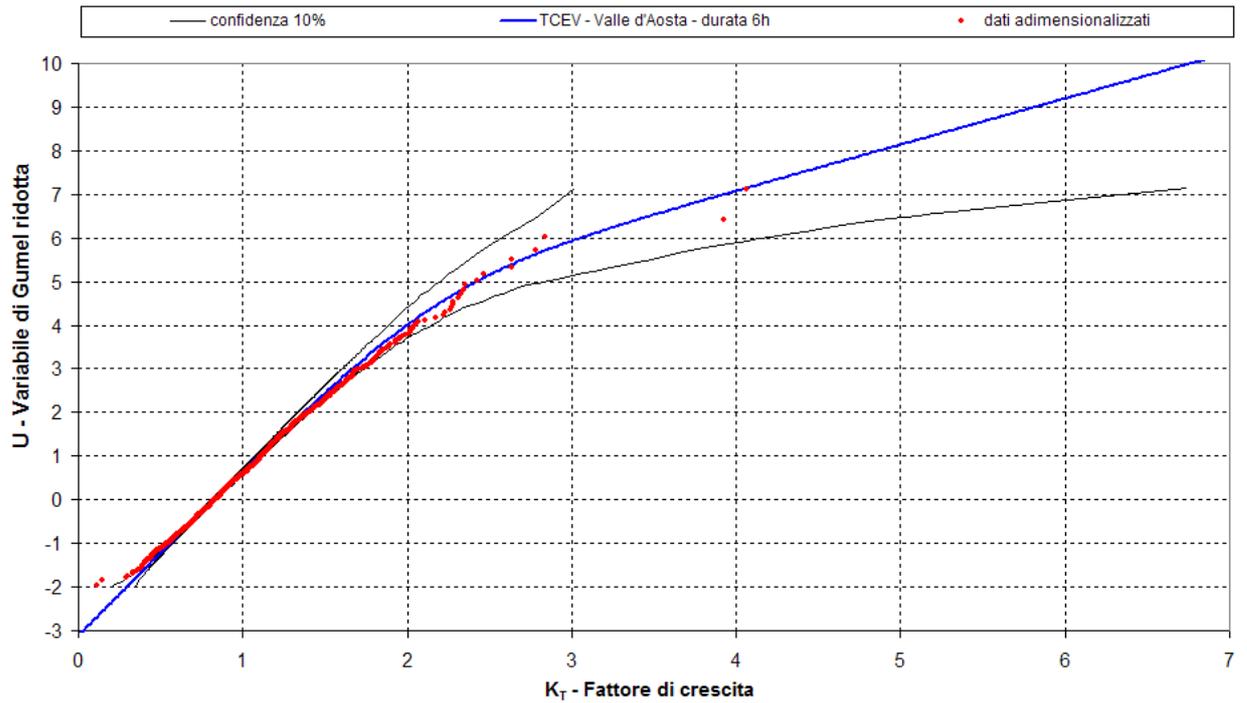


Figura 16: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 6 ore per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$

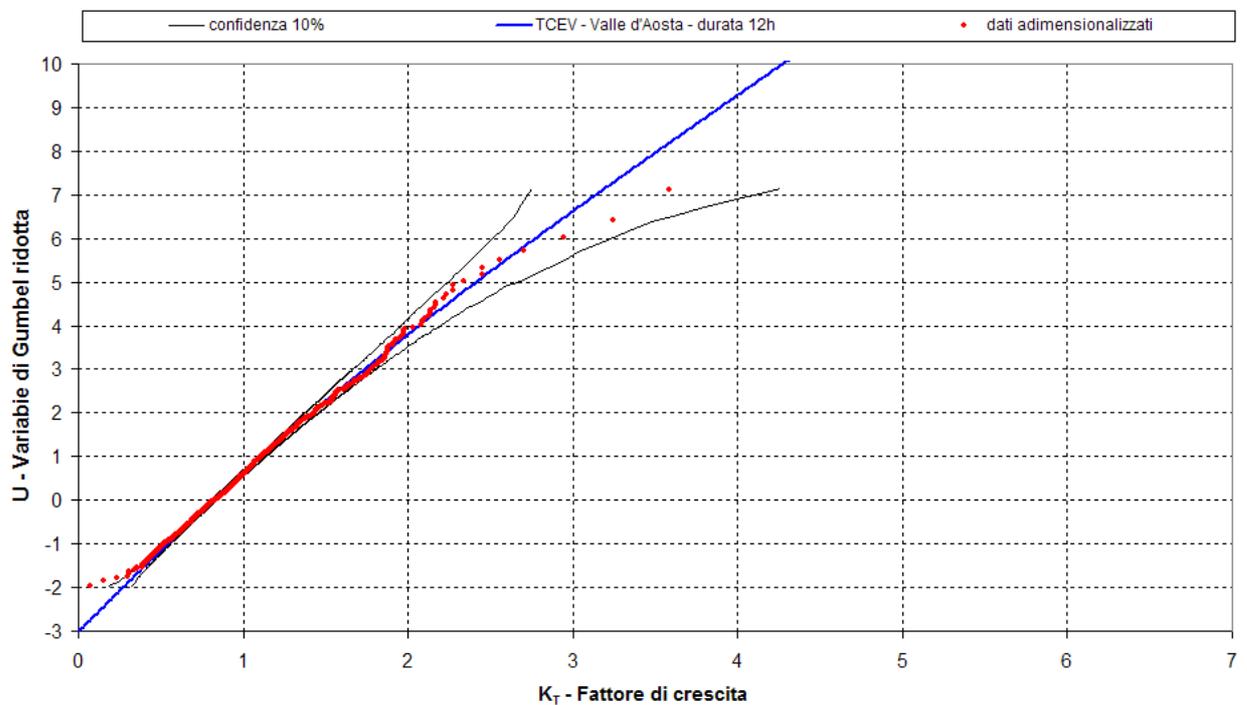


Figura 17: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 12 ore per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$

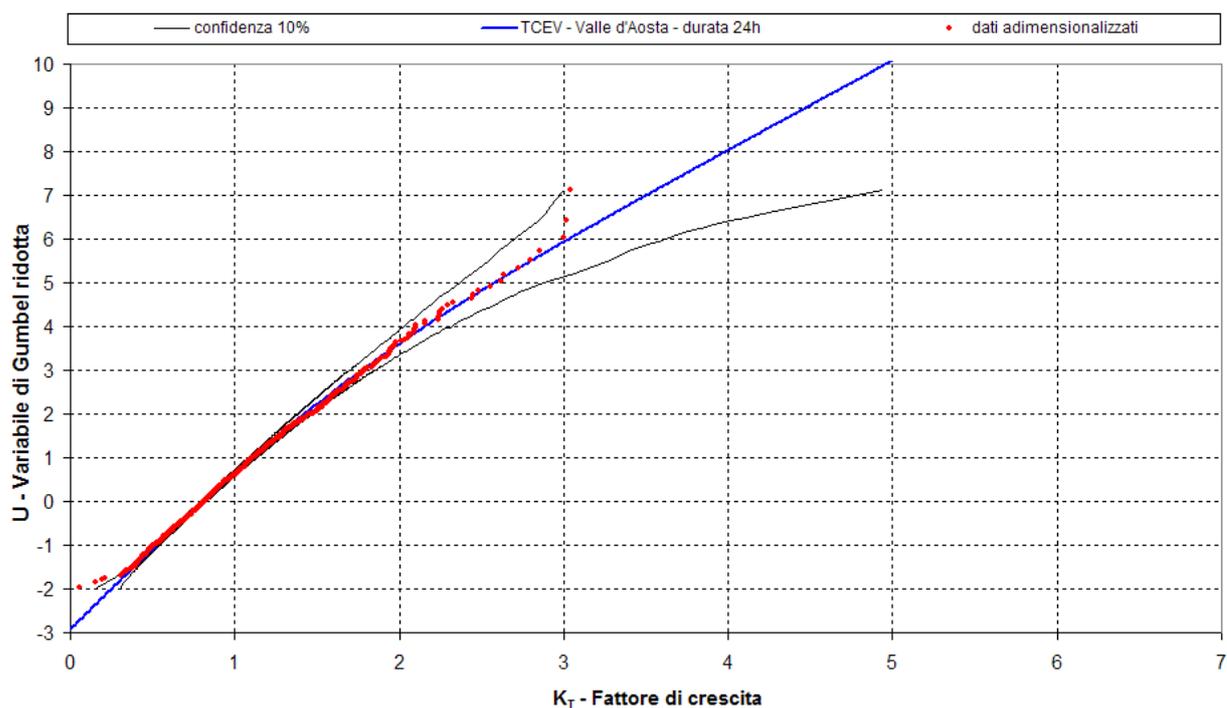


Figura 18: Andamento su carta di Gumbel dei massimi sulle 24 ore per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, e confronto con le relative curve di crescita e fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$

2.2.3 Terzo livello di regionalizzazione: la variabilità spaziale della pioggia indice.

Per poter definire la distribuzione di probabilità dei massimi annuali di precipitazione in un sito generico della regione omogenea, occorre moltiplicare tra loro le distribuzioni di probabilità genitrici e il parametro pioggia indice RI_1 . Una sua stima è rappresentata, nei siti strumentati, dalla media campionaria dei massimi annui di precipitazione per la durata pari a 1 ora. Il problema resta quello di definirne la variabilità spaziale in modo da poterne ottenere una stima anche per siti non strumentati. L'attività futura riguarderà la definizione della legge di variazione spaziale di RI_1 . In questa sede si vuole introdurre la metodologia adottata per lo studio.

La legge di variazione spaziale di RI_1 è espressa in funzione di caratteristiche morfologiche e climatiche del sito in esame che, in genere influenzano i processi di precipitazione intensa in zona ad orografia complessa. La base di partenza è costituita

dal lavoro di Parodi et al (2006) e di Boni e Parodi (2001a e 2001b) particolarizzato per la Regione Valle d'Aosta.

La tecnica innovativa usata nei suddetti lavori individua come fattori che influenzano in maniera preponderante la pioggia indice nel territorio in esame, la pendenza media locale dei versanti, la distanza dalla pianura (individuata dalla isoietta pari a 500 m) e un parametro che riassume in sé l'effetto dell'andamento medio della quota dello spartiacque o del versante. Con il termine "media" si intende qui un valore mediato alla scala tipica delle celle temporalesche, dell'ordine di circa 50 km. Tale approccio si basa sull'assunzione che le caratteristiche dei versanti, misurate a scale inferiori a quelle dei fenomeni che producono le precipitazioni intense, influenzano in maniera significativamente minore i fenomeni stessi. Le grandezze in esame sono ricavate con l'ausilio dei modelli digitali del terreno alla risoluzione massima disponibile, analizzati con la tecnica della trasformazione di Fourier, che consente l'individuazione e l'eliminazione delle componenti che caratterizzano le variazioni di quota a piccola scala.

La pendenza locale dei versanti è calcolata secondo la direzione caratteristica del moto delle correnti atmosferiche in condizioni di tempo perturbato.

Si è valutato per la regione-sottoregione omogenea Valle d'Aosta, attraverso una regressione lineare, il grado di correlazione tra i valori locali di pioggia indice e le grandezze assunte come riferimento.

Dal punto di vista applicativo il risultato finale di questa parte delle elaborazioni è la realizzazione di una carta tematica, che sarà implementata anche su GIS, sulla quale sono riportati i valori di pioggia indice ottenuti mediante interpolazione spaziale: in questo modo è possibile dedurre da tale carta per qualsiasi sito del territorio oggetto di studio il valore della variabile in esame semplicemente in funzione della sua localizzazione geografica.

2.2.4 Definizione delle Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica.

L'analisi statistica regionale è la base fondamentale per ottenere l'espressione delle linee segnatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) in un sito qualsiasi, anche non strumentato, del territorio della Regione.

Queste ultime definiscono una relazione tra altezza di precipitazione, periodo di ritorno e durata che dipende quindi fortemente dalla forma della curva di crescita regionale e della sua variazione in funzione della durata stessa. Le elaborazioni condotte al primo e secondo livello del procedimento di regionalizzazione permetteranno per ciascuna delle due regioni omogenee individuate di ricavare le curve di crescita per ognuna delle cinque durate considerate (si vedano ad esempio la Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18). Dal punto di vista operativo l'espressione più semplice delle LSPP si ottiene assumendo ciascuna regione come rappresentativa del comportamento valido per tutte le durate in un'unica curva di crescita al fine di rendere il quantile adimensionale, per assegnato tempo di ritorno, indipendente dalla durata e dunque solo funzione del tempo di ritorno. L'espressione delle LSPP è in questo caso:

$$h(d,T)=RI_1 \cdot K_T \cdot d^n \quad (5)$$

dove:

- $h(d,T)$ altezza di precipitazione massima annuale per durata d e periodo di ritorno T ,
- RI_1 valore della pioggia indice da dedurre in funzione della localizzazione geografica del sito considerato,
- K_T quantile dimensionale di pioggia funzione della localizzazione geografica del sito considerato e del tempo di ritorno T ,
- n esponente della relazione di scala anch'esso funzione della localizzazione geografica del sito considerato.

Se questo approccio risulta non praticabile, allora sarà necessario esprimere il quantile dimensionale di pioggia in funzione tanto del tempo di ritorno quanto della durata secondo l'espressione $K_{T,d}=K(T,d)$.

I valori di K_T e RI_1 sono direttamente derivati dai risultati dell'analisi statistica regionale ai tre livelli, illustrati nei paragrafi precedenti. Qui di seguito si riportano le considerazioni relative alla sintesi finale dei risultati che porta alla loro caratterizzazione finalizzata all'impiego per il disegno delle LSPP. Nell'ottica di una applicazione operativa della metodologia proposta saranno prodotte inoltre, per l'intero territorio in esame delle carte tematiche, implementate su GIS, riportanti il valore dell'esponente n in funzione della localizzazione geografica. Per la descrizione della variabilità spaziale dell'esponente n della relazione di scala sarà prodotta, per il territorio in esame, una carta tematica su cui saranno riportati gli andamenti delle isolinee di tale parametro dedotte operando una interpolazione spaziale dei valori locali relativi ai siti strumentati. I dettagli relativi a tale analisi sono riportati in uno dei prossimi paragrafi (2.2.7).

2.2.5 Definizione del fattore di crescita K_T .

La definizione del fattore di crescita K_T deriva dalle curve di probabilità mostrate nelle Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18. I risultati mostrano una certa variabilità nella forma della TCEV in funzione della durata. Al fine di definire un modello per K_T è necessario verificare se tale variabilità è dovuta all'errore di campionamento o ad un effettivo comportamento statistico differente. Le differenze tra le 5 curve sono state messe a confronto con l'estensione delle fasce di confidenza (disegnate rispetto alla curva di durata 1 ora) le quali forniscono una misura dell'incertezza dovuta all'errore di campionamento. La Figura 19 mostra come le differenze tra le curve siano meno ampie delle fasce di confidenza ed inoltre che in effetti le differenze siano significative per periodi di ritorno superiori ai 500 anni, e ciò consente di affermare che, dal punto di vista statistico, per i periodi di ritorno di interesse per la progettazione delle infrastrutture idrauliche e per la valutazione del rischio d'inondazione, le 5 curve sono equivalenti.

- E' possibile definire una curva di crescita unica rappresentativa di tutte e cinque le durate. Si suggerisce, a tal fine, l'adozione della curva di crescita ottenuta per durata di un ora (curva blu in Figura 19). Essa è rappresentativa di un andamento medio tra le diverse curve e, come già evidenziato, non differisce significativamente dalle altre se non per periodi di ritorno molto elevati. La rappresentazione di tale curva con in ordinata il periodo di ritorno e in ascissa il fattore di crescita K_T è riportato nella Figura 20.

Nella Tabella 9, vengono riportati i valori del quantile adimensionale associati al relativo periodo di ritorno.

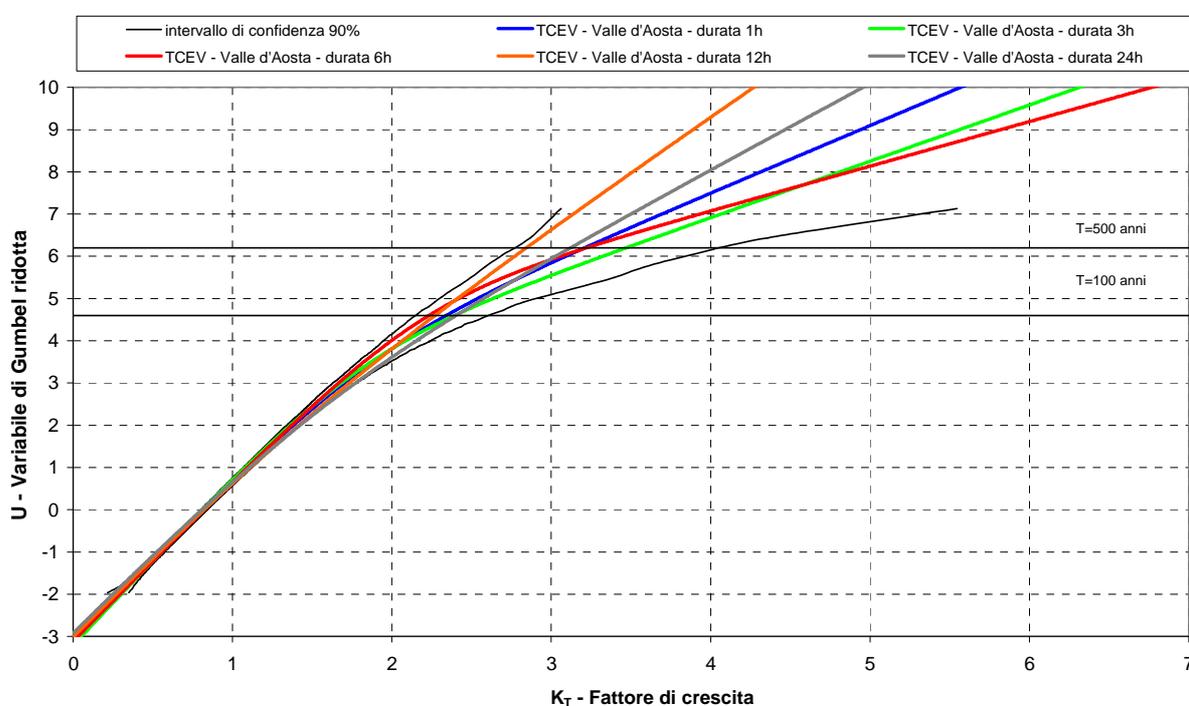


Figura 19: Confronto su carta di Gumbel dei massimi su tutte le ore per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, adimensionalizzati con le rispettive medie, con fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

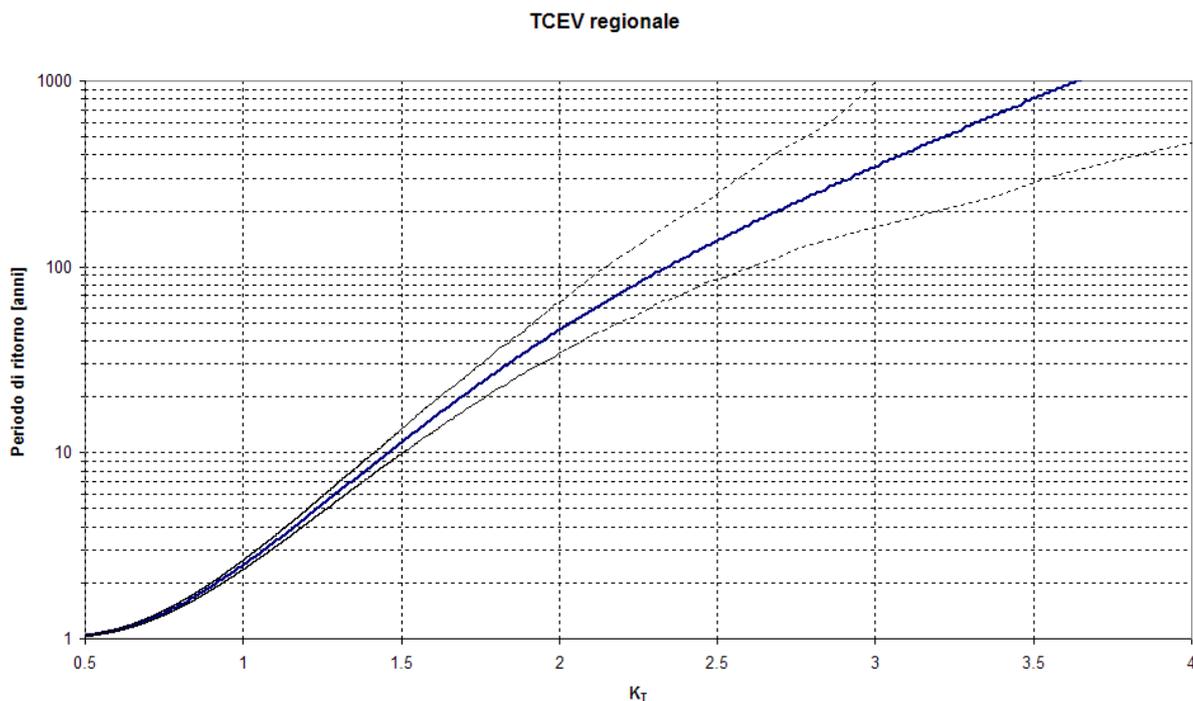


Figura 20: Rappresentazione della curva regionale suggerita per tutte le durate per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, con in ascissa il quantile adimensionale e in ordinata il periodo di ritorno, con fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$

Tabella 9: Valori del quantile adimensionale relativi alla curva di crescita scelta, rappresentativa della regione e sottoregione Valle d'Aosta associati al relativo periodo di ritorno.

| Tempo di ritorno T [anni] | K_T [-] |
|------------------------------|--------------|
| 5 | 1.24 |
| 10 | 1.46 |
| 20 | 1.69 |
| 25 | 1.77 |
| 50 | 2.04 |
| 100 | 2.34 |
| 200 | 2.70 |
| 500 | 3.22 |

2.2.6 Valutazione del fattore di pioggia indice RI_1 .

Le curve di crescita adimensionali, i cui parametri sono stati calcolati nel paragrafo precedente (2.2.5), debbono essere rese dimensionali attraverso un parametro di scala, o pioggia indice, rappresentabile nei siti strumentati con la media dei massimi annui di precipitazione per la durata considerata, e che deve essere espresso in

funzione delle caratteristiche morfologiche e climatiche del sito in esame che possono influenzare il processo delle precipitazioni intense nei siti non strumentati.

Il terzo livello di regionalizzazione è quindi finalizzato all'analisi della pioggia indice allo scopo di definire una relazione che consenta di ottenerne il valore in un sito qualsiasi della regione.

Per avere una stima dei quantili di altezza di precipitazione, anche in siti sprovvisti di misuratore di pioggia è necessario definire la dipendenza dei valori di pioggia indice da fattori fisici osservabili che permettano di avere una stima indiretta della variabilità spaziale della pioggia indice.

Diversi metodi sono proposti in letteratura, i quali mettono in relazione la pioggia indice con parametri morfologici come ad esempio la distanza dal mare, la quota della stazione, l'esposizione del versante, parametri meteorologici quali, velocità e direzione del vento ecc. con considerazioni empiriche sulle ragioni di tale legame. Nel presente lavoro si fa uso di una tecnica innovativa, documentata in dettaglio in una recente pubblicazione (Parodi et al. 2006), in cui si tiene in considerazione la quota media dello spartiacque $Z(\mathbf{x})$, la pendenza locale $S(\mathbf{x}, \bar{\theta})$, e scala orizzontale dell'orografia $L(\mathbf{x}, \bar{\theta})$ quest'ultime funzione della direzione predominante del vento $\bar{\theta}$.

La pioggia indice è valutata mediante regressione lineare sui parametri appena descritti:

$$RI_1(\mathbf{x}, \bar{\theta}) = \beta_Z Z(\mathbf{x}) + \beta_S S(\mathbf{x}, \bar{\theta}) + \beta_L L(\mathbf{x}, \bar{\theta}) + \gamma \quad (6)$$

in cui $\beta_Z, \beta_S, \beta_L$ sono i coefficienti della regressione lineare multivariata e γ il termine intercetta, mentre $Z(\mathbf{x})$, $S(\mathbf{x}, \bar{\theta})$, e $L(\mathbf{x}, \bar{\theta})$ sono stimati applicando un'analisi in serie di Fourier bidimensionale al modello digitale del terreno (DEM) della Regione Valle d'Aosta.

Al fine di valutare la direzione predominante del vento durante eventi di precipitazione intensa è stato condotto un'analisi sui moti di aria e precipitazione nella zona di studio.

Questo ha mostrato che nell'area dell'arco alpino nord-occidentale la precipitazione è molto intensa quando il flusso medio geostrofico è prevalentemente orientato in direzione sud-sud-est verso la barriera alpina, come mostra lo studio del 1994 e 2000 "Piene in Piemonte" e alcune analisi di eventi condotte in letteratura (Buzzi e Foschini, 2000; Ferretti et al., 2000; Houze et al., 2001; Massacand et al., 1998; Rotunno e Ferretti, 2001), definendo in questa zona un valore della direzione del vento più probabile di 120° . Nel caso in esame la direzione è stata assunta pari a $\bar{\theta} = 120^\circ$ in senso antiorario rispetto alla direzione ovest-est. La scelta della direzione $\bar{\theta}$ è stata effettuata in quanto massimizza il coefficiente R^2 della regressione lineare.

Filtrando le componenti DEM con lunghezza d'onda spettrale maggiore di 100 km è possibile preservare più del 90% della variabilità spaziale della morfologia del suolo. Lunghezze d'onda più grandi di 200, 100 e 50 km rispettivamente descrivono l'80%, 90% e il 95% della variabilità spaziale osservata. Questi tre DEM filtrati sono stati il punto di inizio per valutare la variabile indipendente della regressione lineare, ovvero la pioggia indice RI_1 . Tra i tre è stato scelto il DEM filtrato delle componenti con lunghezza d'onda maggiore di 100 km, ovvero quello che, per la direzione del vento $\bar{\theta} = 120$, rende massimo il valore di R^2 .

Il metodo, calibrato su un insieme di stazioni pari a 21 e validato su un secondo sottoinsieme di stazioni indipendenti pari a 19, è in grado di spiegare più dell'80% delle variabilità di RI_1 osservata nelle diverse stazioni di misura.

I risultati sono mostrati in Figura 21. Il grafico mostra la buona corrispondenza tra i valori osservati e quelli predetti dal modello per i due sottoinsiemi di calibrazione (nero) e validazione (rosso). Le linee di colore arancio definiscono l'ampiezza dell'errore che il modello adottato può commettere sulla predizione di un valore di RI_1 in un sito non strumentato per poter essere considerato statisticamente valido al 90%.

Come si vede i valori predetti usati per la validazione (rossi) ricadono sempre in questo intervallo, tranne quelli per le stazioni di Gaby e Plan Praz. La percentuale di cattive previsioni (2 stazioni su un totale di 40 utilizzate) è compatibile con il livello di confidenza utilizzato per definire le fasce..

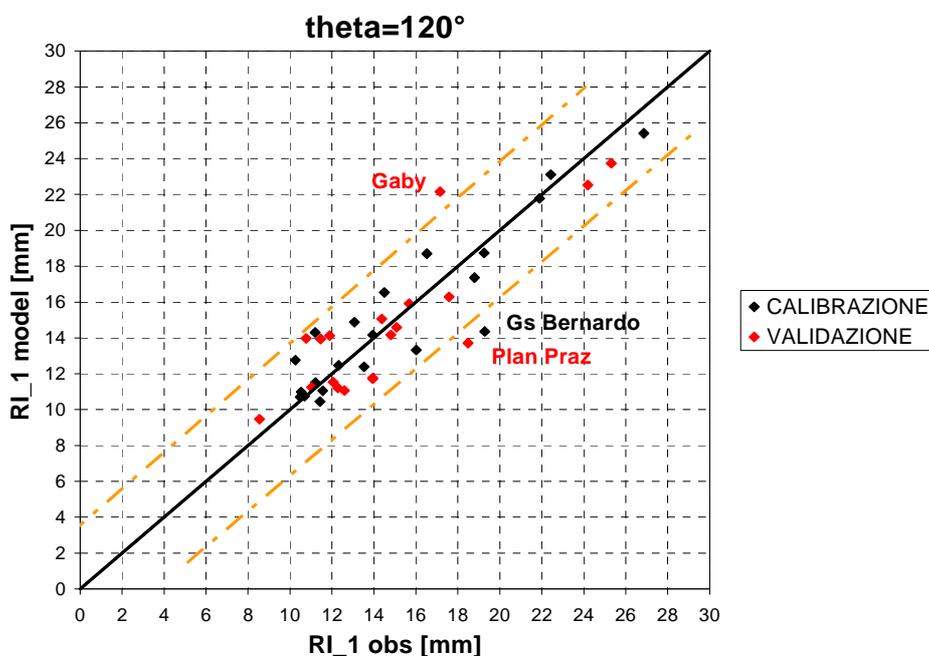


Figura 21: Rappresentazione del confronto tra i valori osservati e i valori predetti dal modello con indicazione delle fasce fiduciarie che definiscono l'ampiezza dell'errore che il modello adottato può commettere sulla predizione di un valore di RI_1 in un sito non strumentato per poter essere considerato statisticamente valido al 90%.

Nella Figura 21 e Figura 22 si riporta la mappa di pioggia indice ottenuta dall'applicazione del modello a tutto il territorio utile per valutare il parametro RI_1 anche nei punti in cui non sono presenti stazioni di misura.

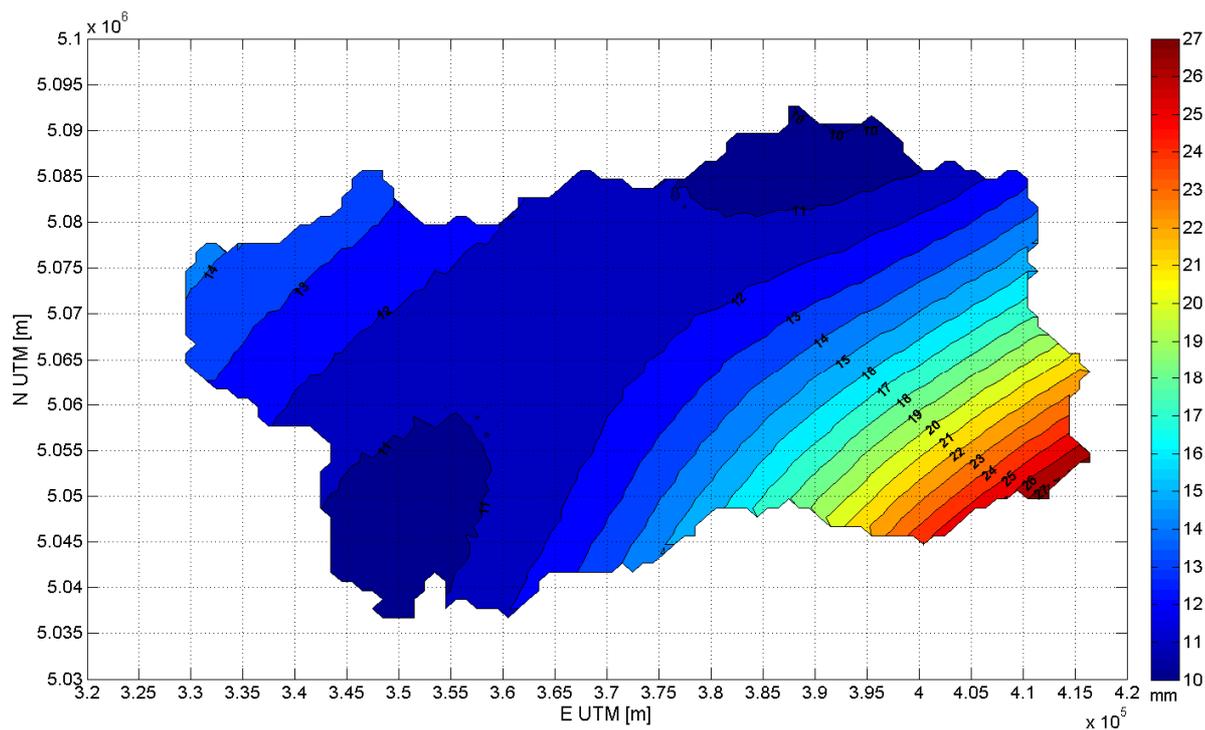


Figura 22: Mappa pioggia indice per la durata 1 ora relativa alla regione e sottoregione Valle d'Aosta.

Nella Tabella 10 si riportano i valori di pioggia indice per i siti strumentati.

Tabella 10: Valori della pioggia indice nei siti strumentati rappresentativi della regione Valle d'Aosta.

| Stazione | Coordinata E | Coordinata N | Numero anni | IR ₁ |
|------------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| AOSTA | 370391 | 5066393 | 53 | 11.54 |
| ARVIER | 357410 | 5062839 | 20 | 11.06 |
| AYMAVILLES | 362877 | 5062384 | 26 | 11.21 |
| BARD | 401379 | 5051836 | 63 | 22.52 |
| BRUSSON | 400587 | 5068286 | 37 | 15.91 |
| CHAMPDEPRAZ | 395630 | 5060194 | 44 | 17.36 |
| CHAMPORCHER | 392832 | 5053414 | 47 | 21.79 |
| CHATILLON | 390643 | 5066815 | 38 | 14.16 |
| COGNE | 371896 | 5052865 | 11 | 12.77 |
| D_EYOLA | 408078 | 5078937 | 16 | 13.94 |
| DIGA_CIGNANA | 391070 | 5081750 | 21 | 11.06 |
| DONNAS | 403790 | 5050852 | 11 | 23.75 |
| ETROUBLES | 362790 | 5075402 | 11 | 11.52 |
| EVOLENE | 384842 | 5107793 | 18 | 10.71 |
| GABY | 411674 | 5061187 | 33 | 22.16 |
| GRAND_TETE | 337727 | 5061120 | 7 | 14.13 |
| GRESSONEY_LT | 408890 | 5076090 | 59 | 15.06 |
| GRESSONEY_SJ | 408704 | 5071897 | 39 | 16.54 |
| GS_BERNARDO | 358106 | 5081295 | 24 | 14.36 |
| GUILLEMORE | 411255 | 5058245 | 48 | 23.11 |
| LA_VILLETTE | 342520 | 5073112 | 30 | 14.31 |
| LAGO_GABIET | 410593 | 5077723 | 18 | 14.88 |
| LAGO_GOILLET | 396397 | 5087509 | 25 | 10.45 |
| LAVANCHER_METEO | 346016 | 5073452 | 7 | 13.97 |
| LILLAZ | 374621 | 5050540 | 59 | 18.69 |
| MONT_DE_LA_SAXE | 343178 | 5075812 | 7 | 14.17 |
| MONTJOVET | 396529 | 5064045 | 49 | 16.29 |
| NUS | 379969 | 5066107 | 34 | 12.48 |
| PLACE_MOULIN | 382954 | 5084131 | 19 | 10.75 |
| PLAN_PRAZ | 339900 | 5067263 | 7 | 13.71 |
| PONT_ST_MARTIN | 406025 | 5049456 | 61 | 25.42 |
| PROMIOD | 391534 | 5070797 | 46 | 13.33 |
| SAINT_CHRISTOPHE | 372810 | 5066579 | 11 | 11.76 |
| ST_MARCEL | 379208 | 5066473 | 26 | 12.39 |
| ST_OYEN | 361327 | 5076360 | 17 | 11.72 |
| ST_VINCENT | 394416 | 5067531 | 29 | 14.59 |
| VALGRISENCHÉ | 348903 | 5053739 | 45 | 10.98 |
| VALPELLINE | 370487 | 5076202 | 28 | 11.25 |
| VERRES | 398579 | 5058599 | 55 | 18.74 |
| ZERMATT | 403540 | 5098261 | 24 | 9.47 |

Si rimanda al lavoro di Boni e Parodi et al. 2006, per i dettagli sulla metodologia applicata.

2.2.7 Valutazione dell'esponente di scala n

L'esponente di scala è stato valutato per i siti strumentati adattando l'equazione (5) ai valori medi dei massimi annuali, per i quali vale $K_T=1$. Il problema si riduce quindi ad una regressione lineare tra i logaritmi dei valori di RI_1 , stimati a partire dalle osservazioni, per $d=1, 3, 6, 12$ e 24 ore, e i logaritmi delle corrispondenti durate.

Questo consente la stima del parametro di scala locale n come coefficiente angolare della retta di regressione. La variabilità di tale parametro è risultata significativa tra i diversi siti e non è stato possibile definirne una dipendenza con fattori morfo-climatici locali. Le differenze sono risultate di entità tale che non si è ritenuto ragionevole assumere queste ultime semplicemente dovute all'errore di campionamento, e quindi adottare un unico esponente per tutte le stazioni. Ai fini della determinazione dell'esponente di scala in siti non strumentati è stata realizzata una mappa, ottenuta utilizzando l'algoritmo di Kriging, che rappresenta uno stimatore lineare non distorto ed a minima varianza. La mappa è riportata nella Figura 23.

Analizzando tale carta si vede che nel territorio in esame sono presenti aree contraddistinte da comportamenti sensibili in termini del parametro n . Coerentemente con studi precedenti, si nota che valori più bassi di n sono localizzati in aree pianeggianti e vallive, mentre valori più levati sono localizzati nelle aree alpine a quote più elevate, fatto che evidenzia una crescita delle altezze di precipitazione più marcata al crescere della durata, proprio nelle zone che sono, in genere, interessate dalle precipitazioni di maggiore intensità.

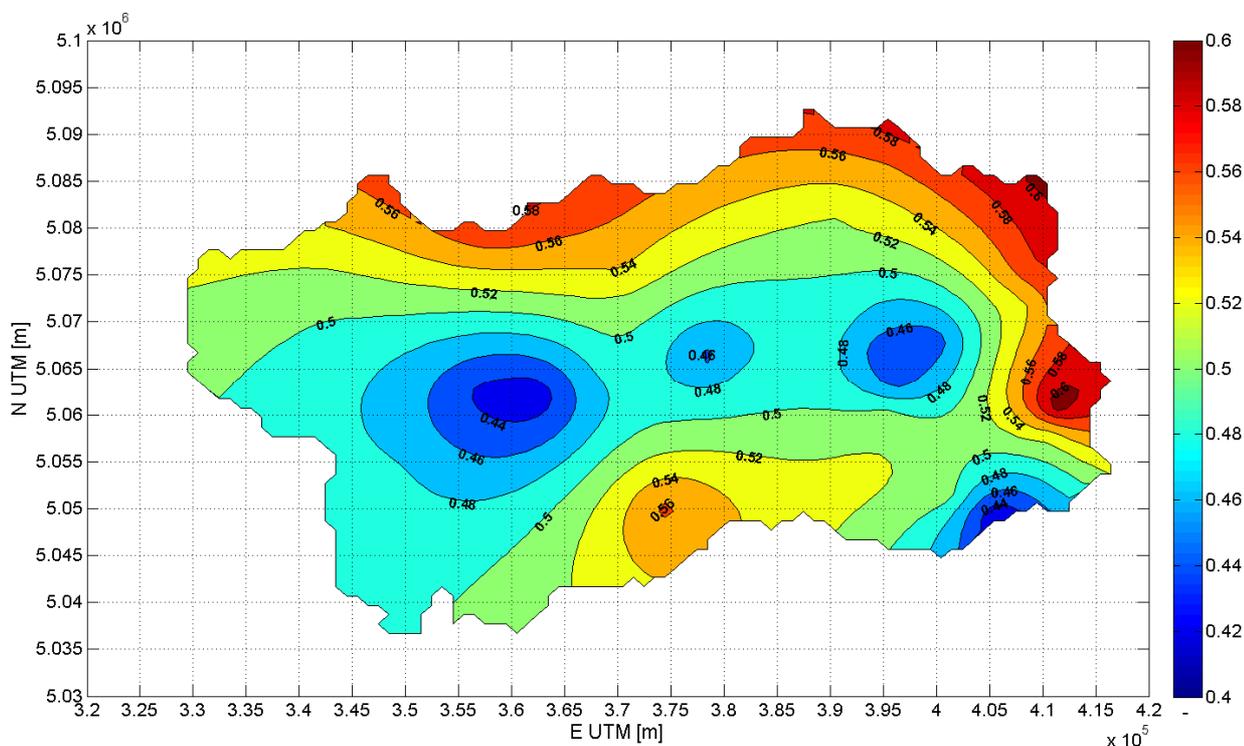


Figura 23: Mappa dell'esponente di scala per la regione e sottoregione Valle d'Aosta.

Nella **Tabella 11** si riportano i valori puntuali dell'esponente di scala determinati per ogni stazione.

Tabella 11: Valori dell'esponente di scala rappresentativi della regione e sottoregione Valle d'Aosta.

| Stazione | Coordinata E | Coordinata N | Numero anni | n |
|------------------|--------------|--------------|-------------|--------|
| AOSTA | 370391 | 5066393 | 53 | 0.4971 |
| ARVIER | 357410 | 5062839 | 20 | 0.4360 |
| AYMAVILLES | 362877 | 5062384 | 26 | 0.4266 |
| BARD | 401379 | 5051836 | 63 | 0.5099 |
| BRUSSON | 400587 | 5068286 | 37 | 0.4515 |
| CHAMPDEPRAZ | 395630 | 5060194 | 44 | 0.5103 |
| CHAMPORCHER | 392832 | 5053414 | 47 | 0.5246 |
| CHATILLON | 390643 | 5066815 | 38 | 0.4848 |
| COGNE | 371896 | 5052865 | 11 | 0.5893 |
| D_EYOLA | 408078 | 5078937 | 16 | 0.5998 |
| DIGA_CIGNANA | 391070 | 5081750 | 21 | 0.5204 |
| DONNAS | 403790 | 5050852 | 11 | 0.4679 |
| ETROUBLES | 362790 | 5075402 | 11 | 0.4124 |
| EVOLENE | 384842 | 5107793 | 18 | 0.5172 |
| GABY | 411674 | 5061187 | 33 | 0.6122 |
| GRAND_TETE | 337727 | 5061120 | 7 | 0.3983 |
| GRESSONEY_LT | 408890 | 5076090 | 59 | 0.5743 |
| GRESSONEY_SJ | 408704 | 5071897 | 39 | 0.5366 |
| GS_BERNARDO | 358106 | 5081295 | 24 | 0.5877 |
| GUILLEMORE | 411255 | 5058245 | 48 | 0.5303 |
| LA_VILLETTE | 342520 | 5073112 | 30 | 0.5071 |
| LAGO_GABIET | 410593 | 5077723 | 18 | 0.6335 |
| LAGO_GOILLET | 396397 | 5087509 | 25 | 0.5636 |
| LAVANCHER_METEO | 346016 | 5073452 | 7 | 0.4026 |
| LILLAZ | 374621 | 5050540 | 59 | 0.5640 |
| MONT_DE_LA_SAXE | 343178 | 5075812 | 7 | 0.3536 |
| MONTJOVET | 396529 | 5064045 | 49 | 0.4482 |
| NUS | 379969 | 5066107 | 34 | 0.4716 |
| PLACE_MOULIN | 382954 | 5084131 | 19 | 0.6461 |
| PLAN_PRAZ | 339900 | 5067263 | 7 | 0.3587 |
| PONT_ST_MARTIN | 406025 | 5049456 | 61 | 0.4192 |
| PROMIOD | 391534 | 5070797 | 46 | 0.4877 |
| SAINT_CHRISTOPHE | 372810 | 5066579 | 11 | 0.4266 |
| ST_MARCEL | 379208 | 5066473 | 26 | 0.4526 |
| ST_OYEN | 361327 | 5076360 | 17 | 0.4426 |
| ST_VINCENT | 394416 | 5067531 | 29 | 0.4557 |
| VALGRISENCHE | 348903 | 5053739 | 45 | 0.4858 |
| VALPELLINE | 370487 | 5076202 | 28 | 0.5417 |
| VERRES | 398579 | 5058599 | 55 | 0.5098 |
| ZERMATT | 403540 | 5098261 | 24 | 0.6489 |

2.2.8 Mappe di altezza di precipitazione per assegnata durata o tempo di ritorno

Al fine di fornire un ulteriore strumento per il progettista si sono realizzate 10 mappe, riportate nell'allegato D (**Figura 157**, Figura 158, Figura 159, Figura 160, Figura 161, Figura 162, Figura 163, Figura 164, Figura 165 e Figura 166), per ognuna delle durate analizzate 1, 3, 6, 12, 24 e per due assegnati tempi di ritorno, $t=50$ e $t=200$, ai quali corrispondono rispettivamente valori di quantile adimensionale $K_{50}=2.04$ e $K_{200}=2.70$.

2.3 CONFRONTO CON STUDI PRECEDENTI

Come ultimo test sull'affidabilità del metodo di stima delle LSPP sul territorio della Regione Valle d'Aosta si sono eseguiti alcuni confronti con studi precedenti, anche di diversi autori, effettuati sulla stessa area di studio. Si sono presi in considerazione tre diverse analisi statistiche regionali, effettuate in precedenza: lo studio effettuato dal CIMA per l'intero arco alpino occidentale nell'ambito dei progetti INTERREGII Italia-Svizzera e INTERREGII Italia-Francia (denominato di seguito "studio CIMA-INTERREGII"); lo studio effettuato dal politecnico di Milano per l'intero bacino del PO nell'ambito del progetto VAPI (denominato di seguito "studio POLIMI") e lo studio riportato nel Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI), Allegato 3 "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense".

2.3.1 Confronto con lo studio CIMA-INTERREGII

Nello studio CIMA-INTERREGII si sono analizzati i dati dei massimi annuali di precipitazione per le durate da 1 a 24 ore osservati storicamente sulla parte dell'arco alpino occidentale ricadente nel territorio di Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Francia e Svizzera. L'analisi di frequenza regionale, basata come lo studio CIMA-VDA, sul metodo VAPI, ha permesso di identificare quattro regioni omogenee, suddivise in Bacino padano, Liguria tirrenica, Alpi francesi meridionali, Alpi francesi settentrionali e Svizzera occidentale.

Confrontando le TCEV dei due diversi studi si è evidenziato che la curva TCEV dello studio CIMA-VDA (curva blu in Figura 24 e Figura 25) definita utilizzando anche le osservazioni della rete piemontese usate nello studio CIMA-INTERREGII, sovrastima il fattore di crescita a pari tempi di ritorno, risultando se adottata, a vantaggio di sicurezza per la stima delle sollecitazioni sulle infrastrutture idrauliche. Le differenze tra le distribuzioni genitrici, quindi, merita una considerazione approfondita. Nelle figure Figura 24 e Figura 25 sono rappresentate insieme le distribuzioni genitrici per $d=1$ e 24 ore, ottenute nei due studi unitamente alle fasce di confidenza per $\alpha=10\%$ relative allo studio CIMA-VDA. Queste ultime delimitano la regione di spazio nella

quale la vera distribuzione genitrice può effettivamente ricadere con una probabilità pari al 90%.

Analizzando la curva relativa allo studio CIMA-VDA di figura Figura 24 si può osservare che il valore stimato di K_T per un tempo di ritorno $T=50$ anni è circa pari a $K_T=2$. Le fasce di confidenza (curve nere) ci dicono che il valore reale di K_T per $T=50$ anni può essere compreso tra $K_{Tf}=1.9$ e $K_{Ti}=2.2$ circa.

La curva verde, che rappresenta la distribuzione genitrice dello studio CIMA INTERREGII, è compresa in tale intervallo, e quindi potenzialmente fornisce una stima del valore atteso del quantile per $T=50$ anni statisticamente accettabile. Il discorso testè fatto si estende ai tempi di ritorno superiori.

Il confronto tra le due ipotesi qui condotte ha mostrato che le curve di crescita delle due regioni ipotizzate omogenee differiscono di quantità statisticamente non significative in quanto comprese tutte entro le stesse fasce fiduciarie con α pari al 10%. La diversità tra le curve è attribuibile quindi alla diversa variabilità campionaria, maggiore nella ipotesi CIMA-VDA (1230 anni/pluviometro contro 5300 anni/pluviometro dell'ipotesi CIMA-INTERREGII). L'assumere, comunque, la curva di crescita relativa alla seconda ipotesi, nonostante tutto, risulterebbe a vantaggio della sicurezza, in quanto per pari tempi di ritorno restituirebbe un valore di K_T maggiore.

Anche per le durate diverse da 1 ora (esempio in Figura 25) le curve di crescita della prima ipotesi ricadono sempre all'interno delle fasce fiduciarie relative alle curve della regione e sottoregione Valle d'Aosta.

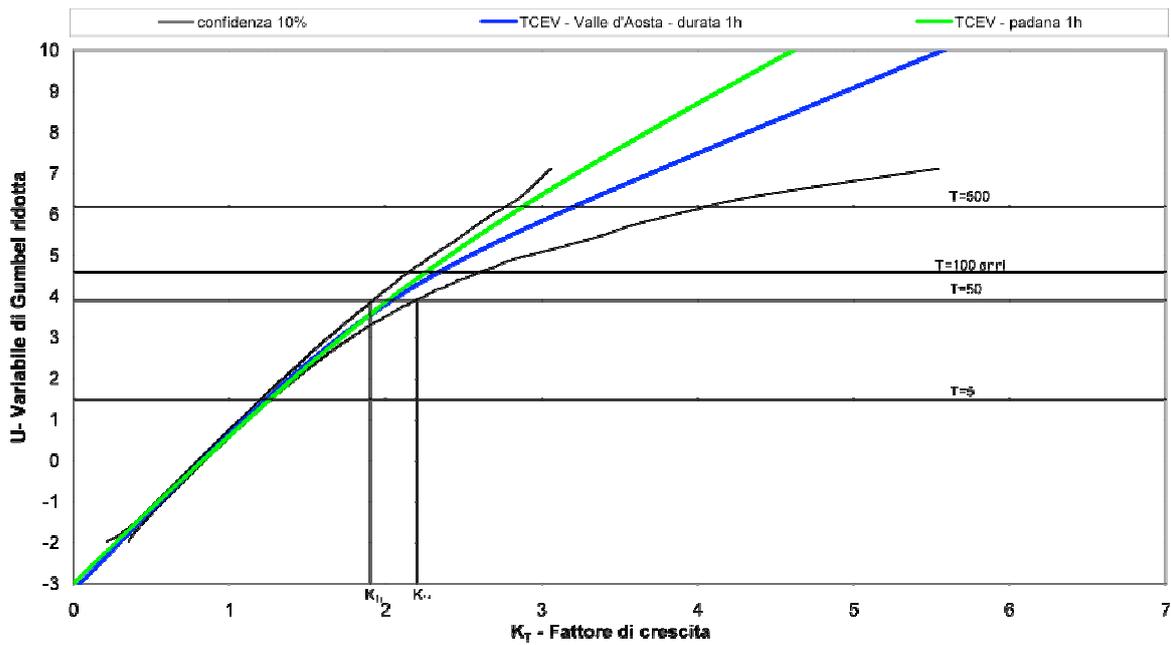


Figura 24 : confronto per d=1 ora tra curve di crescita dedotte per la regione e sottoregione padana (CIMA INTERREGII) e la regione e sottoregione Valle d'Aosta (CIMA-VDA). Le curve di controllo sono calcolate relativamente alla curva di crescita per la regione Valle d'Aosta con livello di significatività pari al 10%.

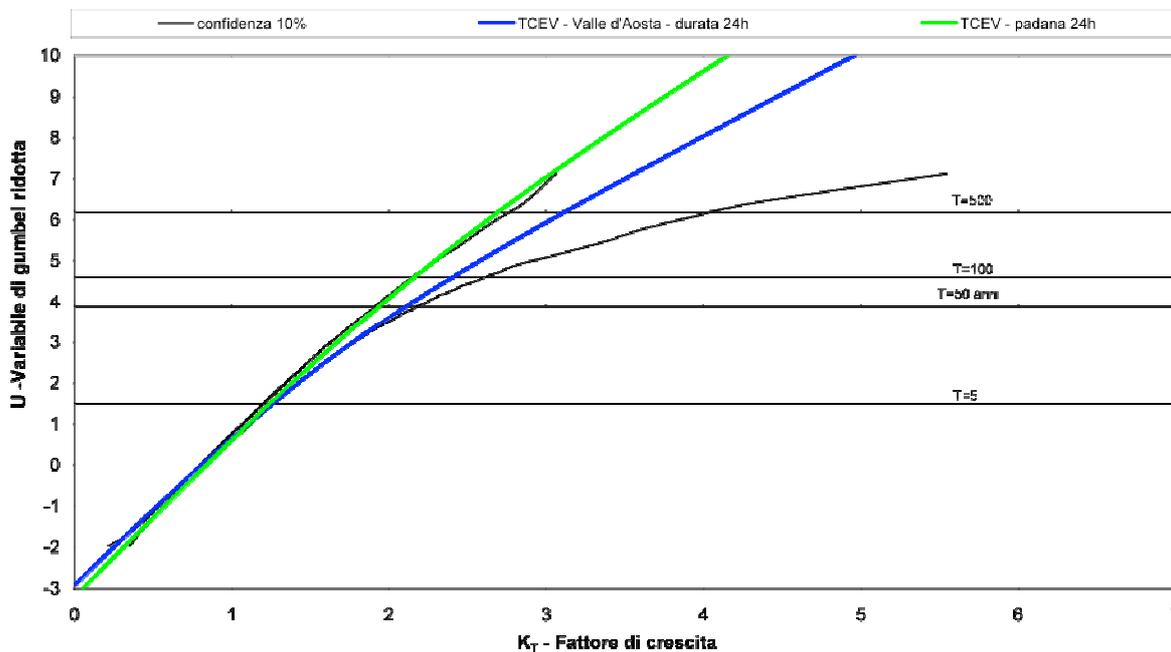


Figura 25 : confronto per d=24 ore tra curve di crescita dedotte per la regione e sottoregione padana (CIMA-INTERREGII) e la regione e sottoregione Valle d'Aosta (CIMA-VDA). Le curve di controllo sono calcolate relativamente alla curva di crescita per la regione Valle d'Aosta con livello di significatività pari al 10%.

2.3.2 Confronto con i risultati del modello di regionalizzazione POLIMI

I risultati del Modello CIMA sono stati confrontati con i risultati del modello adottato dal Politecnico di Milano nel progetto VAPI. Lo studio POLIMI si basa sui dati osservati nelle stazioni di misura pluviometriche del SIMN fino al 1986 costituenti un database comprendenti 366 stazioni di misura con almeno 20 anni di dati e numerosità media di 34 anni. Esso valuta la distribuzione di probabilità cumulata (DPC) per ogni stazione in base all'ipotesi di invarianza di scala (Burlando & Rosso, 1996) utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV). In funzione dei parametri di forma k , di scala α , e di posizione ε , stimati per ogni stazione in esame, è possibile determinare univocamente la relazione fra il periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T , ovvero

$$T = \frac{1}{1 - F_K(K)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}} \quad (7)$$

valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive.

Più utile per il confronto con il Modello CIMA-VDA è stata invece la formula inversa della precedente relazione, in cui fissando un valore del tempo di ritorno in anni è possibile ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T , ovvero

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}(1 - e^{-ky_T}) \quad (8)$$

in cui y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a $y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)$ e k , α ed ε sono i parametri stimati nello studio POLIMI. I parametri per i siti non strumentati sono stati ricavati per interpolazione utilizzando l'algoritmo di Kriging. La prima differenza tra i due metodi consta proprio nel fatto che il metodo adottato nello studio POLIMI basa la stima dei parametri della distribuzione di probabilità genitrice nei siti non strumentati con un approccio puramente geostatistico non basato sulla fisica dei processi di precipitazione, diversamente dal modello CIMA-VDA che punta maggiormente su quest'ultima.

La LSPP con periodo di ritorno T viene valutata secondo

$$h_T(d) = m(d)K_T \quad (9)$$

in cui $m(d)$ è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in d ore consecutive definito da un'espressione del tipo

$$m[h(d)] = a_1 d^n \quad (10)$$

in cui a_1 è il coefficiente pluviometrico orario (chiamata pioggia indice nel Modello CIMA) e n l'esponente di scala della pioggia massima annuale. Il metodo in questo coincide con quello adottato nello studio CIMA-VDA. Di seguito si riportano le mappe dei valori di k , α , ε , a_1 e n ottenute nello studio POLIMI. Come mostrato, i due modelli differiscono per il metodo di calcolo della pioggia indice e dell'esponente di scala n della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica. I due approcci danno risultati sostanzialmente equivalenti. Alcune lacune nella mappatura del metodo basato sulla GEV (esempio per l'area del Monte Bianco, per la quale non erano disponibili stazioni di misura) sono da imputarsi al fatto che il numero di dati disponibili al momento dello studio POLIMI era ridotto rispetto a quello utilizzato nello studio CIMA-VDA.

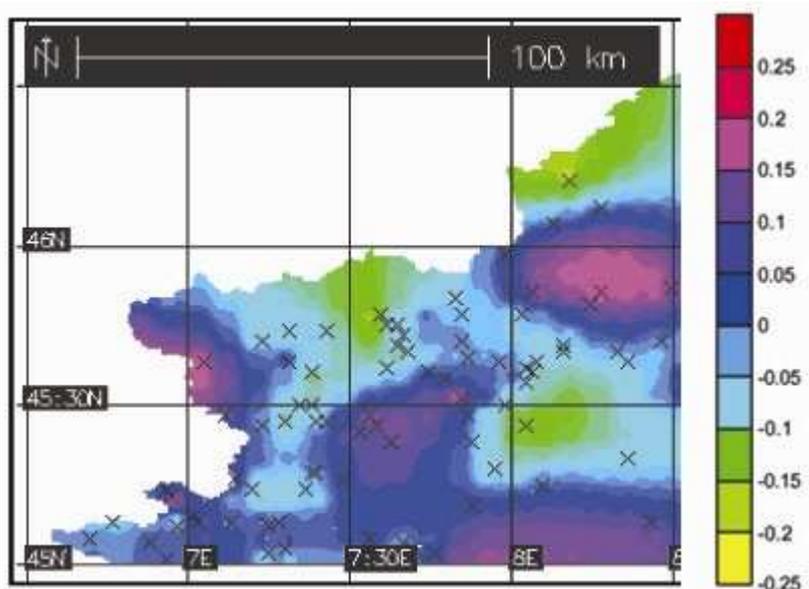


Figura 26: Mappa del parametro di forma k della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive utilizzata, ai fini del confronto dei due modelli, per la determinazione del parametro k relativo alle stazioni presenti nella regione e sottoregione Valle d'Aosta.

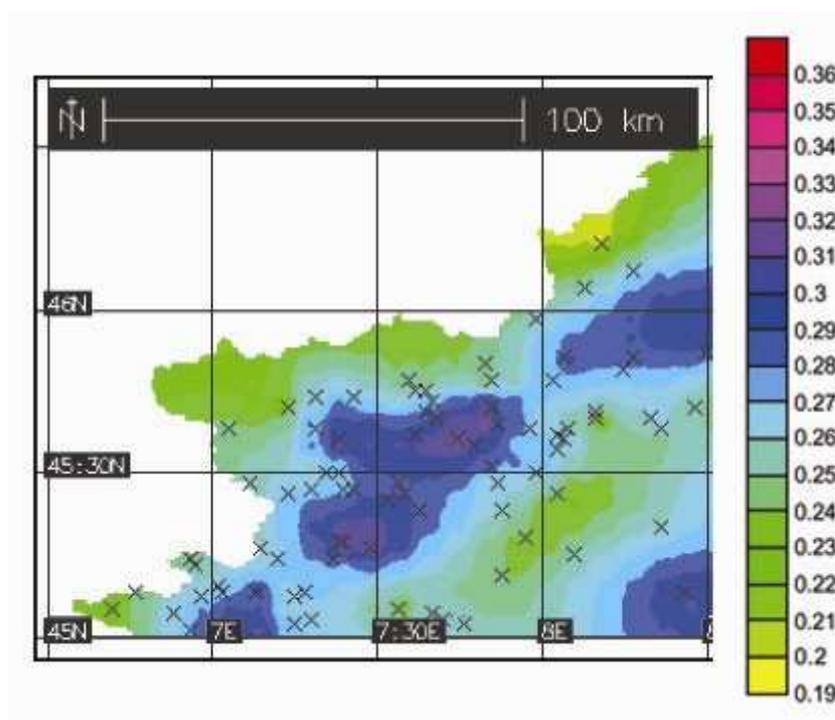


Figura 27: Mappa del parametro di scala α della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive utilizzata, ai fini del confronto dei due modelli, per la determinazione del parametro α relativo alle stazioni presenti nella regione e sottoregione Valle d'Aosta.

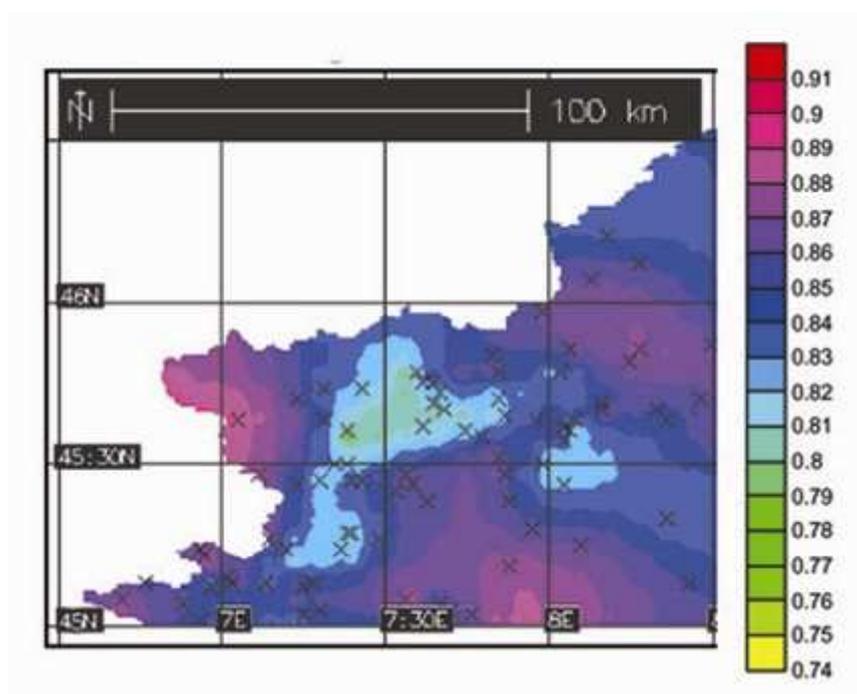


Figura 28: Mappa del parametro di posizione ϵ della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive utilizzata, ai fini del confronto dei due modelli, per la determinazione del parametro ϵ relativo alle stazioni presenti nella regione e sottoregione Valle d'Aosta.

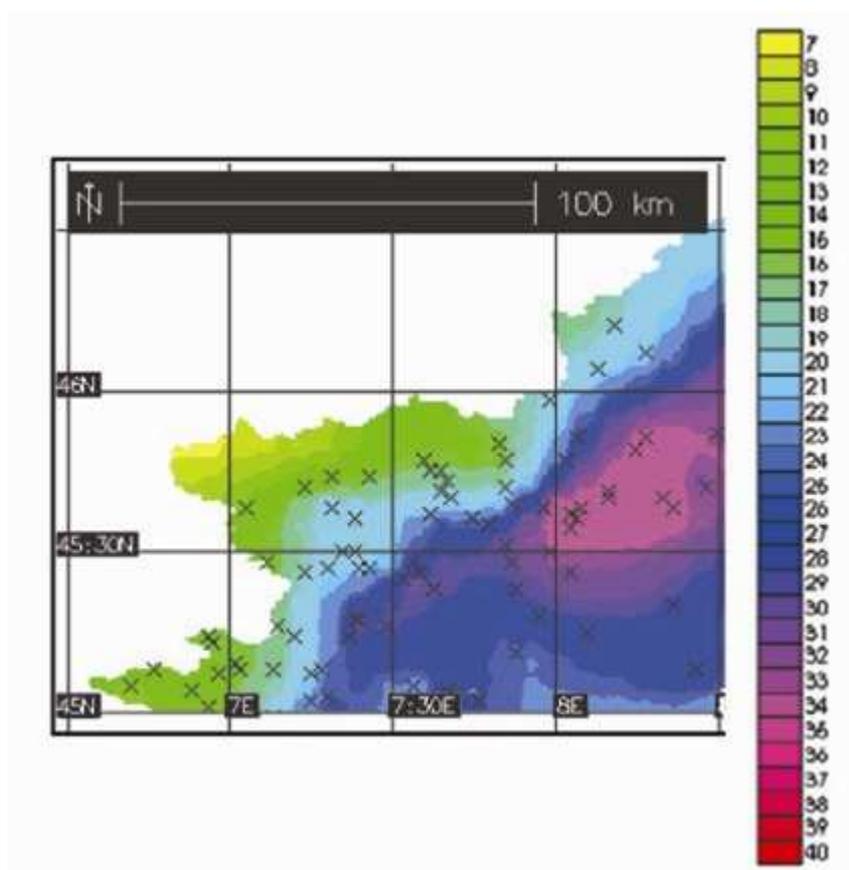


Figura 29: Mappa del coefficiente pluviometrico orario , a_1 [mm/oreⁿ] pari al valore atteso della pioggia oraria massima annuale, utilizzata, ai fini del confronto dei due modelli, per la determinazione del coefficiente a_1 relativo alle stazioni presenti nella regione e sottoregione Valle d'Aosta.

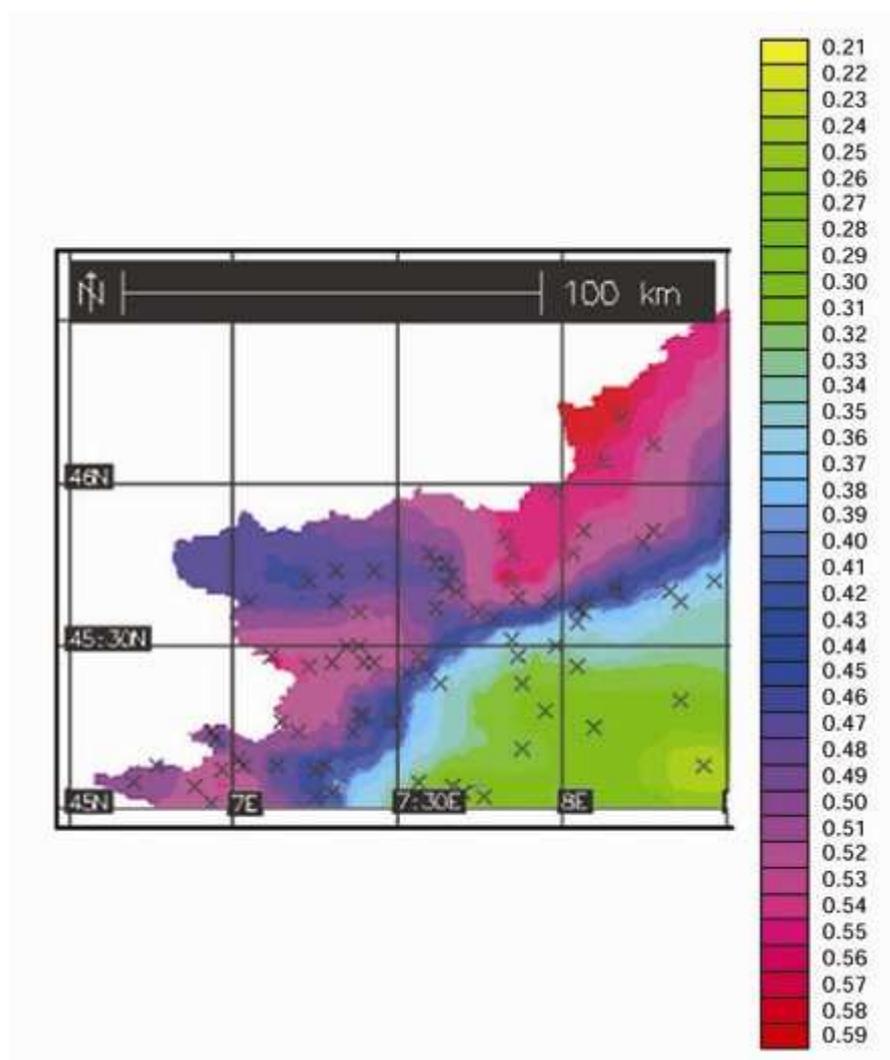


Figura 30: Mappa dell'esponente di scala, n della pioggia oraria massima annuale, utilizzata, ai fini del confronto dei due modelli, per la determinazione del coefficiente a_1 relativo alle stazioni presenti nella regione e sottoregione Valle d'Aosta.

Dai valori rappresentati nelle Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30 si è ricostruita la curva di crescita regionale rappresentata dall'equazione (8). E' stato quindi possibile valutare comparativamente per i siti strumentati la capacità delle distribuzioni GEV e TCEV di descrivere i dati osservati. Per ciascuna delle 40 stazioni utilizzate nello studio CIMA-VDA si sono tracciate (vedere figure 31-44 e allegati C e D):

- La TCEV stimata con il metodo CIMA-VDA (curva blu) definendo i diversi quantili attraverso la LSPP particolarizzata per il sito strumentato;
- La GEV stimata con il metodo POLIMI (curva verde);

- I dati osservati (simboli rossi).

Le linee nere indicano la regione di spazio nella quale può ricadere, nel 90% dei casi, un campione casuale distribuito con legge probabilistica definita dalla curva blu. Si può osservare come la maggior parte delle osservazioni sia correttamente descritta dalla curva di crescita ottenuta con lo studio CIMA VDA, sia per le brevi che per le lunghe durate.

Le stazioni le cui osservazioni si discostano maggiormente dalla distribuzione di probabilità CIMA-VDA coincidono nella maggior parte dei casi con quelle per le quali la stima della pioggia indice si discosta dall'osservazione.

La GEV dello studio POLIMI in generale descrive le osservazioni in maniera soddisfacente, con performance complessiva inferiore alla TCEV dello studio CIMA-VDA, per tutte le durate considerate. Ciò accade specialmente per le stazioni con pochi anni di dati e in quelle stazioni i cui dati non erano disponibili al momento dello studio POLIMI, ove si riscontra un andamento non corretto della coda della distribuzione. Come già accennato infatti, le stime della GEV sono state condotte su un campione di stazioni valdostane ridotto rispetto a quello usato nel metodo CIMA-VDA, senza riferirsi, per i siti non strumentati, a nessun parametro morfoclimatico legato alla fisica dei fenomeni di precipitazione, che potesse guidare le estrapolazioni a partire dai dati dei siti strumentati. A questo possono essere imputate le minori prestazioni del metodo.

I risultati mostrano che le curve ottenute per alcune stazioni (19 su 40), ad esempio Aosta (Figura 31), Gressoney LT (Figura 32) e Guillermore (Figura 33), si comportano nella stessa maniera e concordi ai valori di pioggia osservata, mentre per altre stazioni (11 su 40) ad esempio Grand Tete (Figura 34) ed Evolène (Figura 35) la previsione dello studio CIMA-VDA appare nettamente più rappresentativa delle osservazioni rispetto al modello POLIMI.

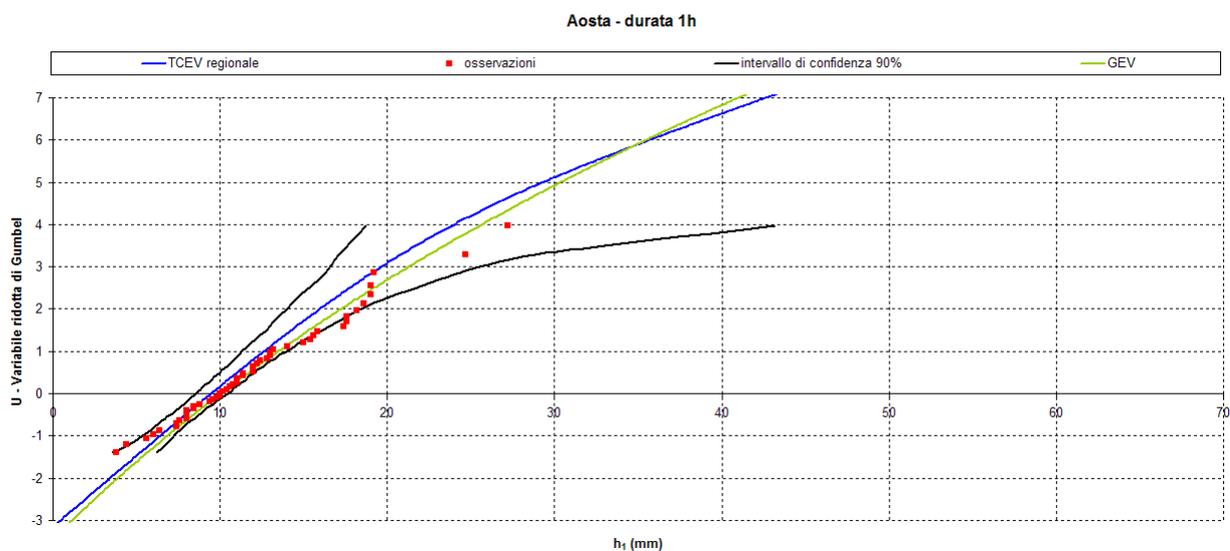


Figura 31: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aosta, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

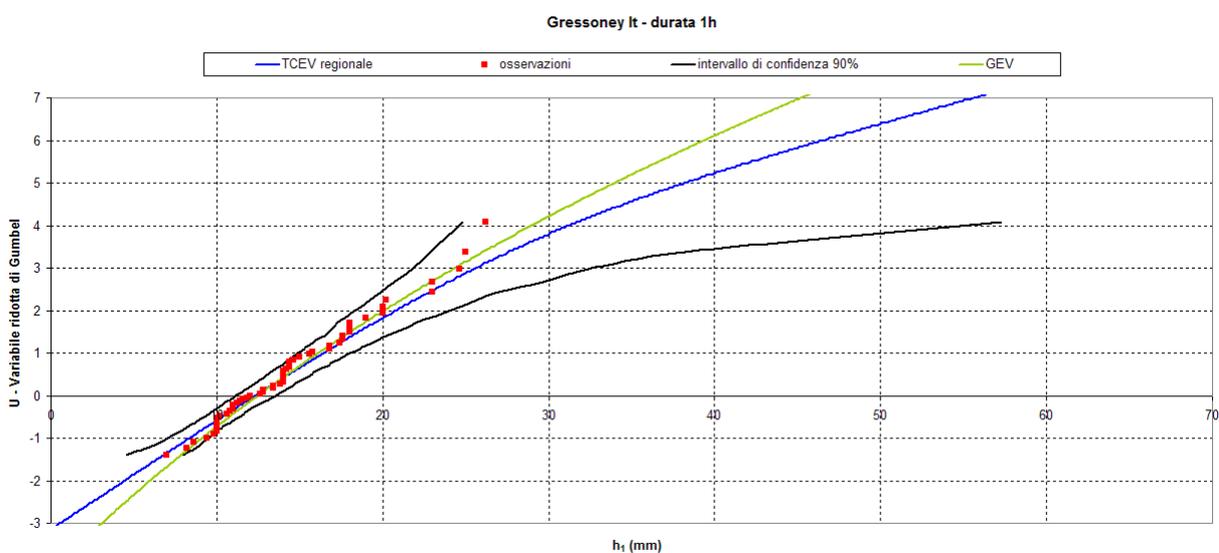


Figura 32: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney Lt, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

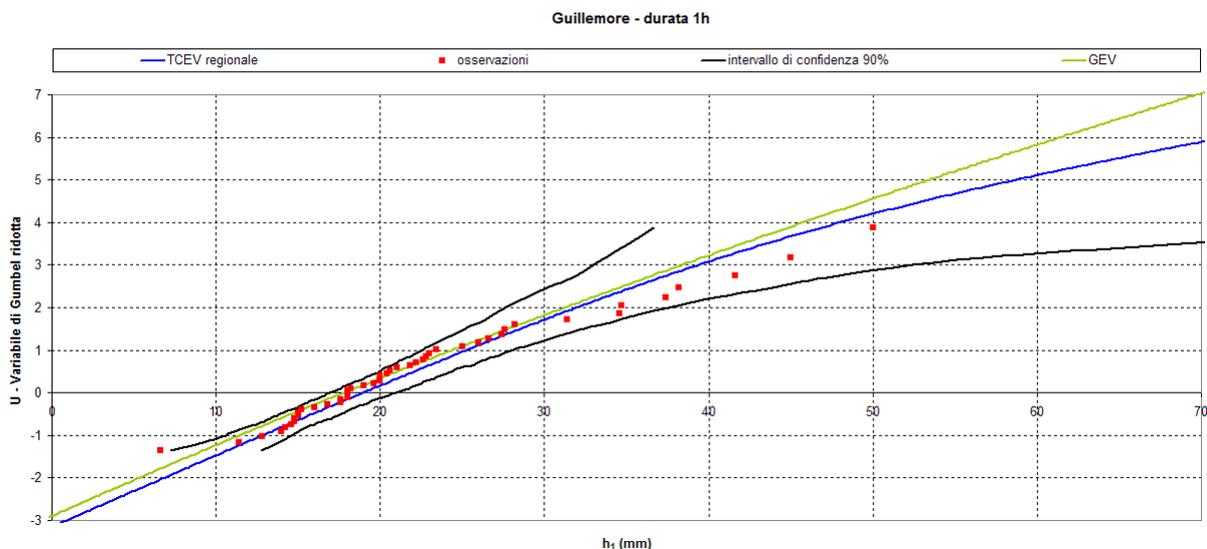


Figura 33: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Guillemore, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

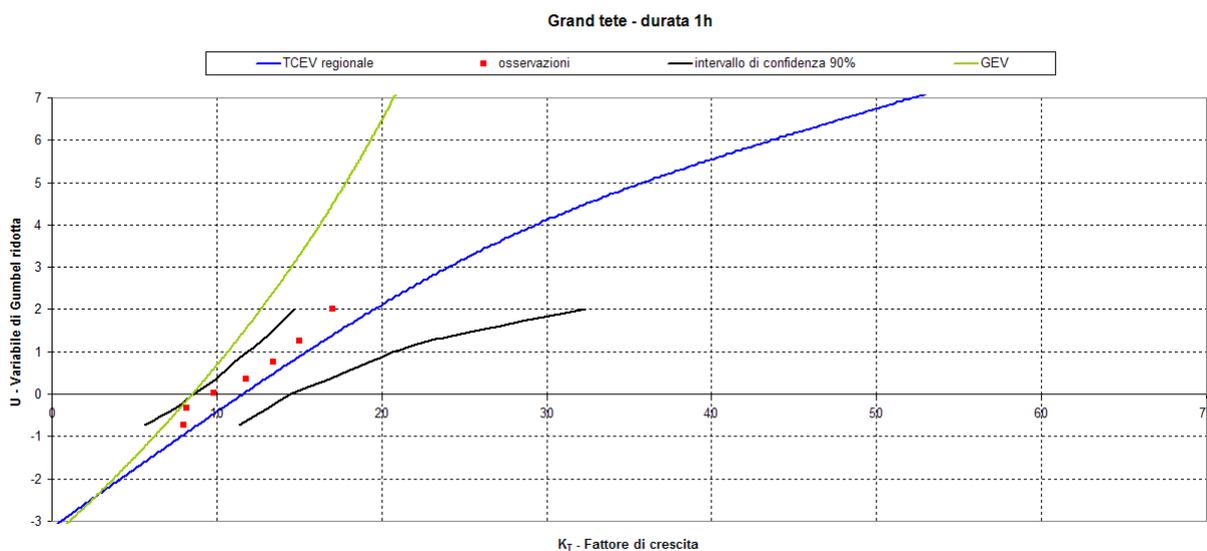


Figura 34: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Grand Tete, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

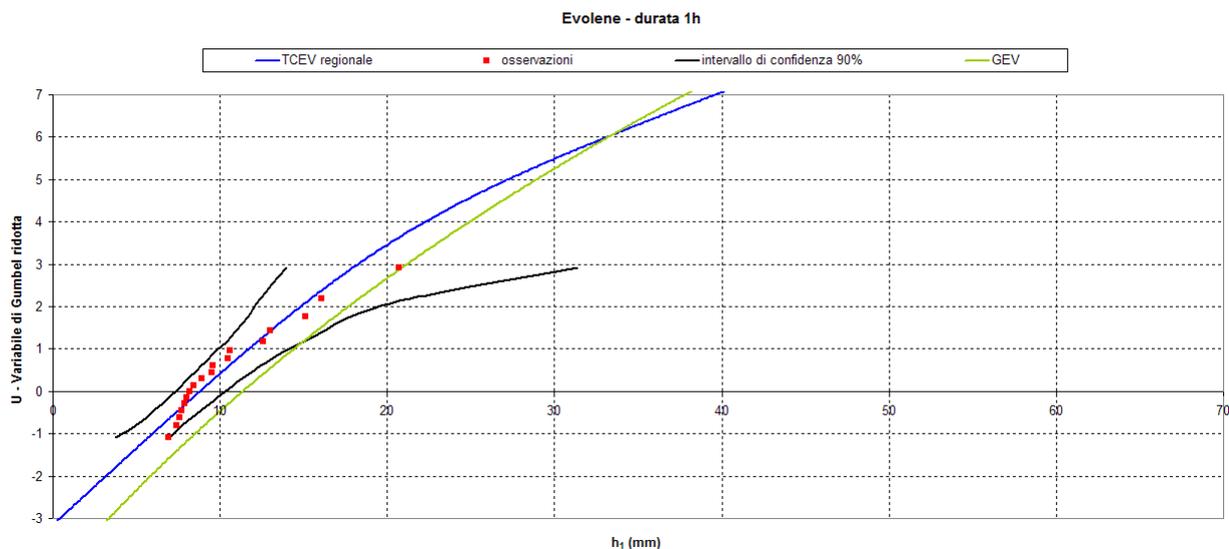


Figura 35: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Evolène, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

Durante il confronto sono stati riscontrati anche alcuni casi (4 su 40) in cui le osservazioni risultano meglio rappresentate, seppur di poco, dalle curve ottenute con il modello POLIMI, come ad esempio accade per le stazioni di Arvier (Figura 36) e Gressoney SJ (Figura 37), mentre per altre stazioni (6 di 40) in cui anche se entrambi i modelli non risultano ben rappresentativi dei valori osservati, il valore atteso dei quantili del massimo annuale di precipitazione per assegnata durata è comunque compreso entro l'intervallo di confidenza del modello CIMA-VDA che tiene conto dell'errore di stima della pioggia indice, come ad esempio accade per le stazioni di Gs Bernardo (Figura 38) e Plan Praz (Figura 39).

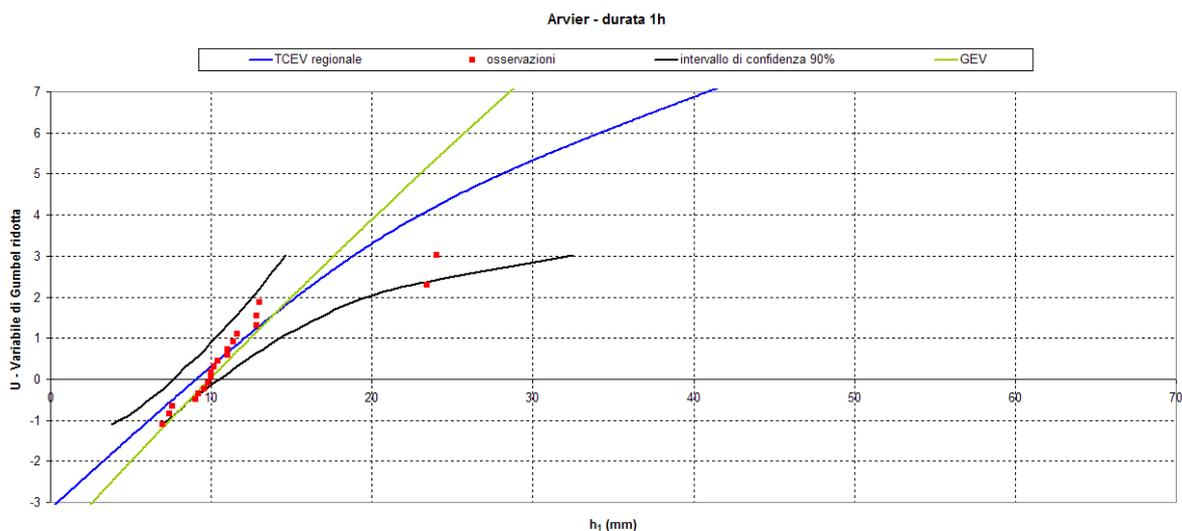


Figura 36: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Arvier, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

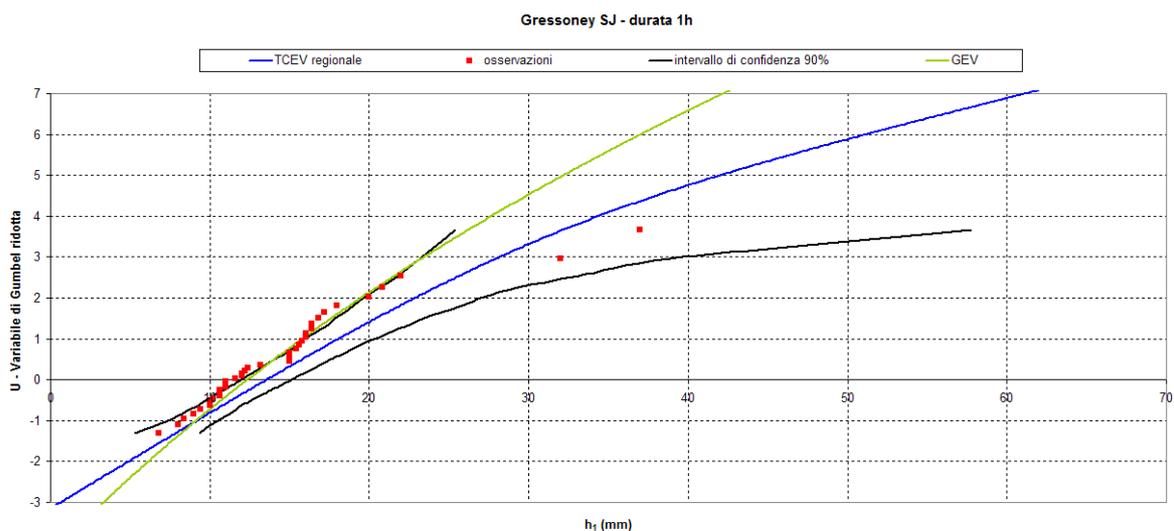


Figura 37: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney SJ, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

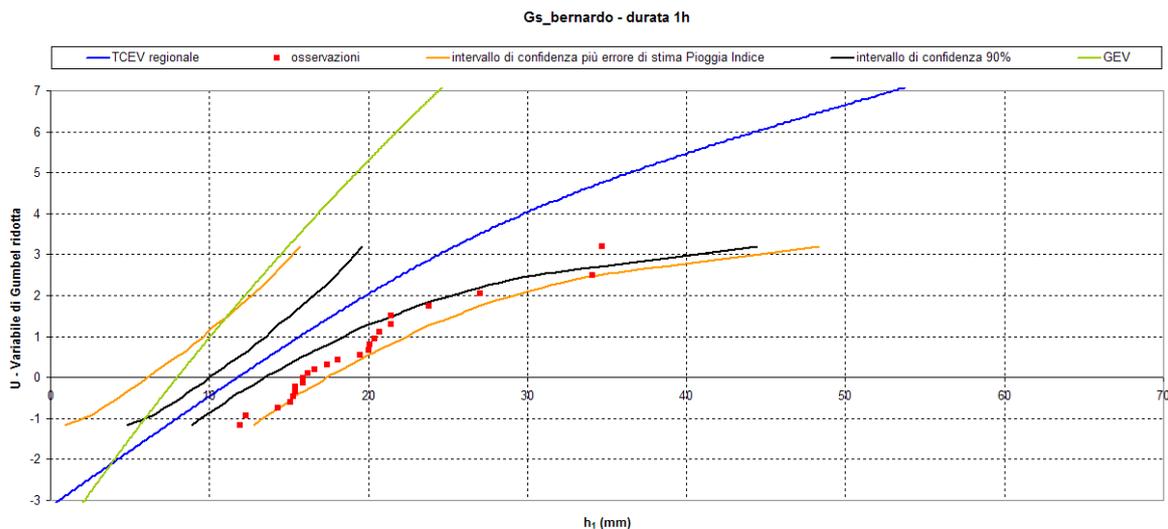


Figura 38: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gs Bernardo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

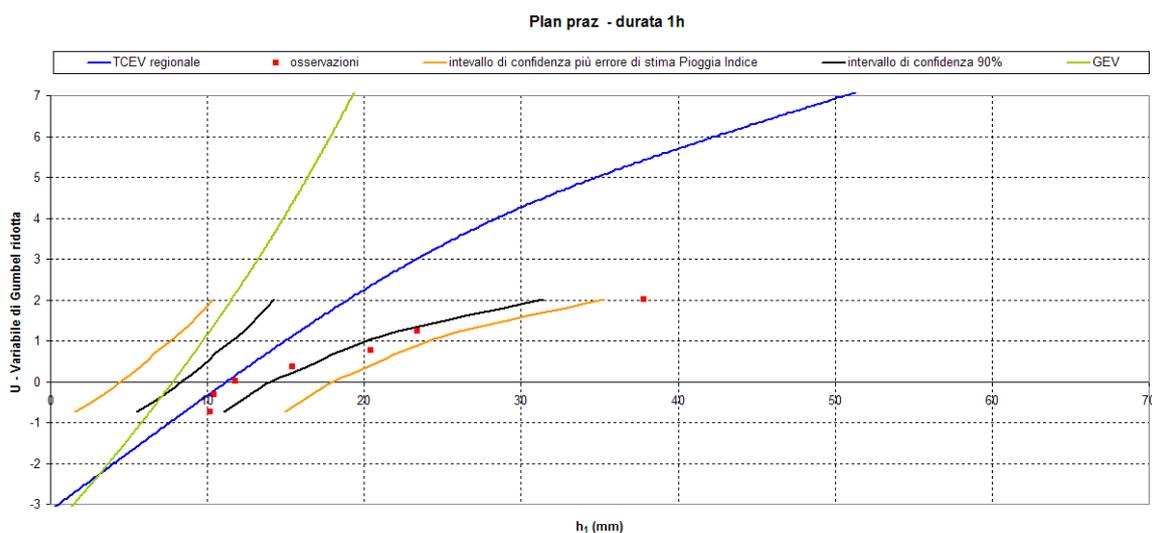


Figura 39: Confronto puntuale per la durata di 1h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Plan Praz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

Un analogo confronto puntuale delle curve ottenute da dai due diversi modelli è stato fatto anche per la durata di 24 ore, il quale ha mostrato che per alcune stazioni (12 su 40), ad esempio Aosta (Figura 40 e Figura 39), Nus (Figura 41) e Guillermore (Figura

42), le due curve si comportano nella stessa maniera e concordi ai valori di pioggia osservata, mentre per altre stazioni (12 su 40) ad esempio Evolène (Figura 43) ed Place Moulin (Figura 44) la previsione del modello CIMA appare nettamente più rappresentativa delle osservazioni rispetto al modello POLIMI.

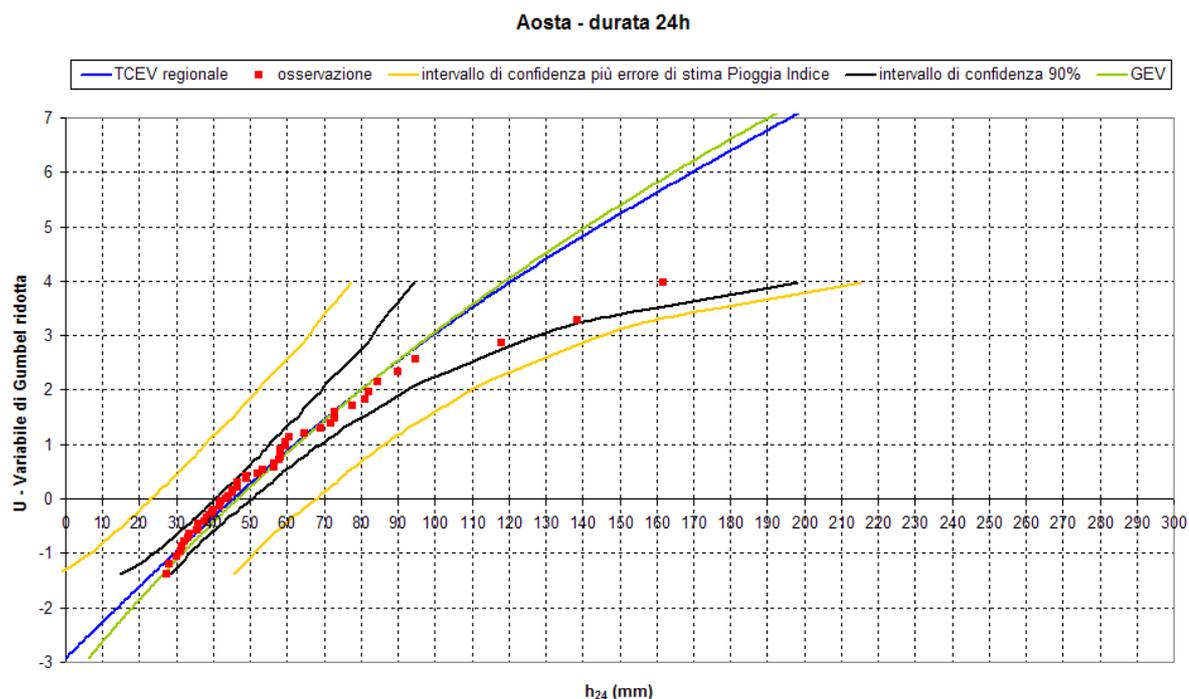


Figura 40: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aosta, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

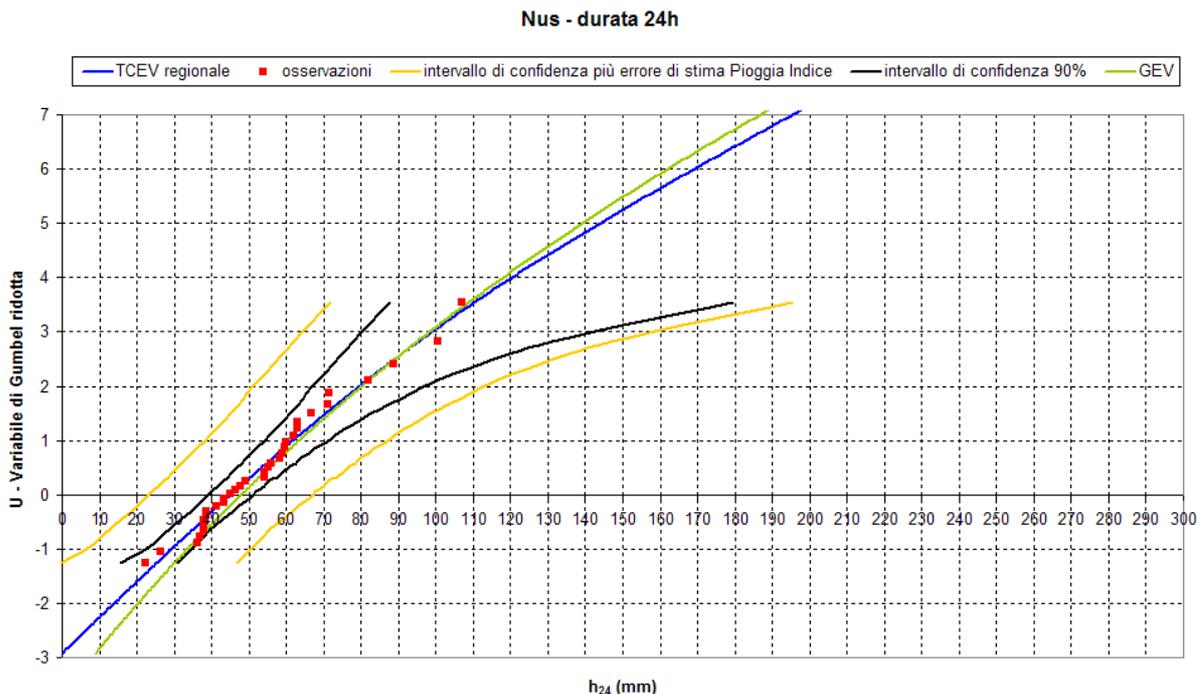


Figura 41: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Nus, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

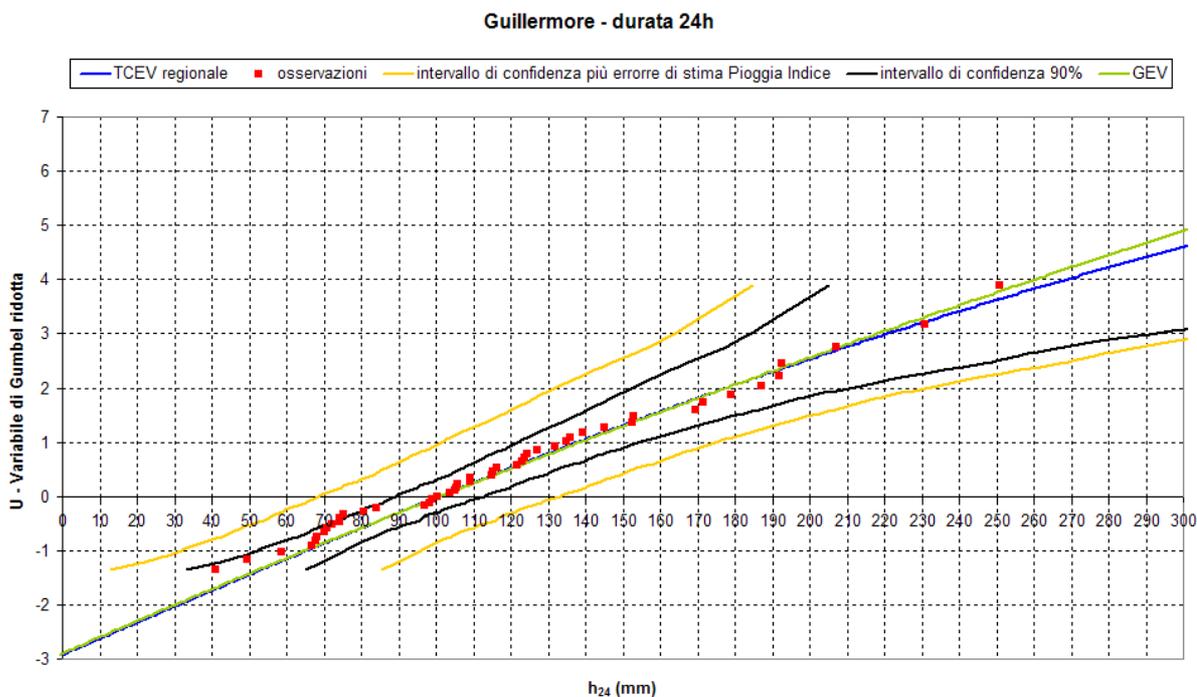


Figura 42: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Guillermore, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

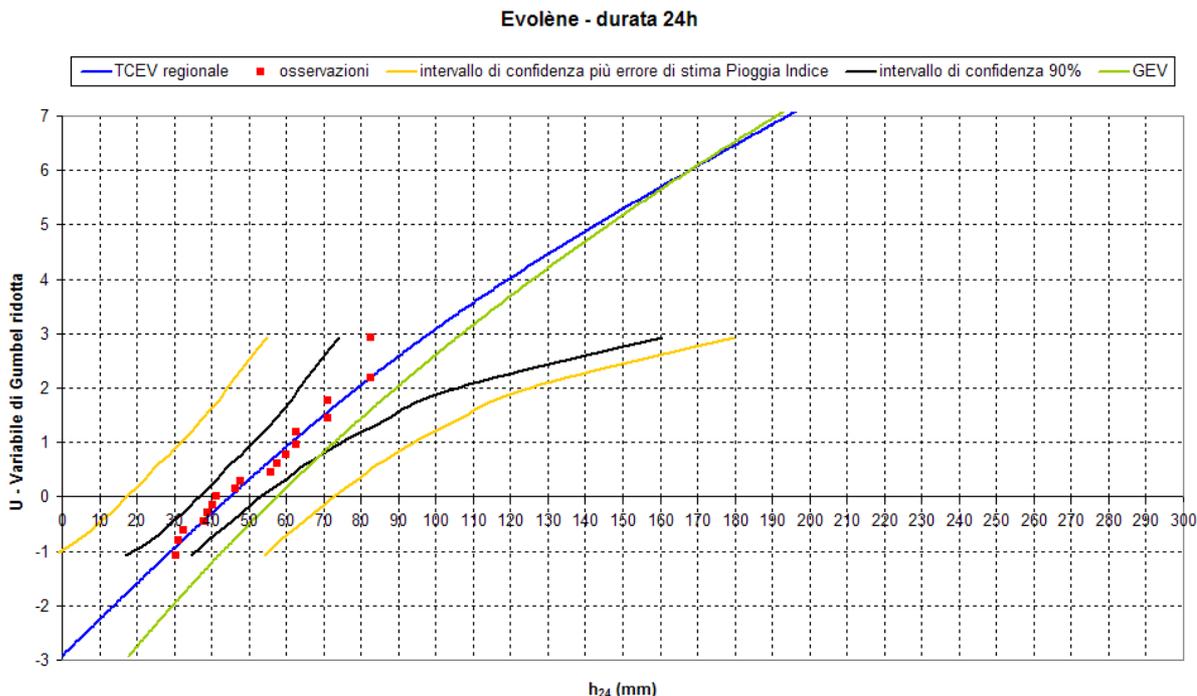


Figura 43: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Evolène, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).



Figura 44: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Place Moulin, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

Durante il confronto sono stati riscontrati anche alcuni casi (7 su 40) in cui anche se entrambi i modelli non risultano ben rappresentativi dei valori osservati, il valore atteso dei quantili del massimo annuale di precipitazione per assegnata durata è comunque compreso entro l'intervallo di confidenza del modello CIMA che tiene conto dell'errore di stima della pioggia indice, come ad esempio accade per le stazioni di Gs Bernardo (Figura 45) e Etroubles (Figura 46) .

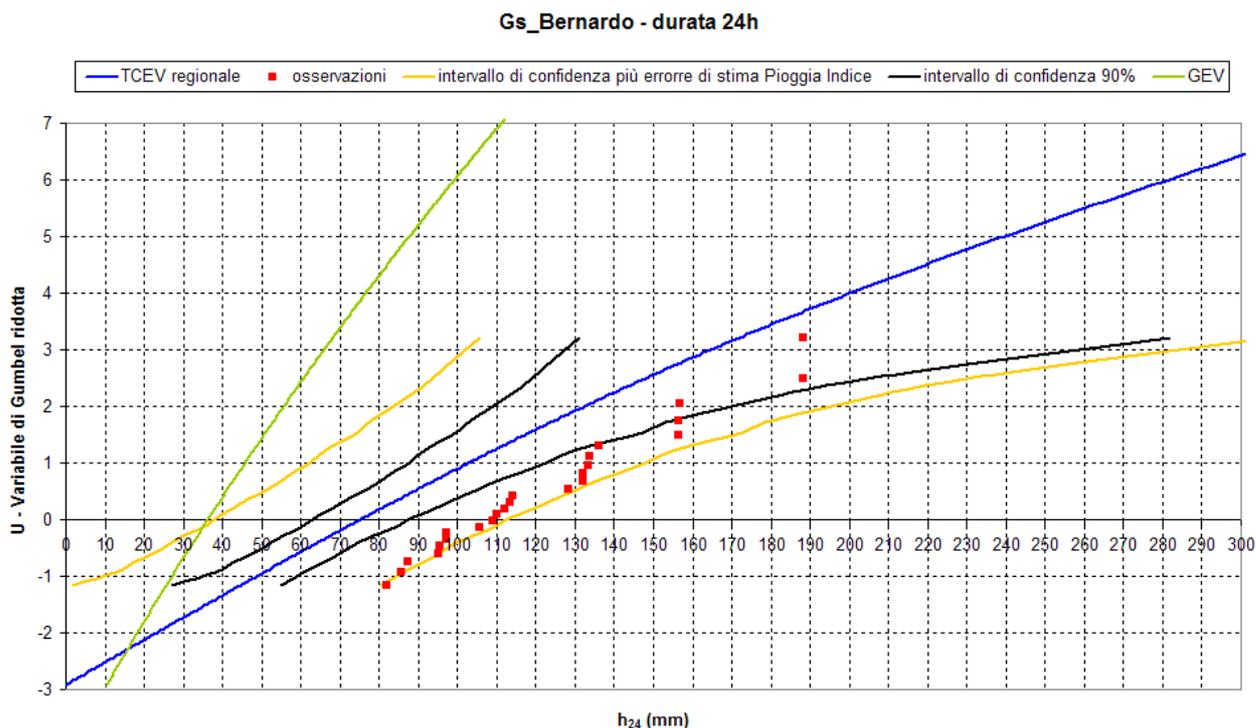


Figura 45: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gs Bernardo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

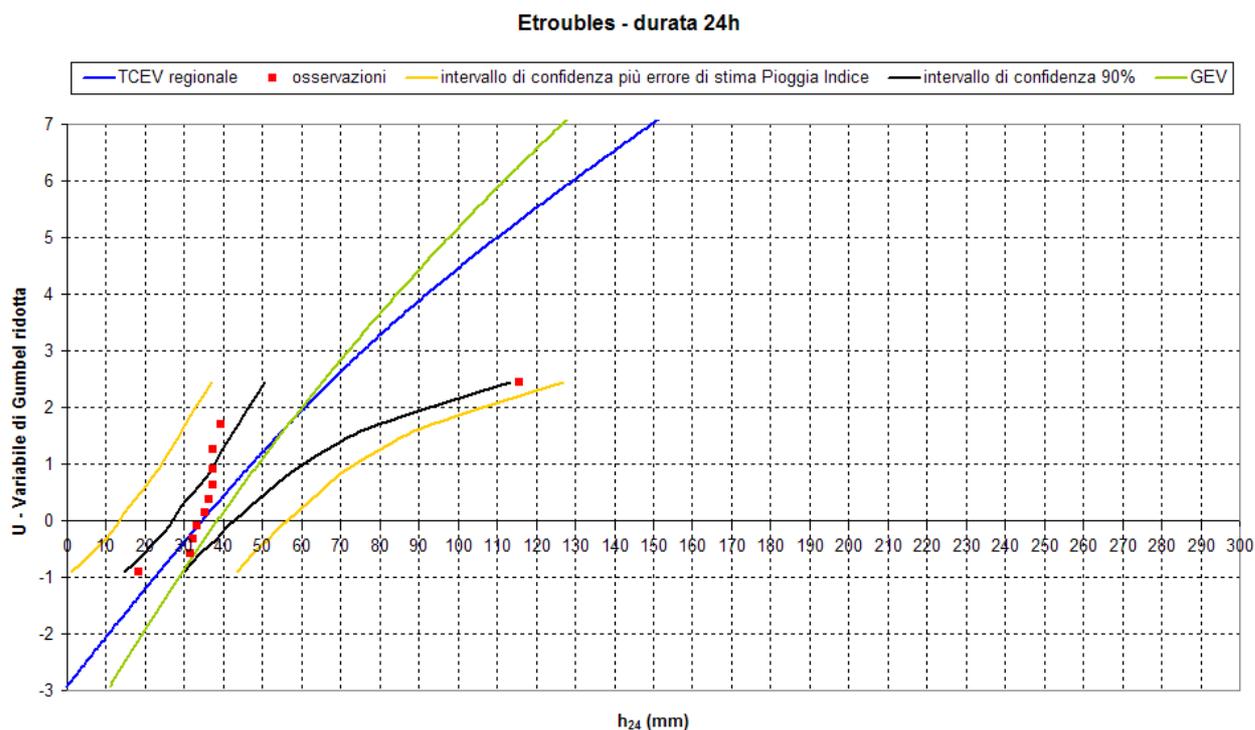


Figura 46: Confronto puntuale per la durata di 24h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Etroubles, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

Il confronto puntuale di ognuna delle stazioni per entrambe le durate analizzate sono riportati negli allegati B e C.

In conclusione si può affermare che, tenendo conto di tutte le fonti di incertezza intrinseche al metodo di analisi statistica, le osservazioni risultano sempre ben rappresentate dalle TCEV regionali, e che per alcune stazioni la GEV fornisce stime meno rappresentative del campione osservato.

2.3.3 Confronto con i risultati della regionalizzazione PAI

Il territorio della Valle d'Aosta è stato oggetto di un ulteriore studio di regionalizzazione riportato nel "Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI)- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle

precipitazioni intense" commissionato dall'Autorità di Bacino del fiume Po e adottato in data 26 Aprile 2001.

Risultato di questo studio è una tabella di valori dei parametri degli indici della LSPP, riferita ad una mappa che consente l'accoppiamento posizione-parametro.

Attraverso questo sistema è possibile ottenere, data una posizione geografica qualsiasi, la LSPP locale per assegnato periodo di ritorno.

Avendo a disposizione i parametri delle LSPP, si è deciso, diversamente da come fatto per gli studi precedenti, di condurre il confronto direttamente su queste ultime. Il confronto è stato quindi effettuato paragonando i valori di altezza di precipitazione per assegnato periodo di ritorno ottenuti con lo studio PAI e il Modello CIMA, per una serie di stazioni di misura, elencate nella Tabella 12

L'appendice F riporta invece i grafici delle LSPP ottenute con i due metodi, per ciascuna delle stazioni di misura considerate, per periodi di ritorno brevi (circa 20 anni) medi (circa 100 anni) e lunghi (circa 200 anni).

Attorno alla LSPP ottenuta con il Modello CIMA, sono state tracciate due curve a distanza costante in termini percentuali, e pari a $\pm 10\%$. Tale valore è stato prescelto in quanto può quantificare, nella prassi, una differenza trascurabile tra i due metodi. In definitiva quindi se le due LSPP non differiscono più del 10% in positivo o negativo, possono essere considerate equivalenti.

Analizzando le figure riportate in appendice F si può concludere quanto segue:

1. i due metodi, nella maggior parte dei casi non differiscono sostanzialmente, scostandosi in maniera trascurabile dalla fascia di ampiezze in valore assoluto maggiori del 10%, come nel caso delle stazioni 2-8, 11, 13-15, 22-27, 29-36 (rif. Tabella 12);
2. laddove differiscono, nella maggior parte dei casi la regionalizzazione CIMA fornisce, a parità di durata e tempo di ritorno, valori maggiori, e quindi cautelativi, del quantile di altezza di precipitazione, come nel caso delle stazioni 1, 10, 16-18, 20, 21, 28 e 37 (rif. Tabella 12);

3. in alcuni casi, nella stessa località, al variare delle durate, la differenza tra le due curve può cambiare di segno, ma molto spesso mantenendosi molto prossima alla fascia di differenze accettabili, come nel caso della stazione 19, Guillemore.

Le LSPP citate al punto 3 sono riportate, per facilitare la lettura di questi commenti, nella Figura 47. Ovviamente possono verificarsi casi in cui gli incroci tra le curve possono portare a differenze più marcate tra i due metodi, di segno opposto per le durate più brevi e più lunghe. Questo però non costituisce motivo invalidante per la nuova regionalizzazione qui proposta.

La forma della LSPP infatti è prodotto di almeno 3 fattori, che sono, come abbiamo visto, la curva di crescita, la pioggia indice e l'esponente di scala. I diversi valori di questi tre fattori ottenuti con l'una o l'altra delle regionalizzazioni possono generare differenze tra le LSPP di diverso segno, variabili certamente con la durata.

Una volta condivisa tra gli utilizzatori della regionalizzazione, l'affermazione che la più recente delle due, utilizzando serie di dati temporalmente più estese è quindi statisticamente meno incerta, ed inoltre beneficia di metodologie di valutazione statistica più avanzate che fanno riferimento a pubblicazioni recenti, qualsiasi differenza rispetto alla precedente risulta accettabile e va necessariamente applicata ai nuovi studi idrologici

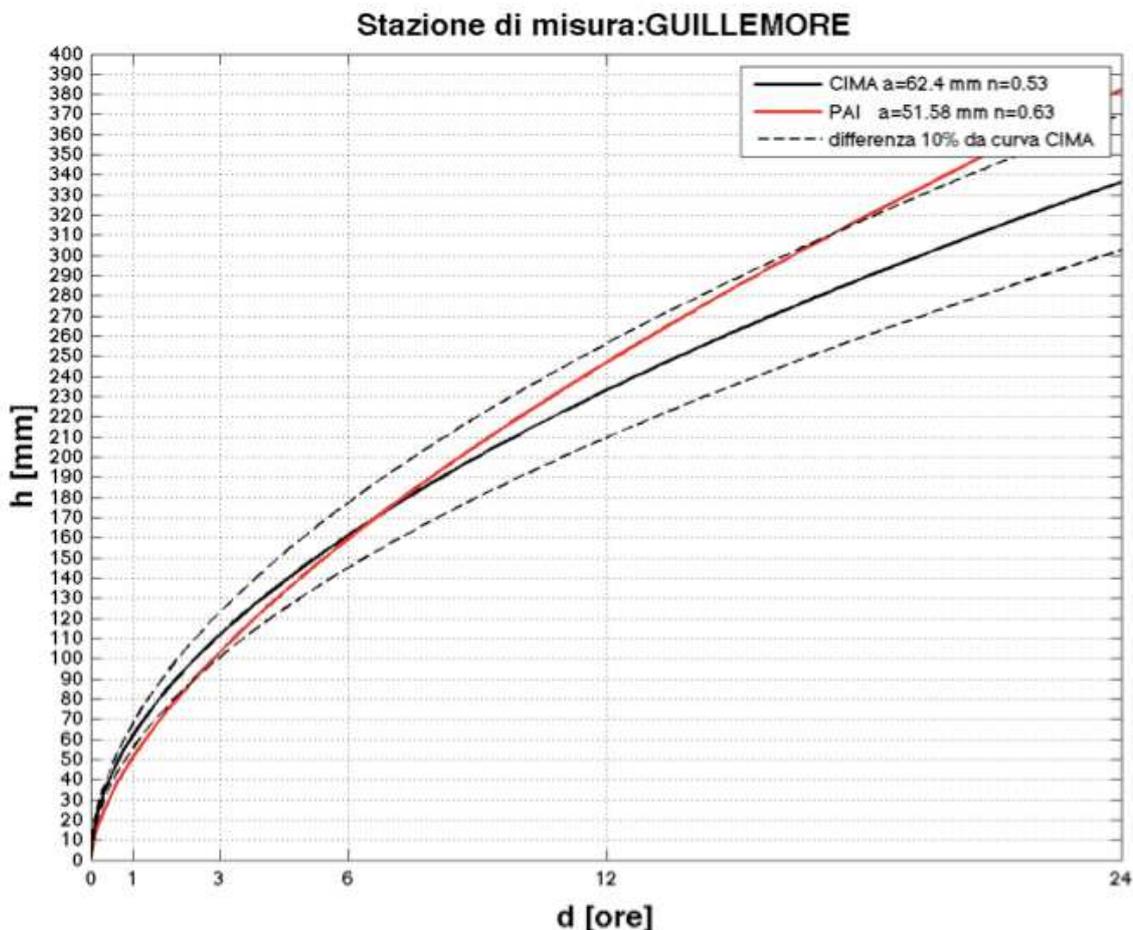


Figura 47: LSPP per la stazione n. 19, Guillemore. Esempio di incrocio tra le curve, con valori cautelativi forniti dalla curva PAI per durate superiori a 6 ore e vice versa per le durate inferiori.

Allo scopo di fornire una visione d'insieme a scala regionale e non solo puntuale delle differenze tra la regionalizzazione CIMA e la regionalizzazione PAI, si riportano di seguito due figure, nelle quali sono riportate le differenze percentuali tra le due regionalizzazioni, per durate $d=1$ ora e $d=24$ ore. Differenze positive indicano stime cautelative da parte della regionalizzazione CIMA. L'analisi delle due figure porta a concludere che:

1. le differenze aumentano all'aumentare della durata, a causa dei diversi valori dell'esponente di scala ottenuti con i due metodi
2. per la durata $d=1$ ora le differenze sono quasi ovunque contenute in un intervallo $\pm 10\%$, con differenze più marcate nelle zone periferiche della regione in quota.

3. Per la durata $d=24$ ore il pattern delle differenze percentuali varia, ma esse si mantengono in larga parte della regione al di sotto di $\pm 10\%$, con eccezioni nelle vallate dell'area Gran San Bernardo-Grand Combin.
4. La regionalizzazione CIMA tendenzialmente tende a fornire valori cautelativi rispetto alla precedente.

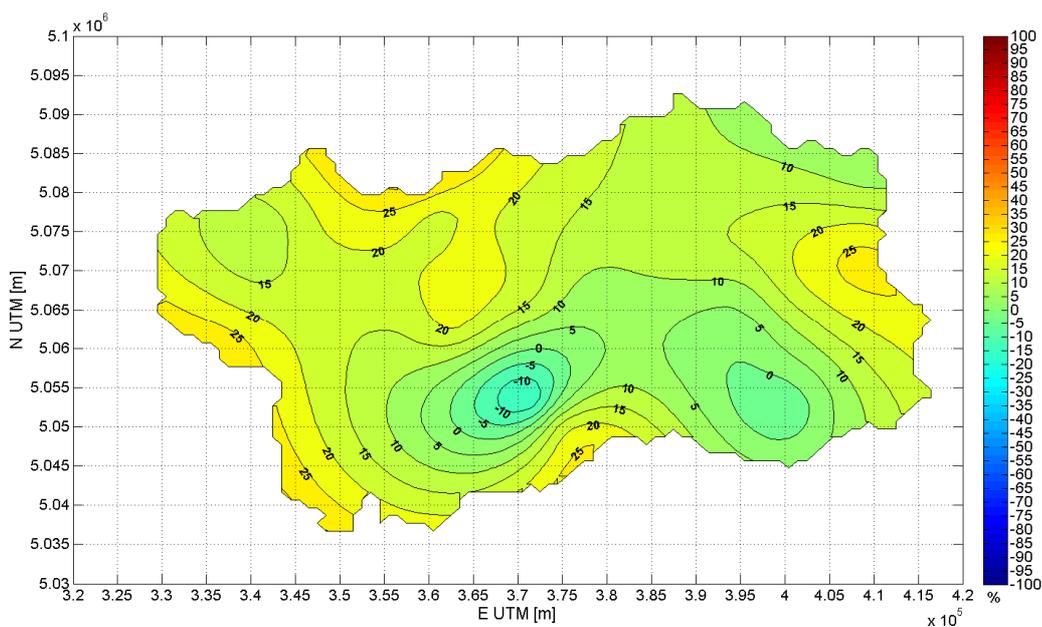


Figura 48: differenza percentuale tra le stime di altezza di precipitazione per la durata di 1 ora per $T=200$ anni. Valori positivi indicano stime cautelative da parte della regionalizzazione CIMA.

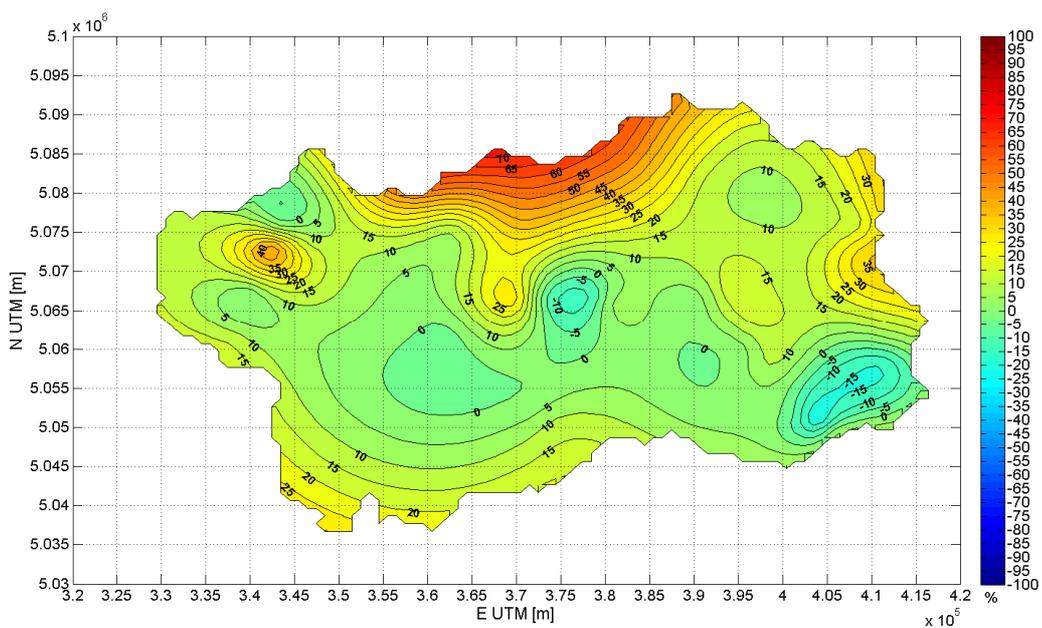


Figura 49: differenza percentuale tra le stime di altezza di precipitazione per la durata di 24 ore per T=200 anni. Valori positivi indicano stime cautelative da parte della regionalizzazione CIMA.**Tabella 12: elenco delle stazioni per le quali è stato effettuato il confronto tra lo studio PAI e il Modello CIMA.**

| NUMERO | NOME | X UTM | Y UTM |
|--------|-----------------|--------|---------|
| 1 | 'AOSTA' | 370391 | 5066393 |
| 2 | 'ARVIER' | 357410 | 5062839 |
| 3 | 'AYMAVILLES' | 362877 | 5062384 |
| 4 | 'BARD' | 401379 | 5051836 |
| 5 | 'BRUSSON' | 400587 | 5068286 |
| 6 | 'CHAMPDEPRAZ' | 395630 | 5060194 |
| 7 | 'CHAMPORCHER' | 392832 | 5053414 |
| 8 | 'CHATILLON' | 390643 | 5066815 |
| 9 | 'COGNE' | 371896 | 5052865 |
| 10 | 'D EYOLA' | 408078 | 5078937 |
| 11 | 'DIGA CIGNANA' | 391070 | 5081750 |
| 12 | 'DONNAS' | 403790 | 5050852 |
| 13 | 'ETROUBLES' | 362790 | 5075402 |
| 14 | 'GABY' | 411674 | 5061187 |
| 15 | 'GRAND TETE' | 337727 | 5061120 |
| 16 | 'GRESSONEY LT' | 408890 | 5076090 |
| 17 | 'GRESSONEY SJ' | 408704 | 5071897 |
| 18 | 'G.S. BERNARDO' | 358106 | 5081295 |
| 19 | 'GUILLEMORE' | 411255 | 5058245 |
| 20 | 'LA VILLETTE' | 342520 | 5073112 |
| 21 | 'LAGO GABIET' | 410593 | 5077723 |
| 22 | 'LAGO GOILLET' | 396397 | 5087509 |

| NUMERO | NOME | X UTM | Y UTM |
|--------|--------------------|--------|---------|
| 23 | 'LAVANCHER METEO' | 346016 | 5073452 |
| 24 | 'LILLAZ' | 374621 | 5050540 |
| 25 | 'MONT DE LA SAXE' | 343178 | 5075812 |
| 26 | 'MONTJOVET' | 396529 | 5064045 |
| 27 | 'NUS' | 379969 | 5066107 |
| 28 | 'PLACE MOULIN' | 382954 | 5084131 |
| 29 | 'PLAN PRAZ' | 339900 | 5067263 |
| 30 | 'PONT ST MARTIN' | 406025 | 5049456 |
| 31 | 'PROMIOD' | 391534 | 5070797 |
| 32 | 'SAINT CHRISTOPHE' | 372810 | 5066579 |
| 33 | 'ST MARCEL' | 379208 | 5066473 |
| 34 | 'ST OYEN' | 361327 | 5076360 |
| 35 | 'ST VINCENT' | 394416 | 5067531 |
| 36 | 'VALGRISENCHE' | 348903 | 5053739 |
| 37 | 'VALPELLINE' | 370487 | 5076202 |
| 38 | 'VERRES' | 398579 | 5058599 |

3 ESTENSIONE DELLA REGIONALIZZAZIONE ALLE DURATE INFERIORI A 1 ORA.

3.1 CAMPO DI APPLICAZIONE DELLA REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

La regionalizzazione delle precipitazioni intense descritta nei capitoli precedenti, ha validità per i valori di durata superiori ad 1 ora ed inferiori a 24 ore, in quanto le osservazioni dei massimi annuali di precipitazione utilizzati nell'elaborazione si riferiscono a tale intervallo di durate. Una qualsiasi applicazione della regionalizzazione per durate superiori alle 24 ore o inferiori ad 1 ora, necessiterebbe di

un'estrapolazione delle LSPP al di fuori dal loro campo di validità. Tale estrapolazione deve essere pertanto validata.

Questo capitolo presenta pertanto i risultati della validazione della regionalizzazione delle precipitazioni intense in Valle D'Aosta per le durate inferiori ad 1 ora. Tali durate sono di solito utilizzate nella pratica ingegneristica per il dimensionamento delle reti di drenaggio delle acque reflue urbane.

Ai fini della validazione dell'utilizzo delle LSPP per le durate inferiori ad un'ora si rende necessario confrontare le stime fornite da queste ultime con massimi annuali di precipitazione osservati nella regione per le durate di interesse. A tale scopo sono stati utilizzati due set di osservazioni:

- I set: le osservazioni di altezza di precipitazione per 33 stazioni pluviometriche in Valle d'Aosta, che forniscono misure pluviometriche ad intervalli di 15 minuti. I dati disponibili coprono un intervallo temporale che va da Gennaio 1987 a Dicembre 2005, con un numero di anni di osservazione variabile da stazione a stazione compreso tra 5 e 18 anni.
- II set : le osservazioni di altezza di precipitazione per 41 stazioni pluviometriche in Valle D'Aosta, di cui 30 stazioni forniscono misure pluviometriche ad intervalli di 1 minuto, e le restanti 11 ad intervalli di 10 minuti. I dati disponibili coprono un intervallo temporale che va da Ottobre 1992 a Giugno 2008, con un numero di anni di osservazione variabile da stazione a stazione compreso tra 2 anni e 15 anni.

Dalle misure di altezza di precipitazione, validate preventivamente con procedimento descritto nel prossimo capitolo, sono stati ricavati per ogni stazione i massimi annuali di altezza di precipitazione per durate di 15 e 30 minuti per il primo set e di 10, 20 e 30 minuti per il secondo set, con la stessa metodologia utilizzata per la redazione degli annali idrologici.

I massimi annuali di altezza di precipitazione così estratti sono stati posti a confronto con le distribuzioni di probabilità ottenute attraverso la regionalizzazione per le rispettive durate, resi dimensionali con la pioggia indice e l'esponente di scala del sito

di misura, su carta di Gumbel con fasce di confidenza del test di bontà di adattamento di Kolmogorov-Smirnov al 95%, calcolate sulla numerosità media dei campioni di massimi annuali, pari a 8 anni per il secondo set e sulla numerosità effettiva dei campioni di massimi annuali per il primo set, essendo questi ultimi mediamente più numerosi.

3.2 ANALISI DEI DATI DI PRECIPITAZIONE

3.2.1 I Set

Sono stati utilizzati per l'analisi i dati provenienti da 34 stazioni di misura pluviometriche come da Tabella 13

Tabella 13: elenco stazioni di misura pluviometriche - I set

| Numero | Nome | Anni di osservazione nel periodo 1987-2005 | Coordinate UTM zona 32T | |
|--------|----------------------|--|-------------------------|--------|
| | | | N-E[m] | |
| 1 | Aosta | 16 | 5066393 | 370391 |
| 2 | Avise | 5 | 5063281 | 355578 |
| 3 | Aymavilles | 4 | 5062384 | 362877 |
| 4 | Bard | 4 | 5051836 | 401379 |
| 5 | Brusson | 14 | 5068286 | 400587 |
| 6 | Centrale di Maen | 14 | 5080500 | 392595 |
| 7 | Champdepraz | 7 | 5060194 | 395630 |
| 8 | Champorcher | 12 | 5053414 | 392832 |
| 9 | Chatillon | 7 | 5066815 | 390643 |
| 10 | D'Eyola | 12 | 5078937 | 408078 |
| 11 | Diga Cignana | 9 | 5081750 | 391070 |
| 12 | Gaby | 10 | 5061187 | 411674 |
| 13 | Gressoney La Trinité | 9 | 5076090 | 408890 |
| 14 | Gressoney Saint Jean | 12 | 5071897 | 408704 |

| Numero | Nome | Anni di osservazione nel periodo 1987-2005 | Coordinate UTM zona 32T | |
|--------|-------------------|--|-------------------------|--------|
| | | | N-E[m] | |
| 15 | Guillemore | 9 | 5058245 | 411255 |
| 16 | La Villette | 9 | 5073112 | 342520 |
| 17 | Lago Gabiet | 9 | 5077723 | 410593 |
| 18 | Lago Goillet | 13 | 5087509 | 396397 |
| 19 | Lillaz | 12 | 5050540 | 374621 |
| 20 | Montjovet | 13 | 5064045 | 396529 |
| 21 | Nus C.le | 5 | 5066107 | 379969 |
| 22 | Perreres | 12 | 5084862 | 392793 |
| 23 | Place Moulin | 16 | 5084131 | 382954 |
| 24 | Pont Saint Martin | 13 | 5049456 | 406025 |
| 25 | PontBoset | 2 | 5051634 | 397416 |
| 26 | Promiod Covalou | 16 | 5070797 | 391534 |
| 27 | Promise | 4 | 5063301 | 340958 |
| 28 | Saint Oyen | 8 | 5076360 | 361327 |
| 29 | Saint Vincent | 8 | 5067531 | 394416 |
| 30 | Ussin | 4 | 5079394 | 392167 |
| 31 | Valgrisenche | 13 | 5053739 | 348903 |
| 32 | Valpelline | 11 | 5076202 | 370487 |
| 33 | Valtournenche | 4 | 5083007 | 393426 |
| 34 | Verres | 10 | 5058599 | 398579 |

La distribuzione spaziale delle stazioni appartenenti al set I è riportata dalla Figura 50

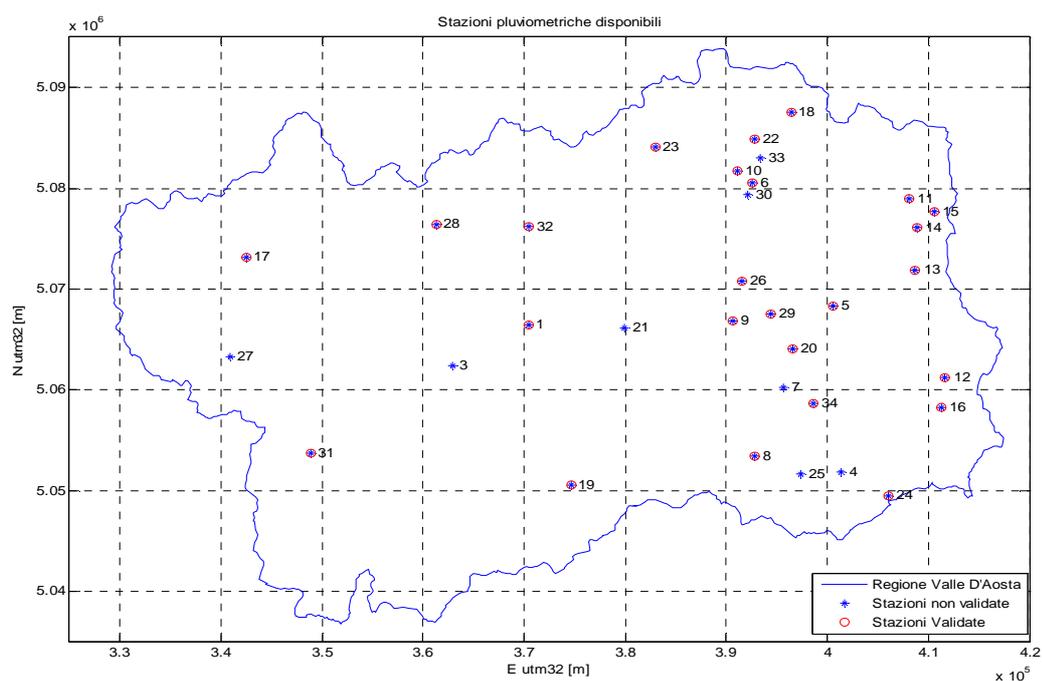


Figura 50: Stazioni di misura pluviometrica disponibili - I set -

3.2.2 II Set

Sono stati utilizzati per l'analisi i dati provenienti da 41 stazioni di misura pluviometriche come da Tabella 14

Tabella 14: elenco stazioni di misura pluviometriche – II set

| Numero | Nome | Anni di osservazione nel periodo 1992-2008 | Coordinate UTM zona 32T | |
|--------|---------------------------------|--|-------------------------|--------|
| | | | N-E[m] | |
| 1 | Ayas - Alpe Courthoud | 6 | 5081607 | 400668 |
| 2 | Chamois - Lago di Lou | 8 | 5078403 | 392850 |
| 3 | Aymavilles - Vieyes | 6 | 5056746 | 363636 |
| 4 | Brusson - Extrapieraz - Evançon | 2 | 5070522 | 398935 |
| 5 | Champdepraz - Chevrare | 7 | 5060640 | 391765 |
| 6 | Champorcher - Rifugio Dondena | 7 | 5051835 | 386932 |
| 7 | Cogne - Grand Crot | 3 | 5049882 | 372851 |

| Numero | Nome | Anni di osservazione nel periodo 1992-2008 | Coordinate UTM zona 32T | |
|--------|--------------------------------------|--|-------------------------|--------|
| | | | N-E[m] | |
| 8 | Cogne - Lillaz Centrale | 8 | 5050962 | 374433 |
| 9 | Cogne - Valnontey | 8 | 5049930 | 370511 |
| 10 | Courmayeur - Ferrache | 7 | 5081587 | 347095 |
| 11 | Courmayeur - Lex Blanche | 7 | 5070858 | 332048 |
| 12 | Courmayeur - Mont de la Saxe | 15 | 5076129 | 343074 |
| 13 | Courmayeur - Pré de Bard | 7 | 5083733 | 350254 |
| 14 | Fénis - Clavalité | 6 | 5060795 | 383199 |
| 15 | Fénis - Lavodilec | 2 | 5056380 | 381558 |
| 16 | Gressan - Pila Leissé | 2 | 5058867 | 368358 |
| 17 | Gressoney-L.T. - Eselbode Centrale | 8 | 5075921 | 409123 |
| 18 | Gressoney-L.T. - Gabiet | 7 | 5078120 | 410709 |
| 19 | Gressoney-S.J. - Weissmatten | 7 | 5067032 | 408993 |
| 20 | Issime - Capoluogo - Lys | 6 | 5060332 | 411231 |
| 21 | La Thuile - Foillex | 7 | 5065038 | 342015 |
| 22 | La Thuile - La Grande Tete | 9 | 5060694 | 338008 |
| 23 | La Thuile - Villaret | 7 | 5063947 | 341208 |
| 24 | Lillianes - Granges | 8 | 5053666 | 411137 |
| 25 | Morgex - Lavancher | 8 | 5069365 | 346794 |
| 26 | Nus - Porliod | 8 | 5073031 | 382652 |
| 27 | Ollomont - By | 8 | 5082216 | 368075 |
| 28 | Pollein - Grande Place - Dora Baltea | 8 | 5066564 | 372412 |
| 29 | Pontboset - Fournier | 7 | 5051660 | 397069 |
| 30 | Pontey - Dora Baltea | 2 | 5067293 | 392658 |
| 31 | Pré-St-Didier - Plan Praz | 15 | 5069522 | 340572 |
| 32 | Rhêmes-S.G. - Capoluogo - Dora di | 7 | 5056921 | 355844 |

| Numero | Nome | Anni di osservazione nel periodo 1992-2008 | Coordinate UTM zona 32T | |
|--------|--|--|-------------------------|--------|
| | | | N-E[m] | |
| 33 | Rhêmes | | | |
| | Rhêmes-S.G. - Feluma | 4 | 5052531 | 353402 |
| 34 | St-Rhémy-en-Bosses - Col Grand-Saint-Bernard | 2 | 5081364 | 356409 |
| 35 | St-Rhémy-en-Bosses - Crévacol Arp de Jeux | 8 | 5076902 | 357083 |
| 36 | Valgrisenche - Menthieu | 8 | 5053773 | 347970 |
| 37 | Valpelline - Chozod | 8 | 5076595 | 371064 |
| 38 | Valsavarenche - Molère - Savara | 7 | 5056832 | 359740 |
| 39 | Valsavarenche - Orvielle | 4 | 5049073 | 358785 |
| 40 | Valtournenche - Goillet | 6 | 5087239 | 396105 |
| 41 | Valtournenche - Grandes Murailles | 3 | 5087319 | 391453 |

La distribuzione spaziale delle stazioni all'interno della regione appare piuttosto uniforme, come si può notare dalla Figura 51.

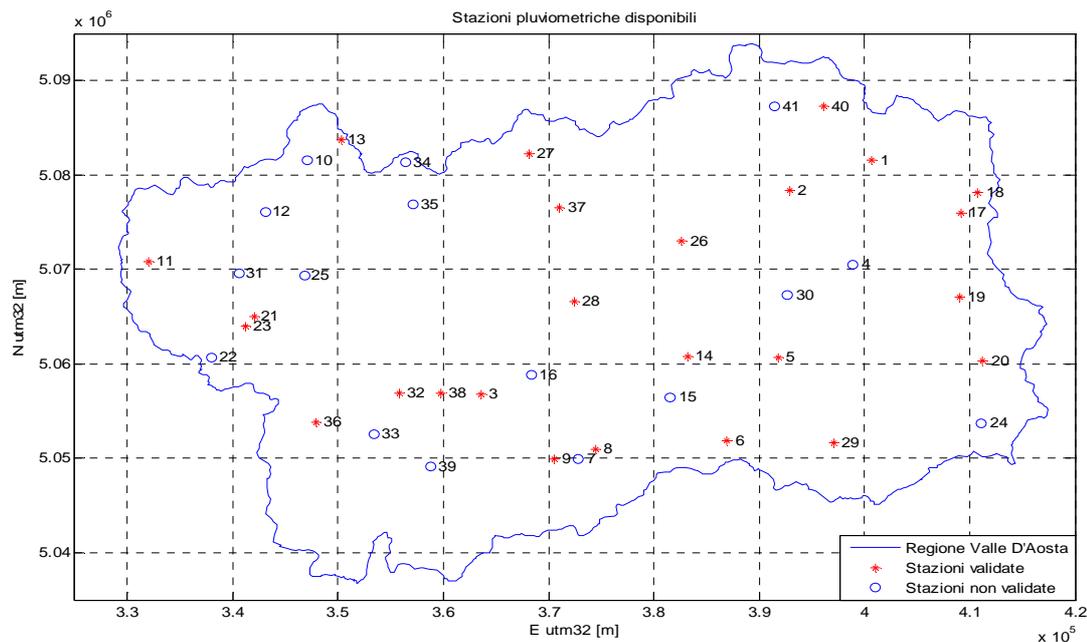


Figura 51: Stazioni di misura pluviometrica disponibili – II set -

3.3 PROCEDURA DI VALIDAZIONE DELLE OSSERVAZIONI

La procedura di validazione delle misure di precipitazione è volta ad escludere quelle stazioni che non risultano sufficientemente affidabili dal punto di vista statistico. Pertanto sono state analizzate le serie di misure pluviometriche di ogni stazione e sono state escluse le stazioni in cui:

La serie di massimi annuali presenta numerosità inferiore a 6 anni di osservazione.

La serie di altezze di precipitazione non è temporalmente continua, in special modo se l'interruzione si verifica durante un evento di precipitazione dando luogo a misure cumulate che risultano impossibili da disaggregare alle scale temporali di interesse (da 10' a 30').

Alcune stazioni presentano uno o più valori fisicamente non realistici, dovuti probabilmente a malfunzionamenti della stazione o della rete di trasmissione dei dati (es: 507 mm in 10 minuti – Stazione n°19, Gressoney-S.J. - Weissmatten, II set). In tali casi le serie sono state riviste, ponendo pari a "NoData" le poche celle contenenti valori fisicamente irrealistici, escludendo, di fatto, l'errore dalle elaborazioni e permettendo al contempo l'utilizzo della serie di misure.

Le stazioni validate e utilizzate per la successiva validazione della regionalizzazione estrapolata per le brevi durate sono state rispettivamente 25 per il set I e 25 per il set II. Esse sono riportate in Tabella 15 e Tabella 16

3.4 PROCEDURA DI VALIDAZIONE DELLA REGIONALIZZAZIONE

Per ogni durata di interesse, le osservazioni validate sono state poste a confronto con i dati forniti dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, estrapolando i valori per le durate di interesse a partire dai risultati ottenuti per 1 ora. La regionalizzazione delle precipitazioni intense fornisce la matrice della pioggia indice per 1 ora e la matrice dell'esponente di scala n . Il massimo di altezza di precipitazione fornito dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, per T assegnato, si ottiene riscaldando tali matrici per le tre durate mediante la relazione :

$$h(d,T,x,y)=K_T \cdot P_i(x,y) \cdot d^n(x,y) \quad (10)$$

in cui :

d - è la durata di interesse in frazioni di ora (es: 10 minuti -> 1/6)

K_T - è il fattore di crescita per tempo di ritorno T (dalla curva di crescita regionale)

P_i - è la pioggia indice per la durata di riferimento di 1 ora

n - è l'esponente di scala

(x,y) - sono le coordinate nel sistema geografico di riferimento del punto oggetto di studio

Utilizzando la curva di crescita fornita dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense è stata costruita la curva di probabilità cumulata (CDF) delle precipitazioni massime annuali per le durate di interesse in ogni sito di misura, moltiplicando la curva di crescita adimensionale per la pioggia indice riscalata estrapolando la relazione (10).

Per ciascuna CDF sono state calcolate le fasce di confidenza del test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov, per un parametro di confidenza pari a 90% (livello di significatività del test 0.90) e per una numerosità campionaria pari alla media delle numerosità delle osservazioni (8 anni), per le stazioni del II set e pari alla numerosità effettiva dei campioni per il I set.

Attraverso questo test non parametrico di adattamento, è possibile verificare se la CDF derivata dall'estrapolazione della regionalizzazione dei massimi annuali di precipitazione da 1 a 24 ore sia in grado di descrivere statisticamente, con significatività pari al 90%, le osservazioni disponibili.

Nel prossimo paragrafo si riportano i risultati del test di significatività per ciascuna delle stazioni di misura dei set I e II. Le indicazioni Pass o Fail sono da interpretare rispettivamente che la TCEV regionale estrapolata descrive statisticamente in maniera accettabile i dati osservati in quella specifica stazione di misura. Il termine "statisticamente accettabile" in questo caso significa che la CDF regionale, estrapolata per la stazione e per la durata considerata, è la distribuzione reale delle osservazioni dei massimi annuali disponibili per il sito, con probabilità pari al 90%.

3.5 ANALISI DEI RISULTATI

3.5.1 I Set

Sulla base dell'analisi descritta al paragrafo precedente, per le stazioni pluviometriche validate, sono stati realizzati i grafici del test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov, riportati nell'allegato A alla presente relazione. I risultati sono riportati nella Tabella 15. Il campo "numerosità delle osservazioni" differisce dagli anni effettivi di osservazioni disponibili in quanto a seguito della validazione è stato necessario scartare le osservazioni di alcuni anni, perché parziali ed eccessivamente frammentate nel tempo.

Tabella 15: risultati del test di adattamento non parametrico di Kolmogorov-Smirnov. I Set

| Stazione n° | | Durate | | Numerosità osservazioni |
|----------------|----------------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | | 15 min | 30 min | |
| 1 | Aosta | pass | pass | 14 |
| 5 | Brusson | pass | pass | 14 |
| 6 | Centrale di Maen | pass | pass | 14 |
| 8 | Champorcher | pass | pass | 11 |
| 9 | Chatillon | pass | pass | 7 |
| 10 | D'Eyola | fail | fail | 12 |
| 11 | Diga Cignana | fail | pass | 8 |
| 12 | Gaby | fail | fail | 8 |
| 13 | Gressoney La Trinité | pass | pass | 9 |
| 14 | Gressoney Saint Jean | pass | pass | 12 |
| 15 | Guillemore | pass | pass | 7 |
| 16 | La Villette | pass | pass | 9 |
| 17 | Lago Gabiet | pass | pass | 8 |
| 18 | Lago Goillet | fail | pass | 13 |
| 19 | Lillaz | pass | pass | 11 |
| 20 | Montjovet | pass | fail | 13 |
| 22 | Perreres | pass | fail | 12 |
| 23 | Place Moulin | pass | pass | 14 |
| 24 | Pont Saint Martin | pass | pass | 13 |
| 26 | Promiod Covalou | pass | pass | 15 |
| 28 | Saint Oyen | fail | fail | 5 |
| 29 | Saint Vincent | pass | pass | 7 |
| 31 | Valgrisenche | pass | pass | 13 |
| 32 | Valpelline | fail | pass | 10 |
| 34 | Verres | pass | pass | 10 |

3.5.2 II set

Sulla base dell'analisi descritta al paragrafo precedente, per le stazioni pluviometriche validate sono stati realizzati i grafici del test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov, riportati nell'allegato B alla presente relazione, ed è possibile riassumere i risultati nella Tabella 16.

Tabella 16: risultati test di adattamento non parametrico di Kolmogorov-Smirnov. II Set

| Stazione n° | | Durate | | | Numerosità osservazioni |
|----------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | | 10 min | 20 min | 30 min | |
| 1 | Ayas - Alpe Courthoud | pass | pass | pass | 6 |
| 2 | Chamois - Lago di Lou | fail | fail | fail | 8 |
| 3 | Aymavilles - Vieyes | pass | pass | pass | 6 |
| 5 | Champdepraz - Chevrare | fail | pass | pass | 7 |
| 6 | Champorcher - Rifugio Dondena | pass | pass | fail | 7 |
| 8 | Cogne - Lillaz Centrale | pass | pass | pass | 8 |
| 9 | Cogne - Valnontey | pass | pass | pass | 8 |
| 11 | Courmayeur - Lex Blanche | pass | pass | pass | 7 |
| 13 | Courmayeur - Pré de Bard | pass | pass | pass | 7 |
| 14 | Fénis - Clavalité | pass | pass | pass | 6 |
| 17 | Gressoney-L.T. - Eselbode Centrale | fail | fail | fail | 8 |
| 18 | Gressoney-L.T. - Gabiet | pass | pass | pass | 7 |
| 19 | Gressoney-S.J. - Weissmatten | pass | pass | pass | 7 |
| 20 | Issime - Capoluogo - Lys | fail | fail | pass | 6 |
| 21 | La Thuile - Foillex | pass | pass | pass | 7 |

| Stazione n° | | Durate | | | Numerosità osservazioni |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | | 10 min | 20 min | 30 min | |
| 23 | La Thuile - Villaret | fail | pass | pass | 7 |
| 26 | Nus - Porliod | fail | fail | fail | 8 |
| 27 | Ollomont - By | pass | pass | pass | 8 |
| 28 | Pollein - Grande Place - Dora Baltea | pass | pass | pass | 8 |
| 29 | Pontboset - Fournier | pass | fail | fail | 7 |
| 32 | Rhêmes-S.G. - Capoluogo - Dora di Rhêmes | pass | pass | pass | 7 |
| 36 | Valgrisenche - Menthieu | pass | pass | pass | 8 |
| 37 | Valpelline - Chozod | pass | pass | pass | 8 |
| 38 | Valsavarenche - Molère - Savara | pass | pass | pass | 7 |
| 40 | Valtournenche - Goillet | fail | fail | pass | 6 |

Da Tabella 15, Tabella 16 e dai grafici allegati (appendici G e H) si nota come per le durate di 15, 20 e 30 minuti vi sia complessivamente buon accordo tra le osservazioni e i risultati estrapolati dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, mentre per la durata di 10 minuti i risultati sono meno in accordo con le osservazioni. Tale accordo va sicuramente letto dal punto di vista statistico di insieme e non locale, notando anche che la bassa numerosità campionaria delle stazioni di misura.

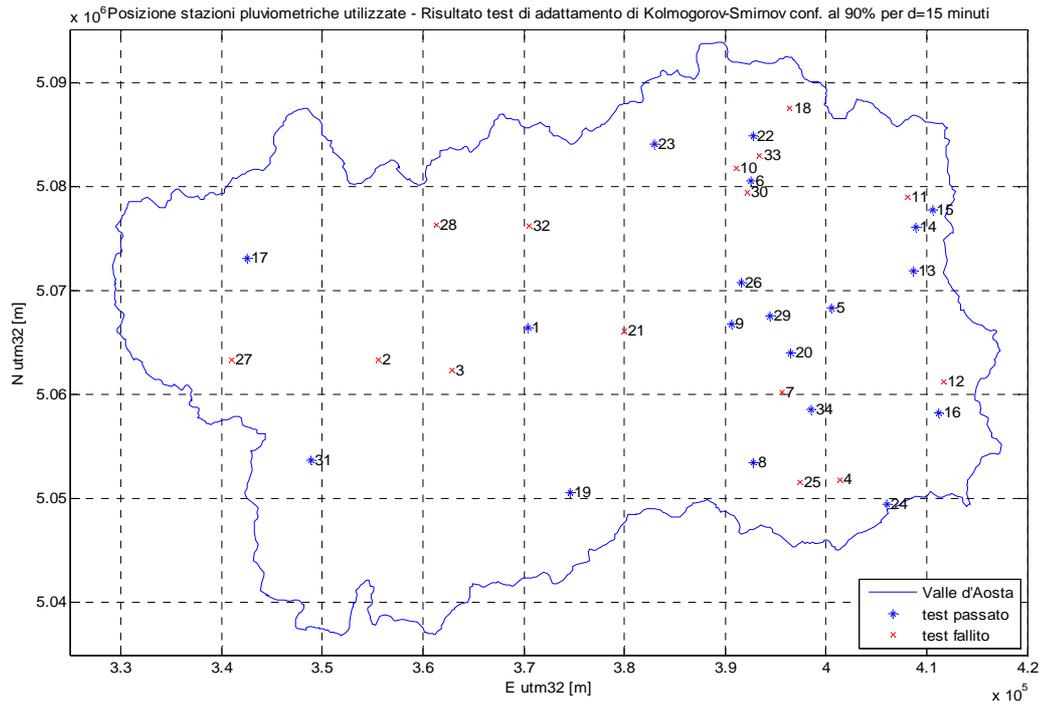


Figura 52: risultati del test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov per la durata di 15 minuti – I Set. In rosso la posizione delle stazioni per le quali il test di adattamento fallisce.

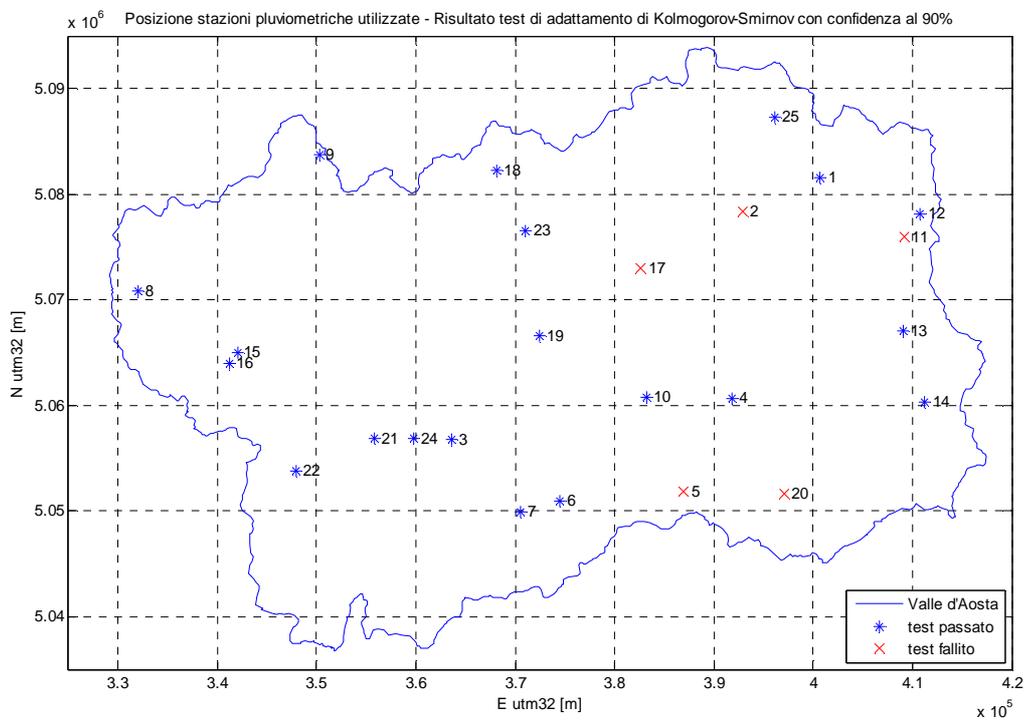


Figura 53: risultati del test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov per la durata di 30 minuti– II Set. In rosso la posizione delle stazioni per e quali il test falisce.

In appendice G e H sono dettagliate le analisi per ogni singolo sito di misura, rispettivamente per i set I e II. Sono riportati i grafici relativi al test di Kolmogorov-Smirnov per tutte le stazioni validate.

Dai grafici si evince chiaramente come per i massimi della durata di 30 minuti, nei casi di fallimento del test (10 su 50) solamente 5 (stazione 28 set I e 2, 17, 26 e 29, Set II) di fatto siano causati da una sottostima da parte della regionalizzazione estrapolata, del quantile del massimo di precipitazione per fissato periodo di ritorno.

Inoltre il campione di qualità migliore (set I) riporta una ottima concordanza tra stime regionali e frequenza osservata rispetto al set II, caratterizzato da campioni maggiormente frammentati nel tempo e di lunghezza inferiore.

Queste considerazioni, unite al fatto che i campioni sono di lunghezza esigua e quindi che le stime di frequenza osservata sono molto soggette alla eventuale presenza di outliers, porta a concludere che il Metodo CIMA possa essere esteso per durate comprese tra 30' e 1 ora.

L'analisi delle durate inferiori (10', 15' e 20') risulta maggiormente problematica.

Analizzando il set II (Appendice H), ciò che si evince è una marcata tendenza ad accentuare, con la diminuzione dell'intervallo temporale delle cumulate, la sottostima del quantile da parte del metodo regionale. Infatti se per i massimi su 20', in 5 delle stazioni che falliscono il test su 6 (stazione 2, 17, 20, 26 e 40) la regionalizzazione sottostima, e comunque si ha una tendenza alla sottostima che colpisce 11 stazioni su 25, per i massimi su 10' questi numeri aumentano, arrivando rispettivamente a 6 stazioni su 7 (test fallito) e 16 stazioni su 25 (totale).

I massimi cumulati su 15' danno risultati migliori, anche grazie alla maggior numerosità media dei campioni, pur confermando la tendenza all'aumento delle stazioni che falliscono il test e nelle quali la regionalizzazione sottostima. Questo andamento per le stazioni a numerosità più elevata, per le quali le valutazioni statistiche sono da ritenersi maggiormente affidabili, suggerisce l'estensione delle stime del Metodo CIMA alle durate comprese tra 20' e 1 ora.

L'effetto di incrocio tra le curve, con conseguente cambiamento di segno tra le stime ottenute con la regionalizzazione CIMA e la precedente regionalizzazione PAI, è possibile si presenti anche per le durate inferiori all'ora. Le motivazioni di questo comportamento sono esattamente le stesse addotte nel paragrafo 2.3.3, e riconducibili sempre ai diversi valori di pioggia indice, esponente di scala e fattore di crescita. Anche in questo caso l'utilizzo dei valori della nuova regionalizzazione deve essere supportato dall'accettazione dell'ipotesi che la regionalizzazione più recente, facendo uso di serie storiche di maggior lunghezza e tecniche di stima più recenti, sia da ritenersi affetta da minore incertezza.

4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

4.1 LA SCELTA DELLA FORMA DELLA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ GENITRICE

La procedura di regionalizzazione al 1° e 2° livello ha consentito la definizione delle curve di crescita per le due ipotesi di zona e sottozona omogenee qui discusse: regione e sottoregione padana e regione e sottoregione Valle d'Aosta.

Nel caso della regione e sottoregione Valle d'Aosta il semplice approccio statistico indurrebbe a concludere che tale ipotesi di zonizzazione al primo e secondo livello di regionalizzazione vada rigettata in quanto il test del χ^2 risulta essere superato di rado. Questa conclusione però appare contraddittoria con i risultati ottenuti sulla regione di estensione maggiore: non è infatti ammissibile che una sottoregione inclusa in una regione omogenea possa risultare a sua volta non omogenea. In realtà il risultato contraddittorio può essere spiegato in termini di incertezza sulla stima di parametri della distribuzione genitrice. Come illustrato nel paragrafo (2.2.2) l'analisi regionale, per l'ipotesi 1, sono basate sull'uso di 5300 anni pluviometro. Essi si riducono a meno di 1/4 (1230 anni pluviometro) per l'ipotesi 2. Questo conduce necessariamente, nel secondo caso, ad una maggior incertezza nella stima della forma della distribuzione genitrice, che è più sentita per i quantili con periodo di ritorno elevato, e per i parametri legati ai momenti di ordine superiore CS e CV. L'incerta stima di CS e CV influenza ovviamente le generazioni sintetiche di questi, effettuate per la validazione delle ipotesi, e descritte nei paragrafi precedenti (2.2.2.1 e 2.2.2.2). Da qui può

nascere la discrepanza tra le distribuzioni sintetiche e campionarie di CS e CV. Se ne conclude che il numero di anni-pluviometro disponibili nell'ipotesi 2 non è sufficiente per la convergenza del metodo di analisi regionale VAPI. Nonostante ciò le differenze tra le curve di crescita stimate con le due ipotesi sono riconducibili alla variabilità campionaria in quanto comprese tutte entro le stesse fasce fiduciarie con α pari al 10% e sono realmente significative per periodi di ritorno di scarso interesse per la maggior parte delle applicazioni pratiche (le differenze tra le due curve sono comprese, per i tempi di ritorno fino a $T=200$ anni, in valori non superiori a $\pm 10\%$). Tenendo presente questa considerazione si suggerisce l'adozione della curva di crescita relativa alla seconda ipotesi, che risulta anche a vantaggio della sicurezza, in quanto per pari tempi di ritorno restituisce un valore di K_T superiore.

4.2 LA PIOGGIA INDICE

La procedura di regionalizzazione al 3° livello ha permesso di definire l'insieme dei valori di pioggia indice sulla base di parametri morfologici derivati dal DEM filtrato sulla base di un'analisi in serie di Fourier, mantenendo solo le prime 10 componenti, le quali sono in grado di spiegare la variabilità spaziale della morfologia del suolo al 90%, utilizzando una direzione del vento di 120° in senso anti-orario rispetto alla direzione ovest-est.

Il confronto dei valori predetti dal modello con i rispettivi valori osservati riportato in Figura 21 , differenziati in stazione di calibrazione e validazione, mostra che su un totale di 40 stazioni solo 2 (Gaby e Plan Praz) non sono comprese dentro le fasce di confidenza le quali definiscono l'ampiezza d'errore che il modello adotta sulla predizione di un valore RI_1 in un sito non strumentato per poter essere considerato statisticamente valido al 90%. Come descritto, per verificare ulteriormente l'affidabilità dei risultati ottenuti, è stato condotto un confronto tra i dati osservati nei siti strumentati e i dati predetti dal modello CIMA-VDA ed anche in riferimento ai risultati di precedenti studi. Il risultato ottenuto ha evidenziato che il modello CIMA-VDA restituisce una stima affidabile rispetto ai dati osservati e migliore rispetto ad altri metodi, e che gli scostamenti sono principalmente dovuti alla difficoltà di stima della pioggia indice in alcune limitate aree della Regione.

4.3 LE DURATE INFERIORI A 1 ORA

Il costante scostamento tra le stime regionali e la frequenza osservata al ridursi dell'intervallo di accumulo delle precipitazioni, nonostante i buoni risultati, laddove la numerosità campionaria è buona, ottenuti anche per i 15', consiglia, in via cautelare, di suggerire al committente di NON ESTENDERE la validità della regionalizzazione al calcolo dei massimi annuali e delle LSPP per DURATE INFERIORI ai 20'

5 BIBLIOGRAFIA

- [1] AA.VV. "Eventi alluvionali in Piemonte". Regione Piemonte – Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione, 1999.
- [2] Arnel, N.W., Gabriele, S., "The performance of the two-component extreme value distribution in regional flood frequency analysis". *Water Resources Res.*, 1988; 24(6): 879-887.
- [3] Buzzi, A., and L. Foschini, "Mesoscale meteorological features associated with heavy precipitation in the southern Alpine region". *Meteorol. Atmos. Phys.*, 72, 131-146, 2000.
- [4] Cannarozzo, M., D'Asaro, F., and V. Ferro, "Valutazione delle Piene in Sicilia". CNRGNDCI, Pubbl. N. 1431, Studio K2., Cava de' Tirreni (SA), 1993.
- [5] Ferretti, R., S. Low-Nam, and R. Rotunno, "The sensitivity of numerically simulated cyclic mesocyclogenesis to variation in model physical and computational parameters". *Tellus*, 52A, 162-180, 2000.
- [6] Fiorentino, M., Versace, P., Rossi, F., "Regional flood estimation using the two component extreme value distribution". *1985 Hydrological Science Journal*, n.30
- [7] Gabriele, S., Arnell, N.W., "A hierarchical approach to regional flood frequency analysis". *Water Resour. Res.*, 1991; 27(6): 1281-1289.
- [8] Houze, R.A. Jr., James, C. N., and S. Medina, "Radar observations of precipitation and airflow on the Mediterranean side of the Alps: Autumn 1998 and 1999. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127, 2537-2558, 2001.
- [9] Massacand, A.C., Wernli, H., and H.C. Davies, "Heavy precipitation on the Alpine southside: An upper-level precursor". *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1435-1438, 1998.

- [10] Parodi, A., Boni, G., "Sintesi pluviometrica regionale: realizzazione di un atlante sperimentale delle piogge intense sulle Alpi franco-italiane". *EU Project INTERREG II Italy-France (Alps)*, "collegamento delle reti di rilevamento e condivisione delle esperienze e conoscenze per la gestione del rischio idrogeologico in ambiente alpino". Final report, in Francese e Italiano. 2001a
- [11] Parodi, A., Boni, G., "Sintesi pluviometrica regionale e realizzazione di un atlante sperimentale delle piogge intense sulle Alpi occidentali Italo-Svizzere". *Progetto INTERREG II Italia-Confederazione Elvetica*. Final report. 2001b
- [12] Parodi, A., Boni, G. and F. Siccardi, "Revisiting the rainfall index question: a new parsimonious method of mapping the rainfall index in mountainous environment". submitted to *Journal of Hydrometeorology*, 2006.
- [13] Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P., "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis". *Water Resour. Res.* 1984; 20(2): 847–856.
- [14] Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P., "Replay to the comment on 'two-component extreme value distribution for flood frequency analysis' ". *Water Resources Res.* 1986; 22(2).
- [15] Rosso, R. and P. Burlando, "Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation". *Journal of hydrology*, 187, 45-64, 1996.
- [16] Rotunno, R., and R. Ferretti, "Mechanisms of Intense Alpine Rainfall". *J. Atmos. Sci.*, 58, 1732-1749, 2001.
- [17] Versace, P., Ferrari, E., Gabriele, S., Rossi, F., "Valutazione delle Piene in Calabria. Bozza Finale". CNR-IRPI e GNDICI, *Geodata*, 30, P. Benvenuto, Cosenza, 1989.

6 APPENDICE A: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA

Nel presente paragrafo viene eseguito, ad uso del professionista, un esempio di applicazione della procedura per la definizione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) in un sito non strumentato qualsiasi della regione Valle d'Aosta. Nel caso particolare si vuole valutare la LSPP rappresentativa per il bacino del Buthier chiuso a Place Moulin.

Si procede come segue:

1. individuata la sezione di chiusura di interesse, sulla cartografia regionale si individua lo spartiacque del bacino e si stima la posizione x del suo baricentro, nel sistema di coordinate adottato, in questo esempio si sono adottate le coordinate geografiche in latitudine e longitudine. Determinata la posizione $X=(x,y)$ del baricentro, sulla cartografia del parametro pioggia indice se ne ricava il valore. Per il bacino in esame risultano essere: $x=7,55^\circ$ E e $y=45,92^\circ$ N. La mappa di

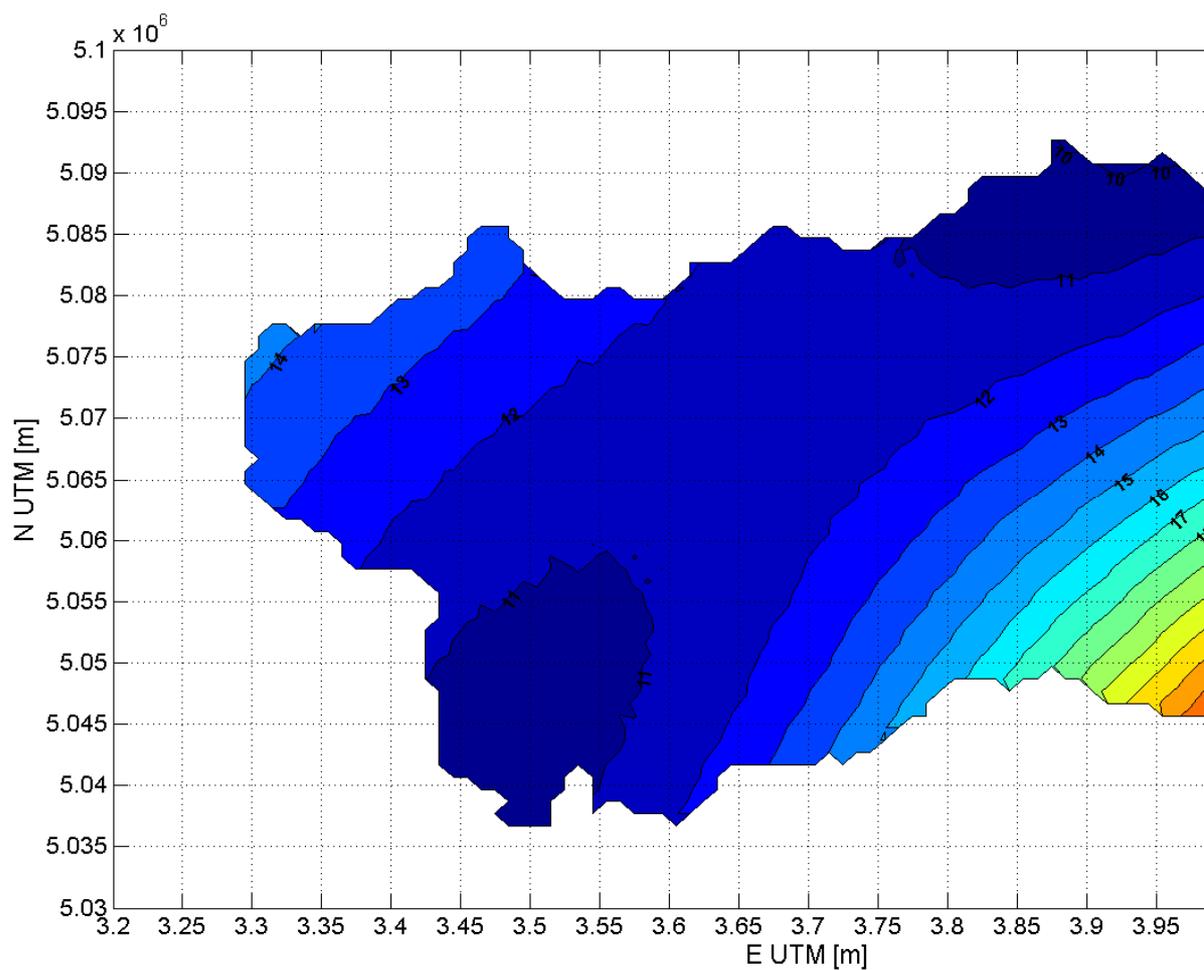


Figura 54 fornisce in tale posizione un valore di pioggia indice $RI_1=10$ mm;

2. in maniera del tutto analoga si ricava dalla relativa cartografia il valore dell'esponente di scala n in corrispondenza del baricentro del bacino. Dalla mappa di

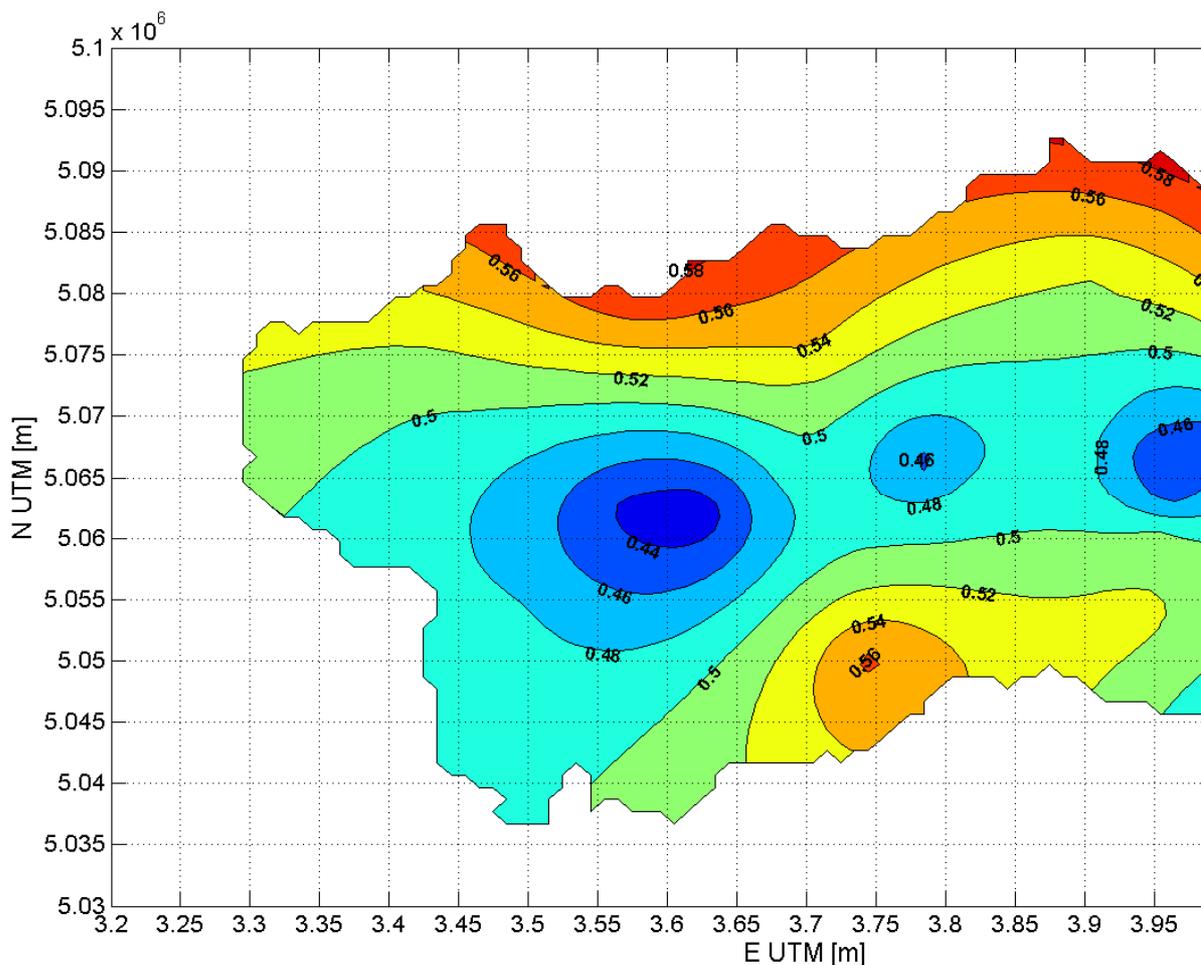


Figura 55 si legge per $\alpha=7,55^\circ$ E e $\gamma=45,92^\circ$ N il valore $n=0.54$;

3. si definisce il valore del periodo di ritorno di interesse, a seconda degli obiettivi dello studio idrologico, e, attraverso l'espressione della curva di crescita, si determina il valore di K_T . Supponiamo nel caso in esame che si voglia progettare un'arginatura e quindi, secondo la normativa regionale, $T=200$ anni. Dai valori riportati in Tabella 17. risulta $K_T=2.70$;
4. a questo punto si applica l'equazione (5) e si ottiene il grafico della LSPP rappresentativa del bacino idrografico analizzato. Nel caso particolare del Buthier chiuso a Place Moulin la LSPP assume la forma:

$$h(d,200) = 2.70 * 10 * d^{0.54} \text{ [mm]}$$

Qualora si volesse disegnare la LSPP per un periodo di ritorno non presente in Tabella 17, il parametro legato al tempo di ritorno K_T può essere letto direttamente dal grafico

della curva di crescita in Figura 56. Entrando con il tempo di ritorno T sulle ordinate (ad esempio $T=10$ anni) si incrocia la curva e si legge sulle ascisse il valore cercato del parametro, che in questo caso risulta essere pari a $K_{10}=1.46$.

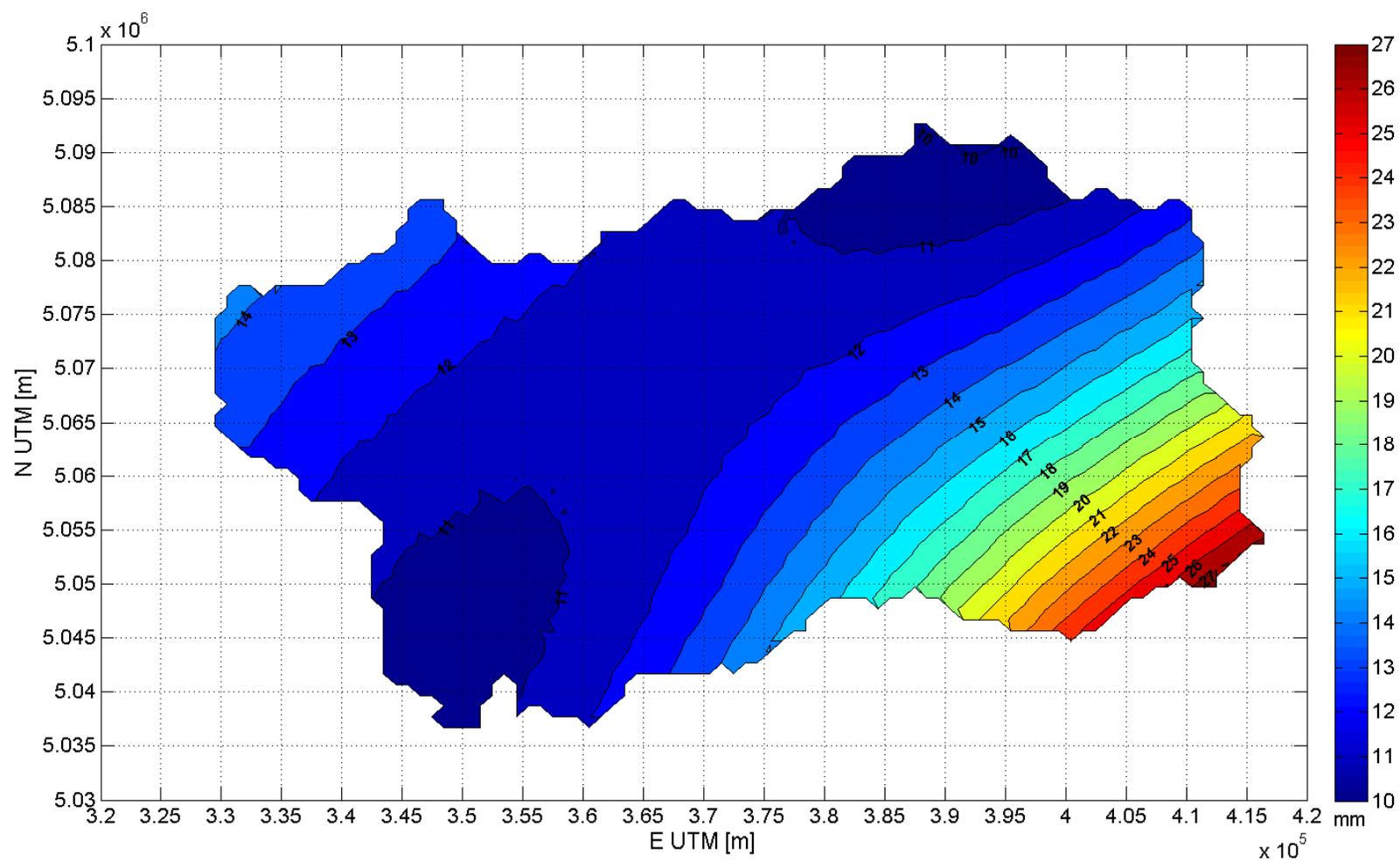


Figura 54: Mappa pioggia indice regione Valle d'Aosta

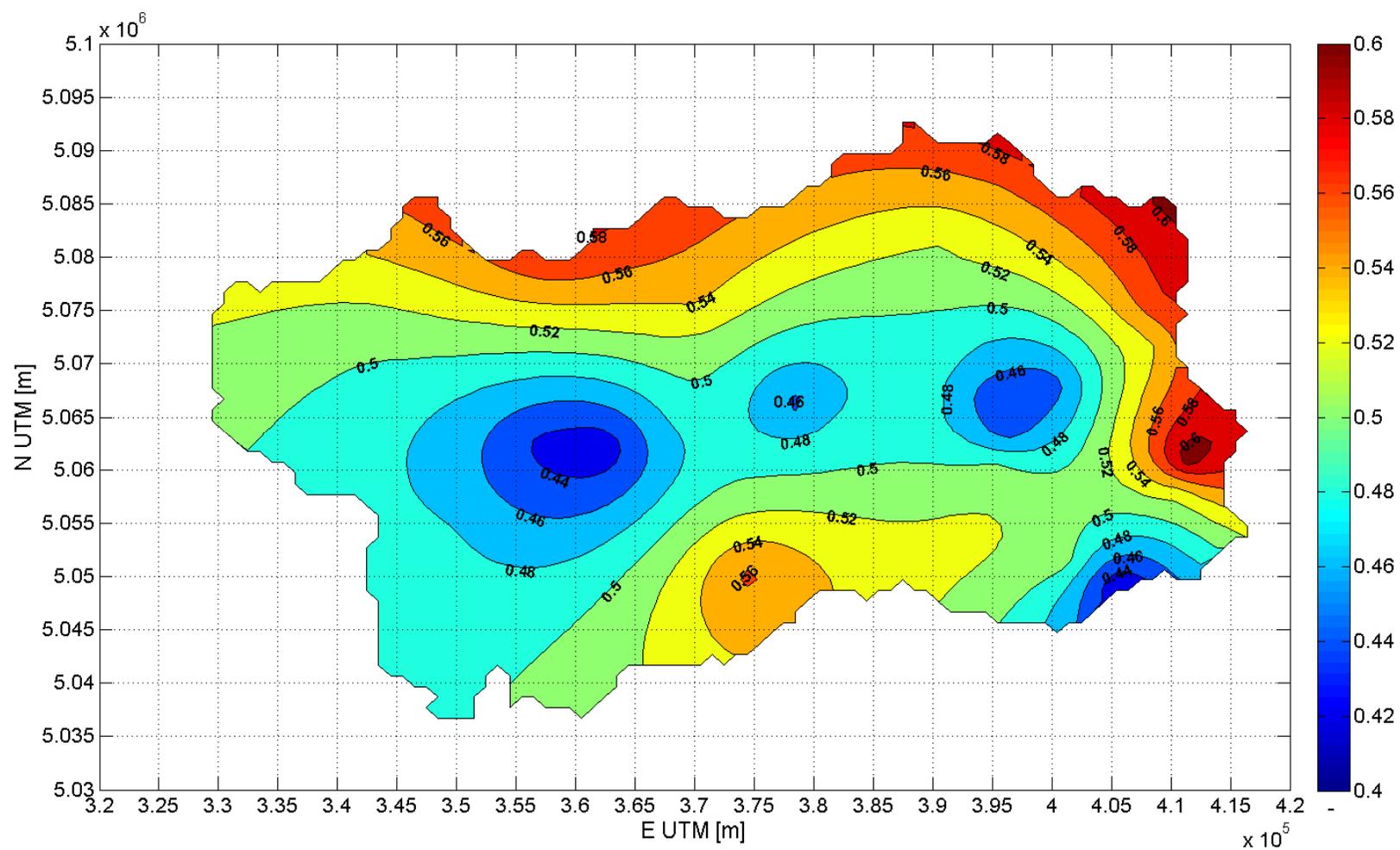


Figura 55: Mappa esponente di scala regione Valle d'Aosta.

Tabella 17: Valori del quantile adimensionale relativi alla curva di crescita scelta, rappresentativa della regione Valle d'Aosta associati al relativo tempo di ritorno. Per i periodi di ritorno differenti il valore K_T si può leggere sull'asse delle ascisse in 69, entrando sulle ordinate con il valore del periodo di ritorno.

| Tempo di ritorno | K_T |
|------------------|-------|
| T [anni] | [-] |
| 5 | 1.24 |
| 10 | 1.46 |
| 20 | 1.69 |
| 25 | 1.77 |
| 50 | 2.04 |
| 100 | 2.34 |
| 200 | 2.70 |
| 500 | 3.22 |

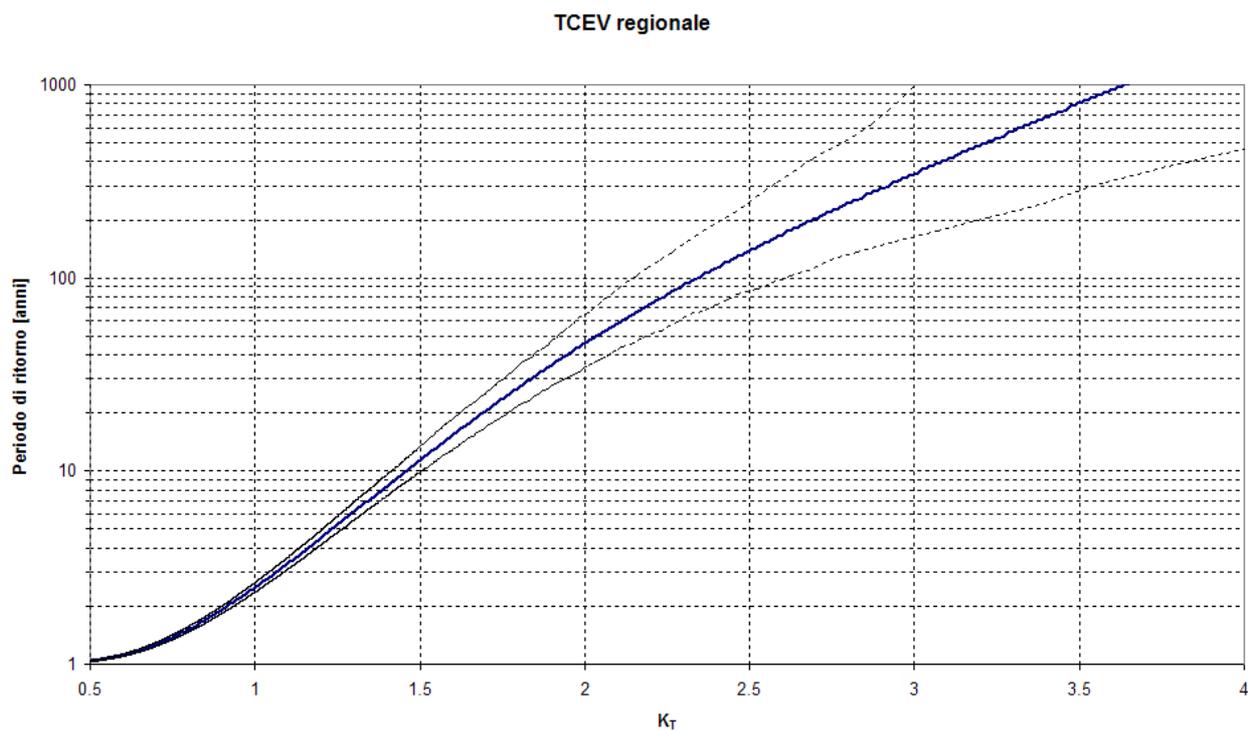


Figura 56: Rappresentazione della curva regionale suggerita (durata 1ora) per la regione e sottoregione Valle d'Aosta, con in ascissa il quantile dimensionale e in ordinata il tempo di ritorno, con fasce fiduciarie con $\alpha=10\%$.

7 APPENDICE B: CONFRONTO CV E CS DEI DATI OSSERVATI E GENERATI

7.1 REGIONE PADANA

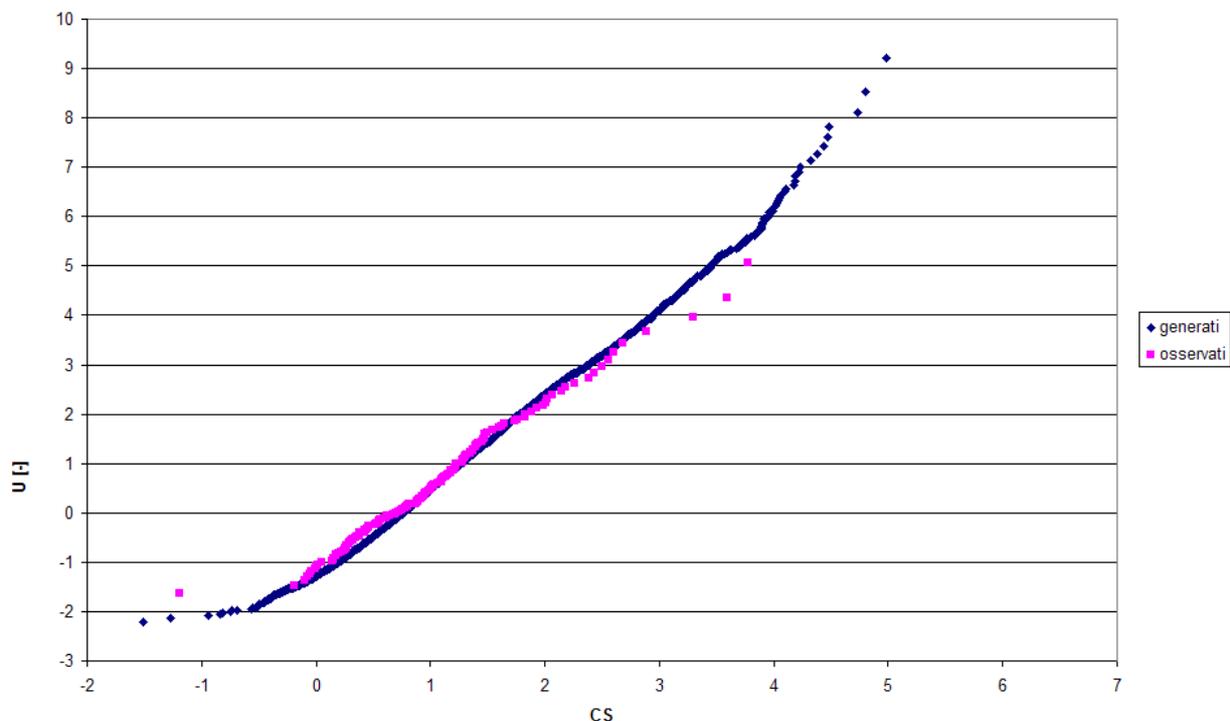


Figura 57: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=1$.

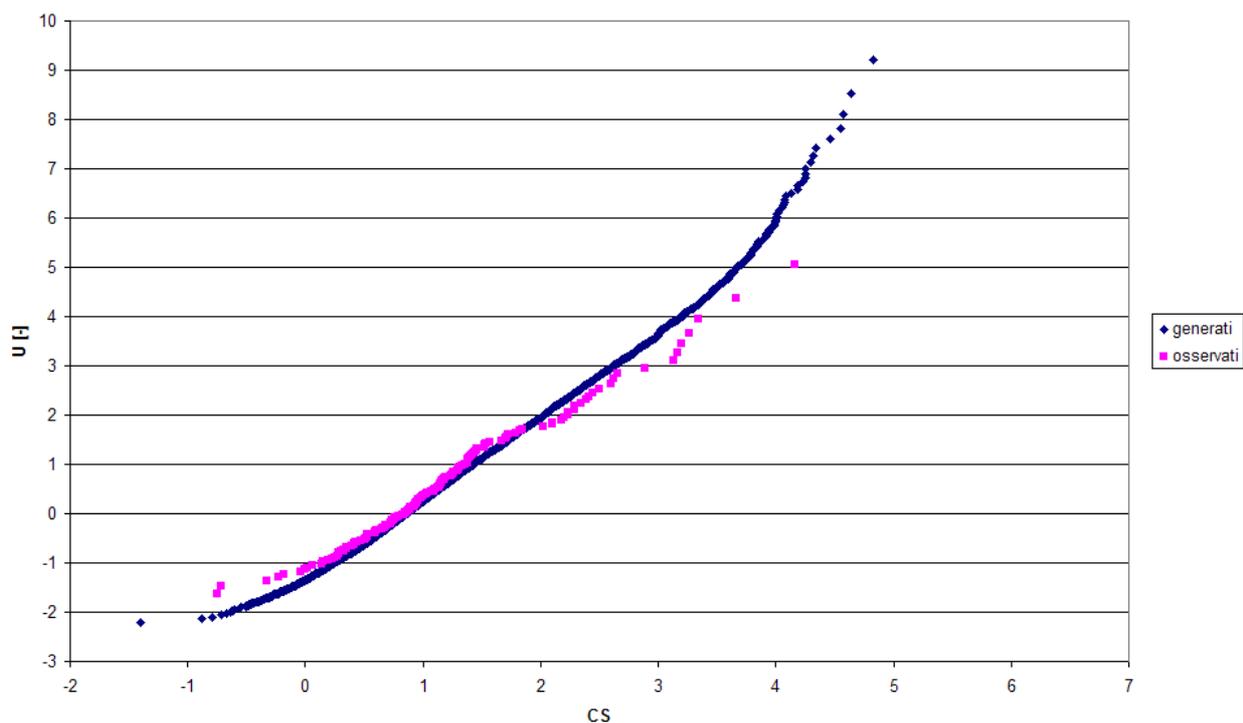


Figura 58: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=3$.

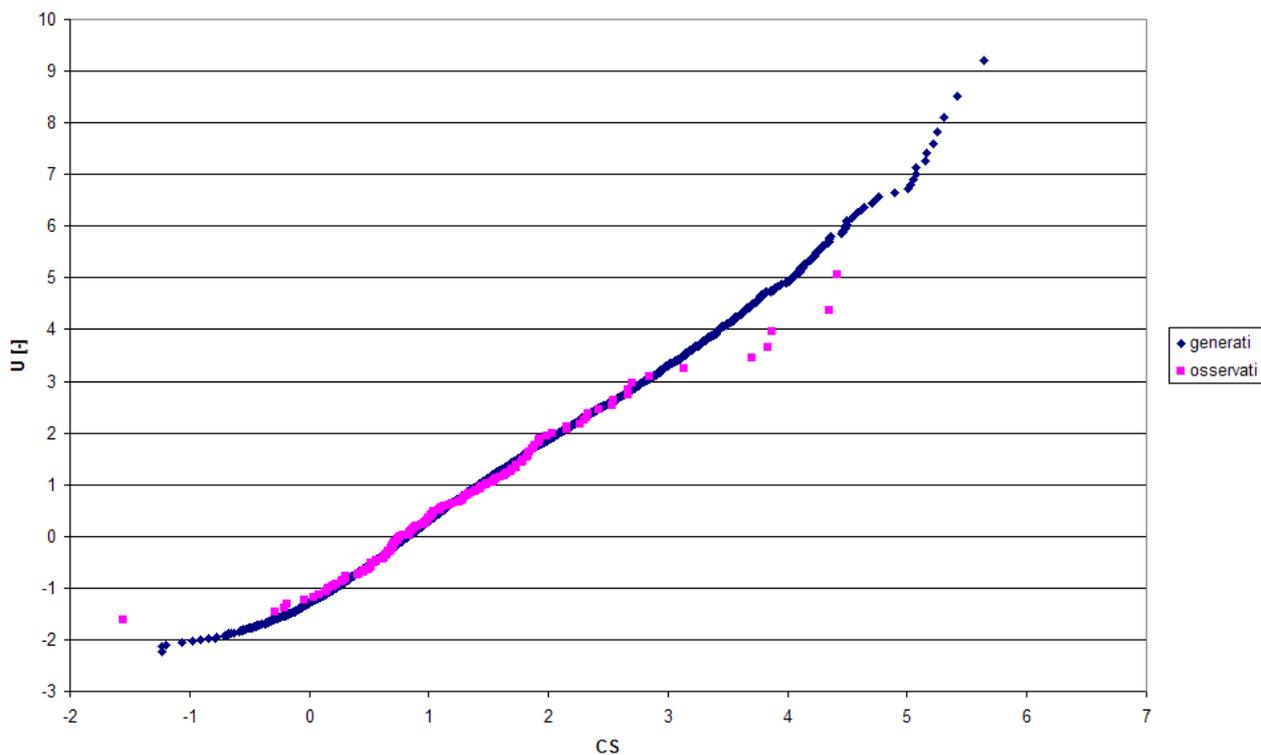


Figura 59: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=6$.

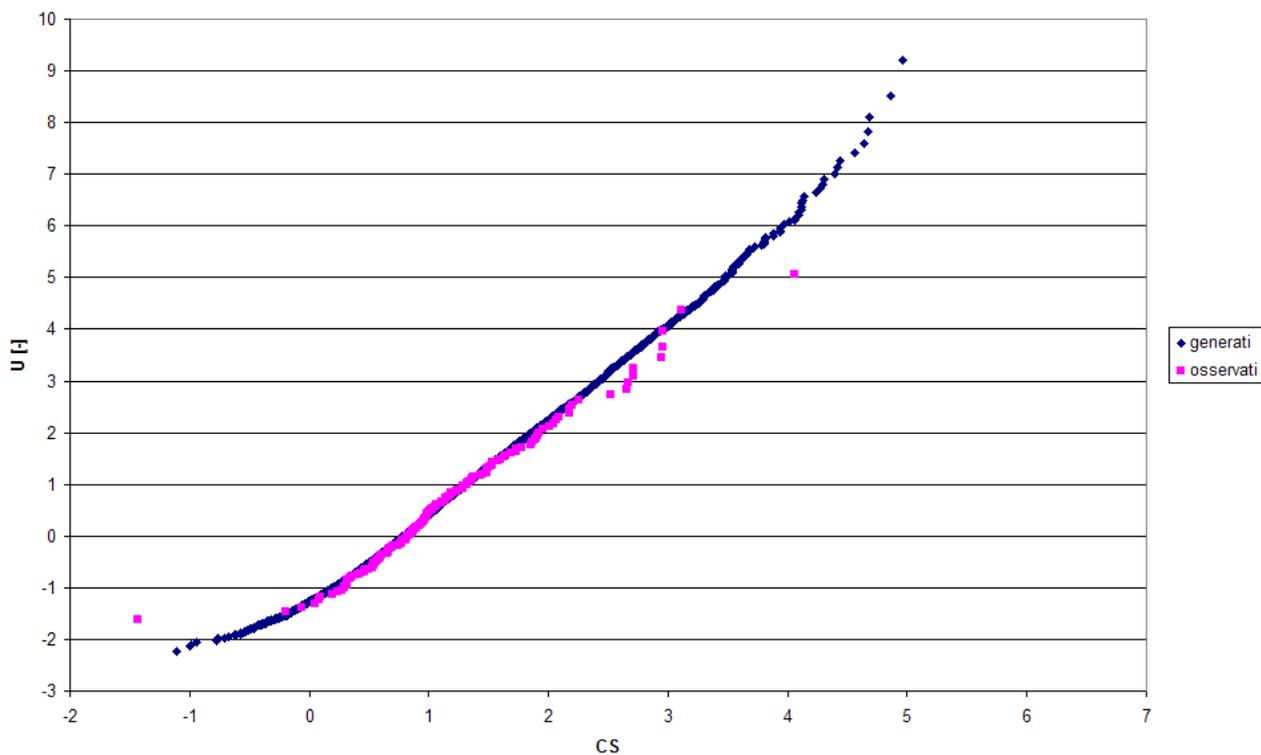


Figura 60: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=12$.

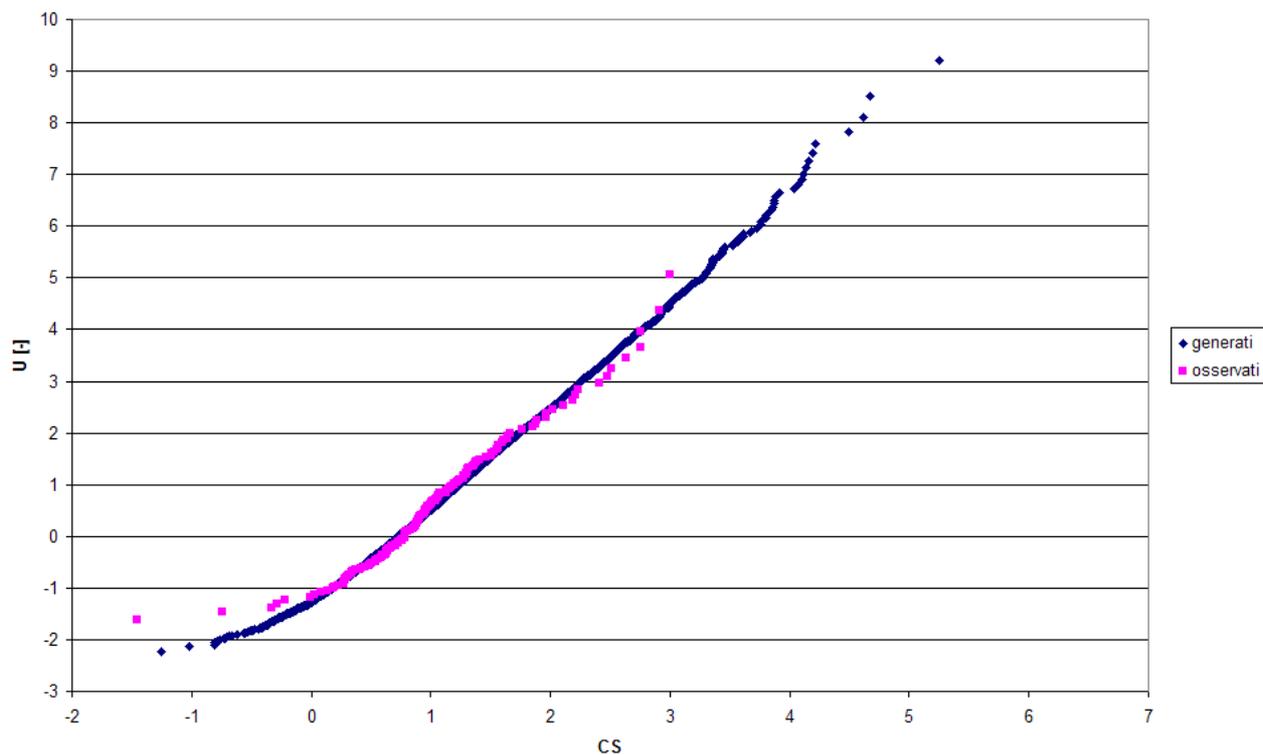


Figura 61: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=24$.

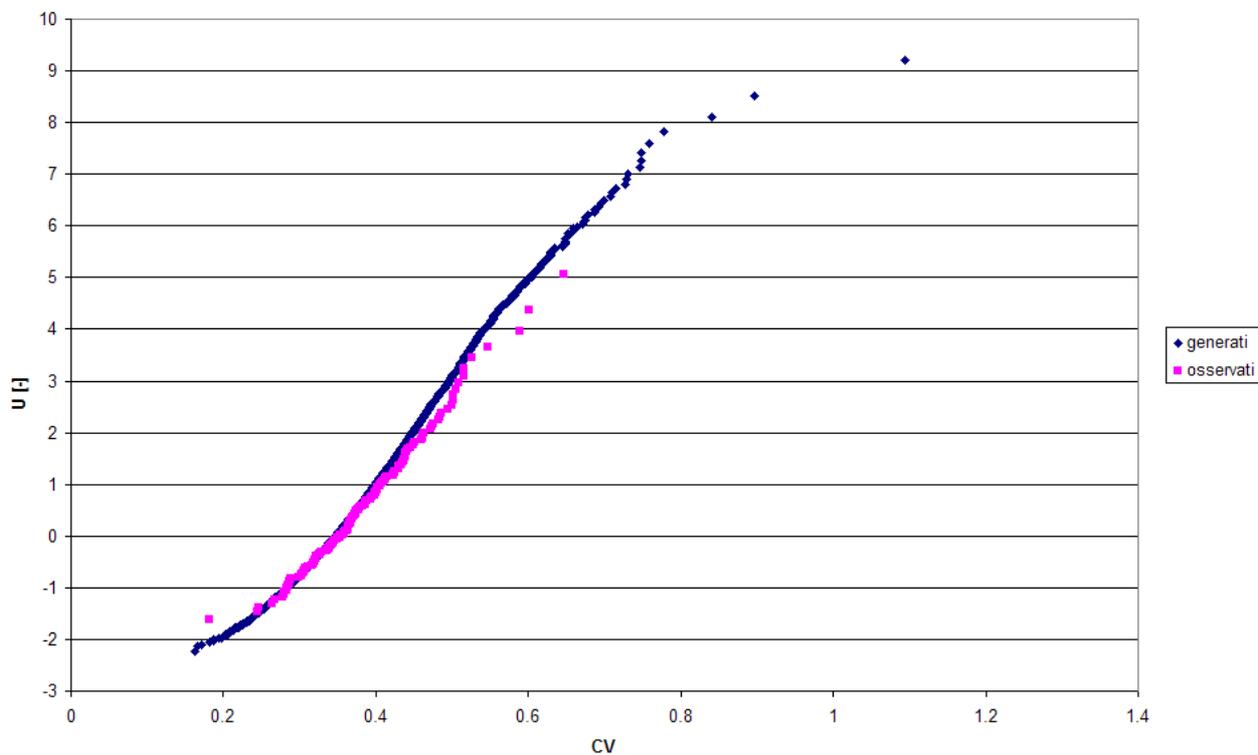


Figura 62: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=1$.

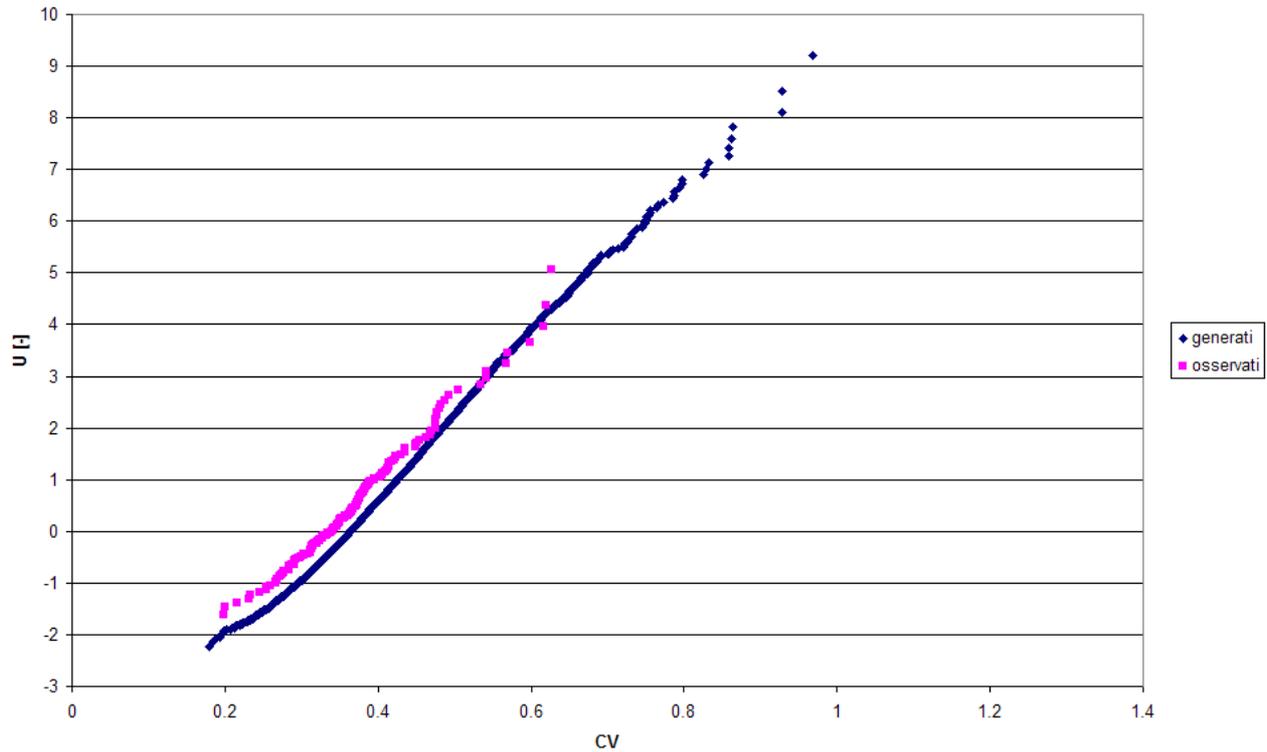


Figura 63: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=3$.

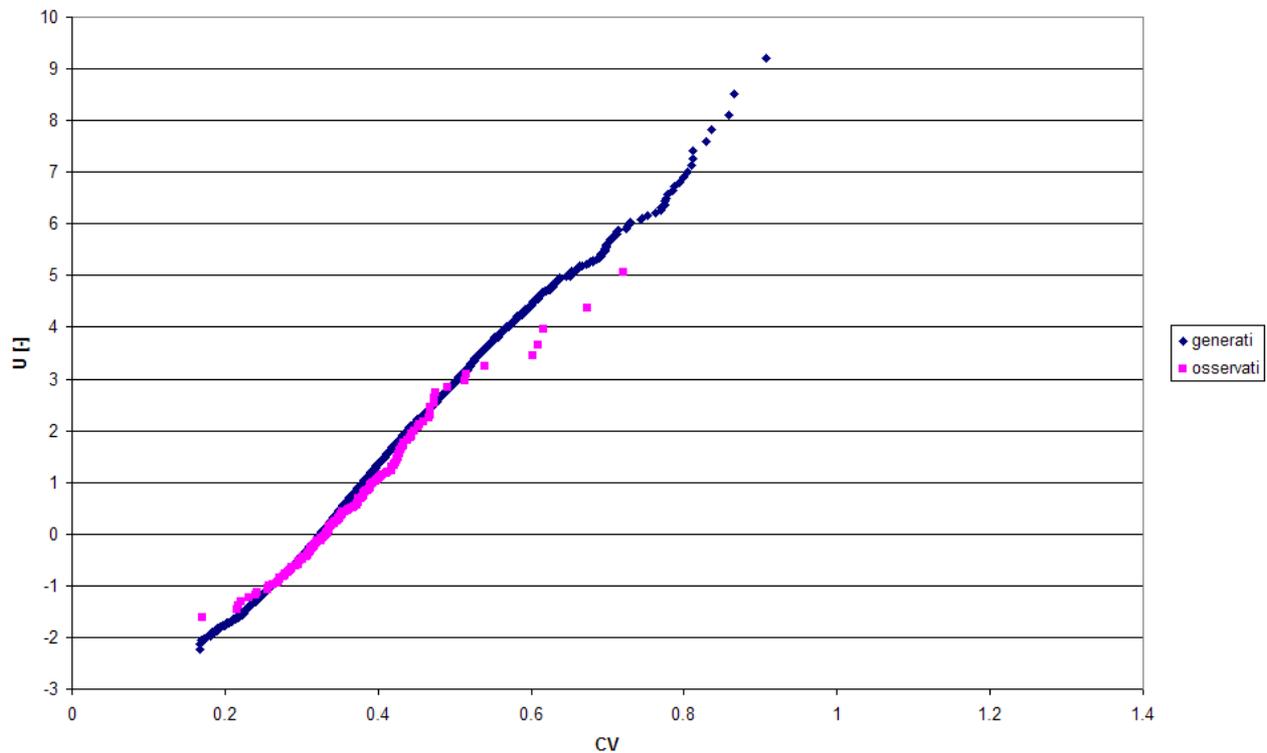


Figura 64: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=6$.

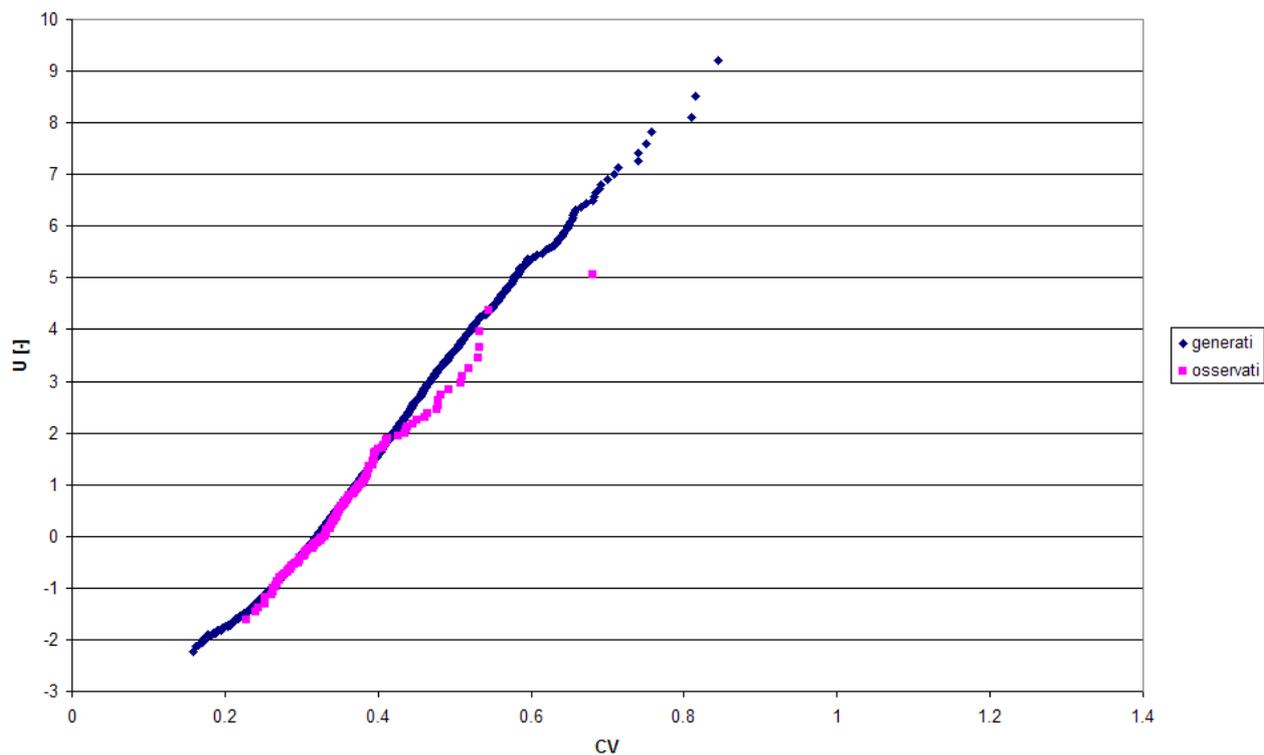


Figura 65: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=12$.

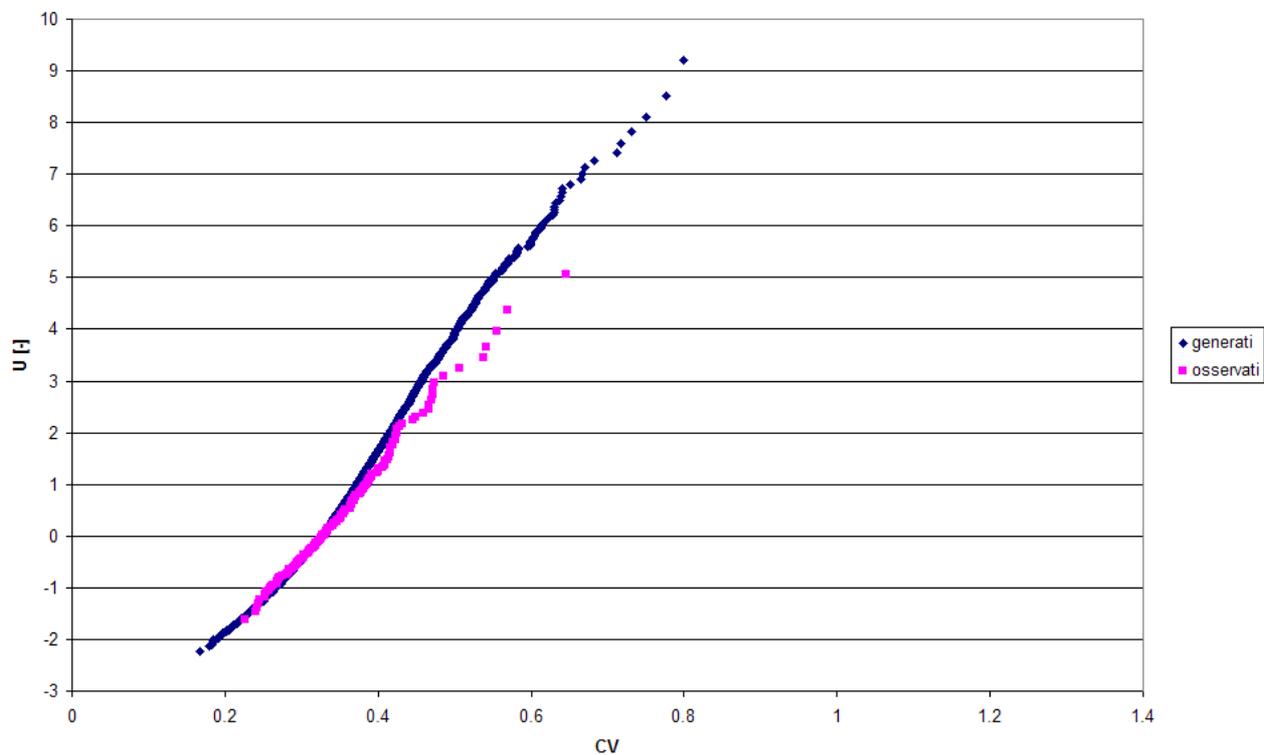


Figura 66: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=24$.

7.2 REGIONE VALLE D'AOSTA

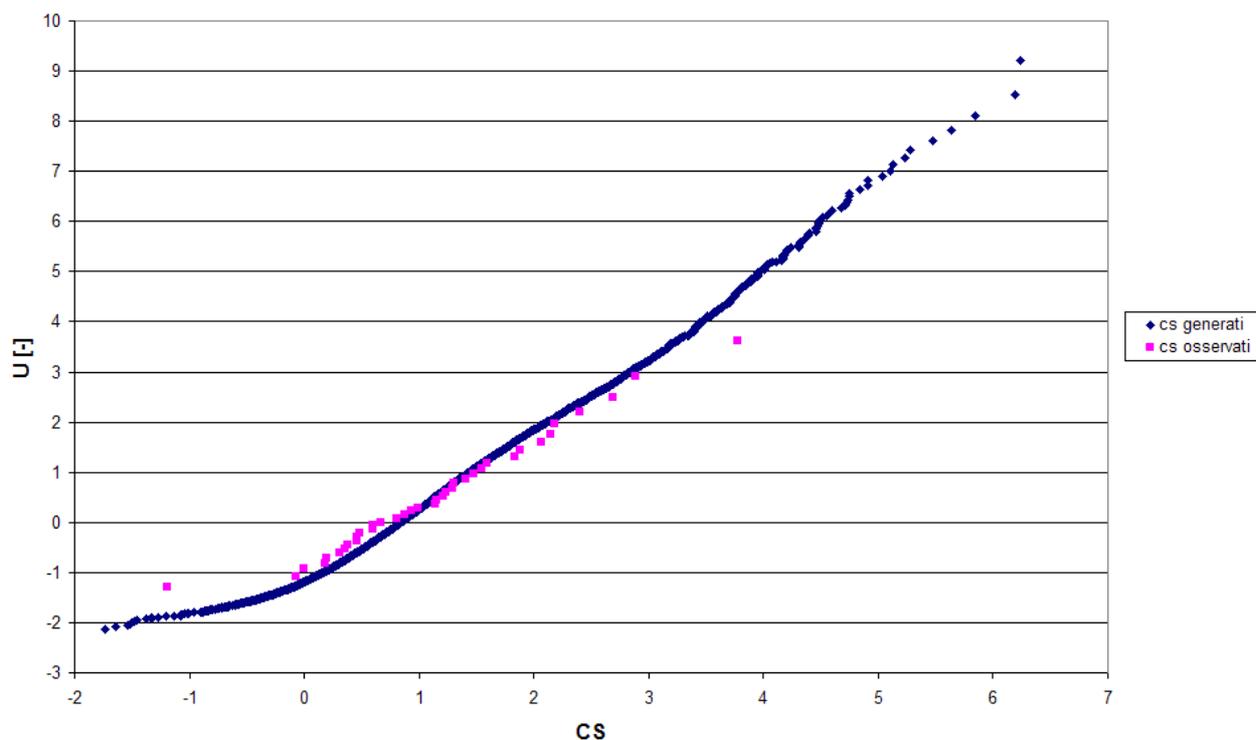


Figura 67: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=1$.

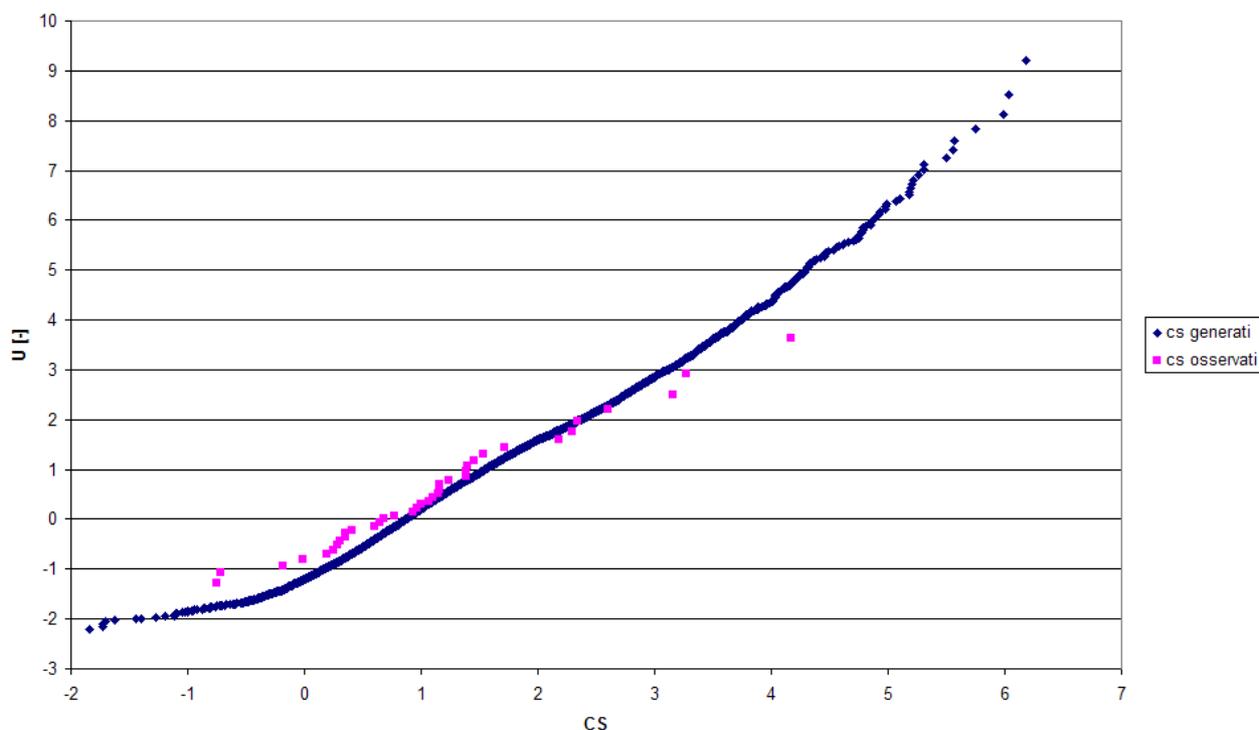


Figura 68: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=3$.

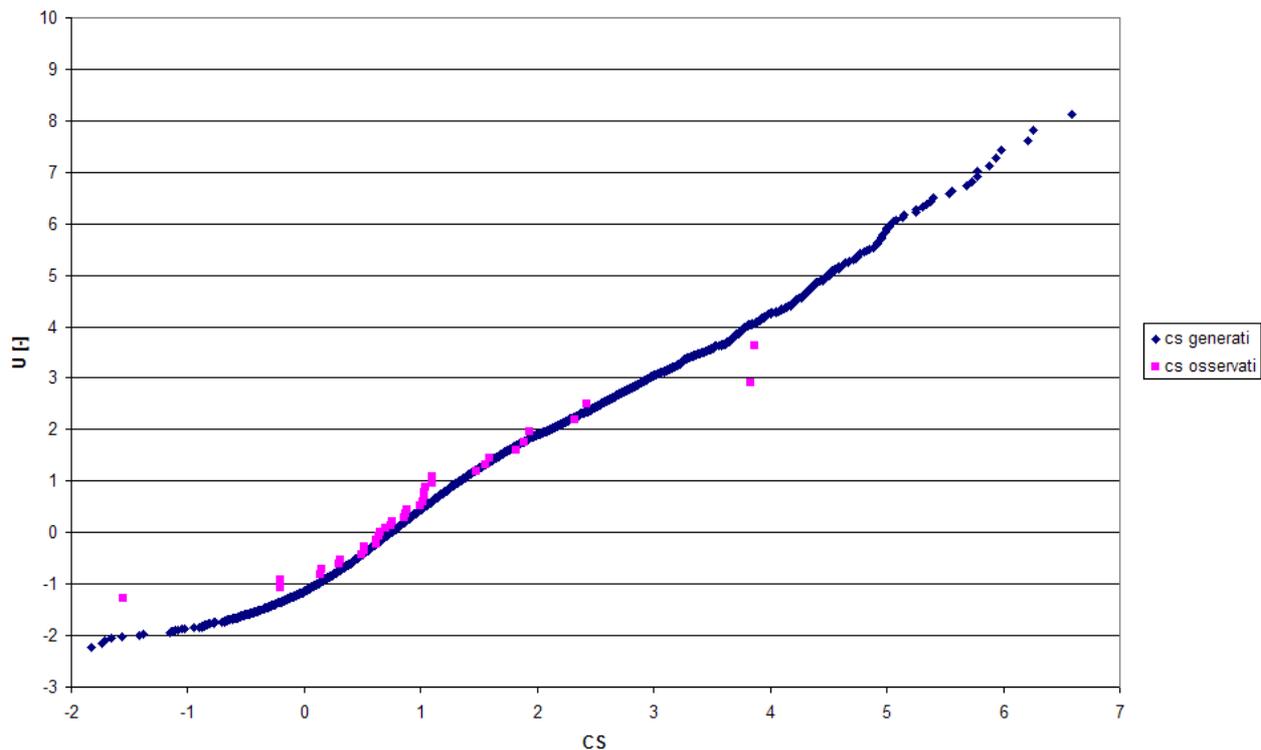


Figura 69: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=6$.

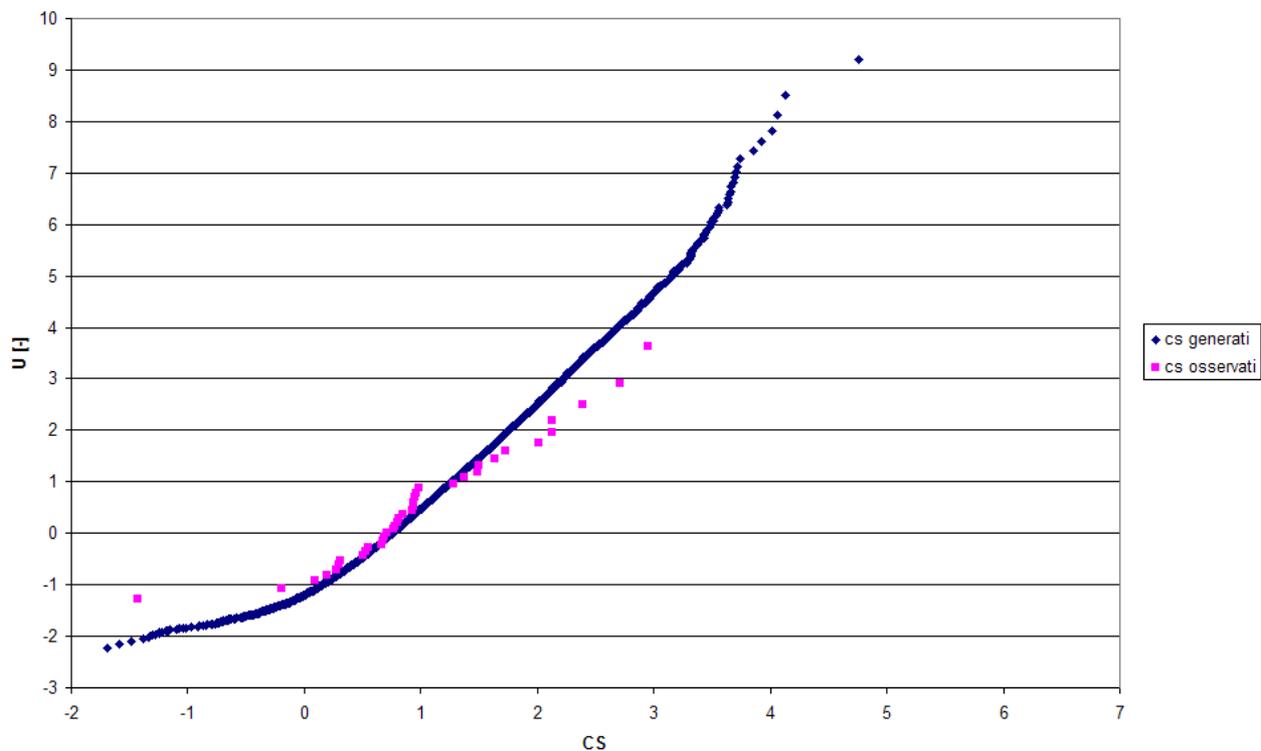


Figura 70: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=12$.

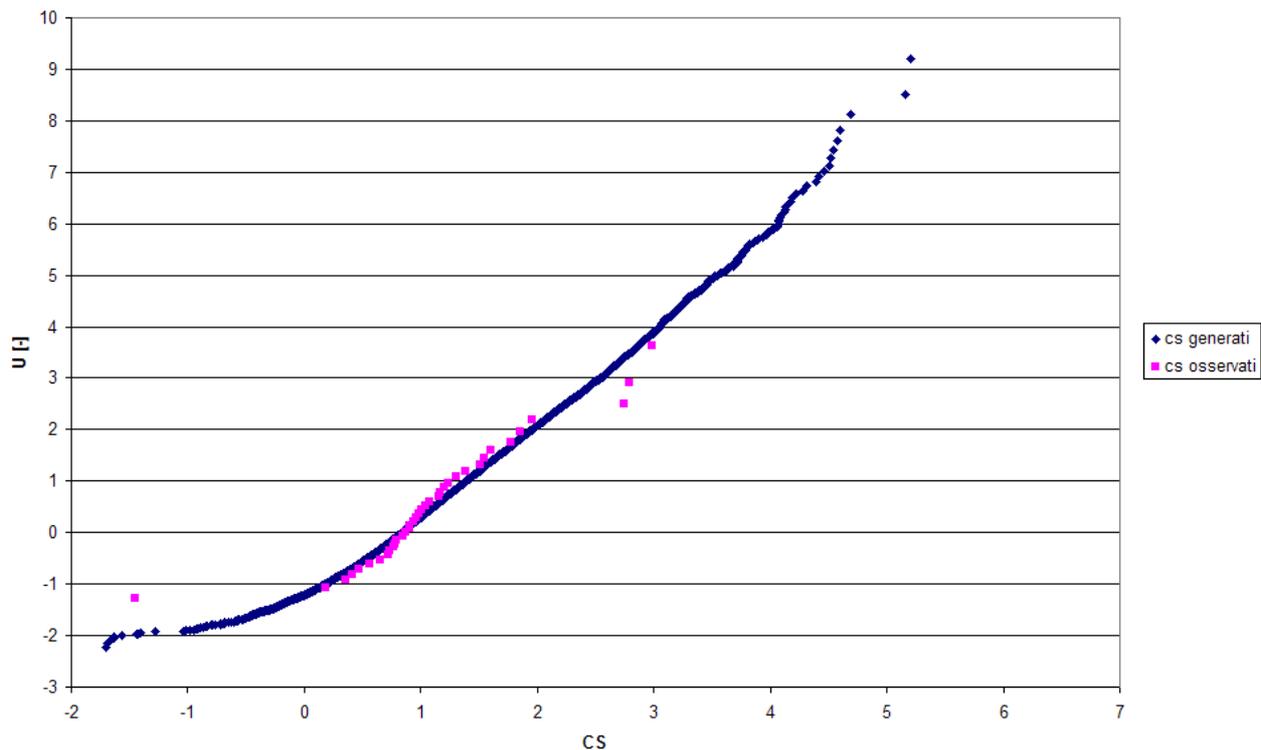


Figura 71: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di asimmetria osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=24$.

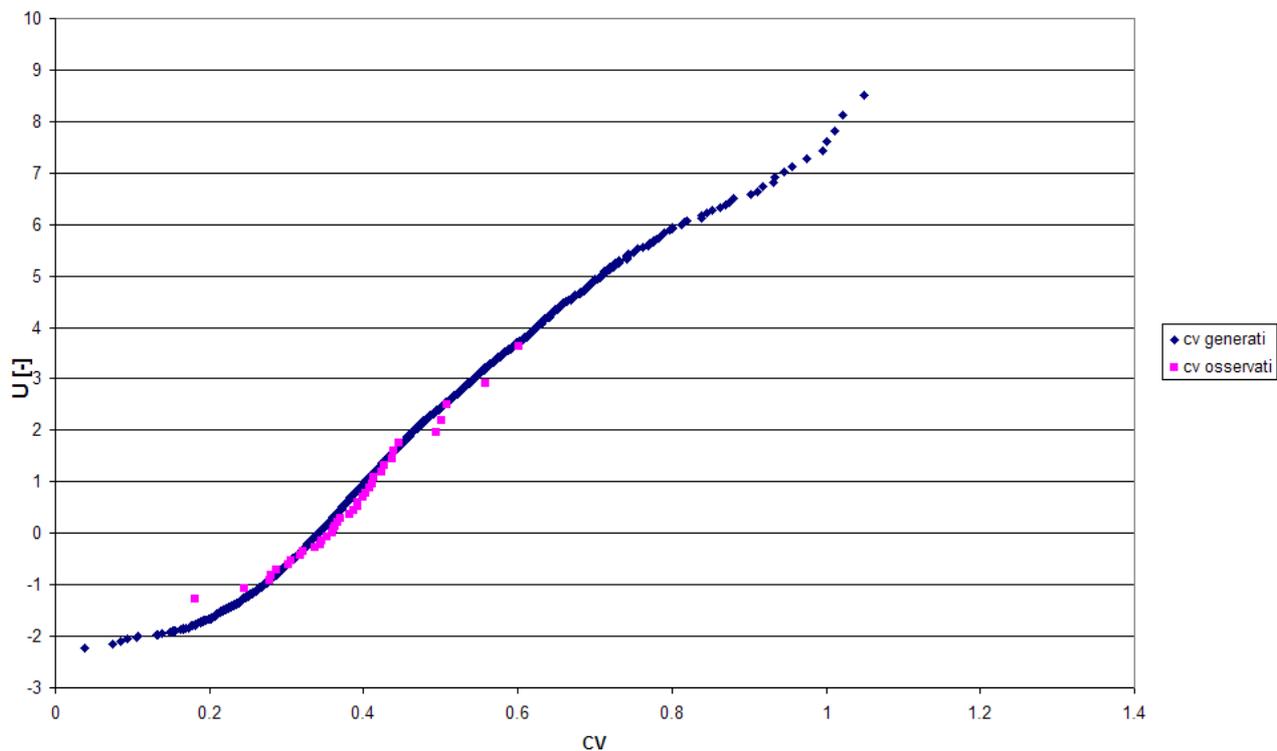


Figura 72: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=1$.

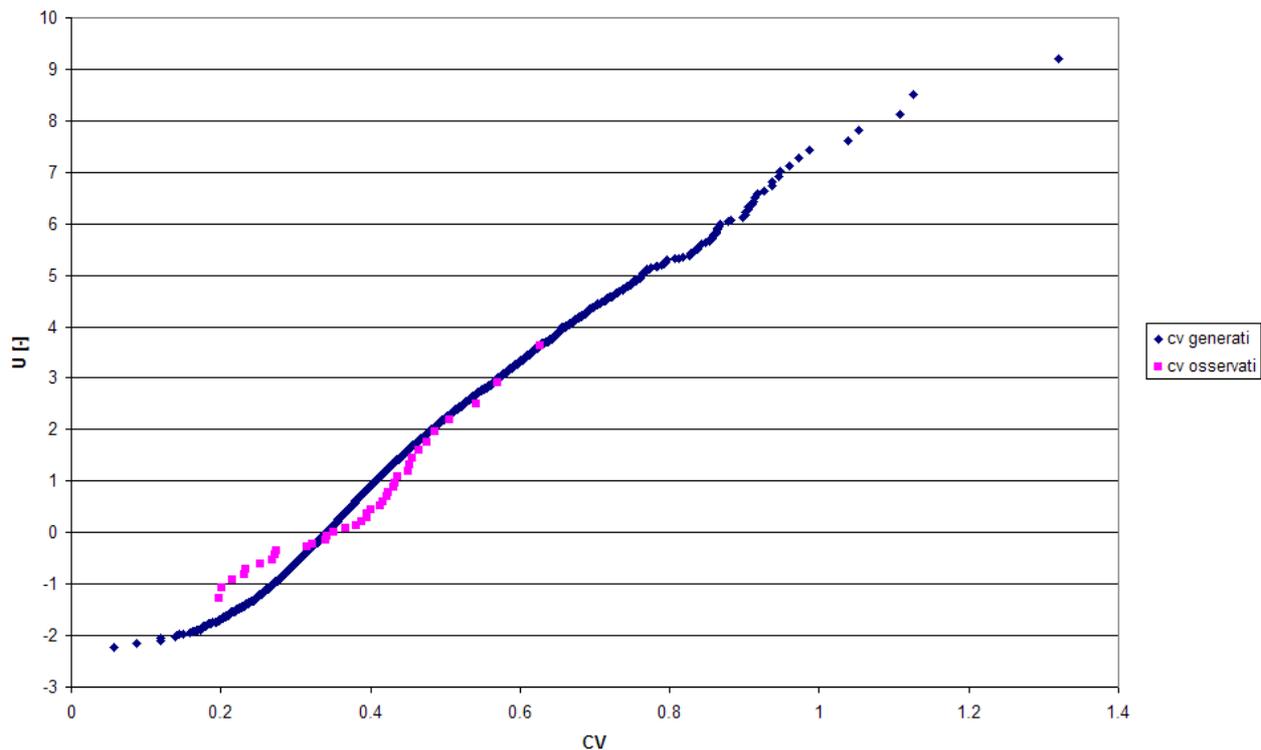


Figura 73: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=3$.

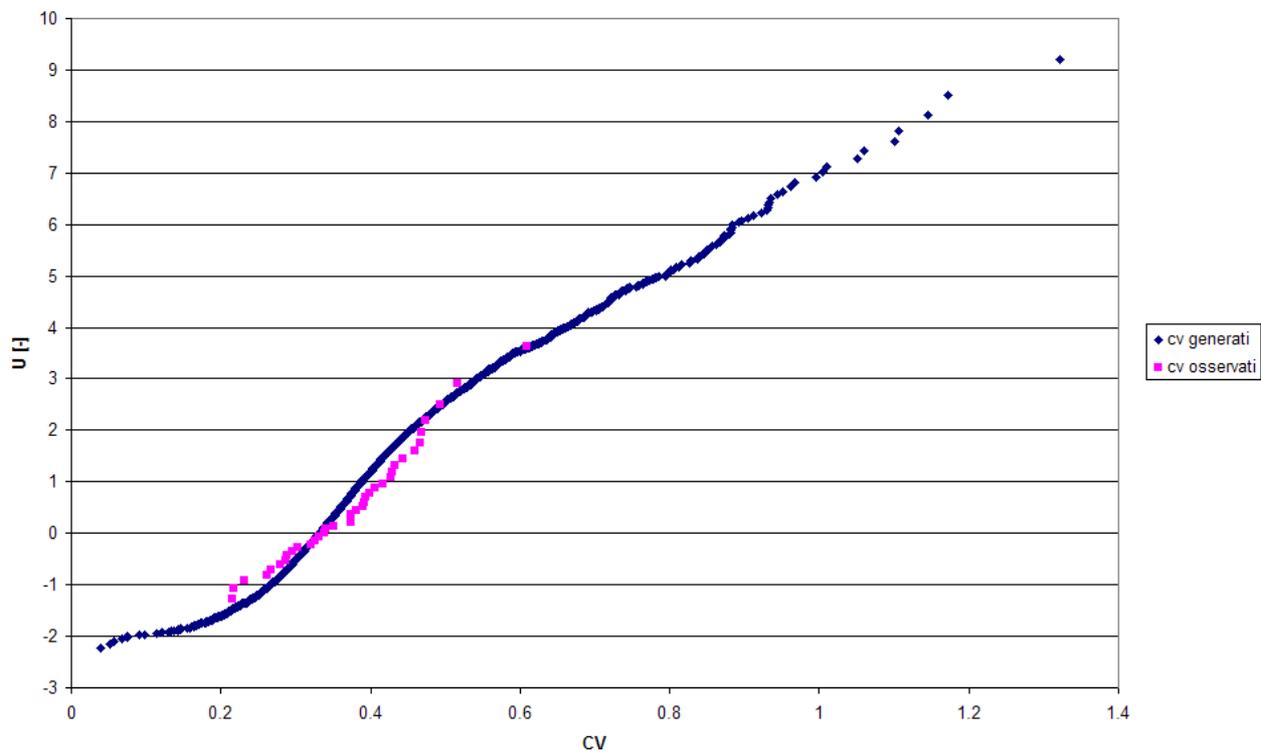


Figura 74: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per $d=6$.

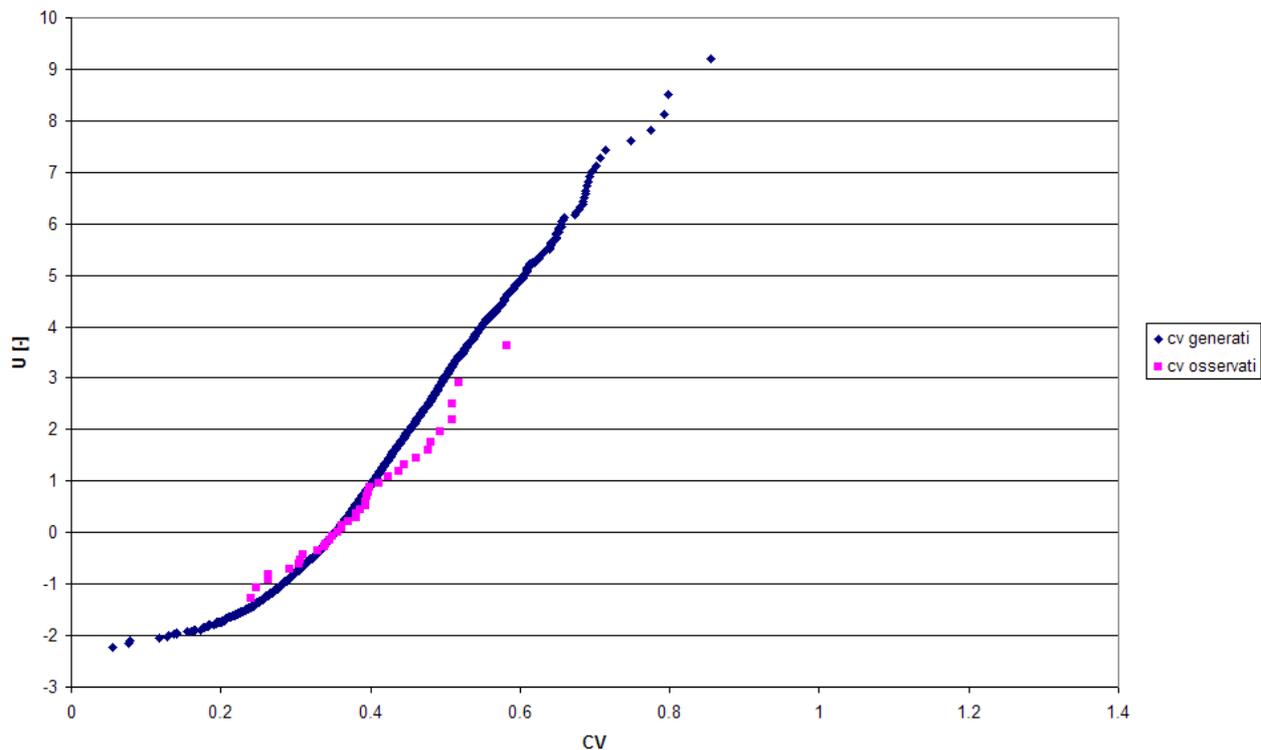


Figura 75: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per d=12.

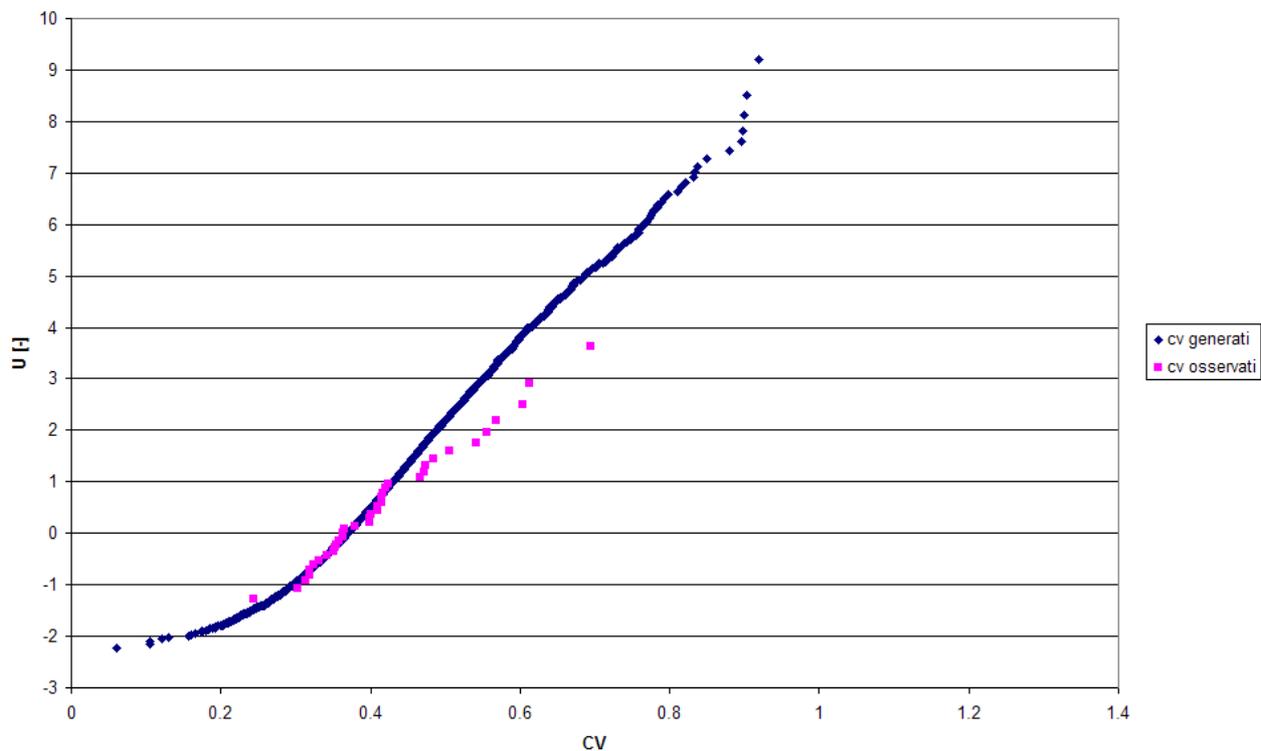


Figura 76: Rappresentazione del confronto tra i coefficienti di variazione osservati e la popolazione generata per la regione e sottoregione Valle d'Aosta con i parametri stimati per d=24.

8 APPENDICE C: CONFRONTO PUNTUALE DATI OSSERVATI, TCEV E GEV REGIONE VALLE D'AOSTA DURATA 1 ORA

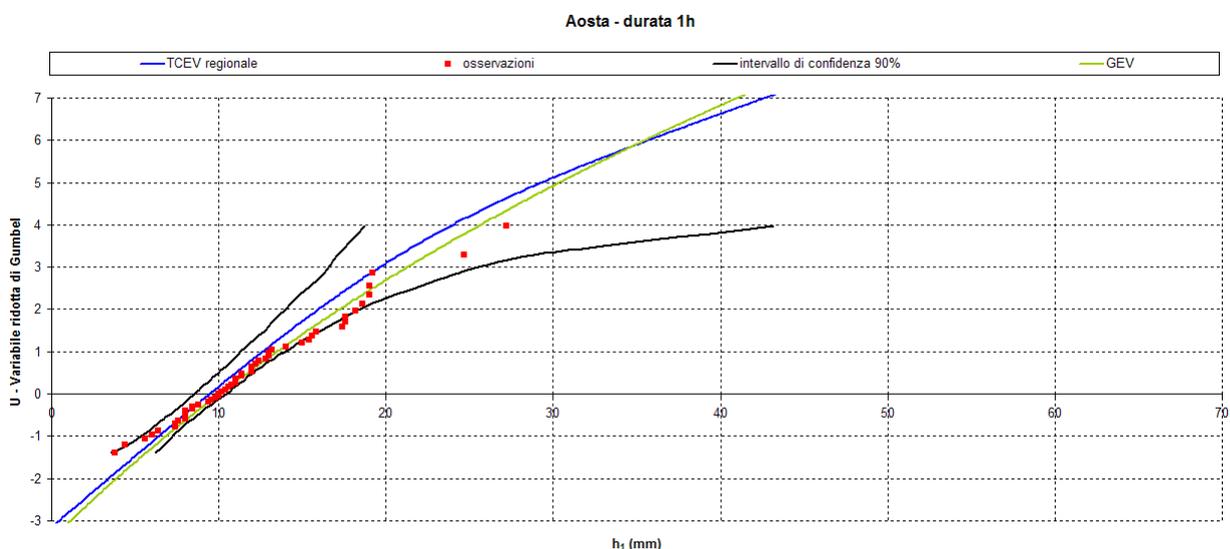


Figura 77: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aosta, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

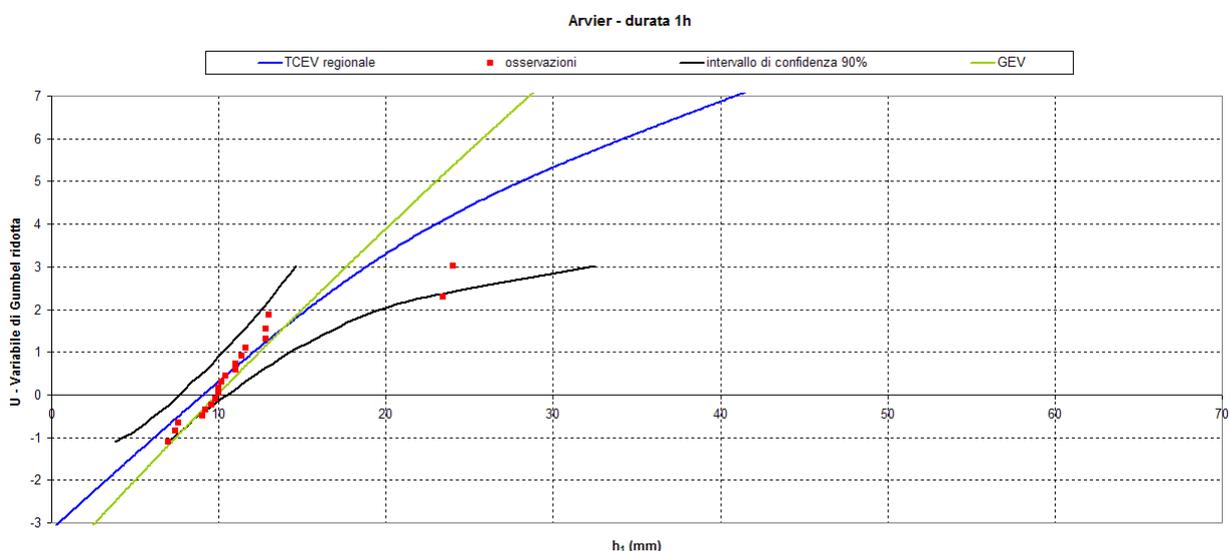


Figura 78: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Arvier, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

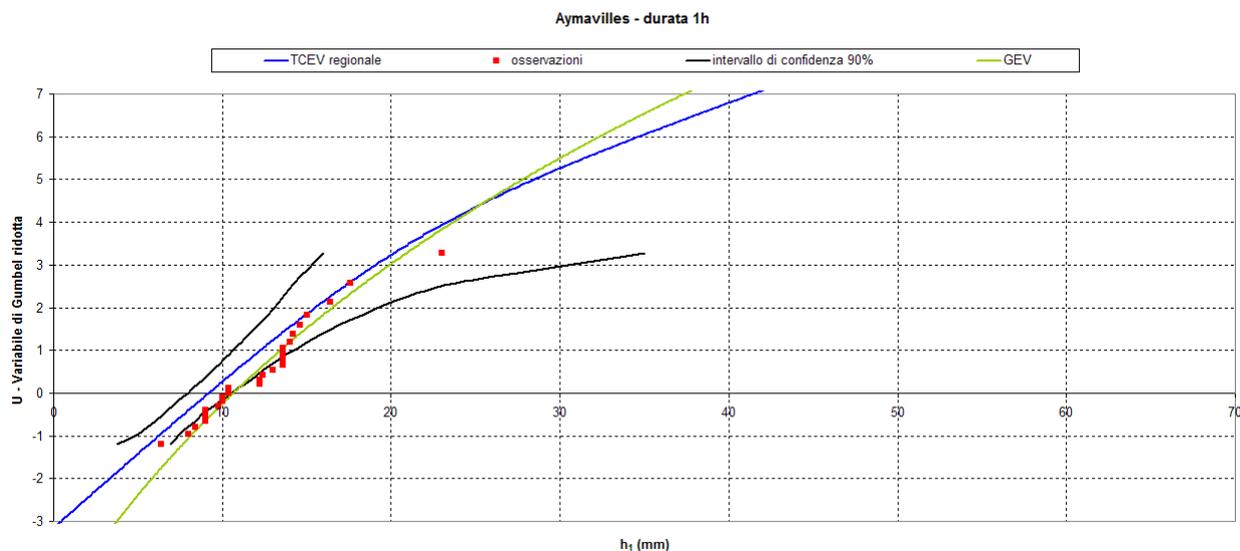


Figura 79: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aymavilles, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

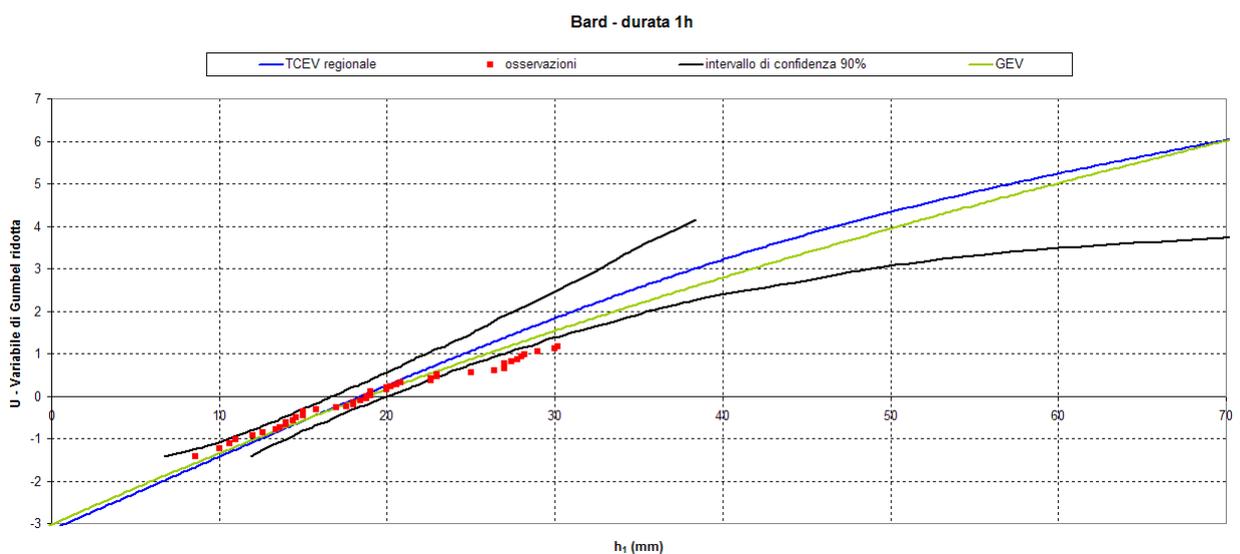


Figura 80: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Bard, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

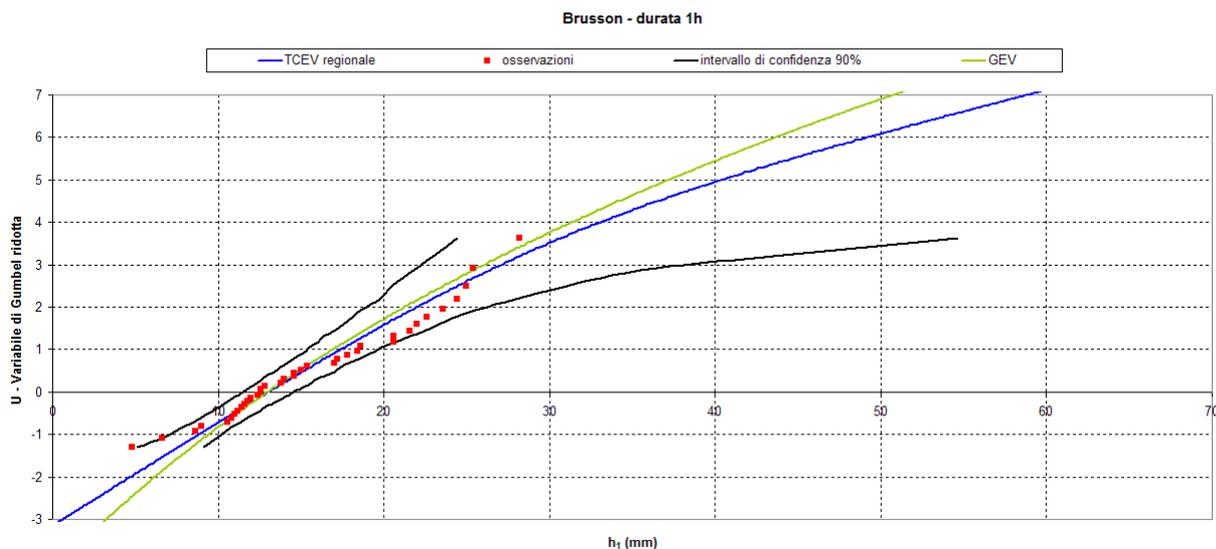


Figura 81: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Brusson, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

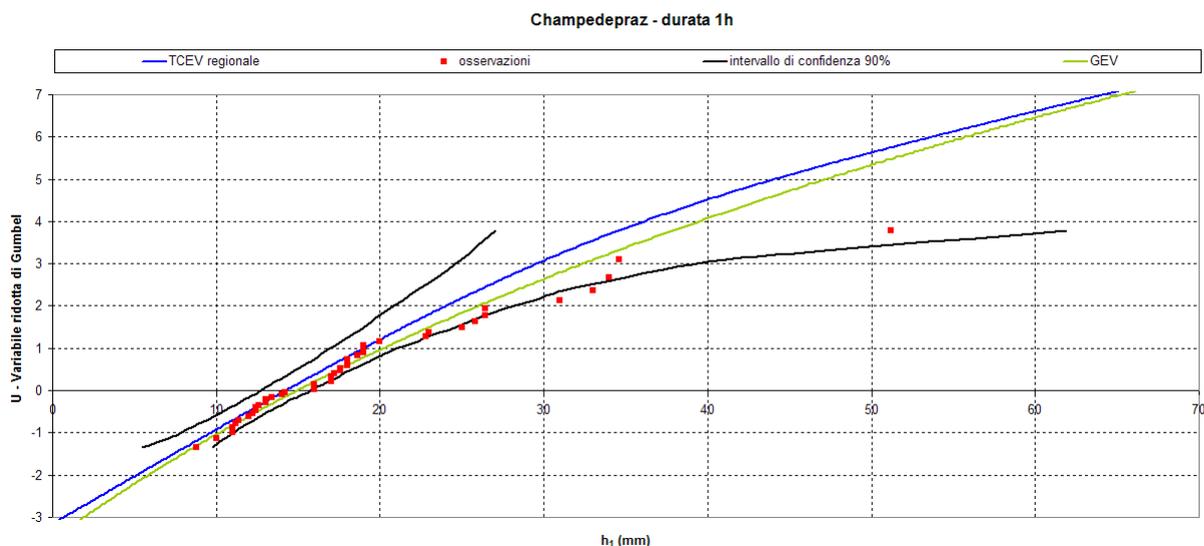


Figura 82: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Champdepraz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

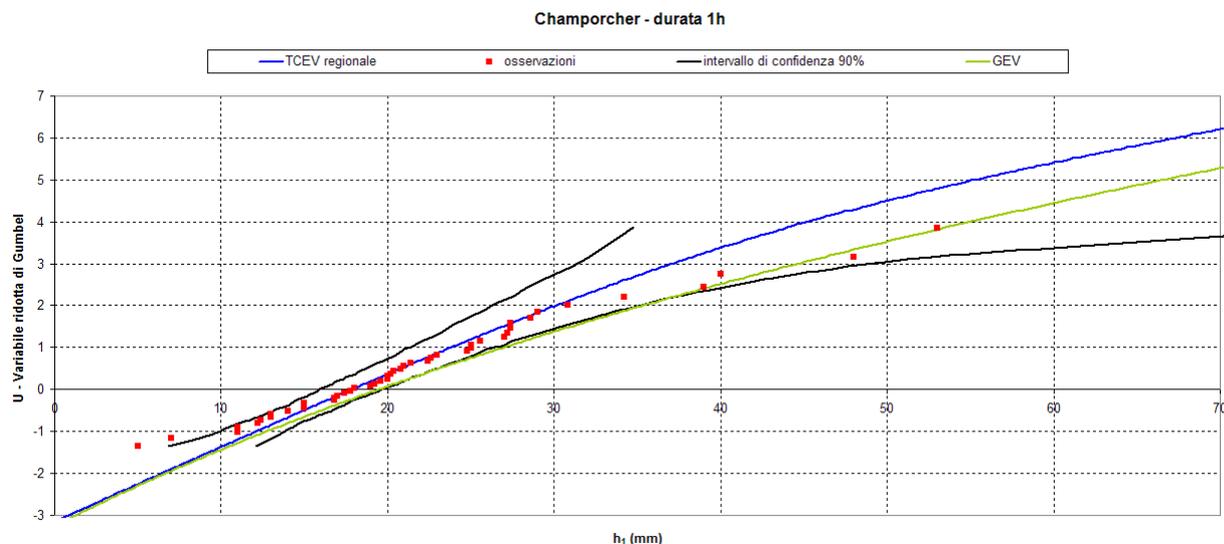


Figura 83: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Champorcher, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

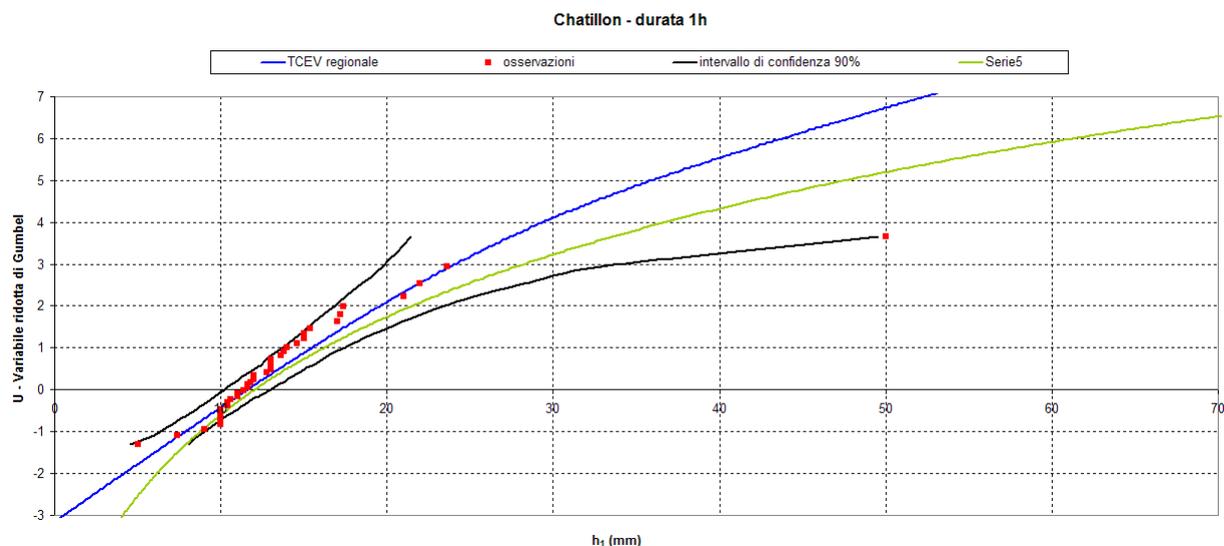


Figura 84: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Chatillon, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

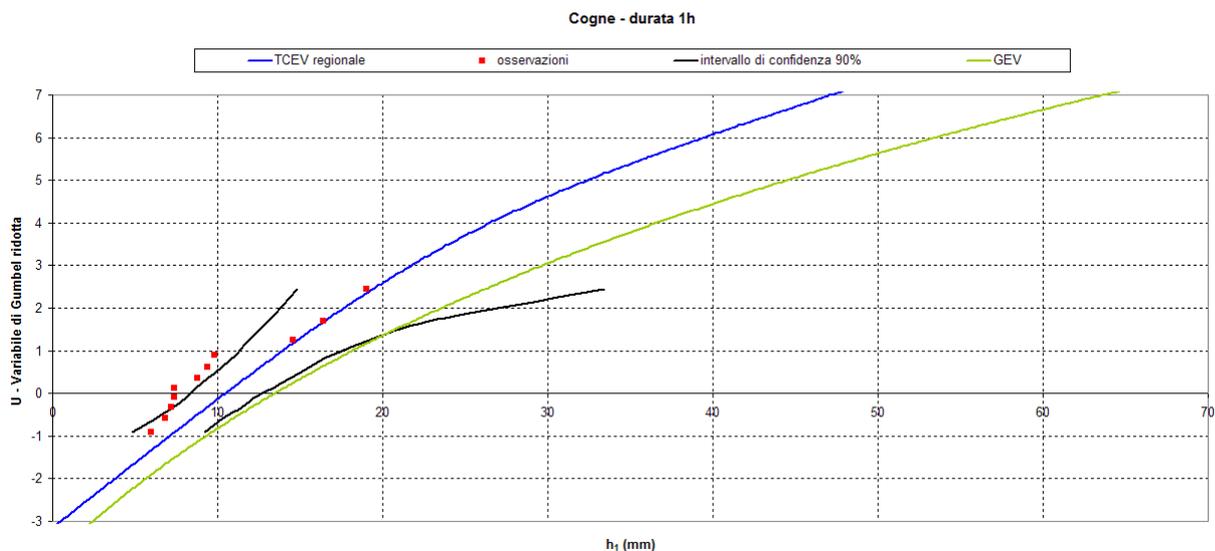


Figura 85: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Cogne, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

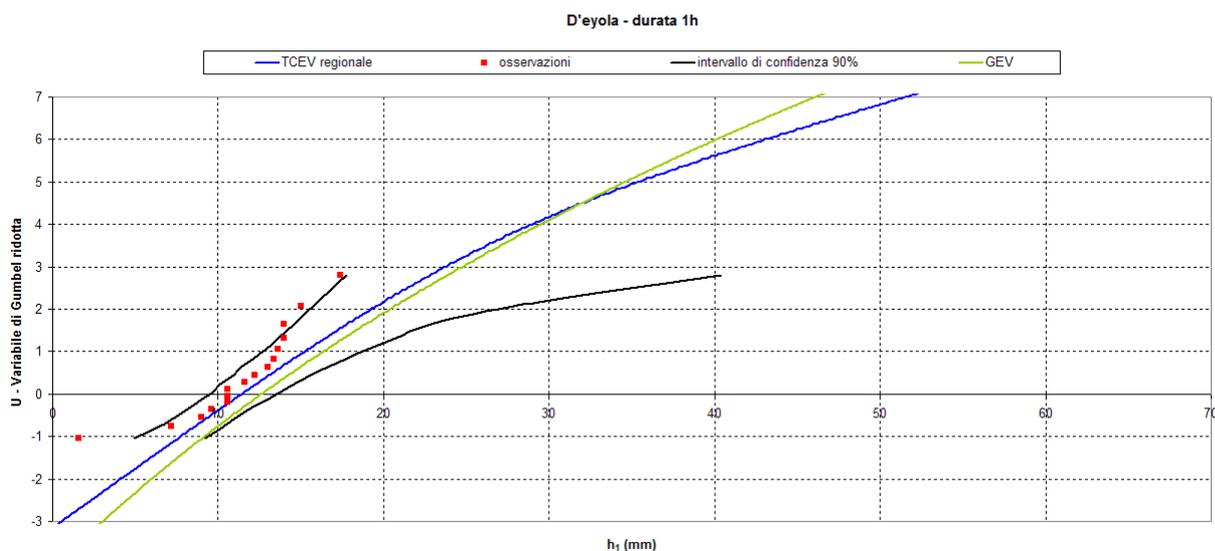


Figura 86: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di D'Eyola, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

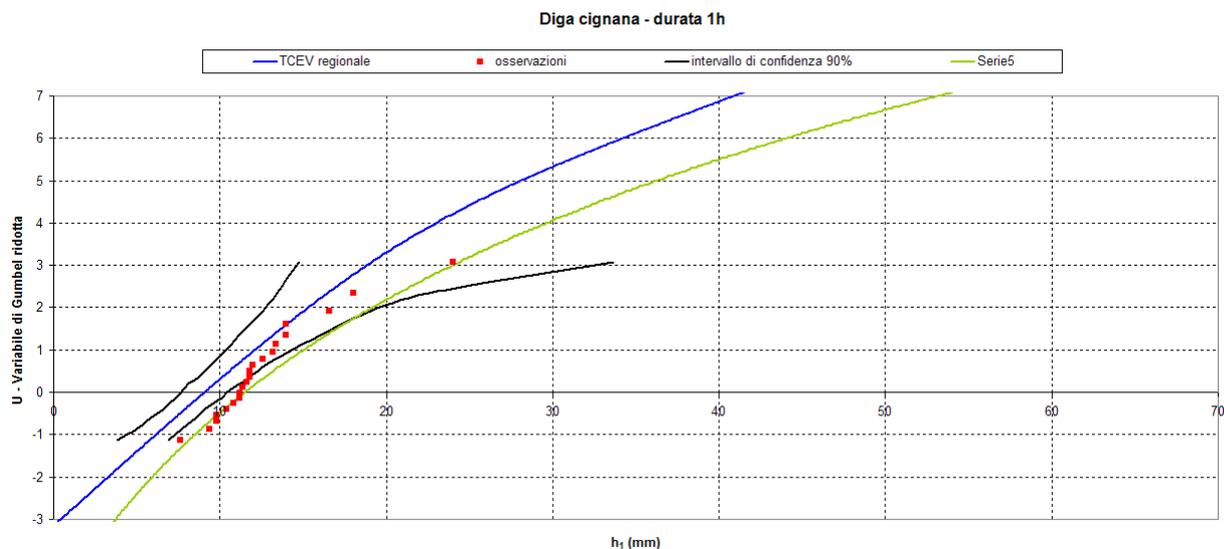


Figura 87: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Diga Cignana, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

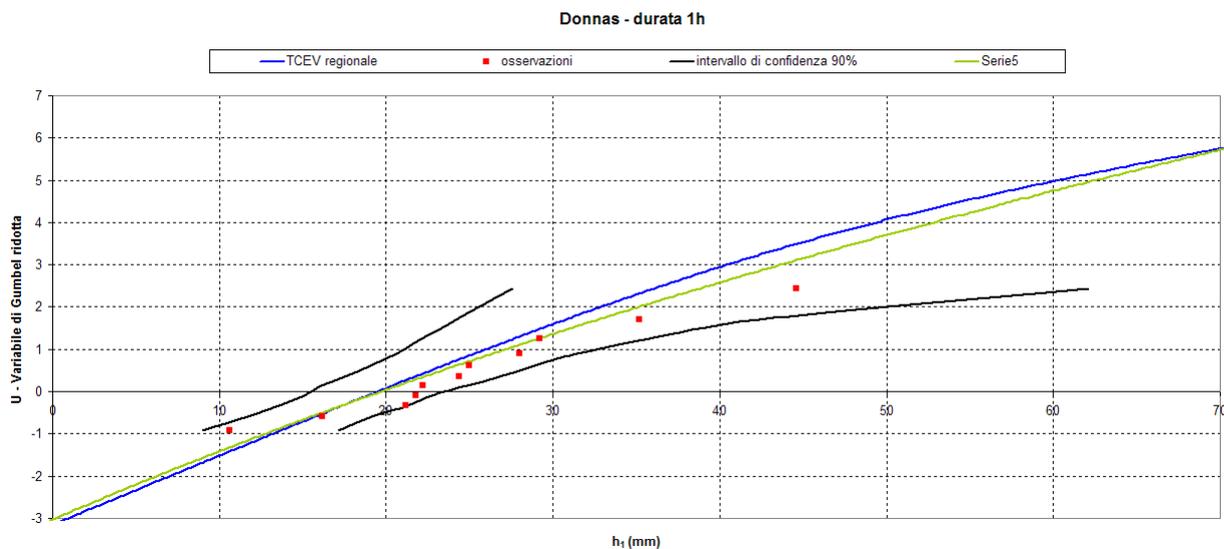


Figura 88: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Diga Donnas, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

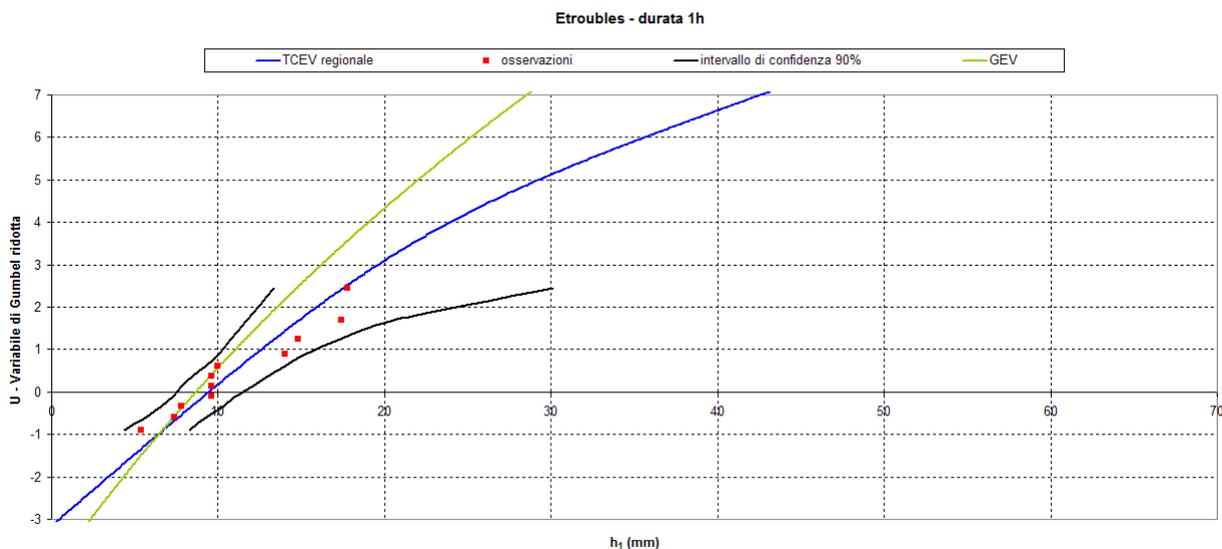


Figura 89: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Etroubles, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

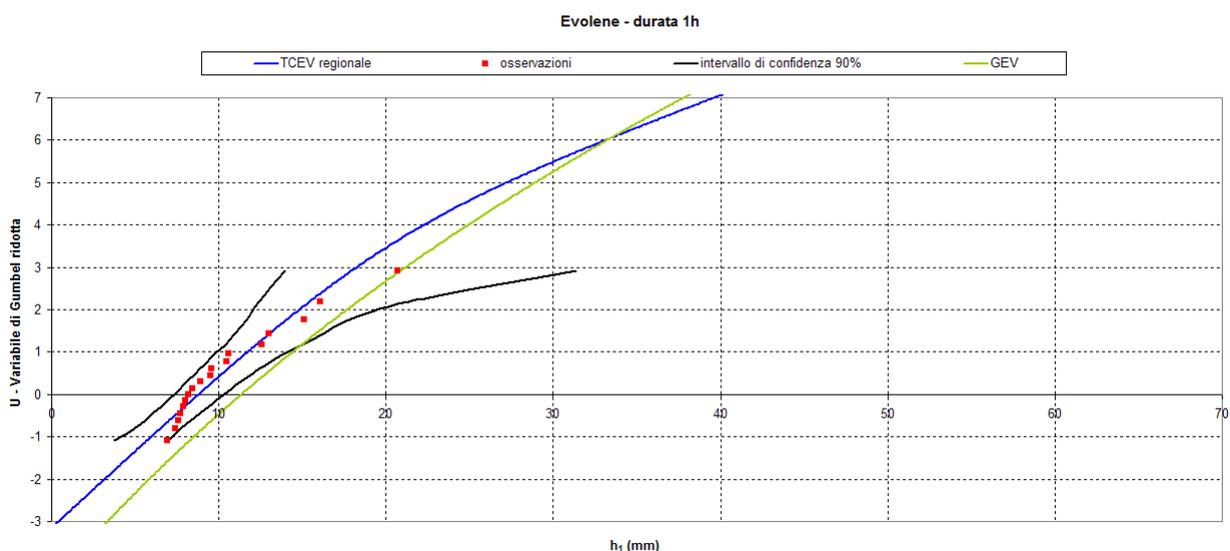


Figura 90: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Evolene, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

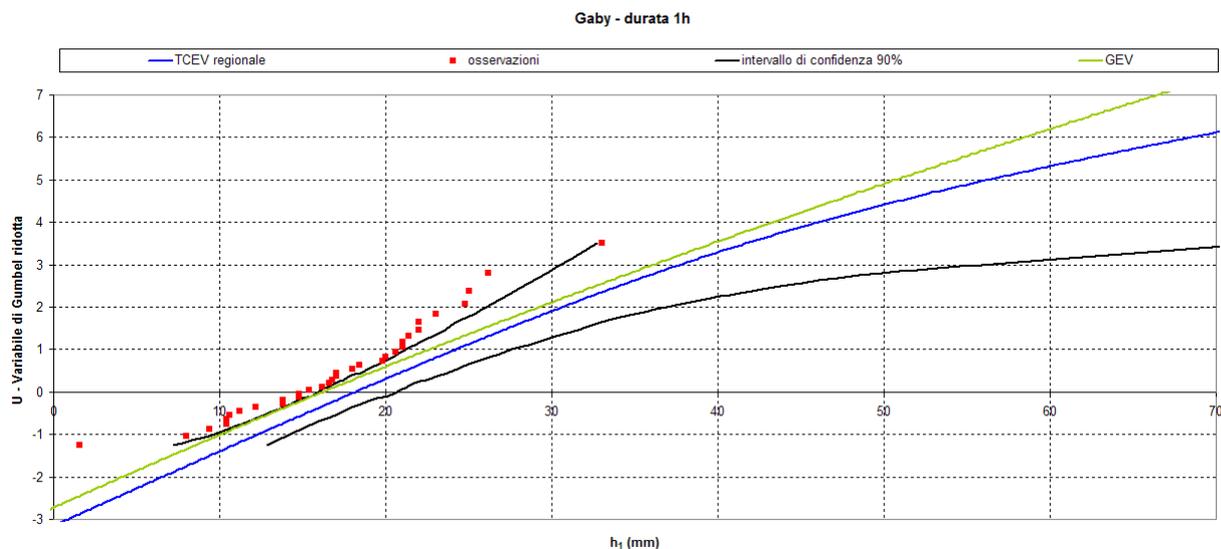


Figura 91: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gaby, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

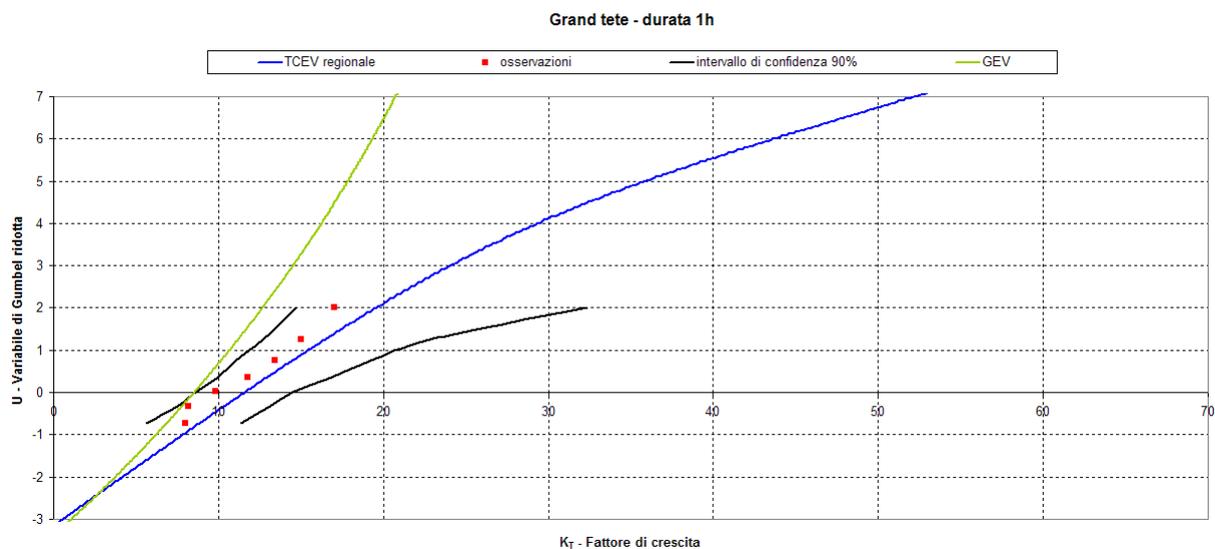


Figura 92: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gran Tete, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

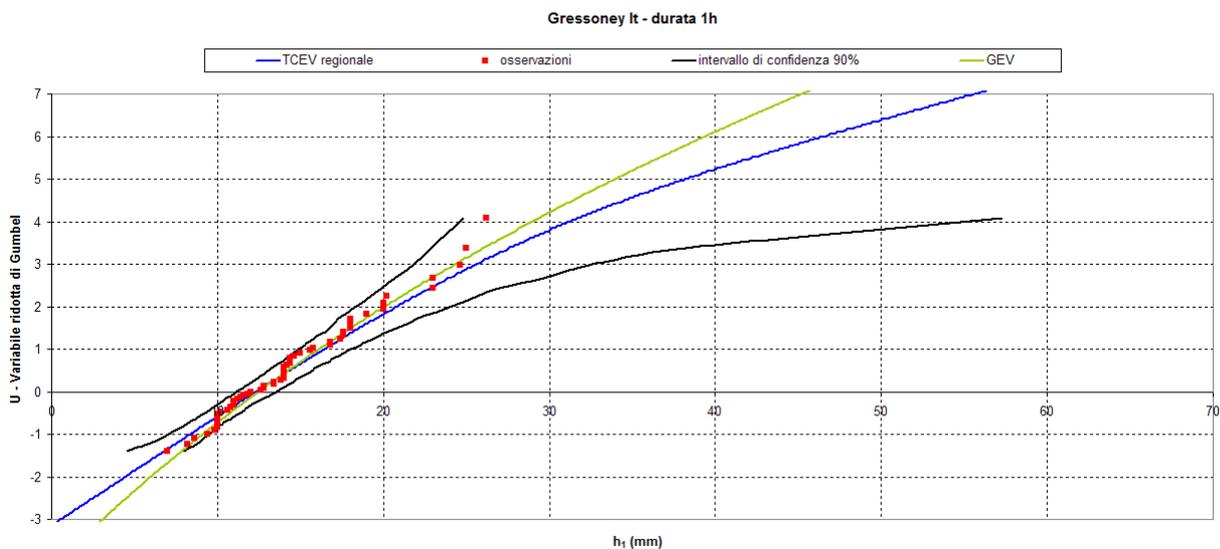


Figura 93: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney LT, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

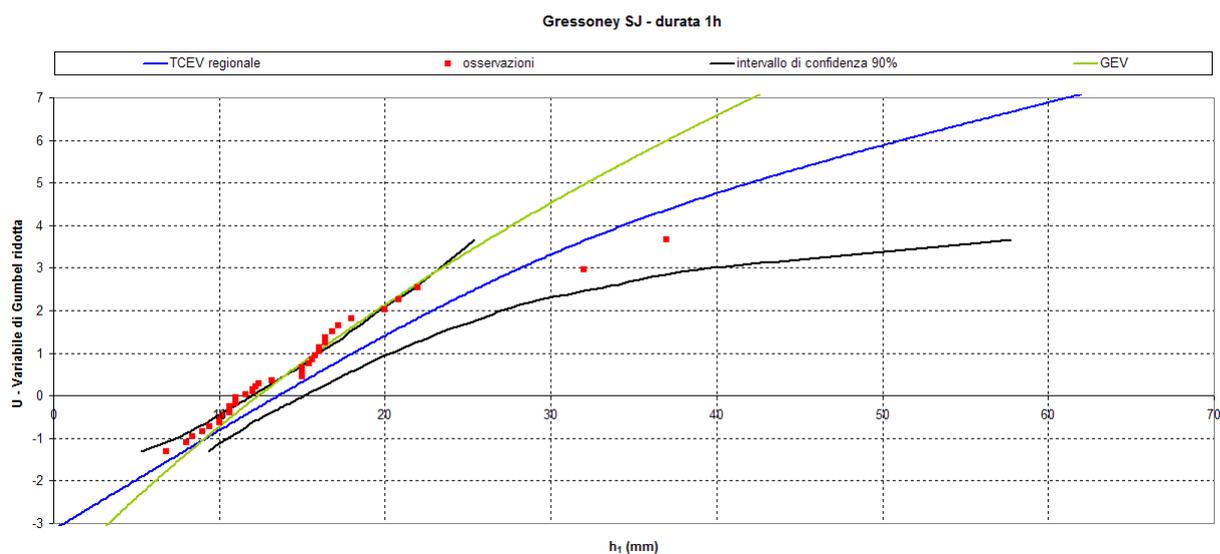


Figura 94: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney SJ, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

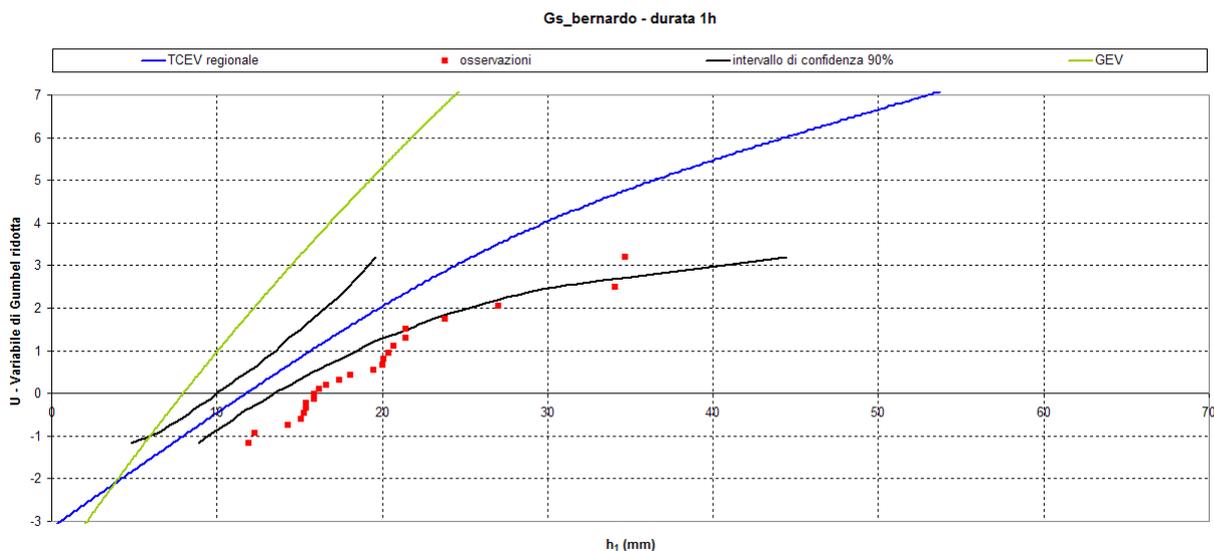


Figura 95: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gs Bernardo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

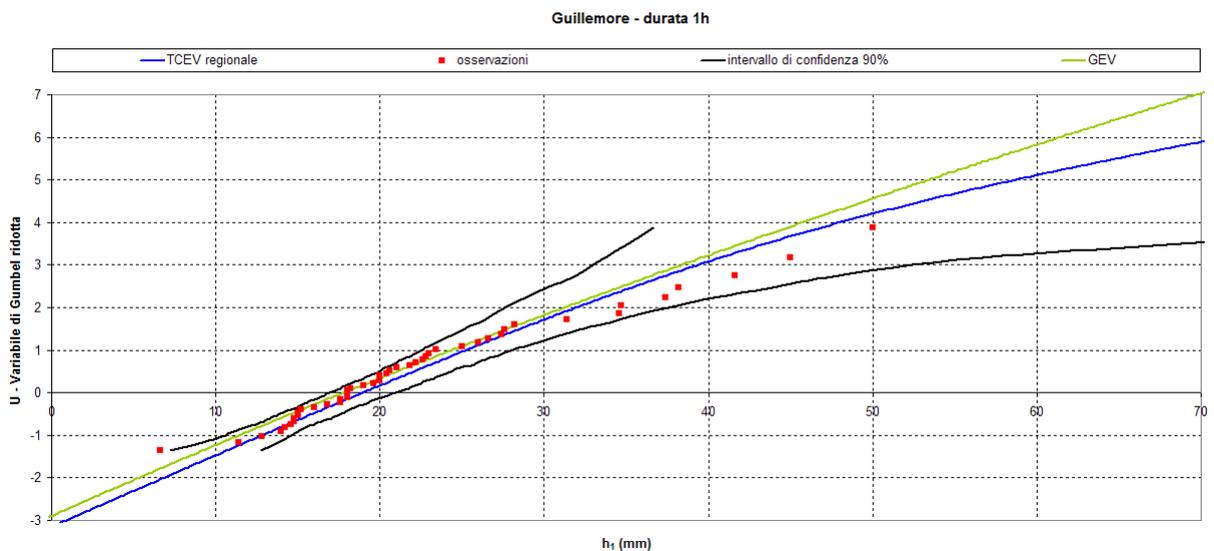


Figura 96: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Guillemore, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

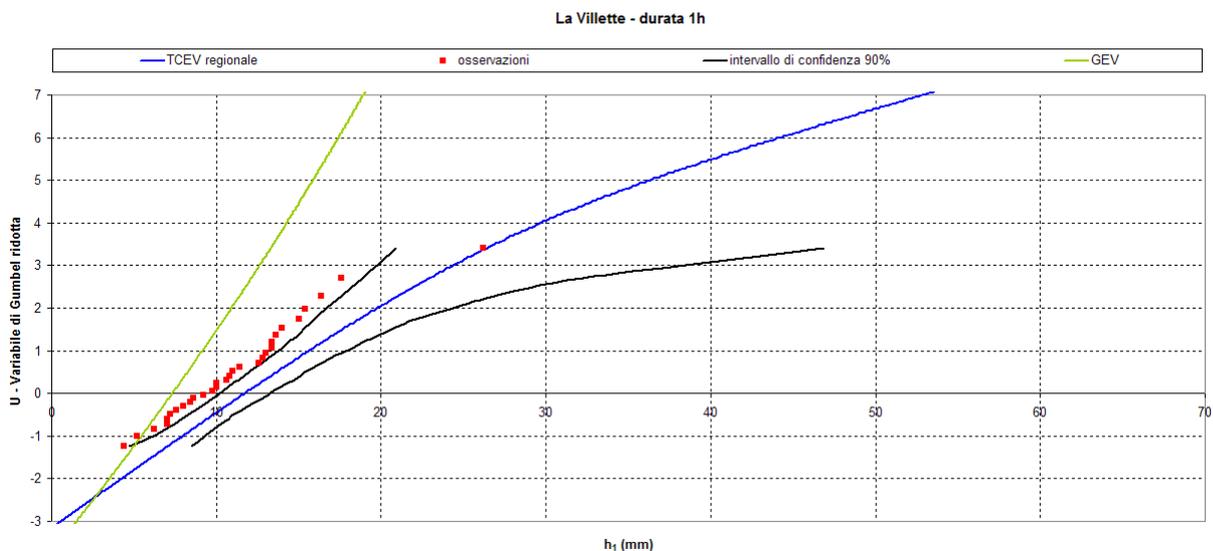


Figura 97: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di La Villette, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

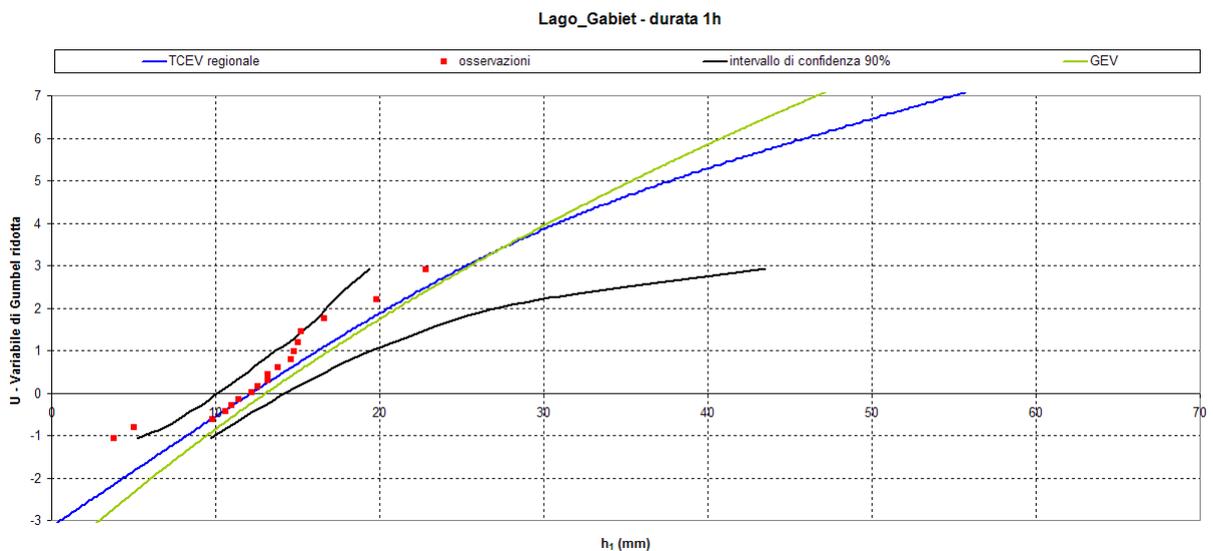


Figura 98: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lago Gabiet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

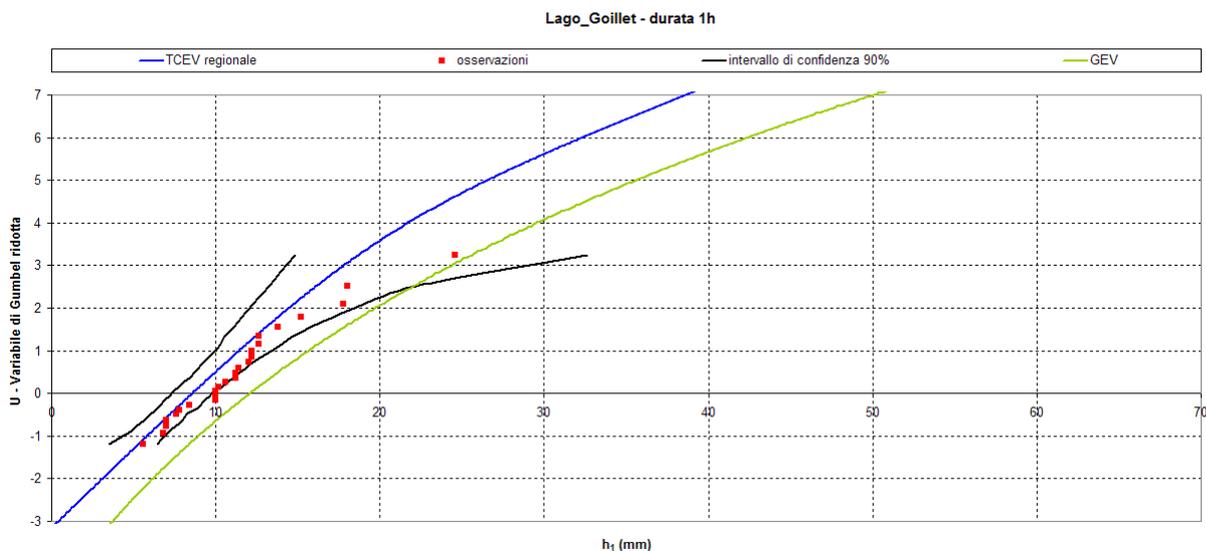


Figura 99: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lago Golliet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

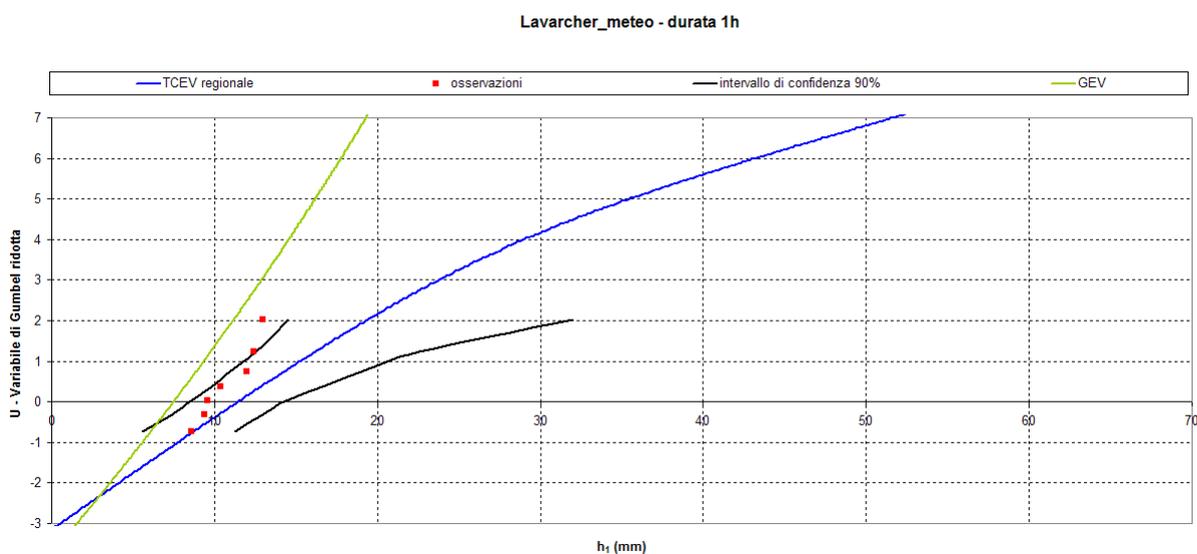


Figura 100: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lavancher Meteo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

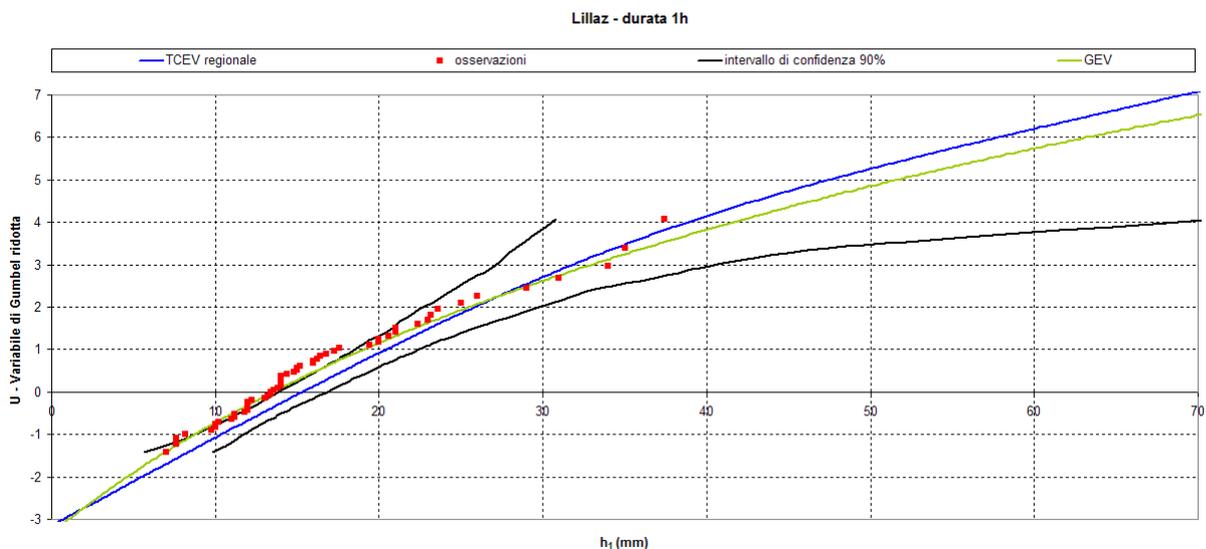


Figura 101: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lillaz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

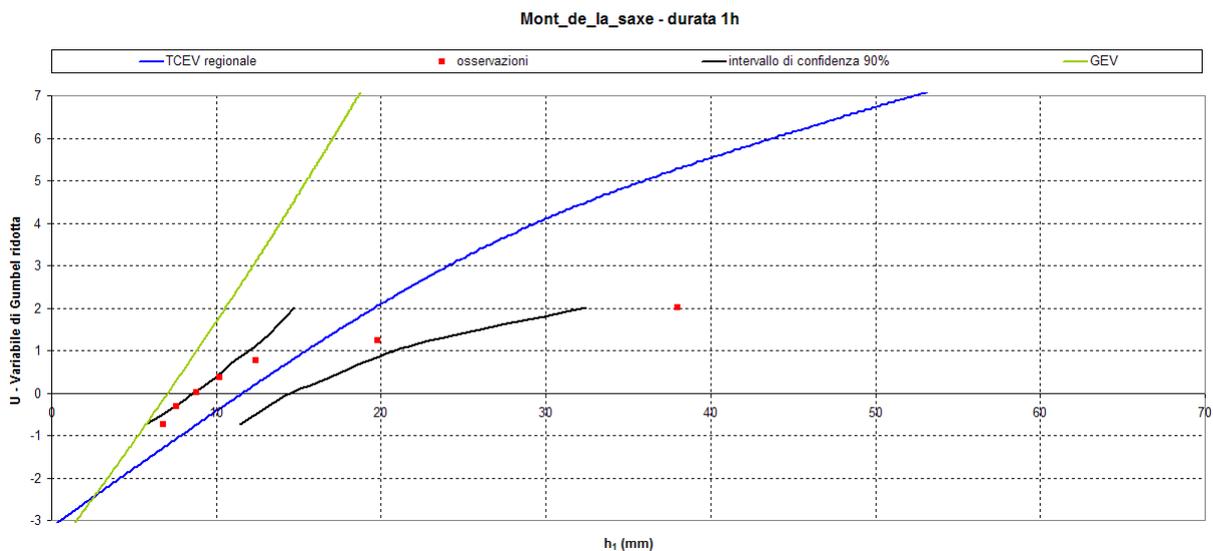


Figura 102: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Mont De La Saxe, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).



Figura 103: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Montjovet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

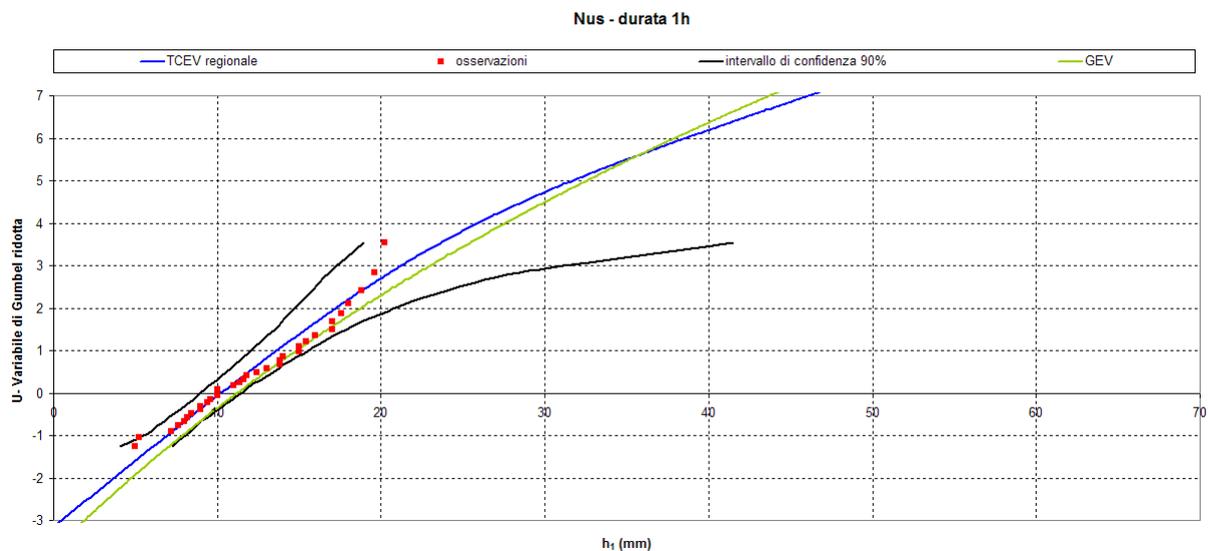


Figura 104: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Nus, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

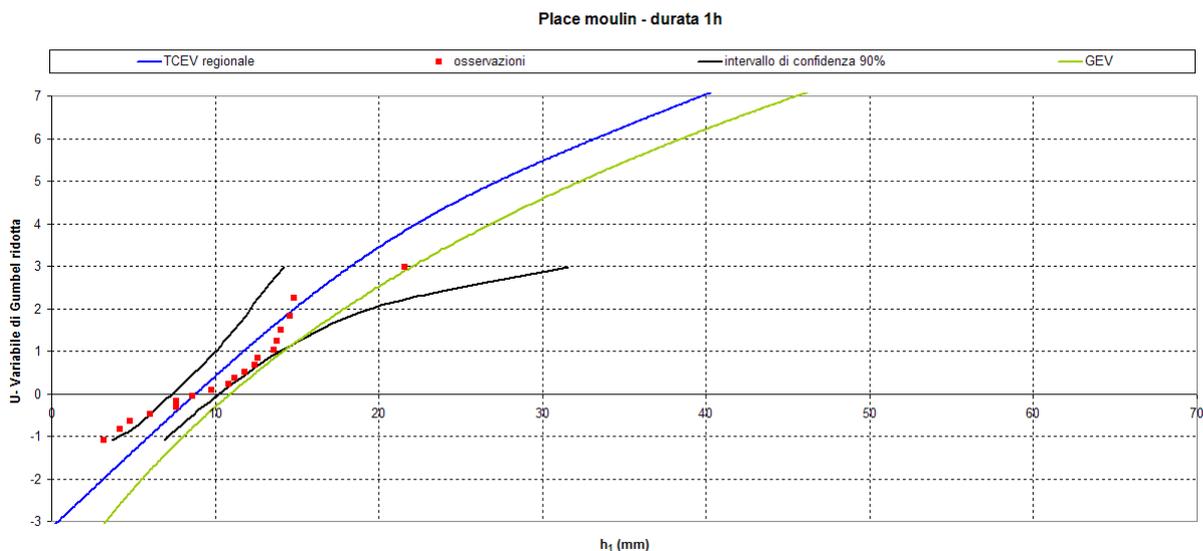


Figura 105: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Place Moulin, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

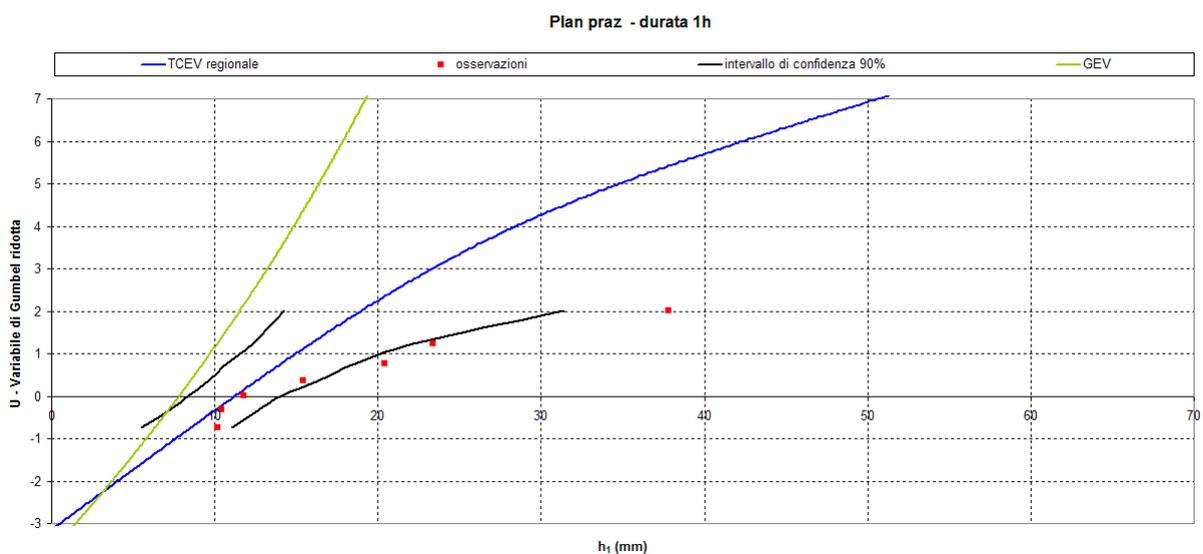


Figura 106: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Plan Praz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

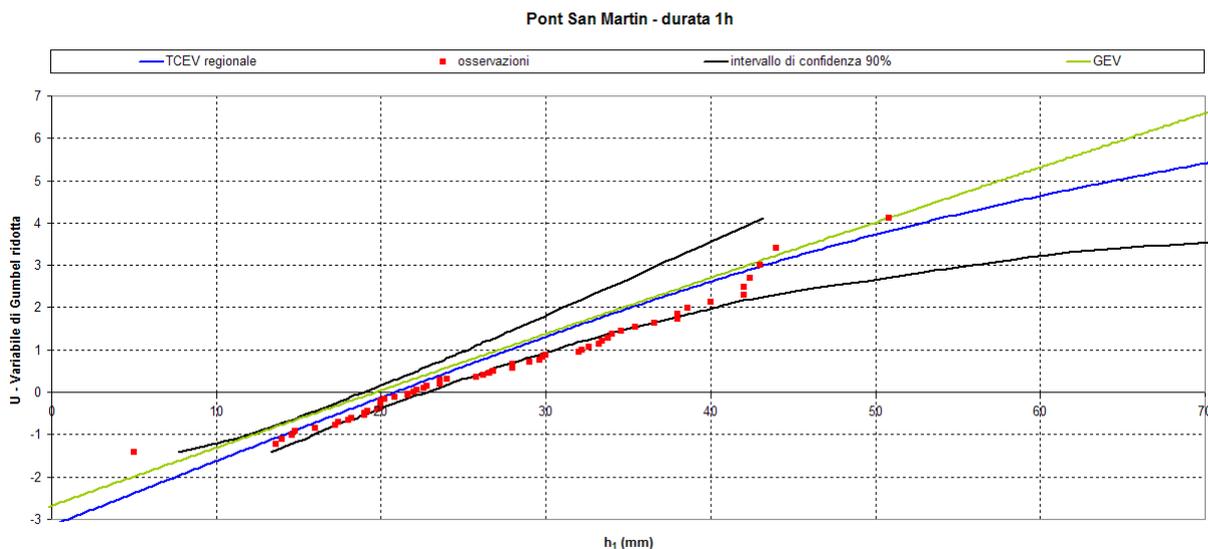


Figura 107: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Pont San Martin, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

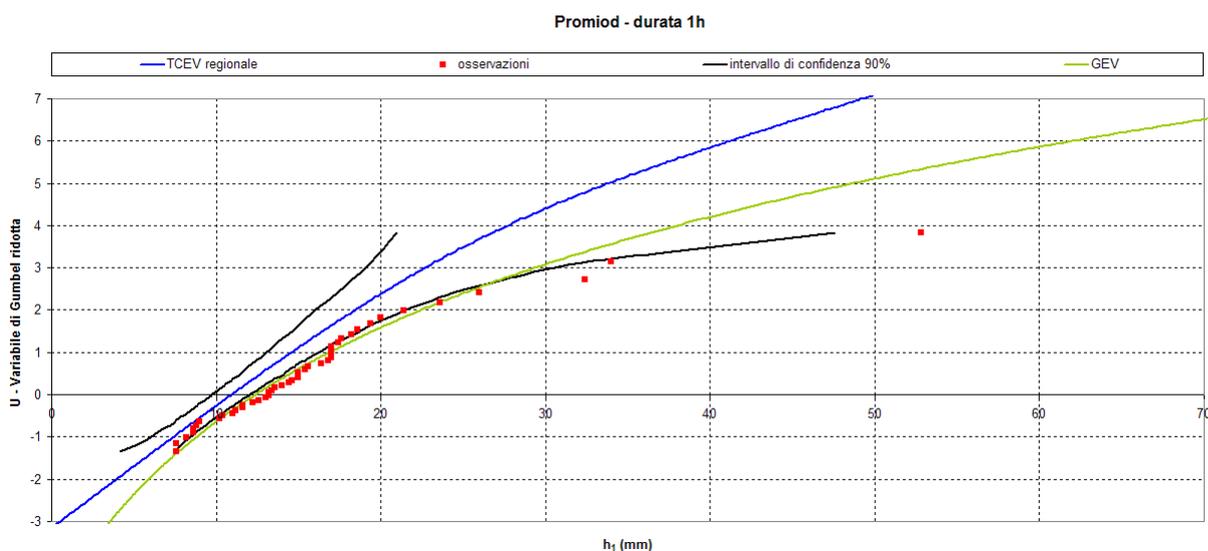


Figura 108: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Promiod, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

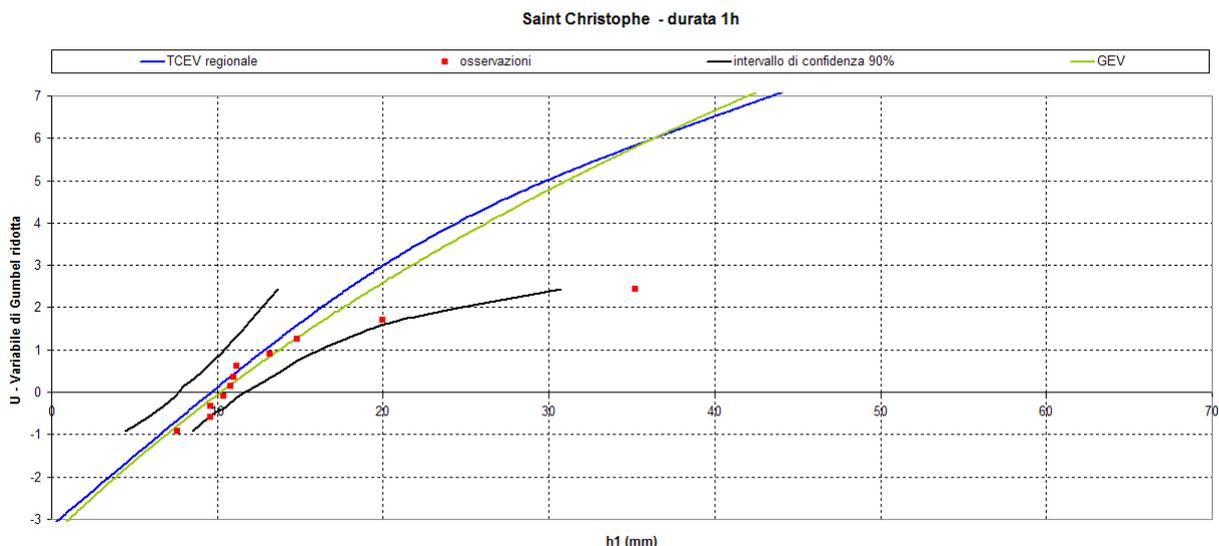


Figura 109: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Saint Christophe, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

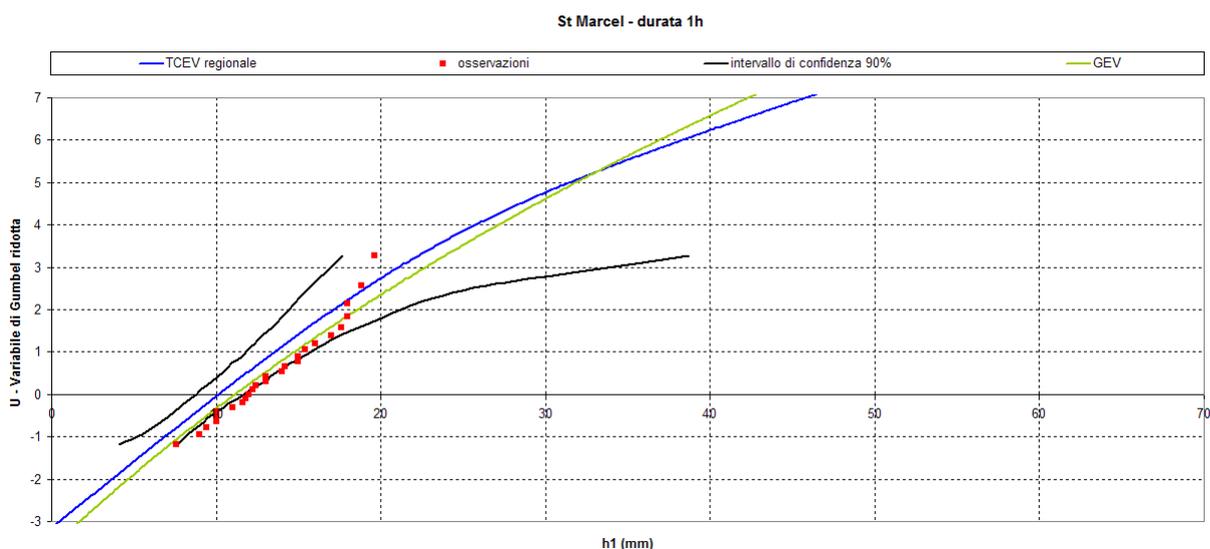


Figura 110: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Marcel, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

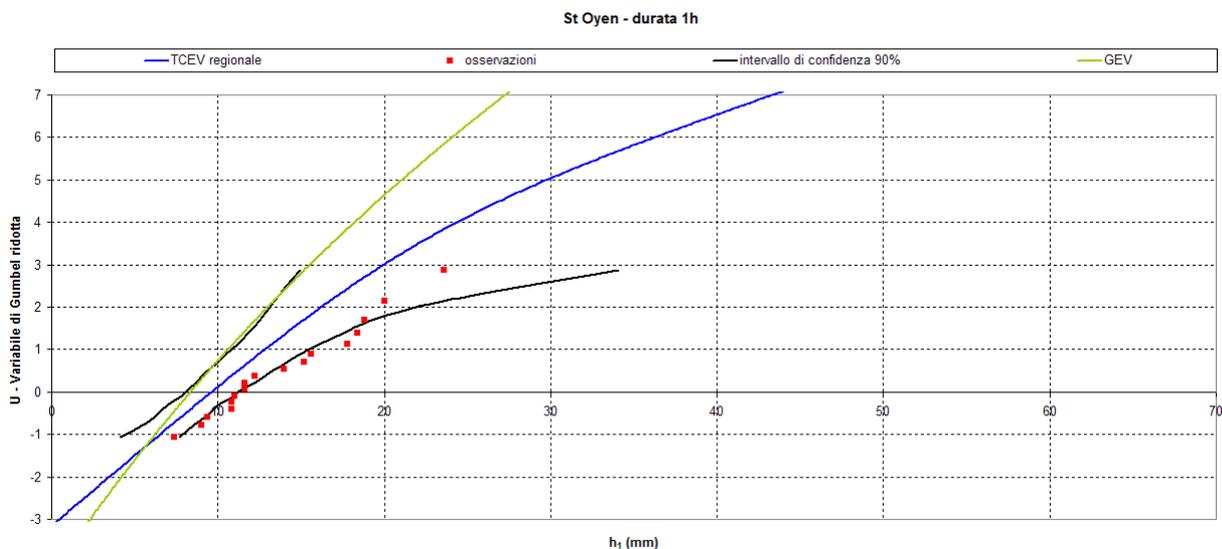


Figura 111: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Owen, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

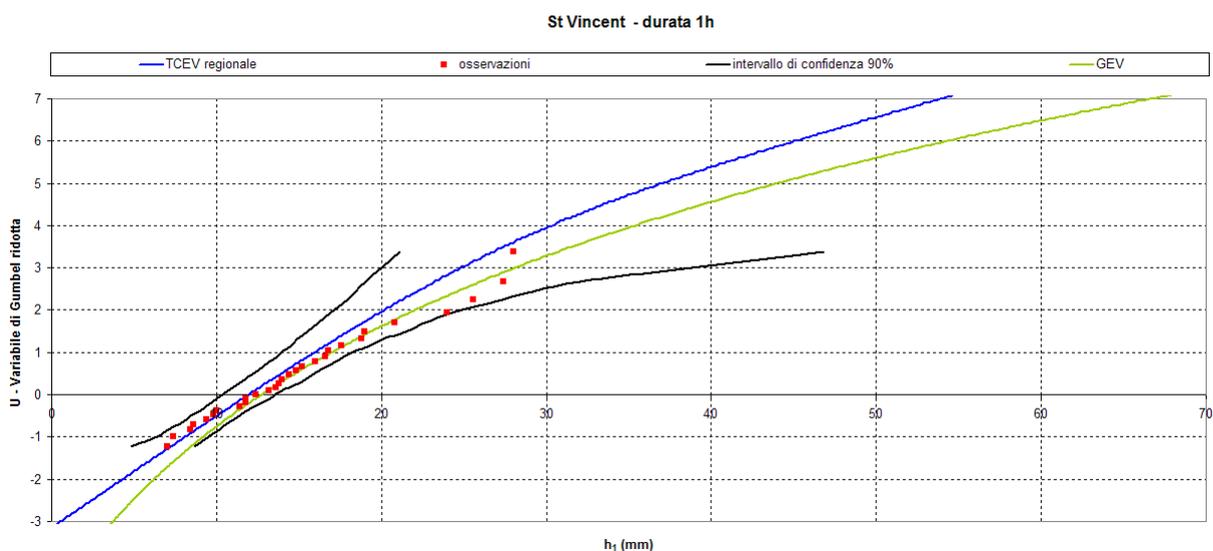


Figura 112: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Vincent, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

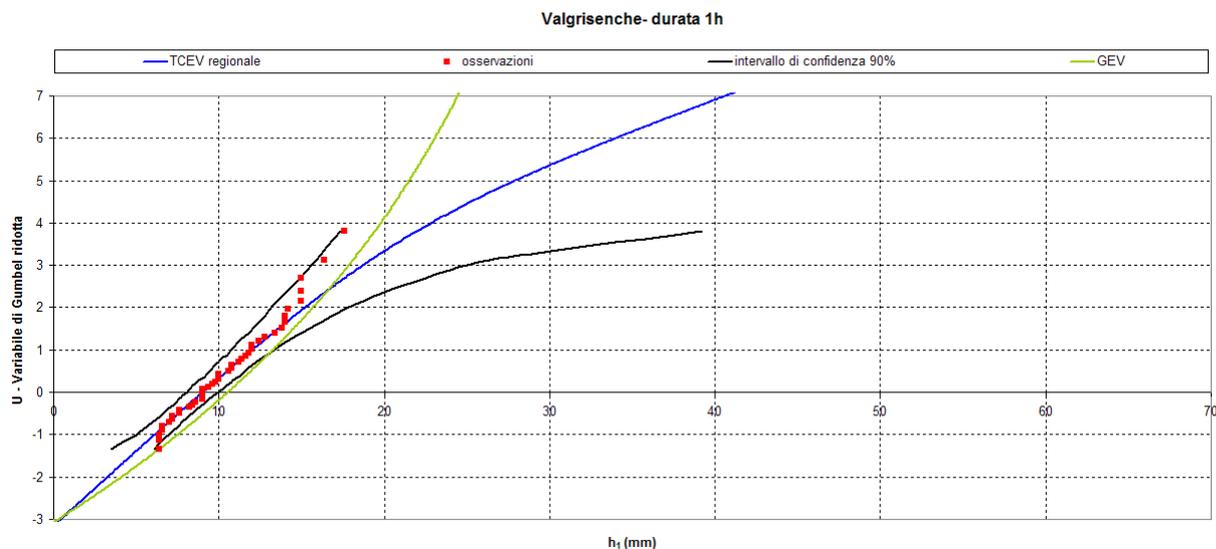


Figura 113: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Valgrisenche, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

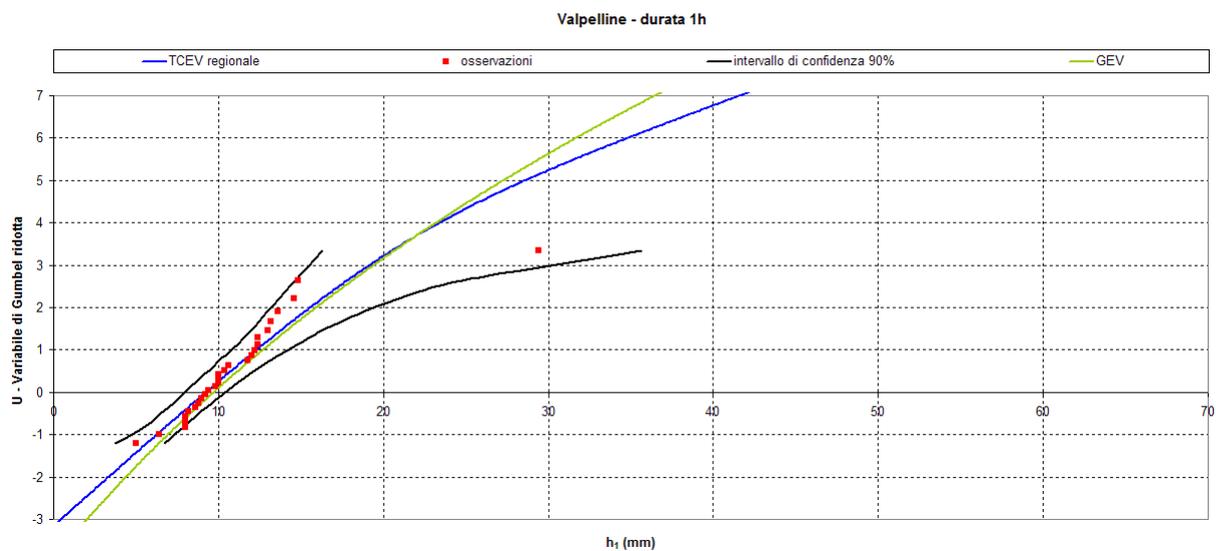


Figura 114: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Valpelline, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

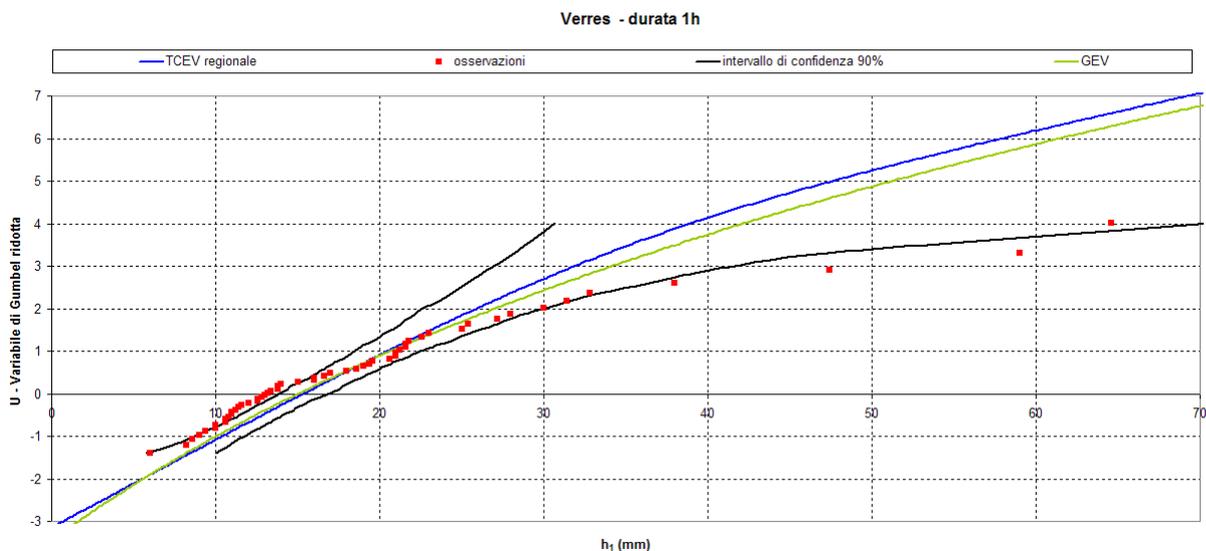


Figura 115: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Verres, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

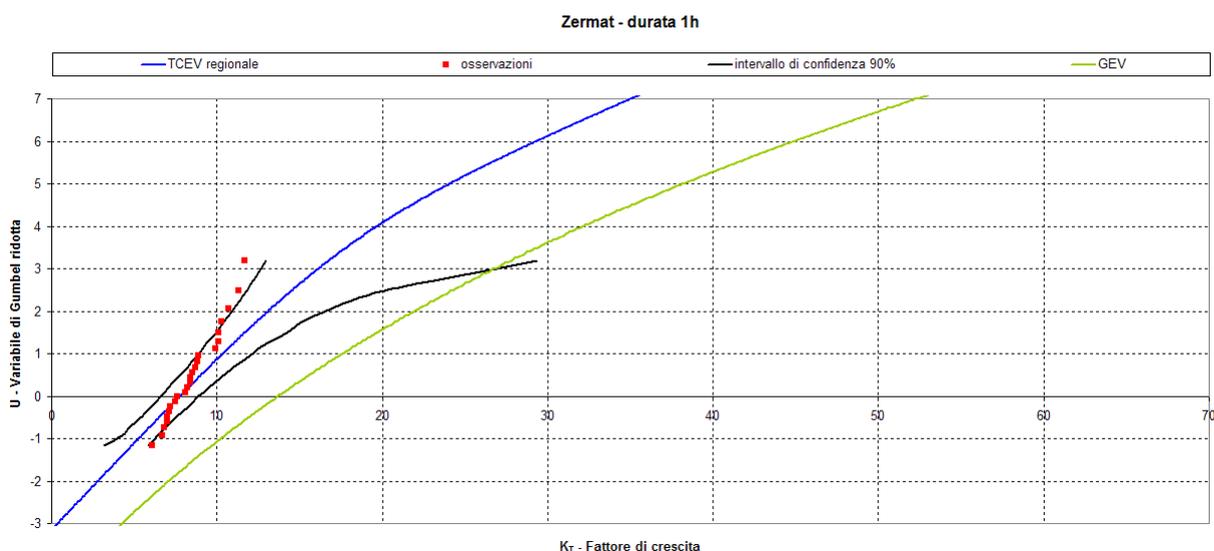


Figura 116: Confronto puntuale per la durata di 1 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Zermatt, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) e dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero).

9 APPENDICE D: CONFRONTO PUNTUALE DATI OSSERVATI, TCEV E GEV REGIONE VALLE D'AOSTA DURATA 24 ORE

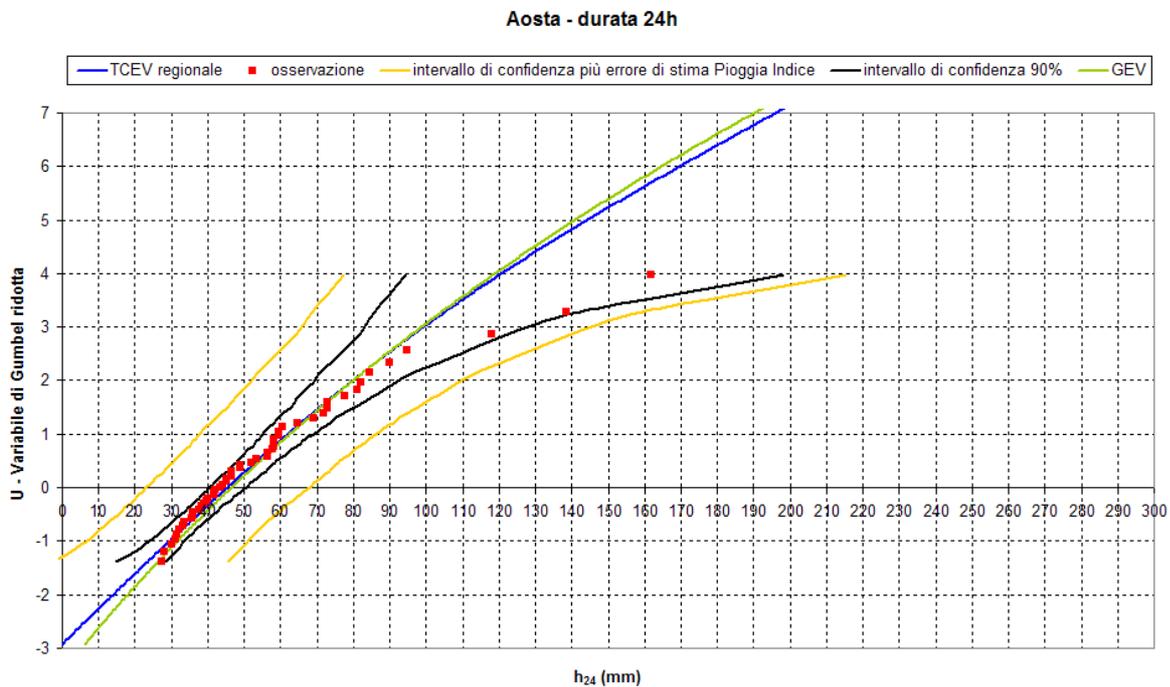


Figura 117: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aosta, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

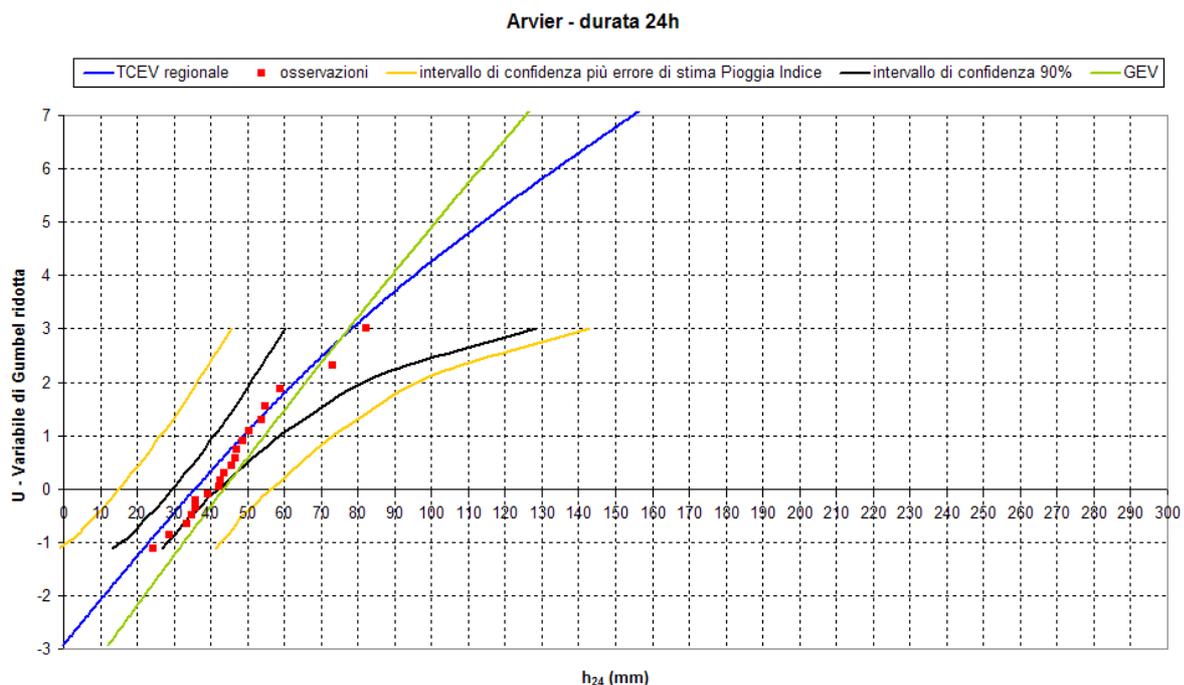


Figura 118: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Arvier, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

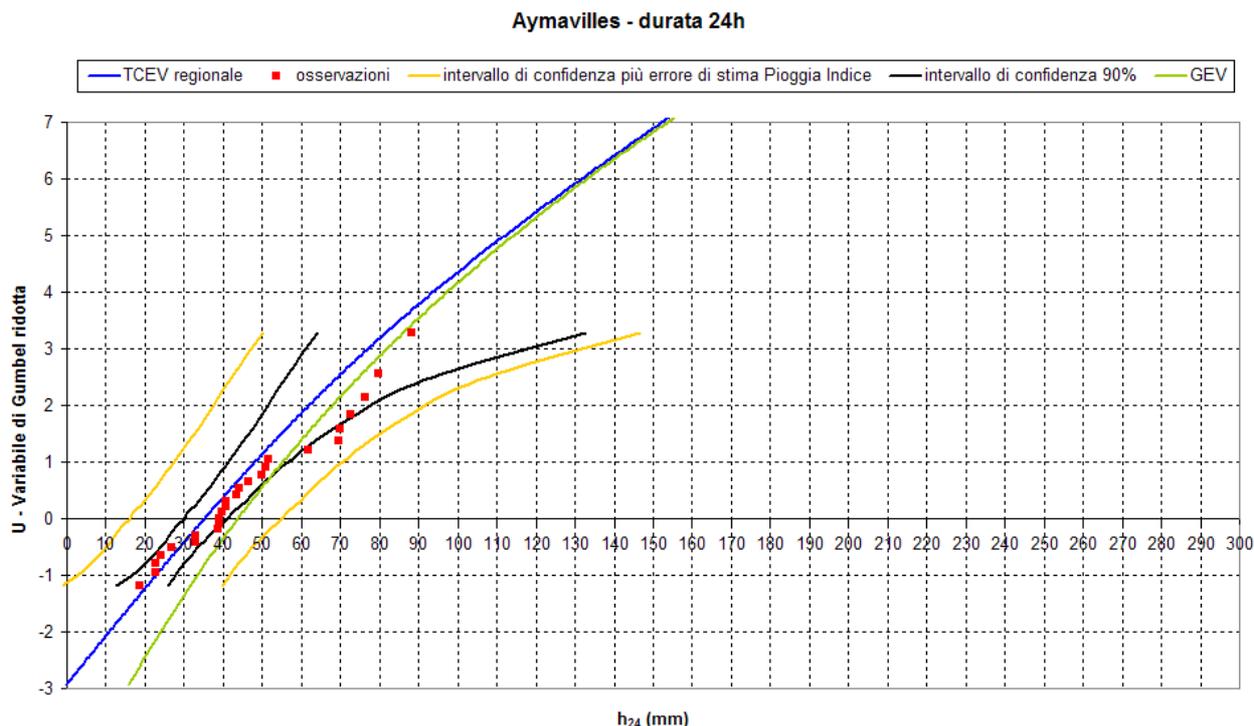


Figura 119: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Aymavilles, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

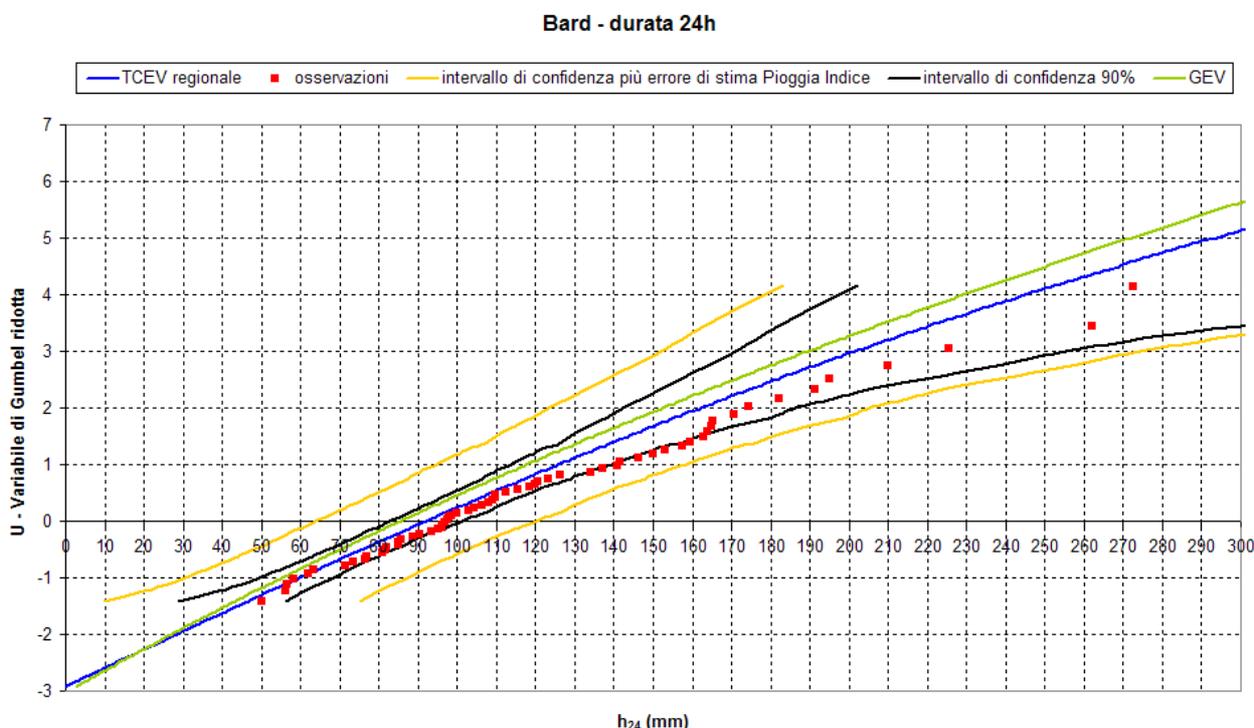


Figura 120: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Bard, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

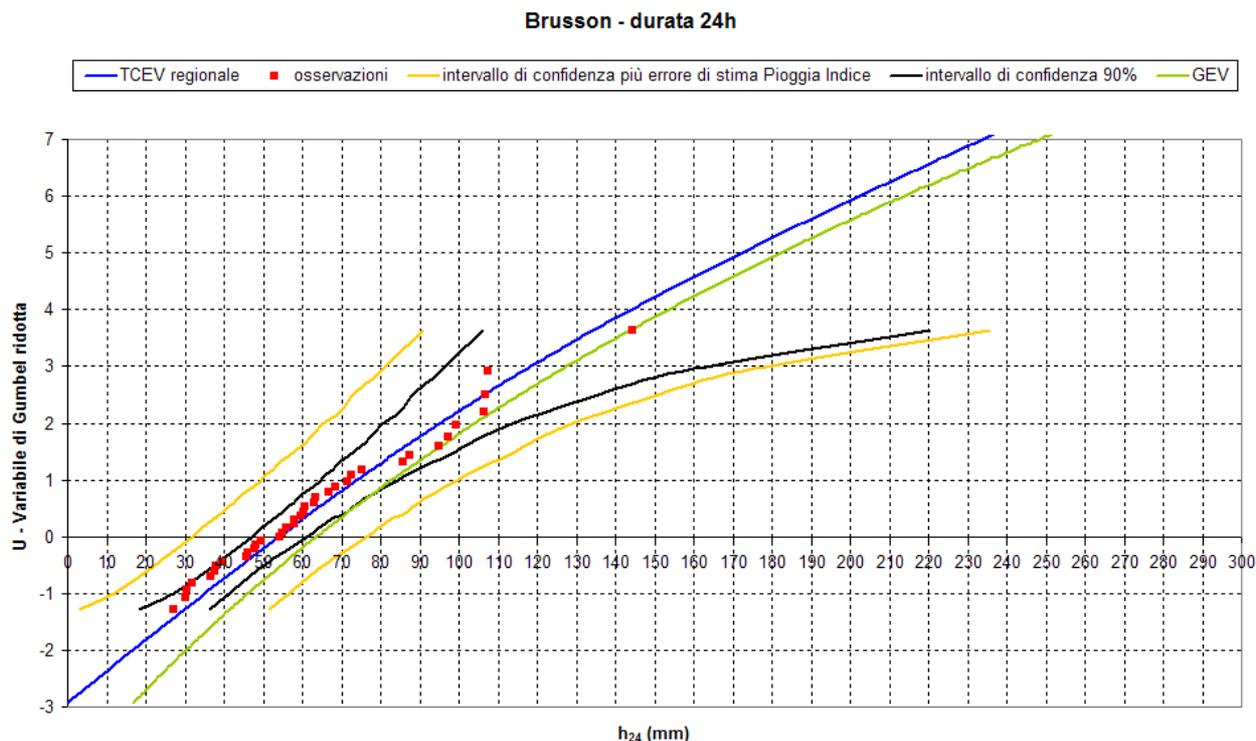


Figura 121: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Brusson, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

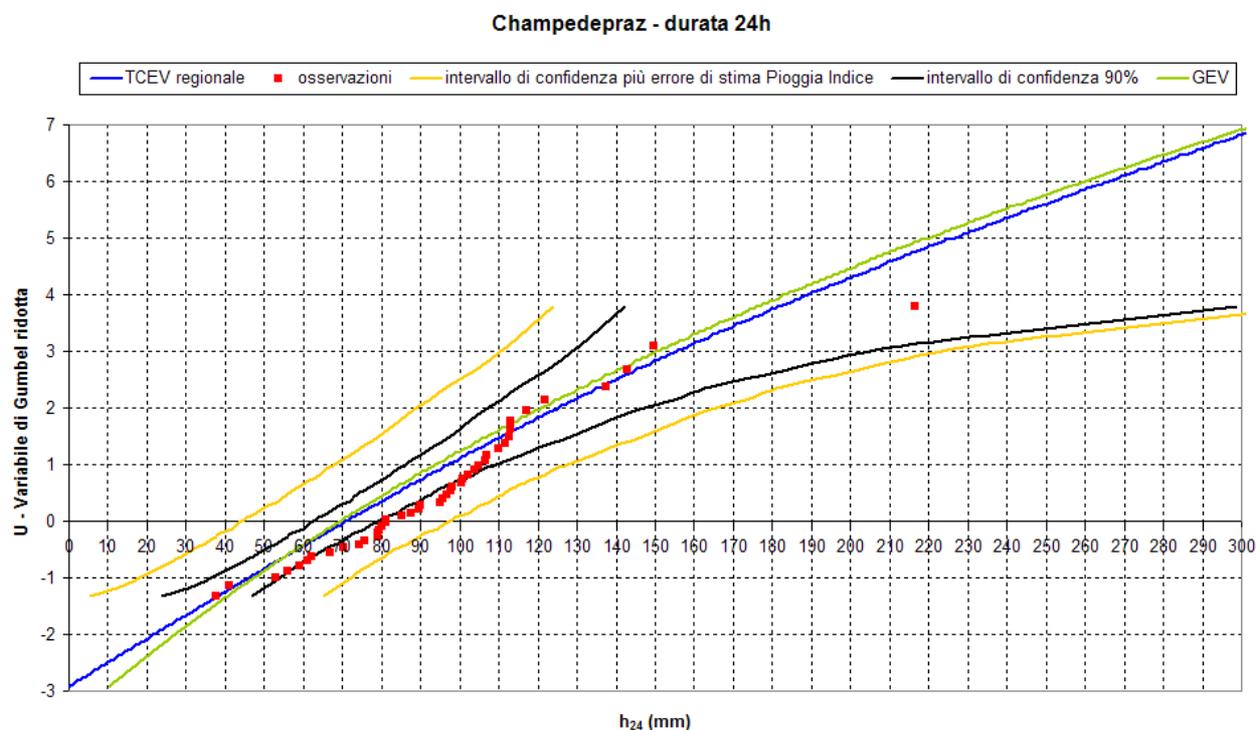


Figura 122: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Champedepraz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

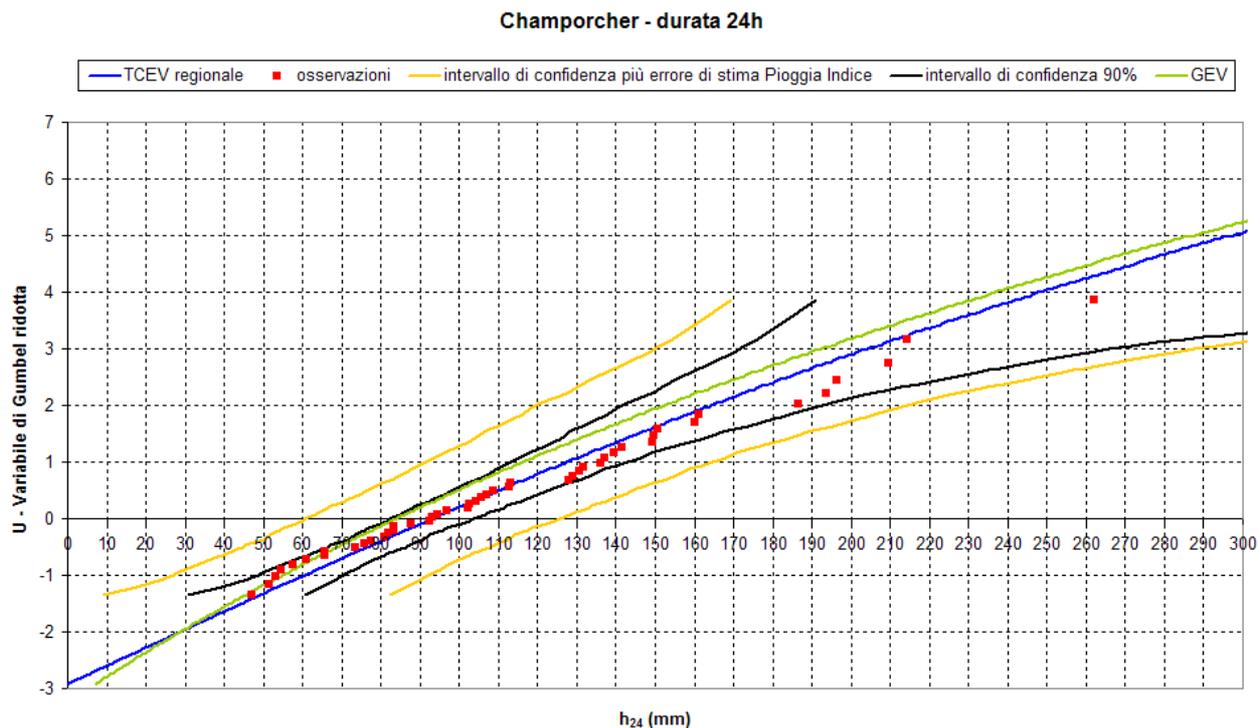


Figura 123: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Champorcher, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso, dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

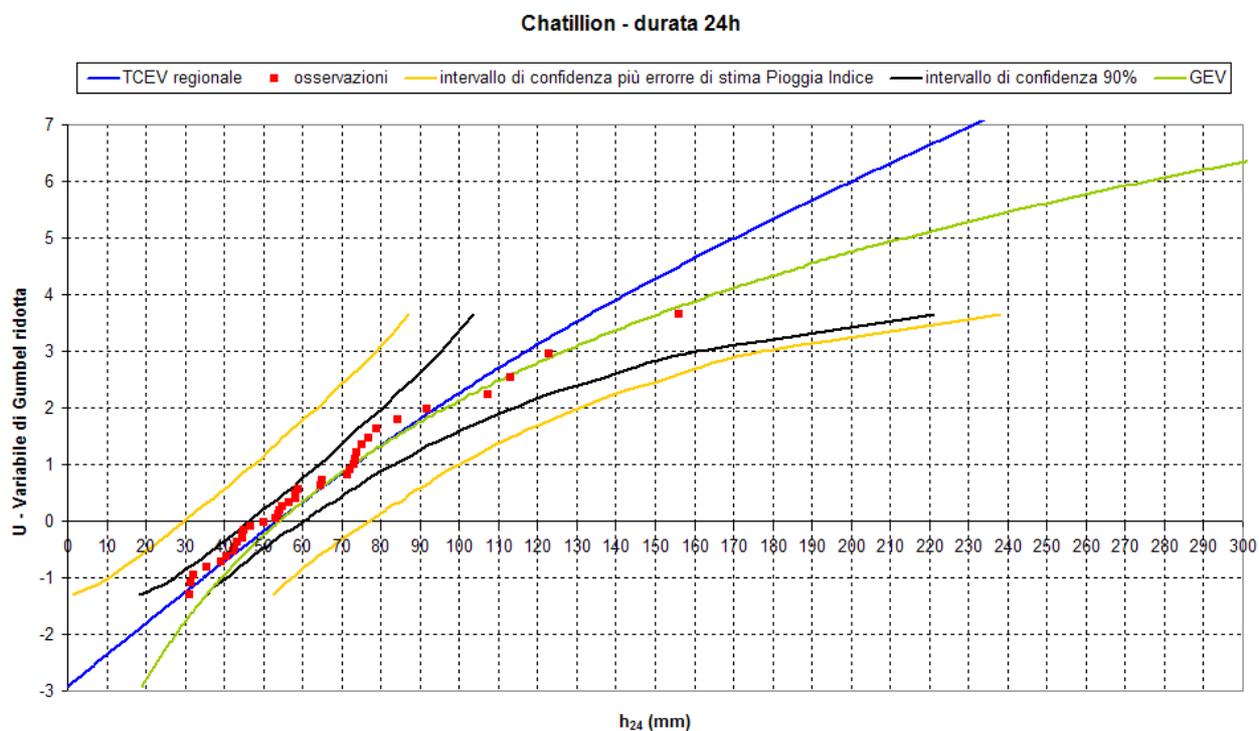


Figura 124: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Chatillion, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

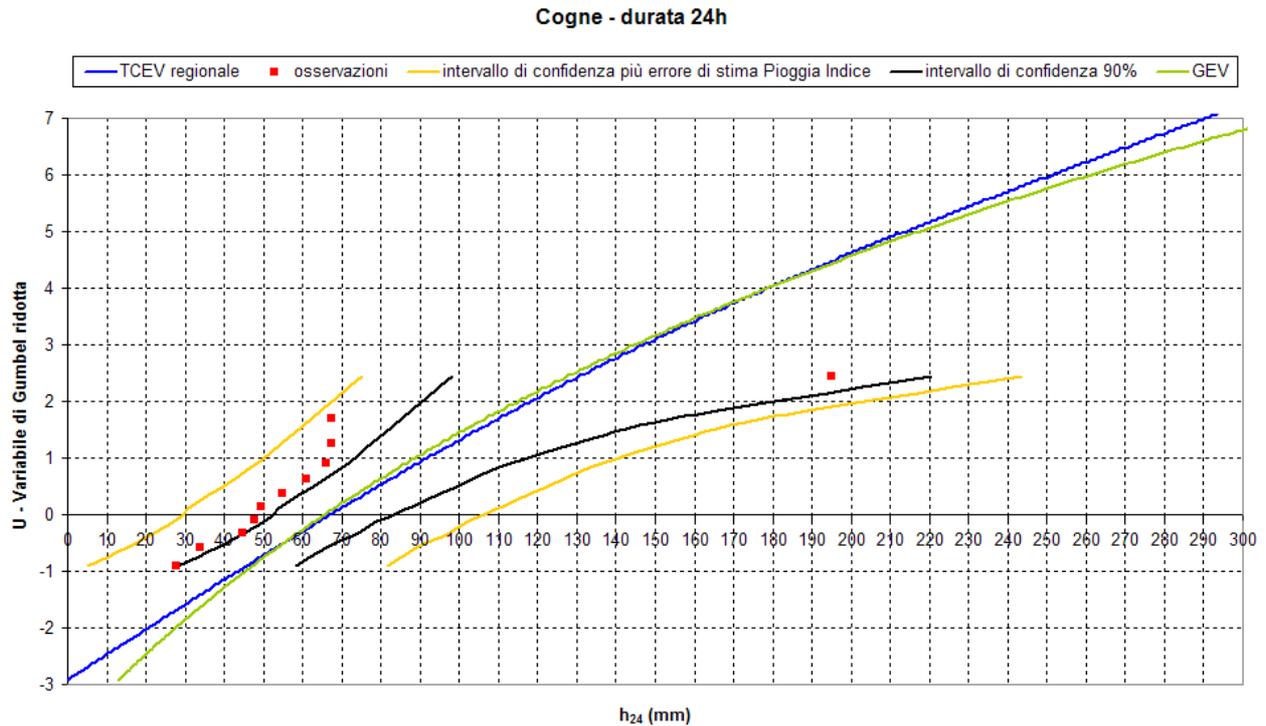


Figura 125: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Cogne, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

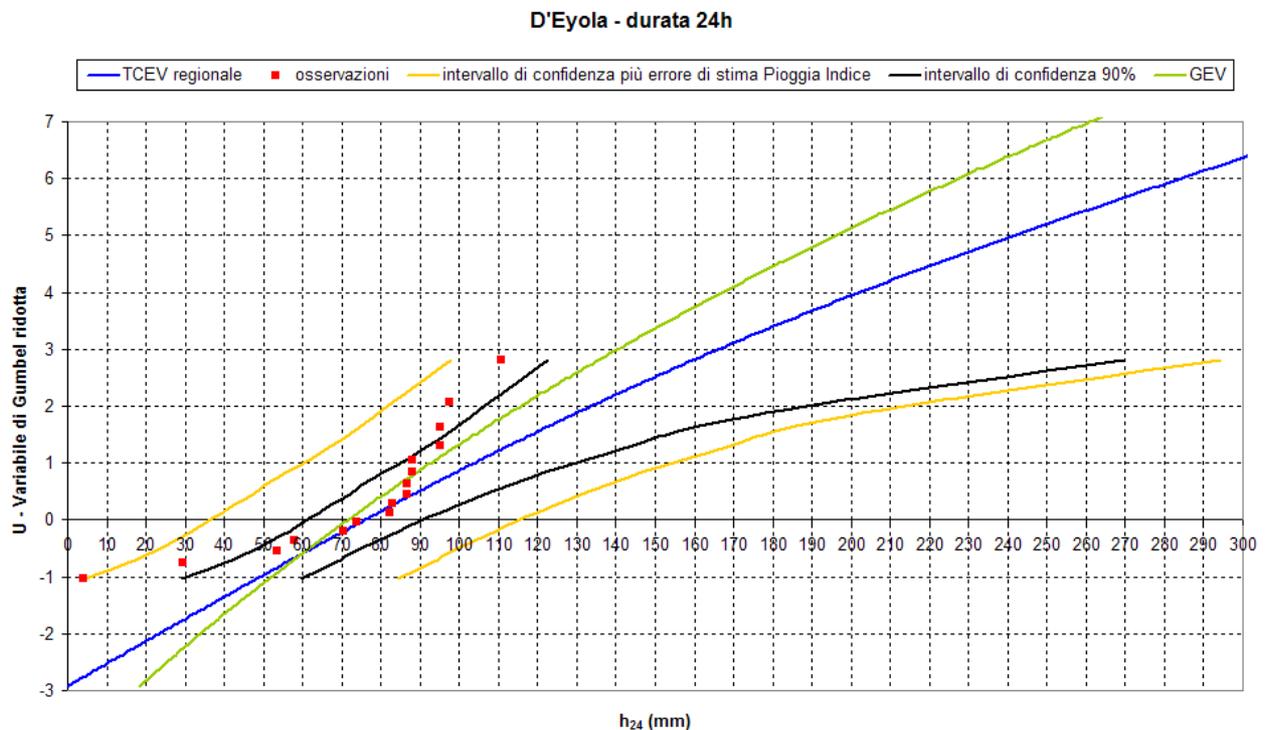


Figura 126: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di D'Eyola, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

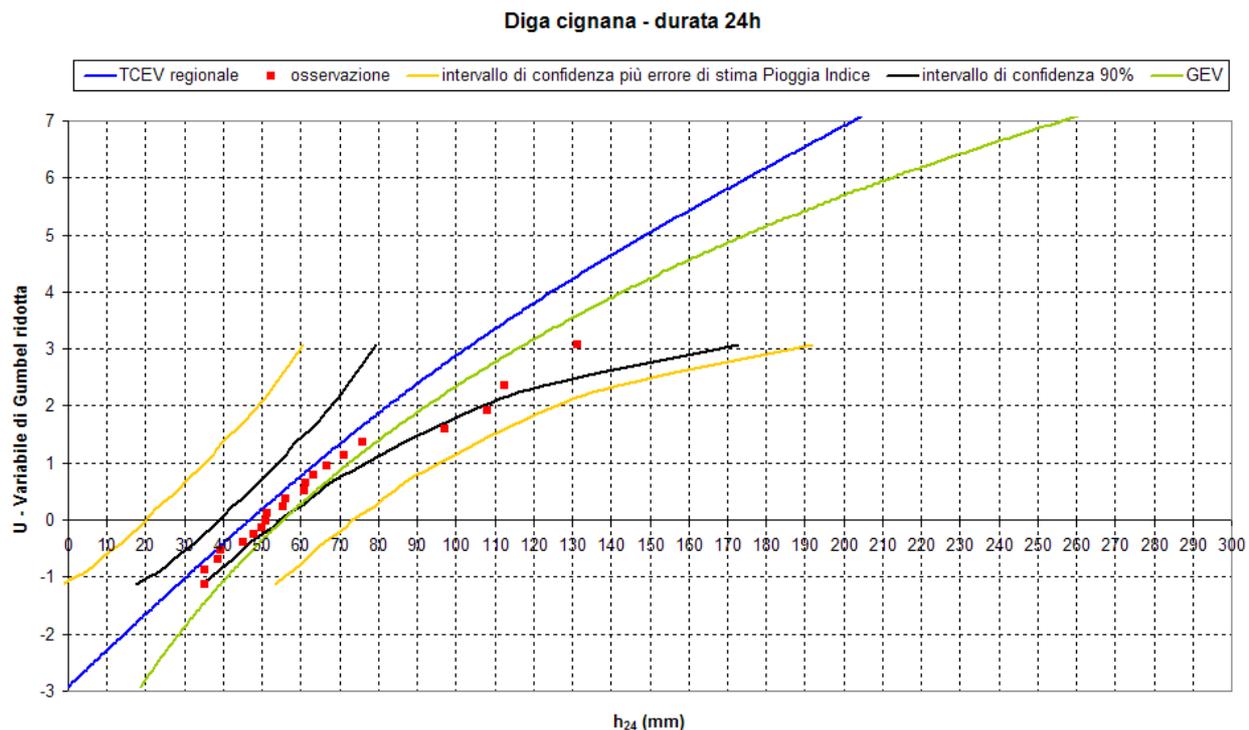


Figura 127: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Diga Cignana, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

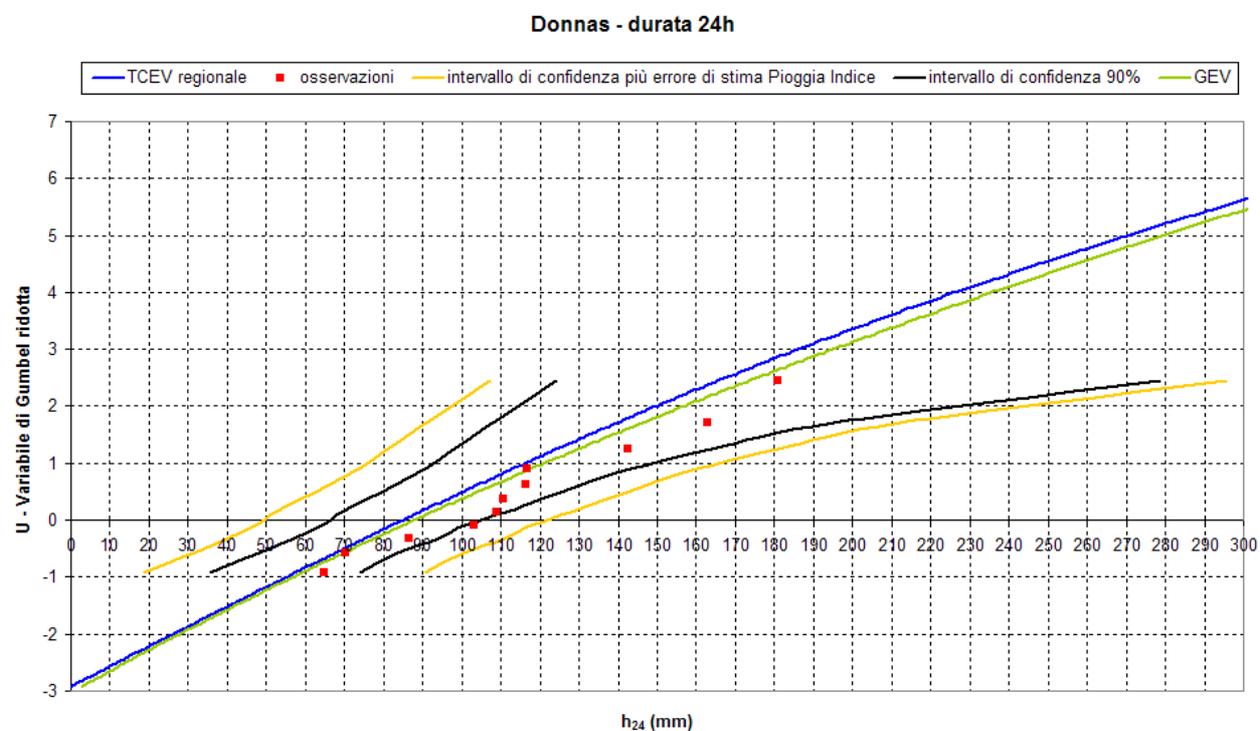


Figura 128: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Diga Donnas, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

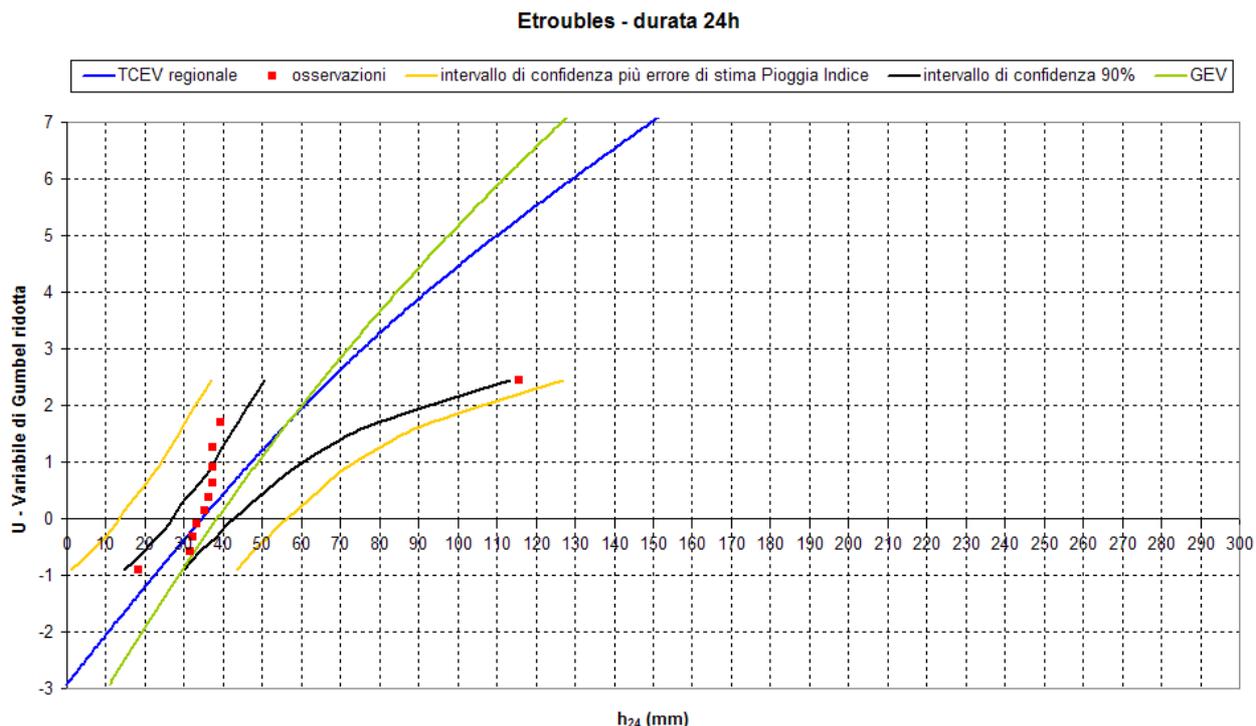


Figura 129: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Etroubles, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

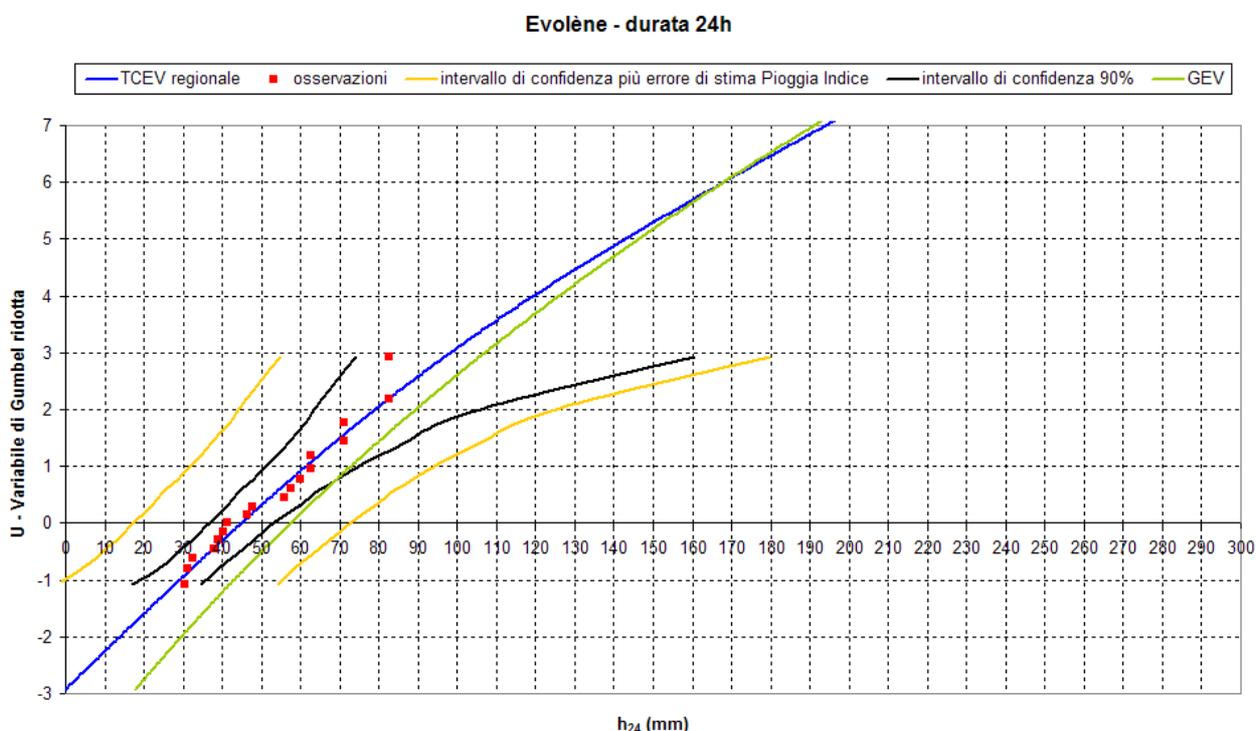


Figura 130: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Evolène, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

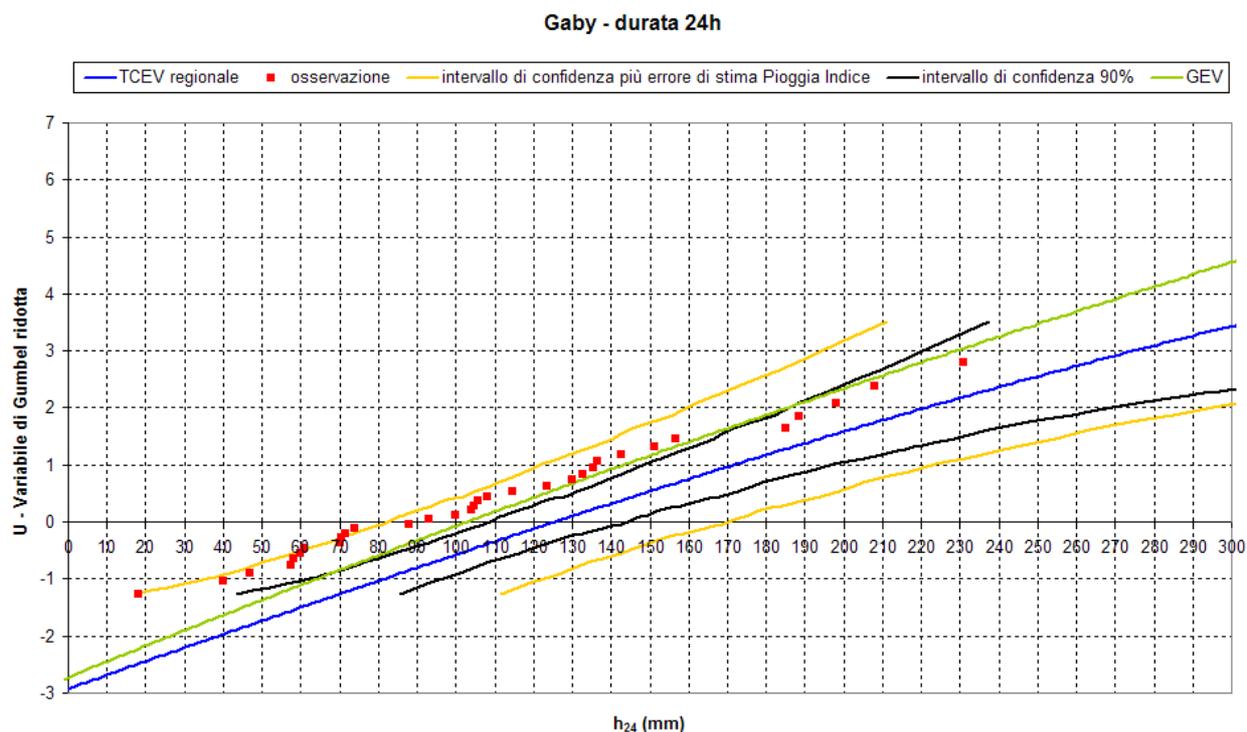


Figura 131: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gaby, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).



Figura 132: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gran Tete, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

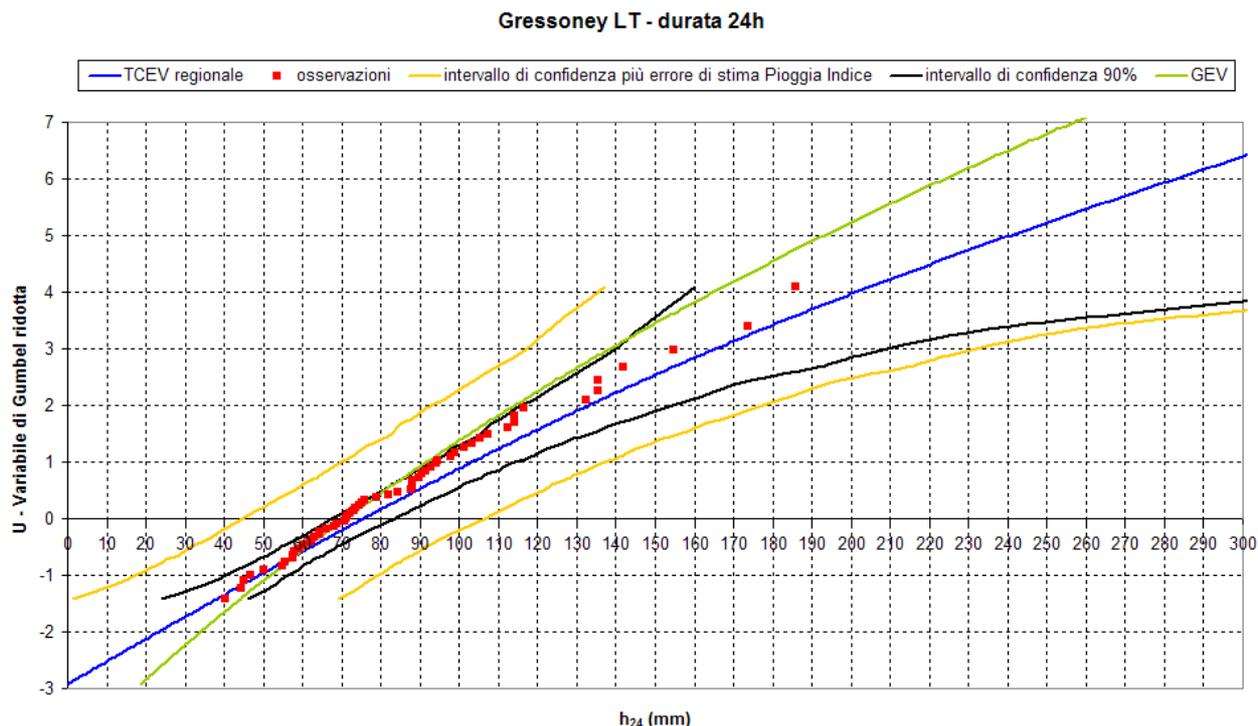


Figura 133: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney LT, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

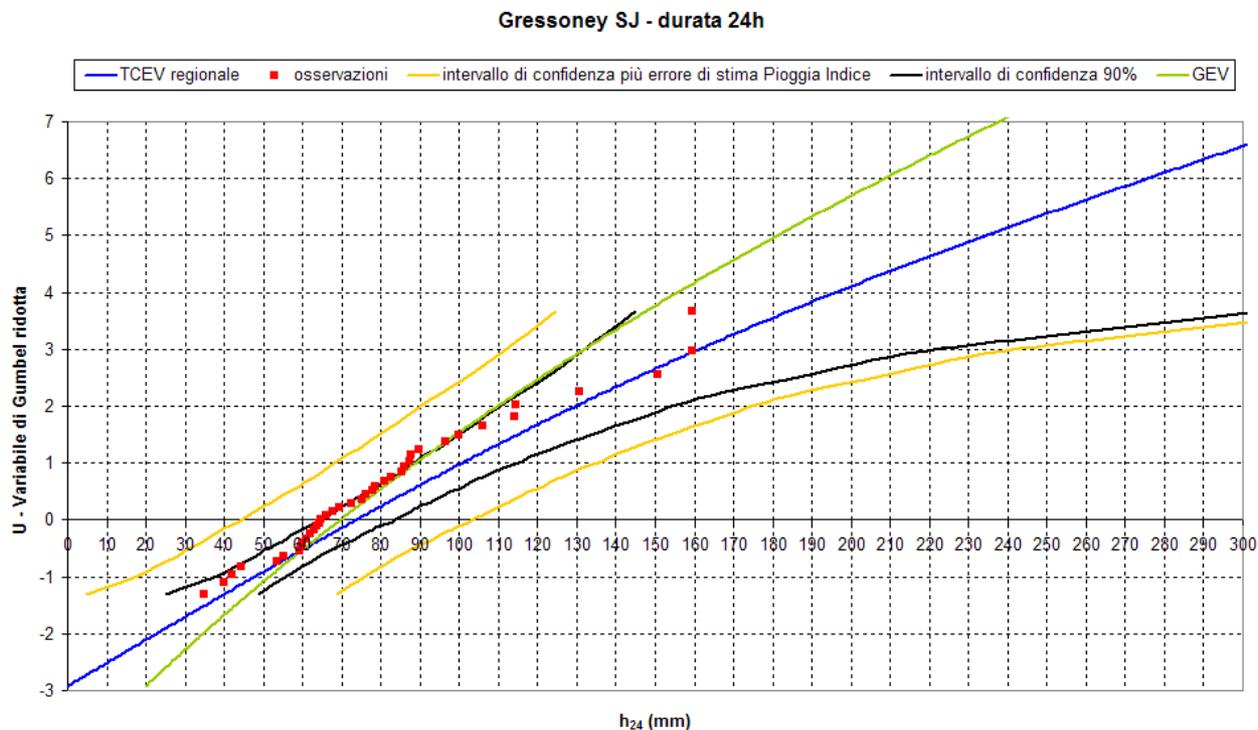


Figura 134: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gressoney SJ, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

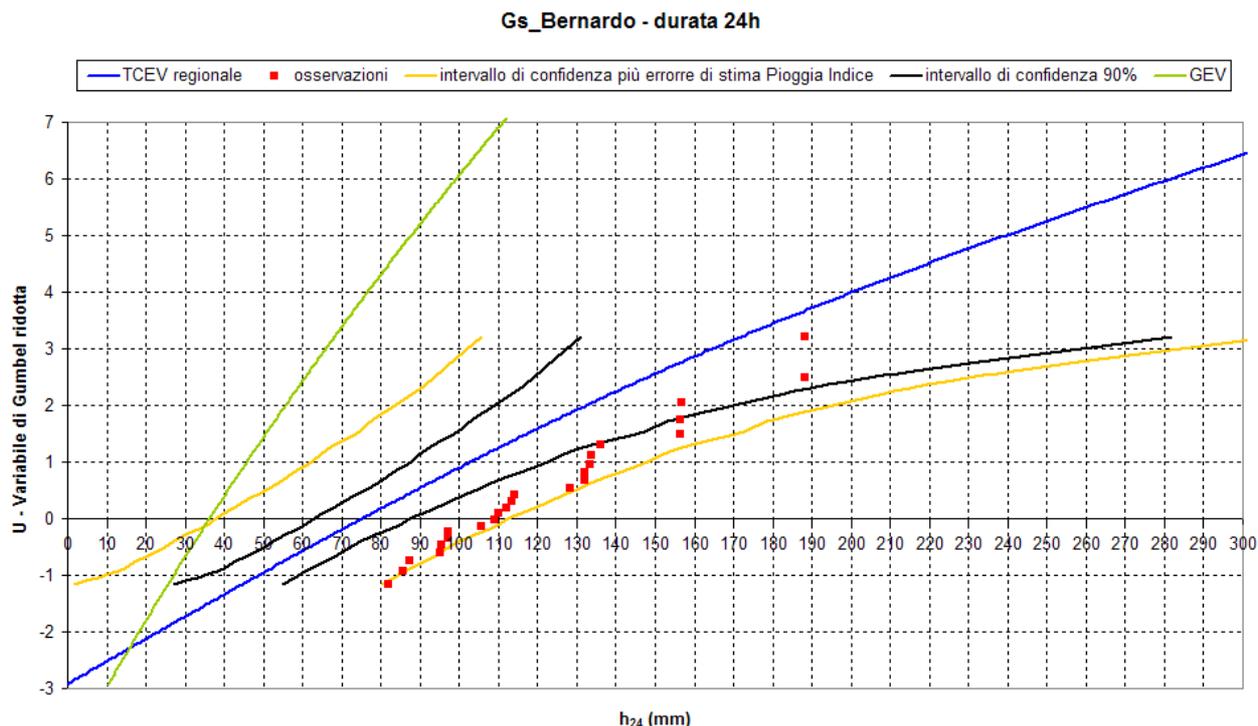


Figura 135: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Gs Bernardo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

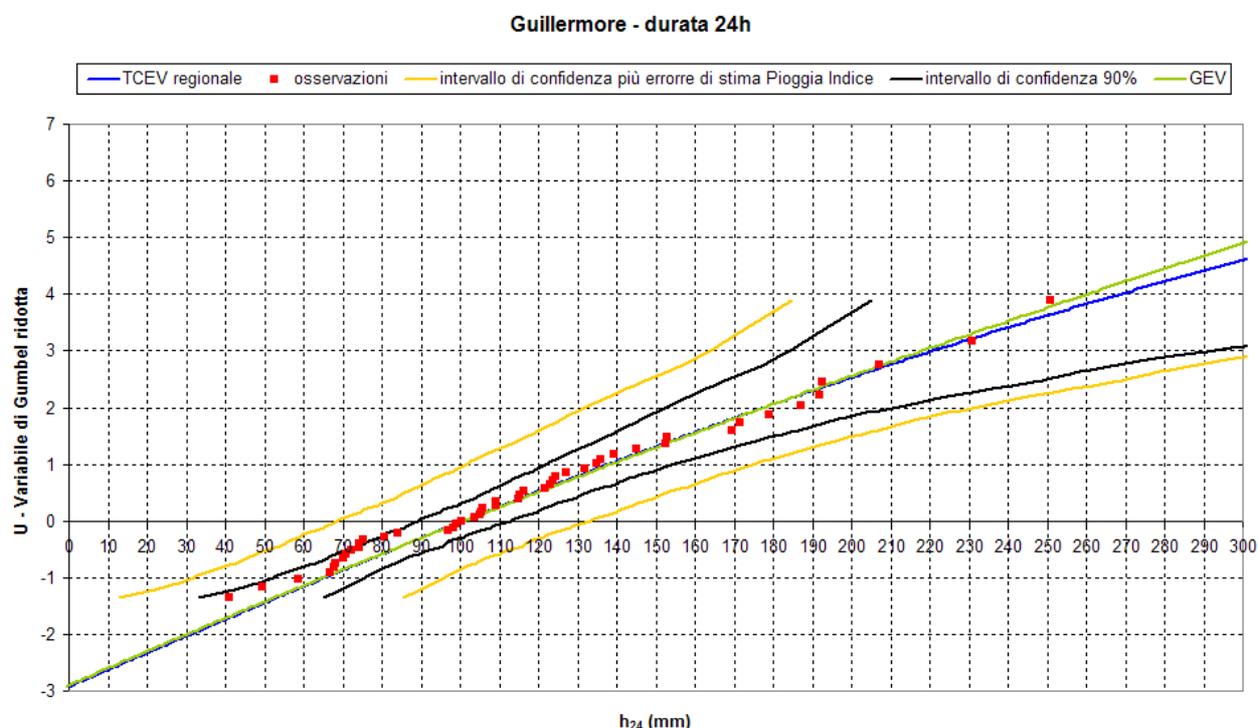


Figura 136: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Guillermore, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

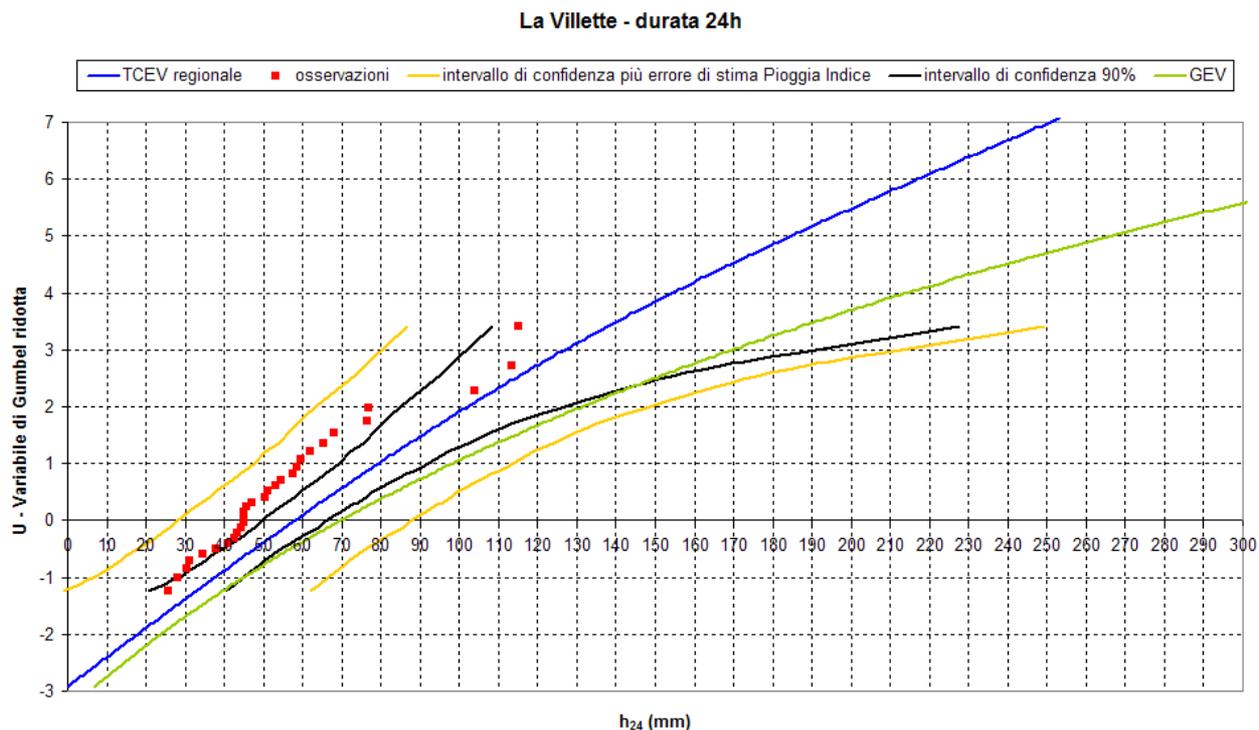


Figura 137: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di La Villette, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) , dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

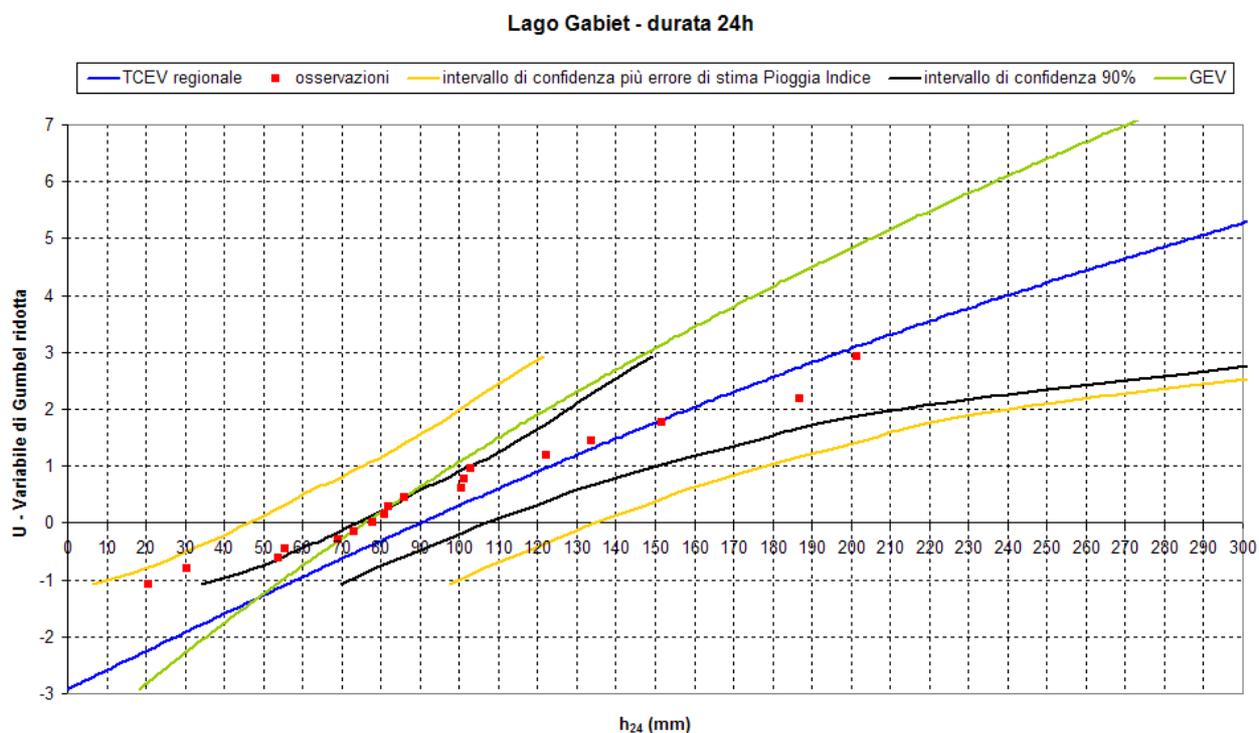


Figura 138: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lago Gabiet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) , dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

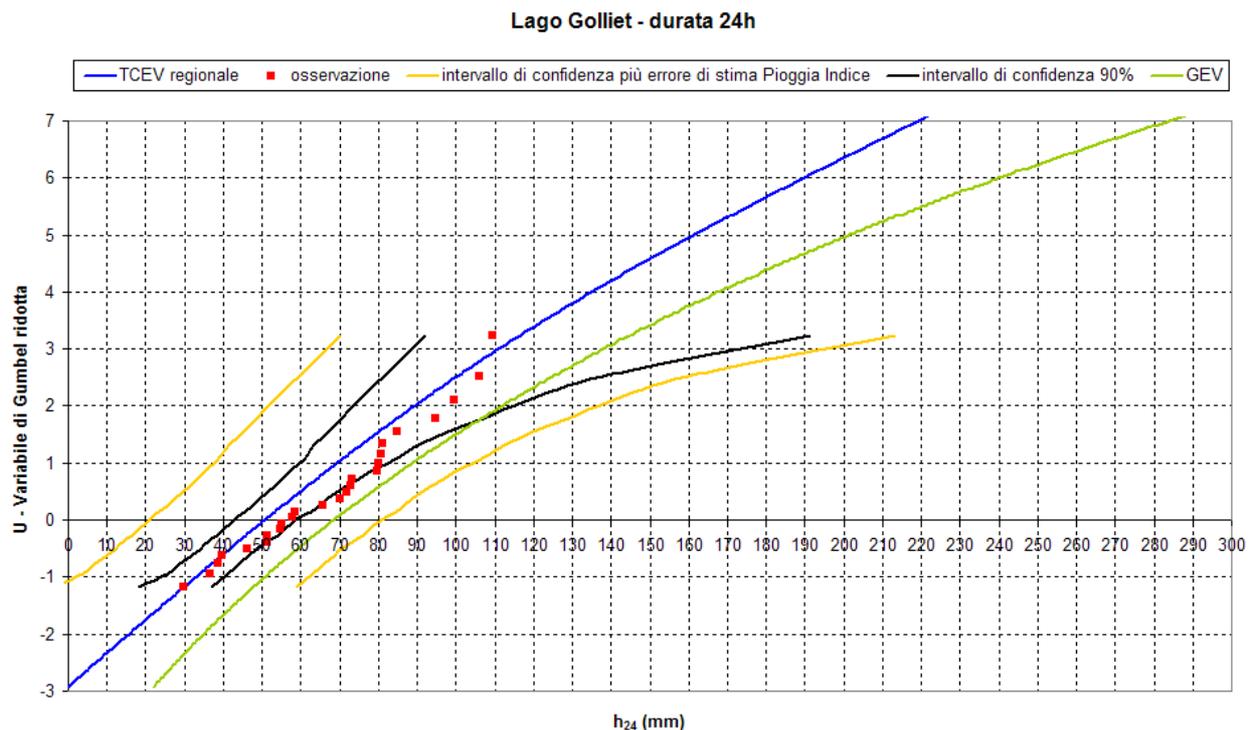


Figura 139: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lago Golliet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

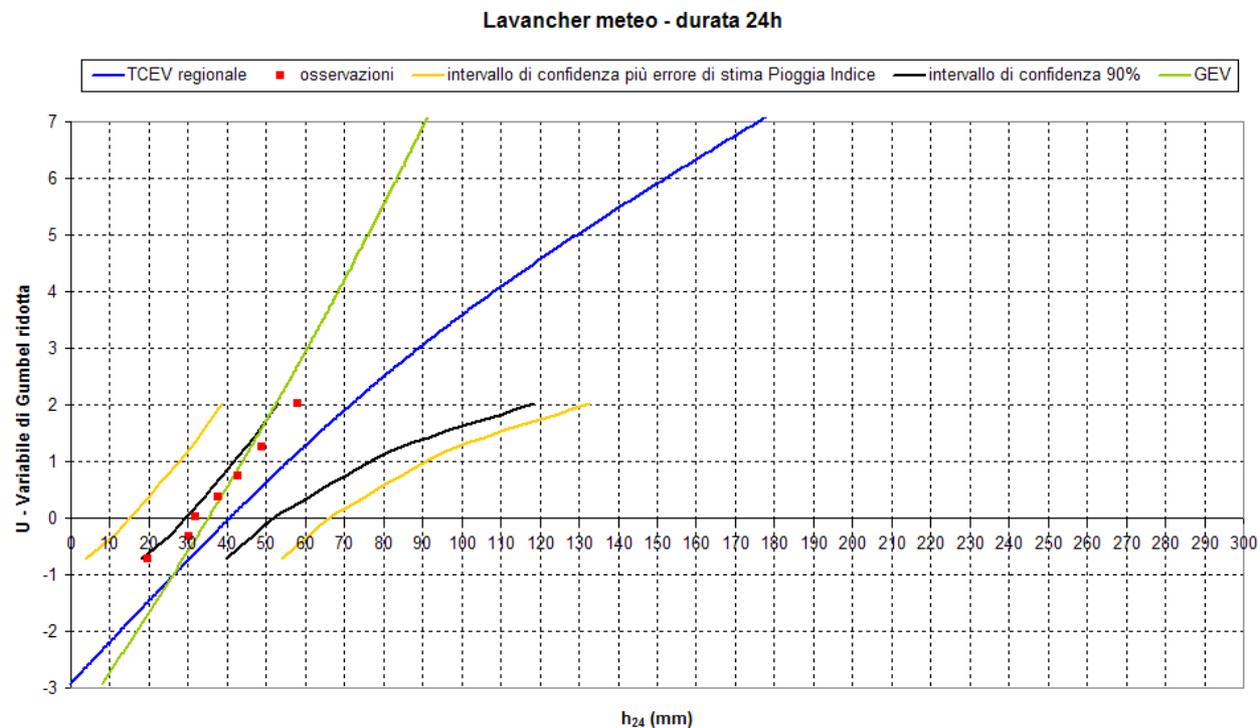


Figura 140: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lavancher Meteo, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

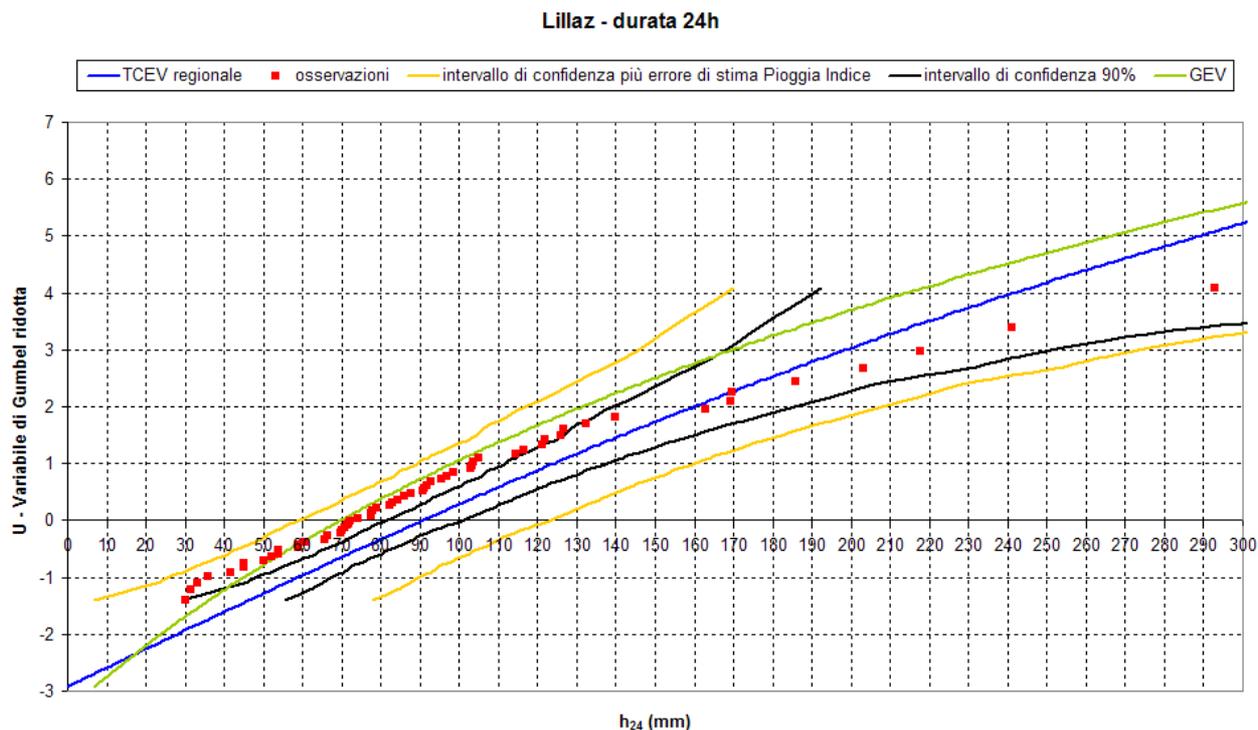


Figura 141: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Lillaz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

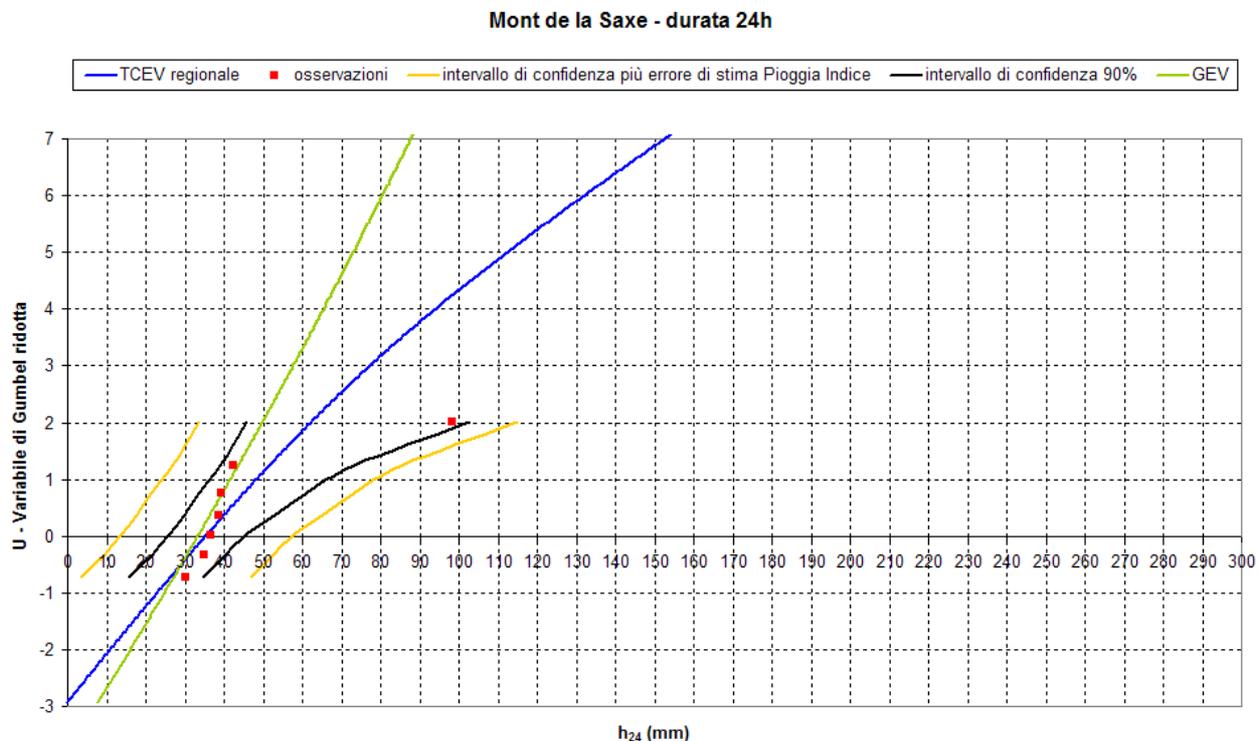


Figura 142: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Mont De La Saxe, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

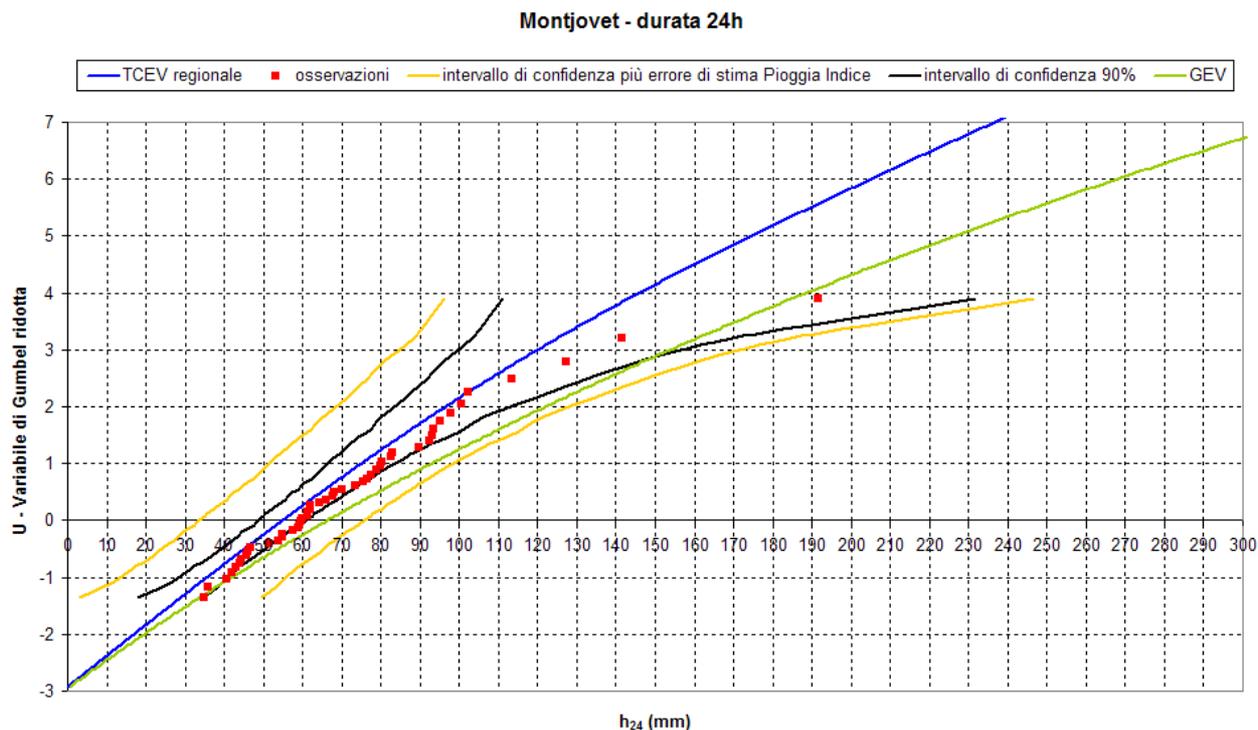


Figura 143: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Montjovet, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

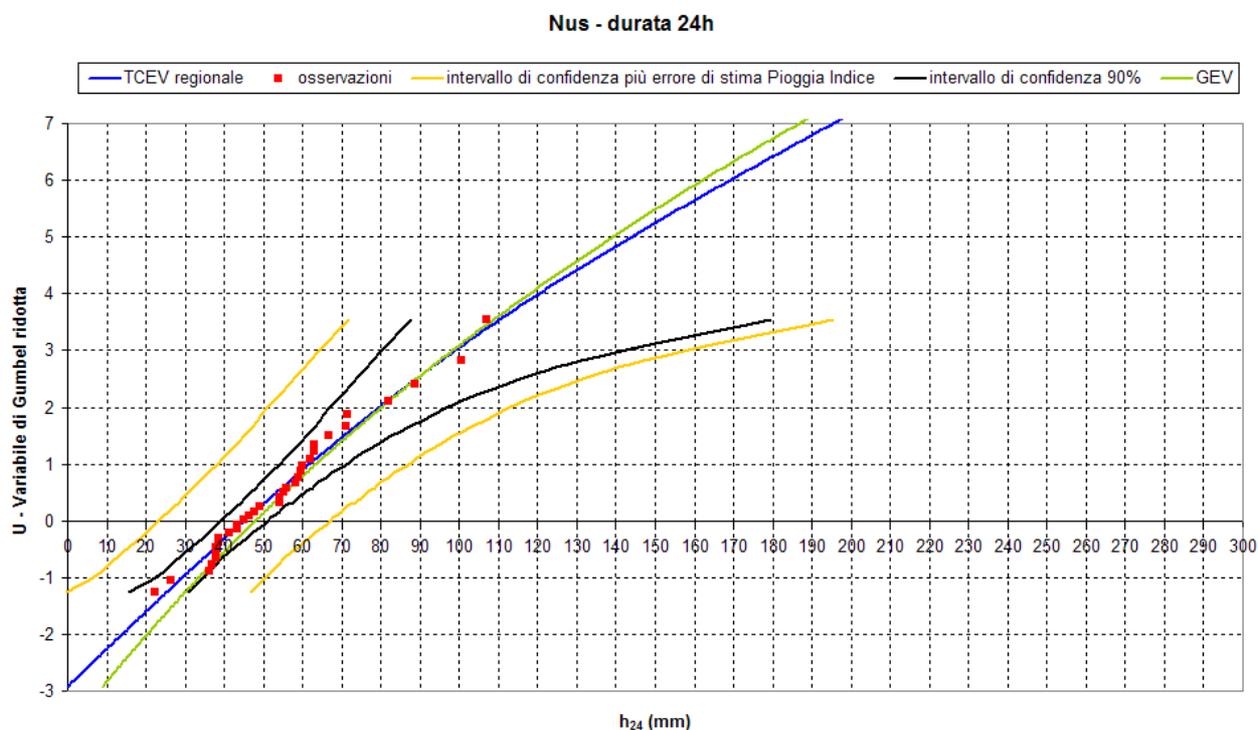


Figura 144: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Nus, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

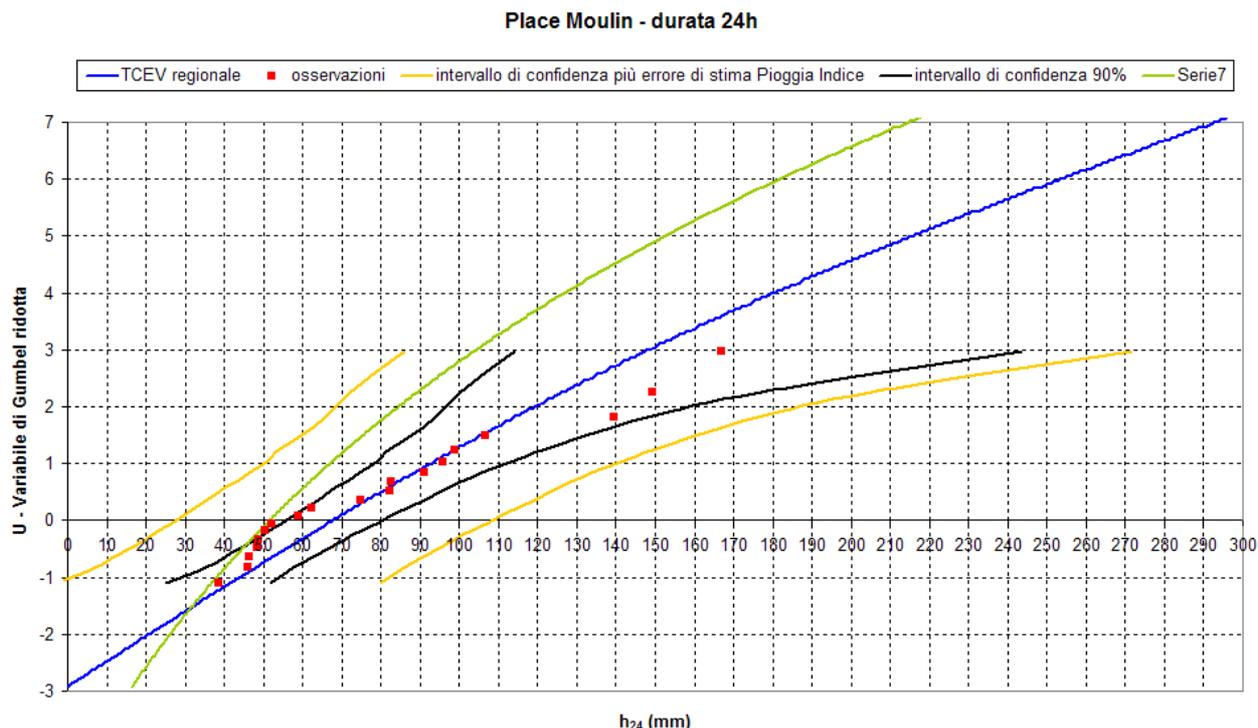


Figura 145: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Place Moulin, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

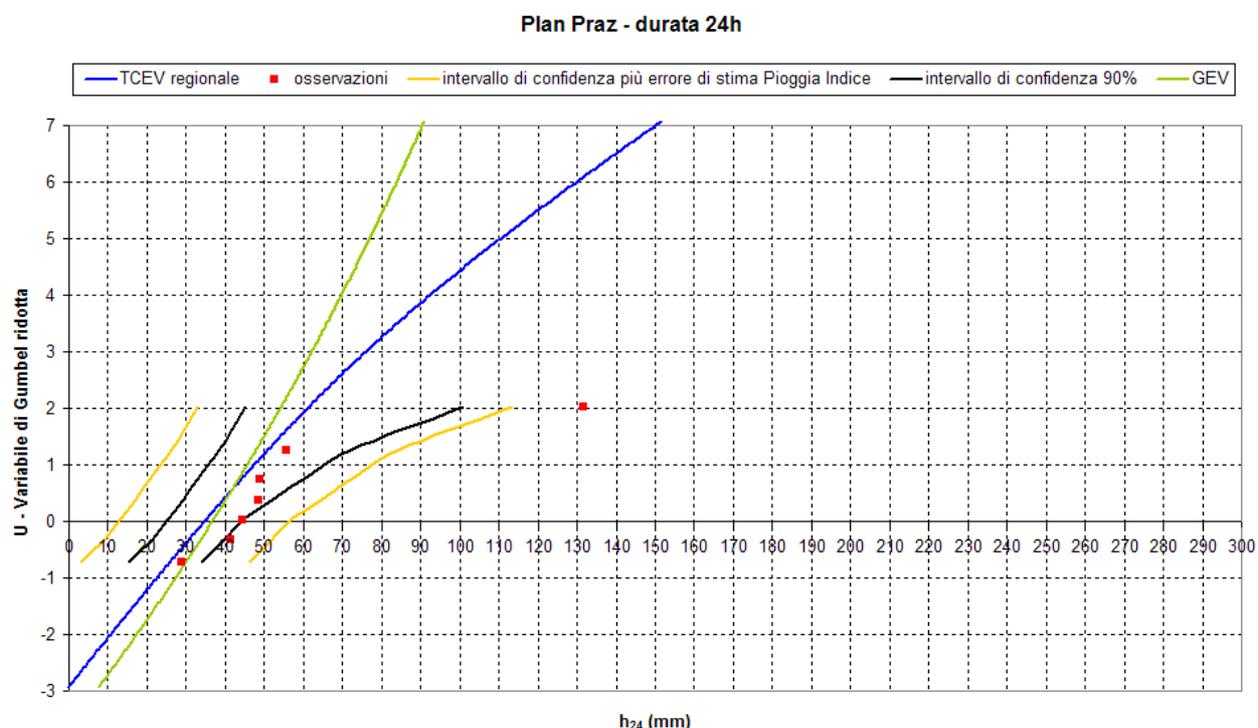


Figura 146: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Plan Praz, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

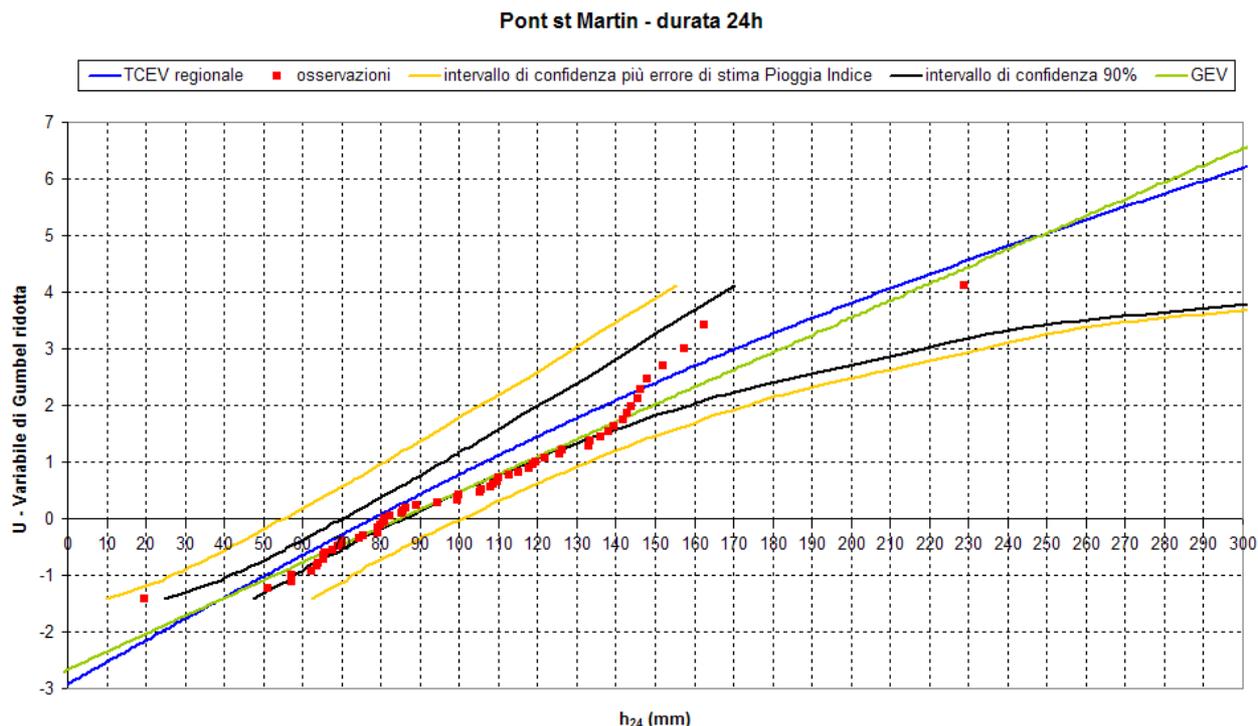


Figura 147: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Pont San Martin, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) , dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

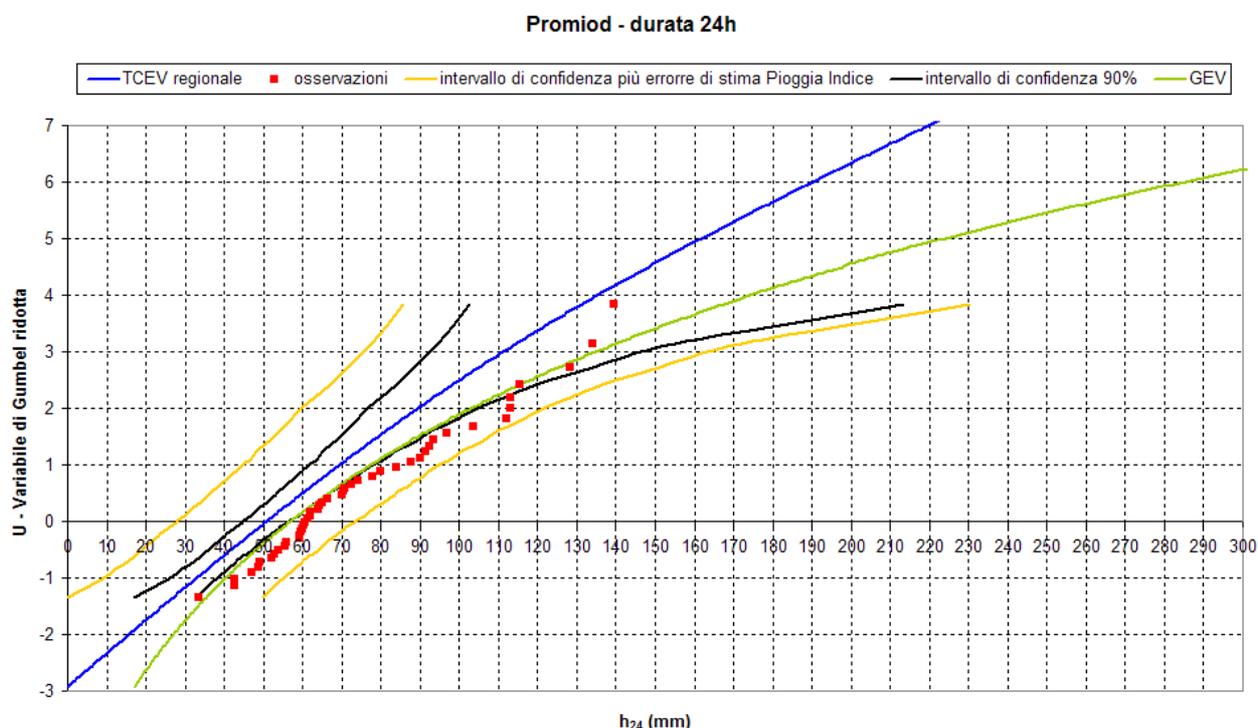


Figura 148: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Promiod, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso) , dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

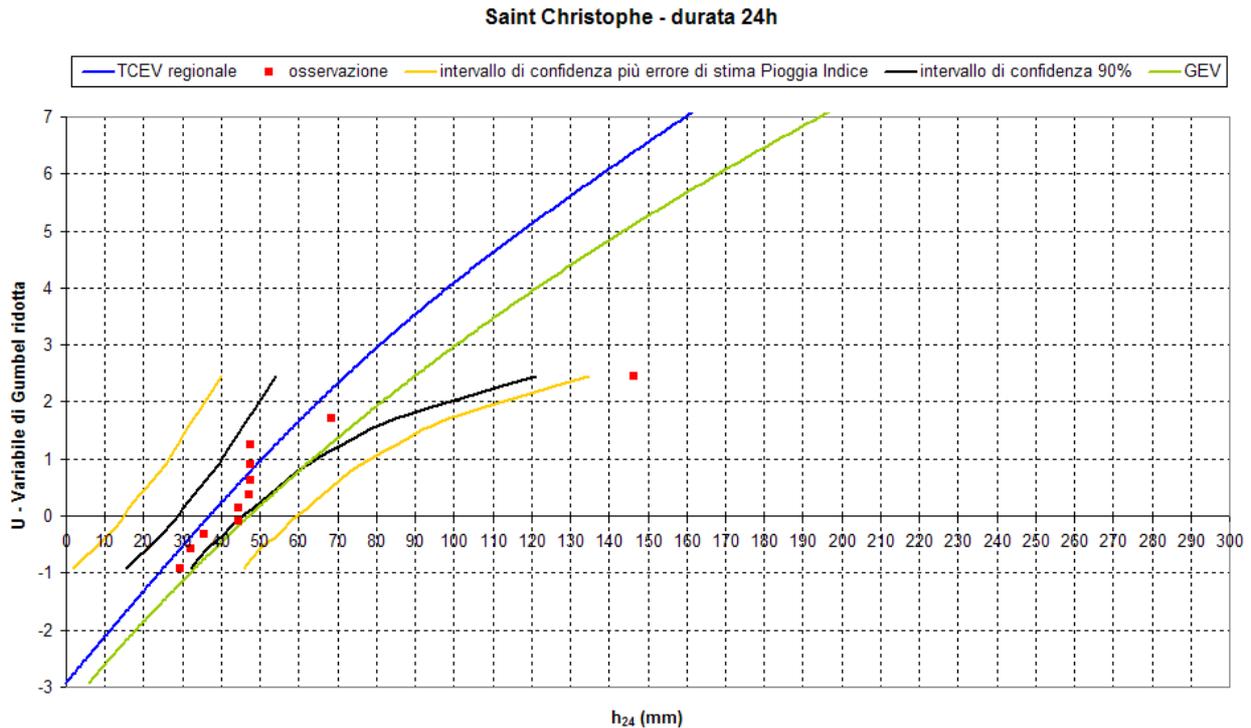


Figura 149: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Saint Christophe, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

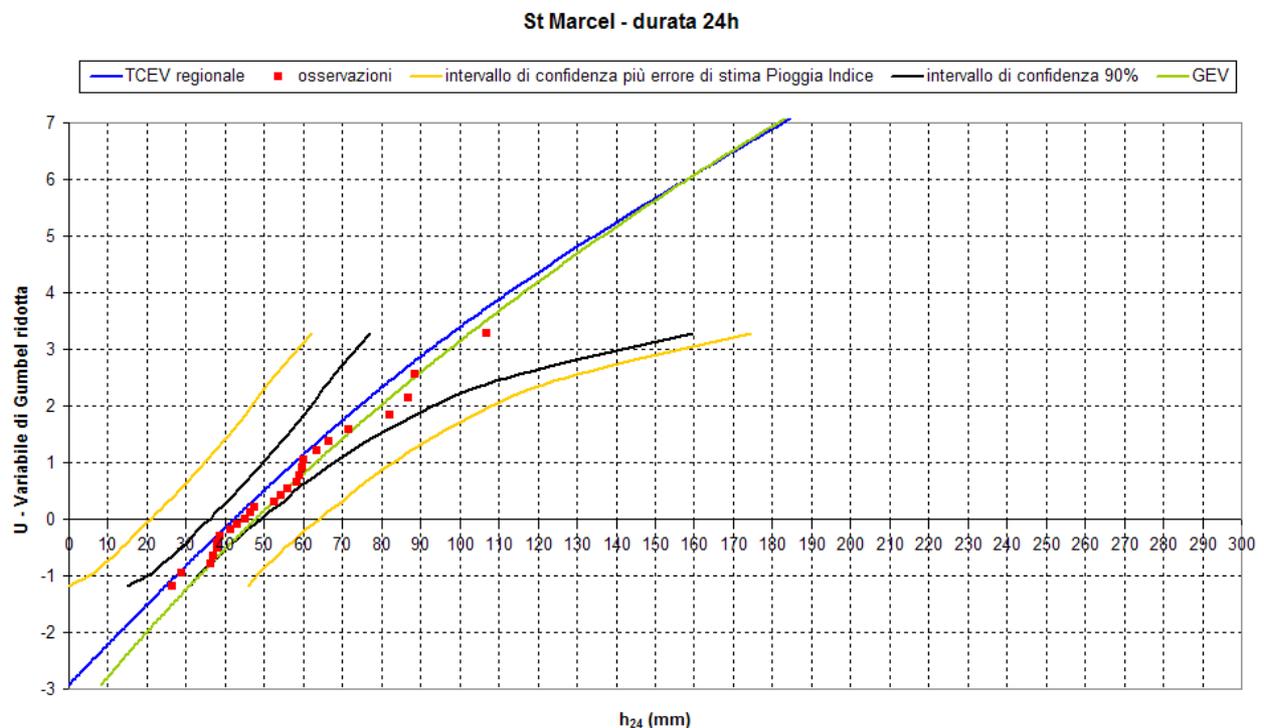


Figura 150: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Marcel, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

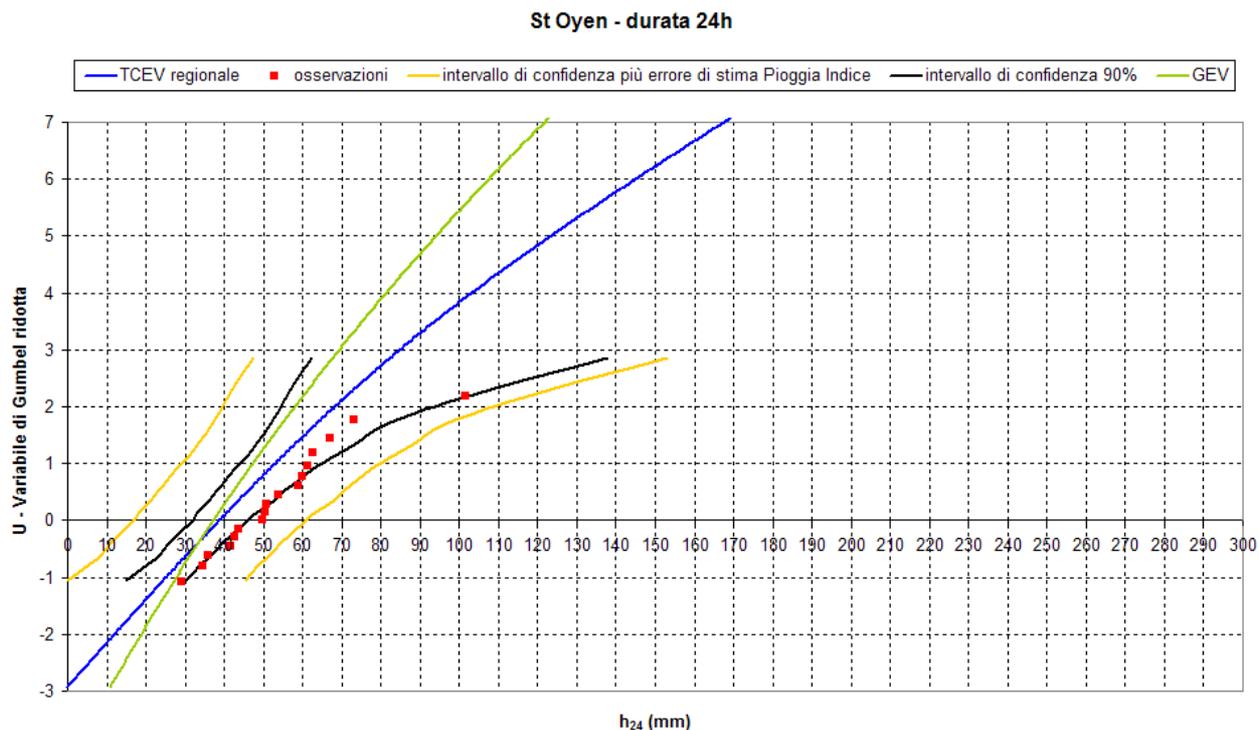


Figura 151: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Oyen, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

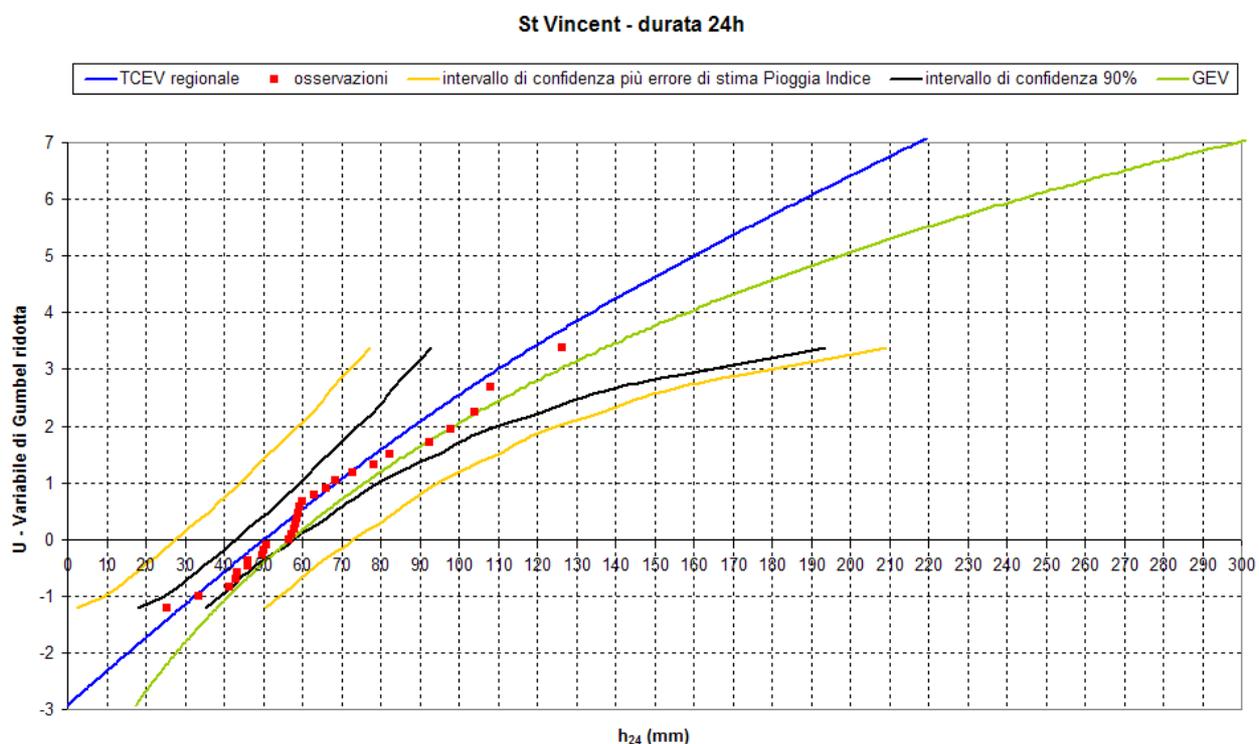


Figura 152: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di St Vincent, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

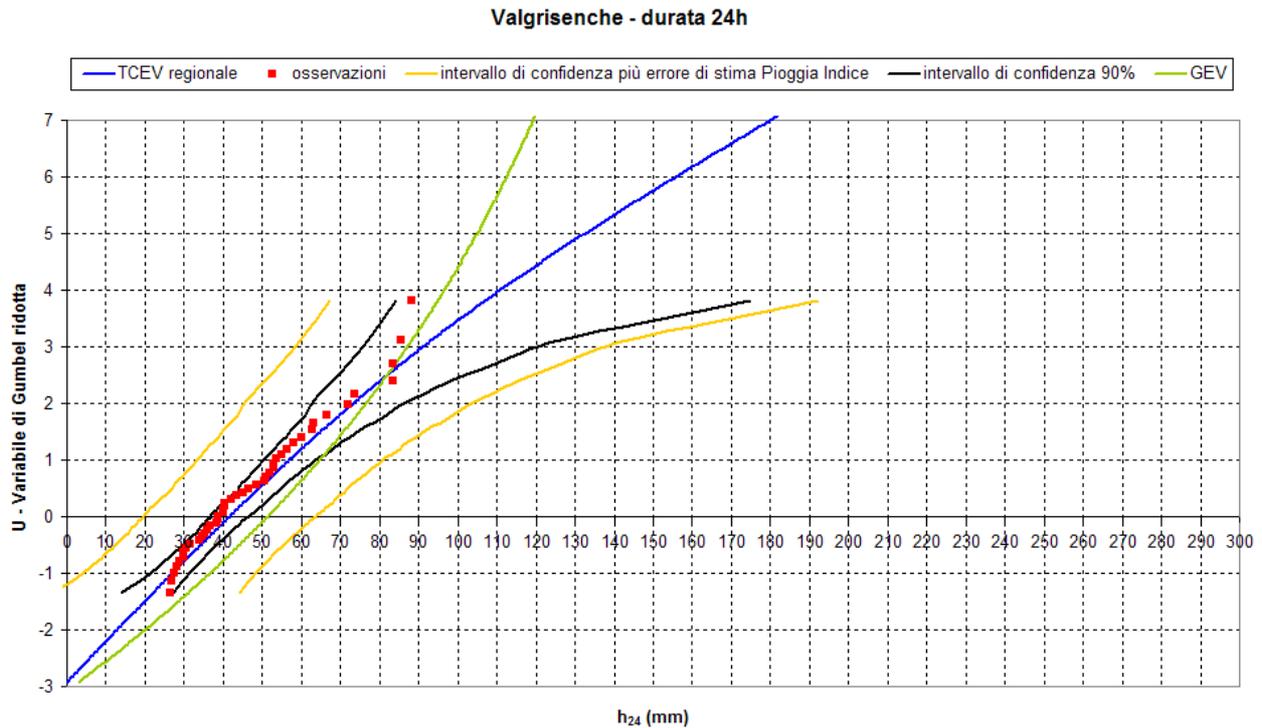


Figura 153: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Valgrisenche, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

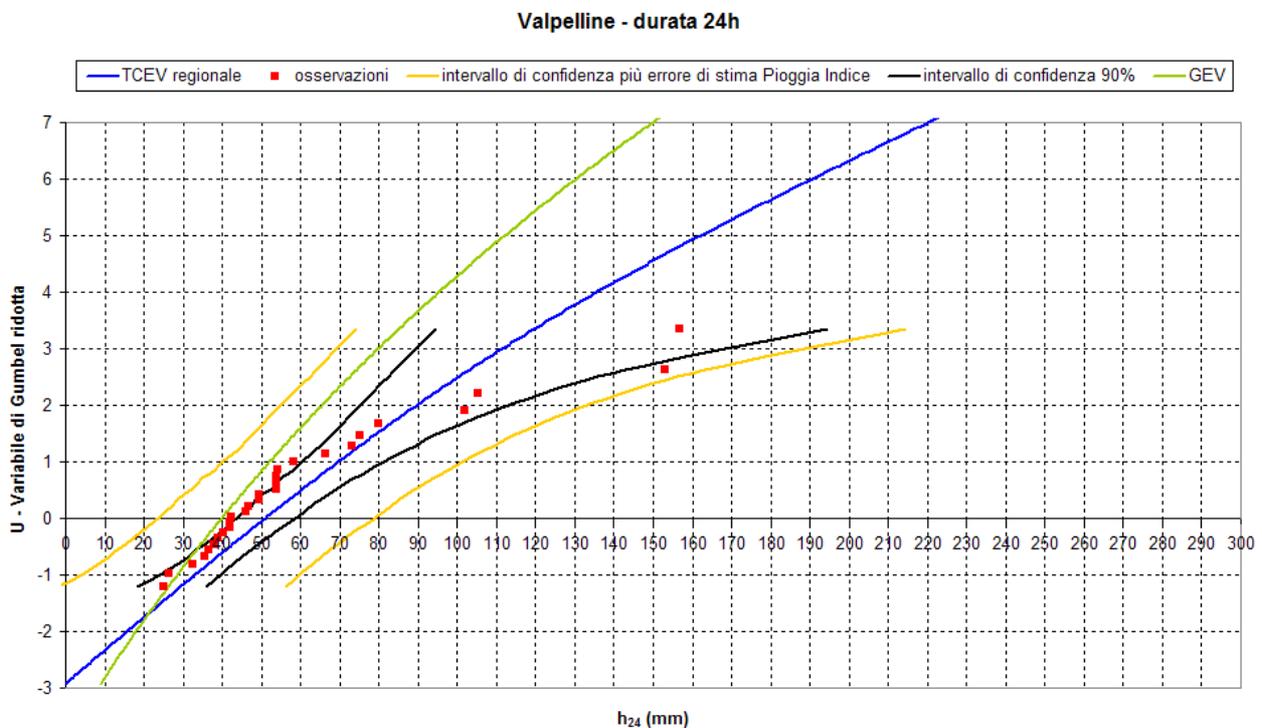


Figura 154: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Valpelline, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

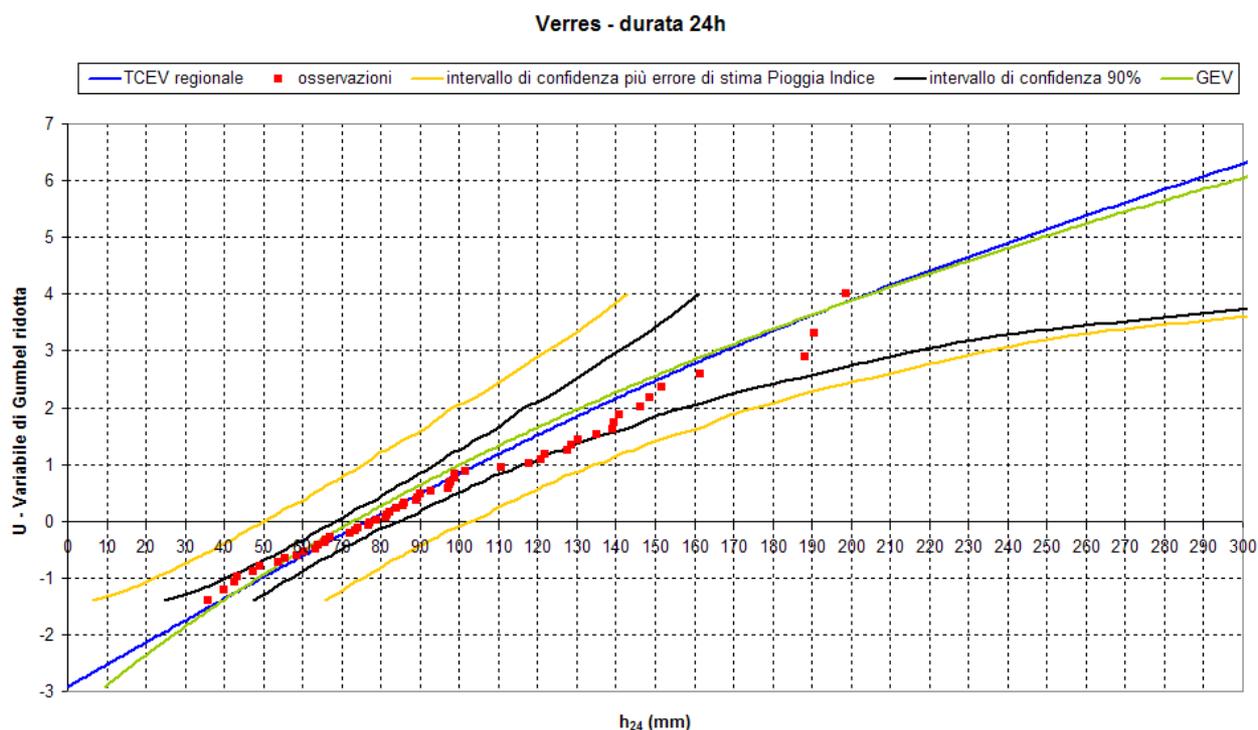


Figura 155: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Verres, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

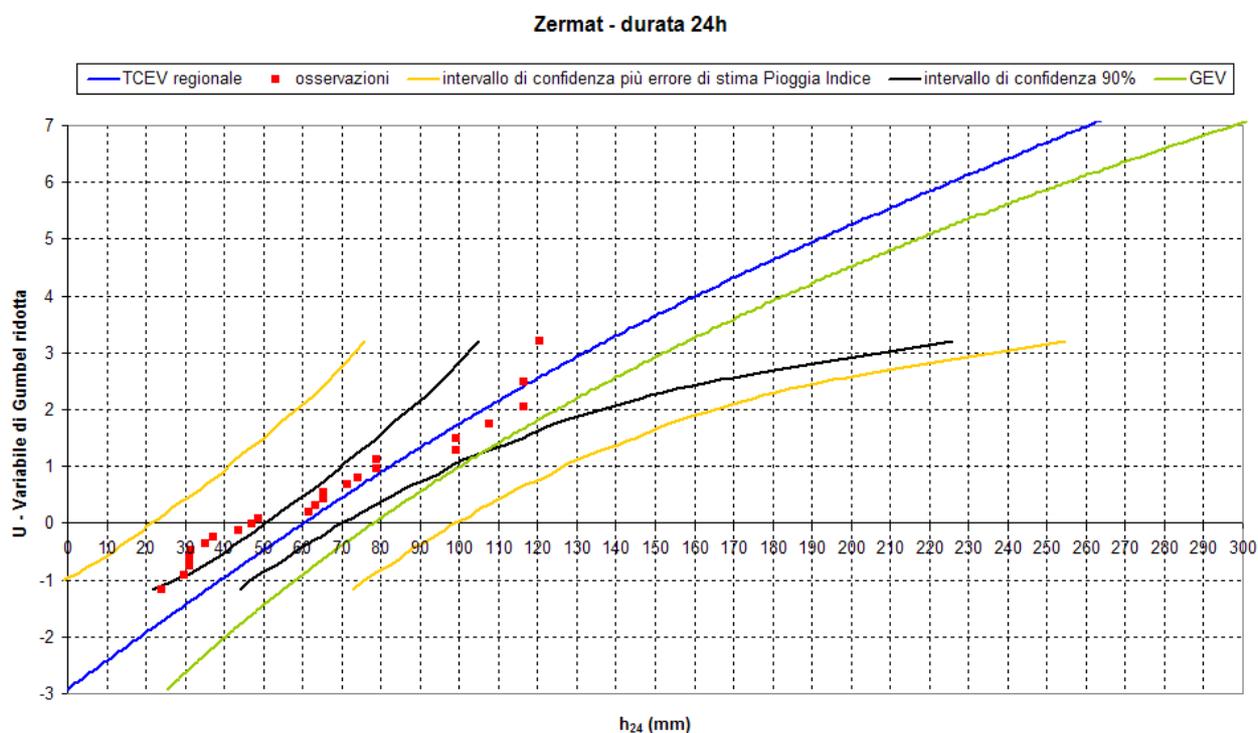


Figura 156: Confronto puntuale per la durata di 24 h tra la TCEV regionale (curva in blu) calcolata dal Modello CIMA e la GEV (curva in verde) calcolata dal modello POLIMI per la stazione pluviometrica di Zermatt, con indicazione delle osservazioni di pioggia (quadrati in rosso), dell'intervallo di confidenza 90% della TCEV regionale (curve in nero) e dell'intervallo di confidenza della TCEV comprensivo anche dell'errore di stima della pioggia indice (curve in giallo ocra).

10 APPENDICE E: MAPPE DI PIOGGIA PER LA REGIONE VALLE D'AOSTA PER ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

10.1 TEMPO DI RITORNO 50 ANNI

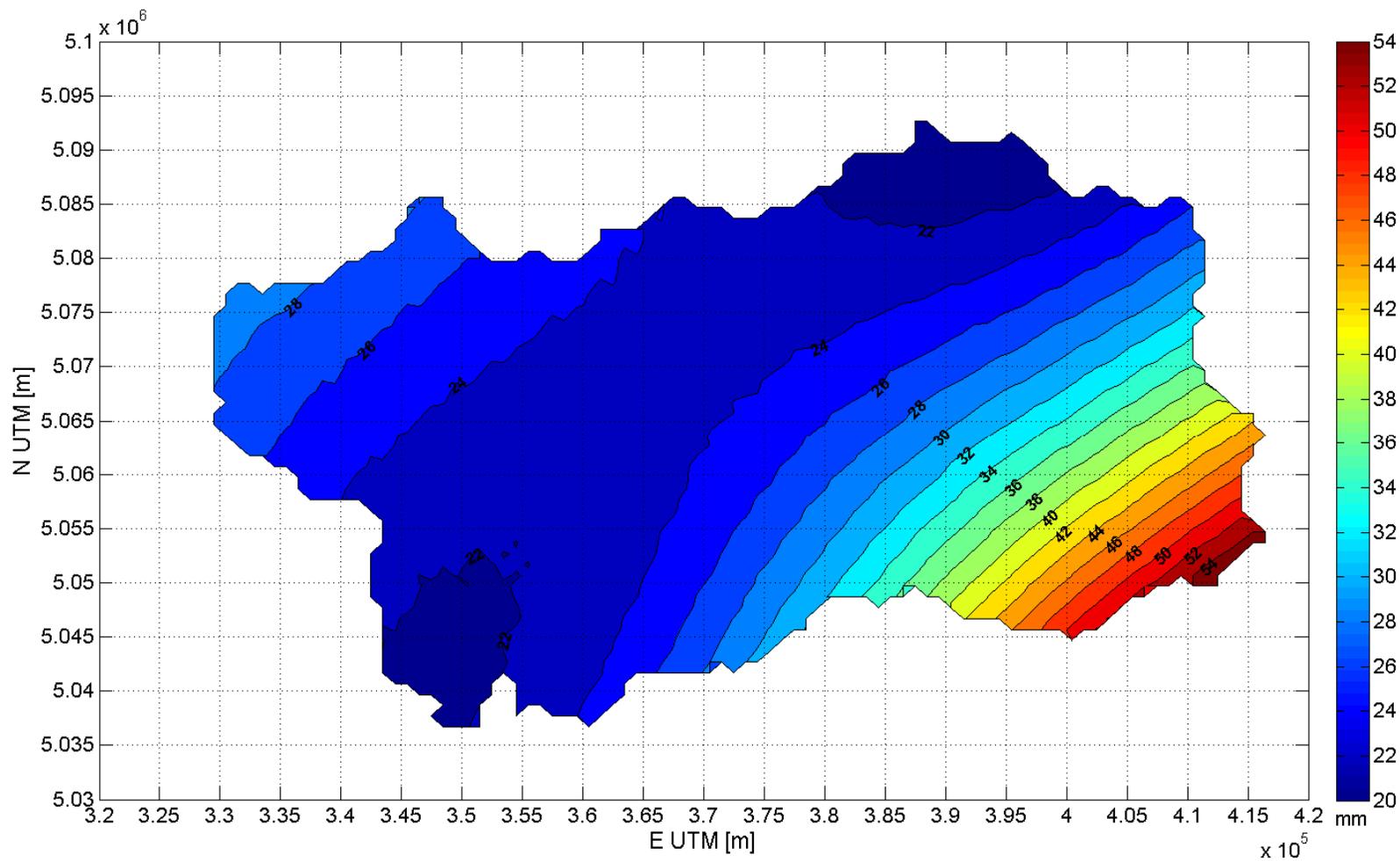


Figura 157: Mappa di pioggia definita per durata di 1 ora e tempo di ritorno pari a 50 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

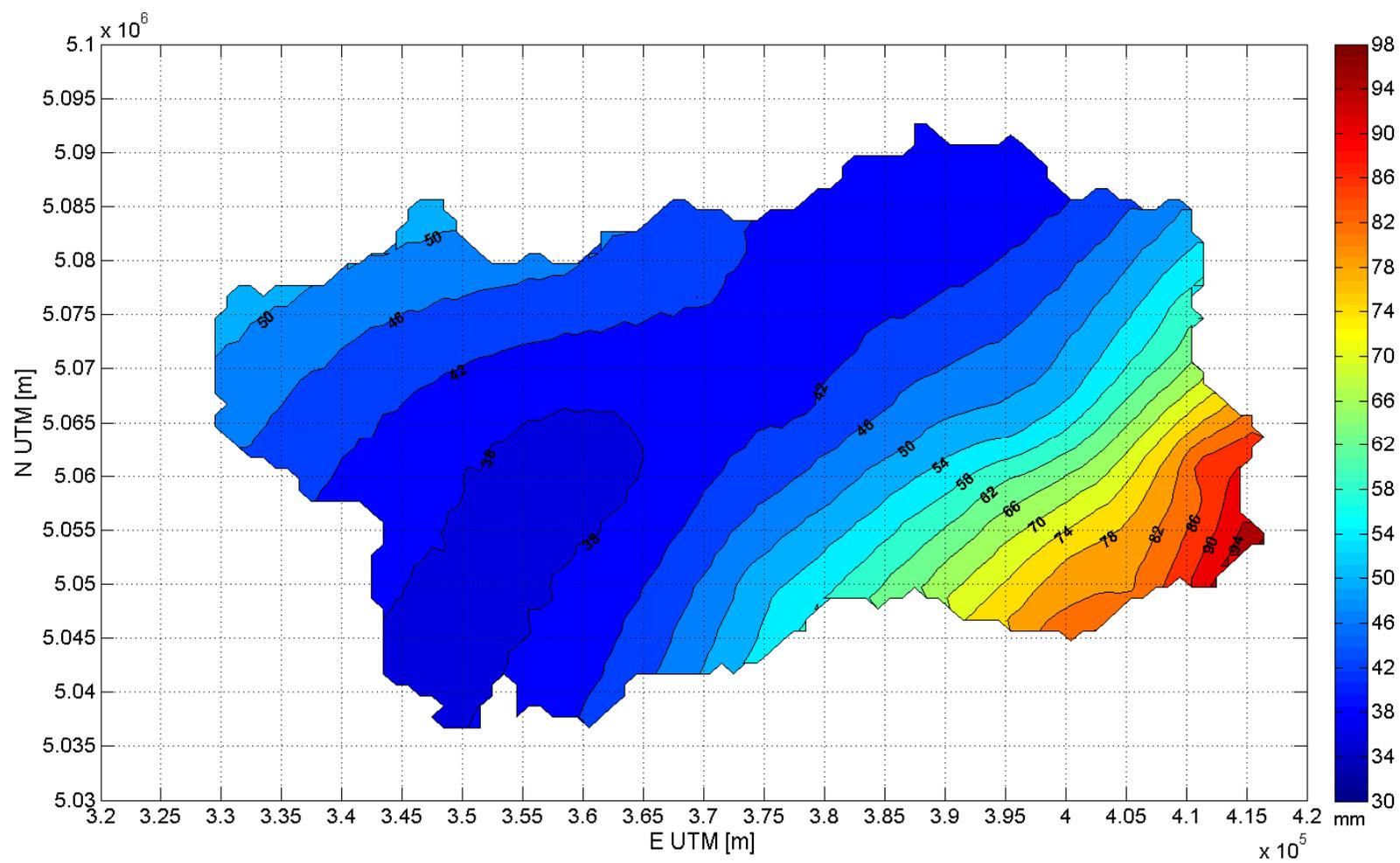


Figura 158: Mappa di pioggia definita per durata di 3 ore e tempo di ritorno pari a 50 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

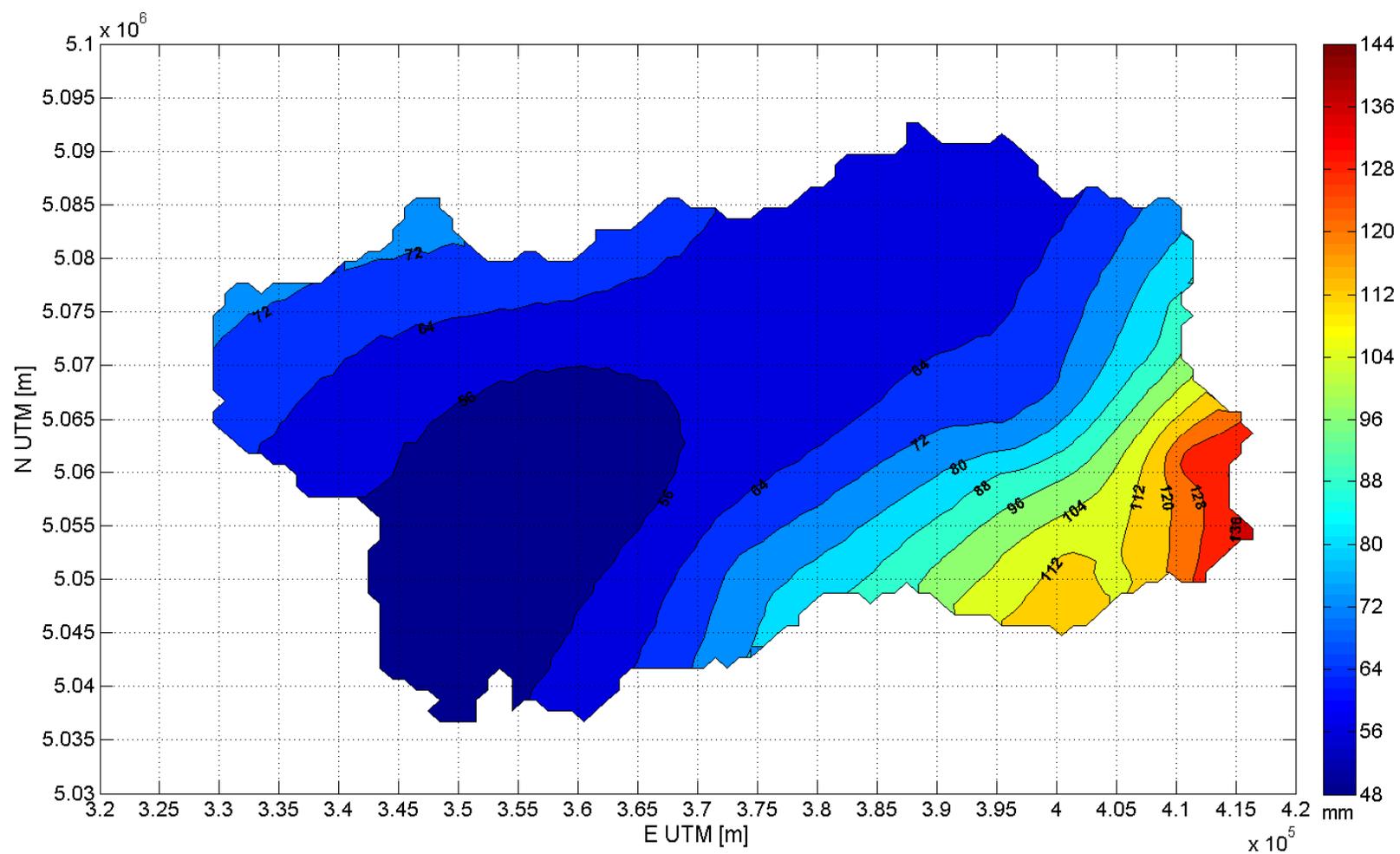


Figura 159: Mappa di pioggia definita per durata di 6 ore e tempo di ritorno pari a 50 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

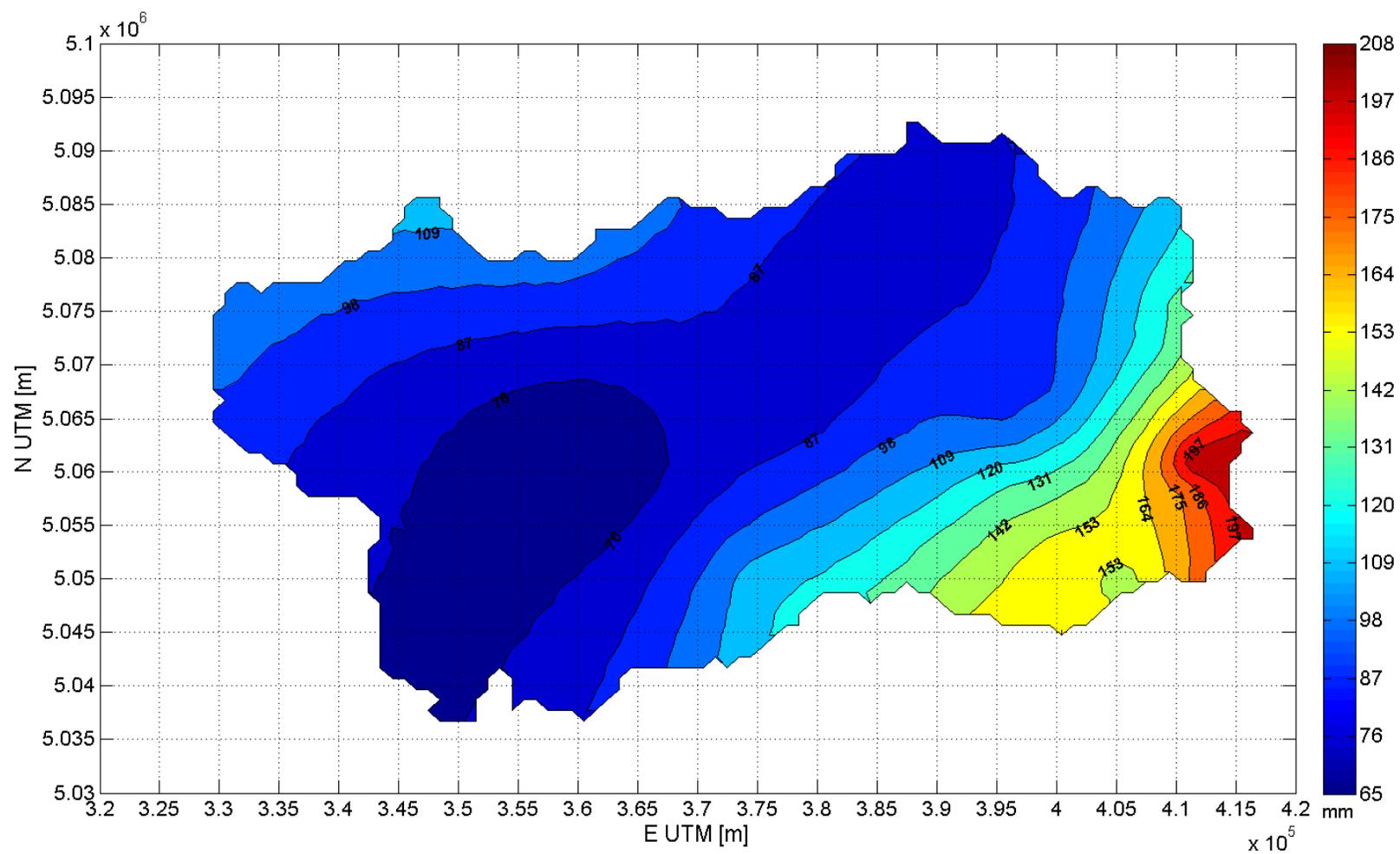


Figura 160: Mappa di pioggia definita per durata di 12 ore e tempo di ritorno pari a 50 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

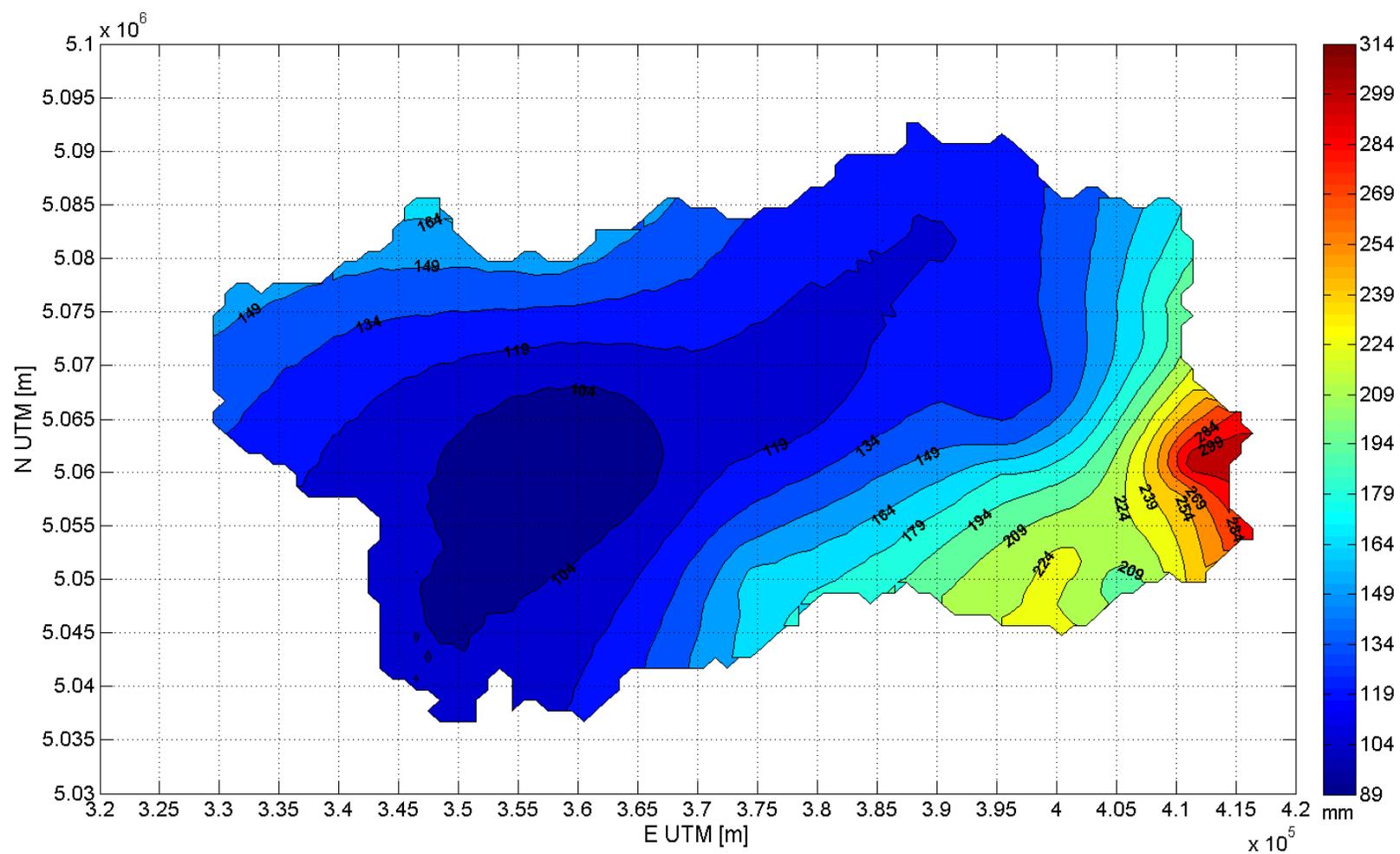


Figura 161: Mappa di pioggia definita per durata di 24 ore e tempo di ritorno pari a 50 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

10.2 TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

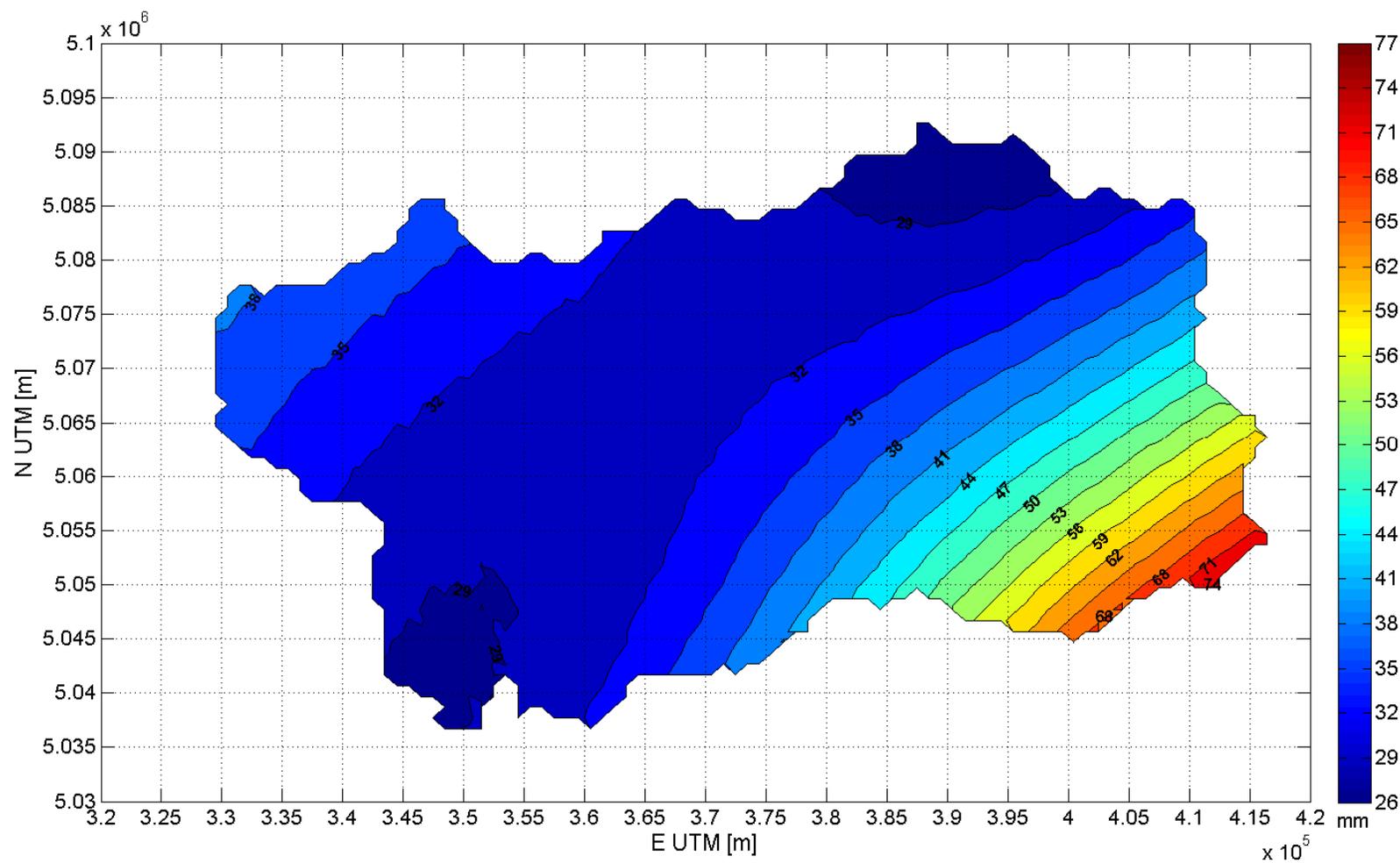


Figura 162: Mappa di pioggia definita per durata di 1 ora e tempo di ritorno pari a 200 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

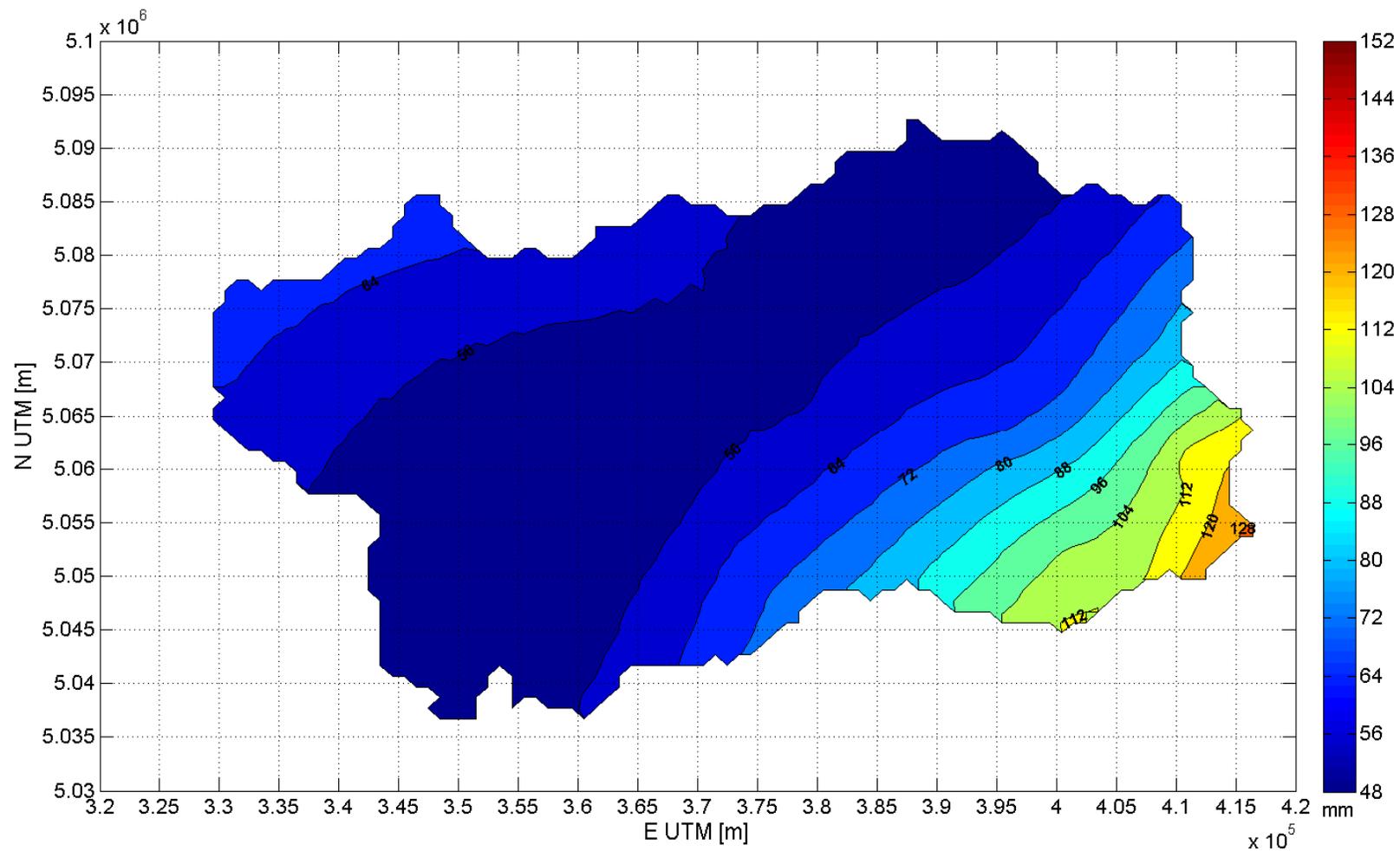


Figura 163: Mappa di pioggia definita per durata di 3 ore e tempo di ritorno pari a 200 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

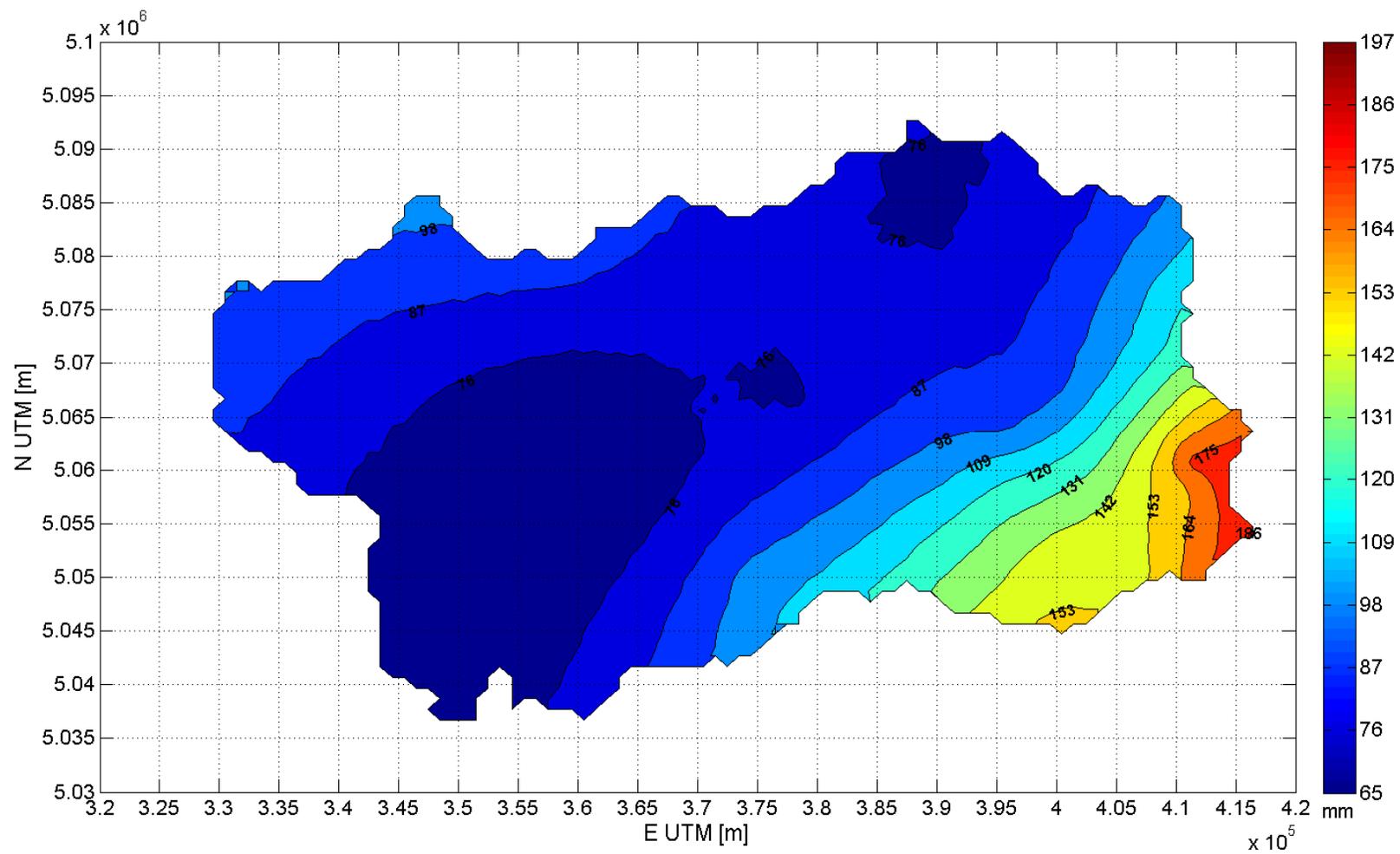


Figura 164: Mappa di pioggia definita per durata di 6 ore e tempo di ritorno pari a 200 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

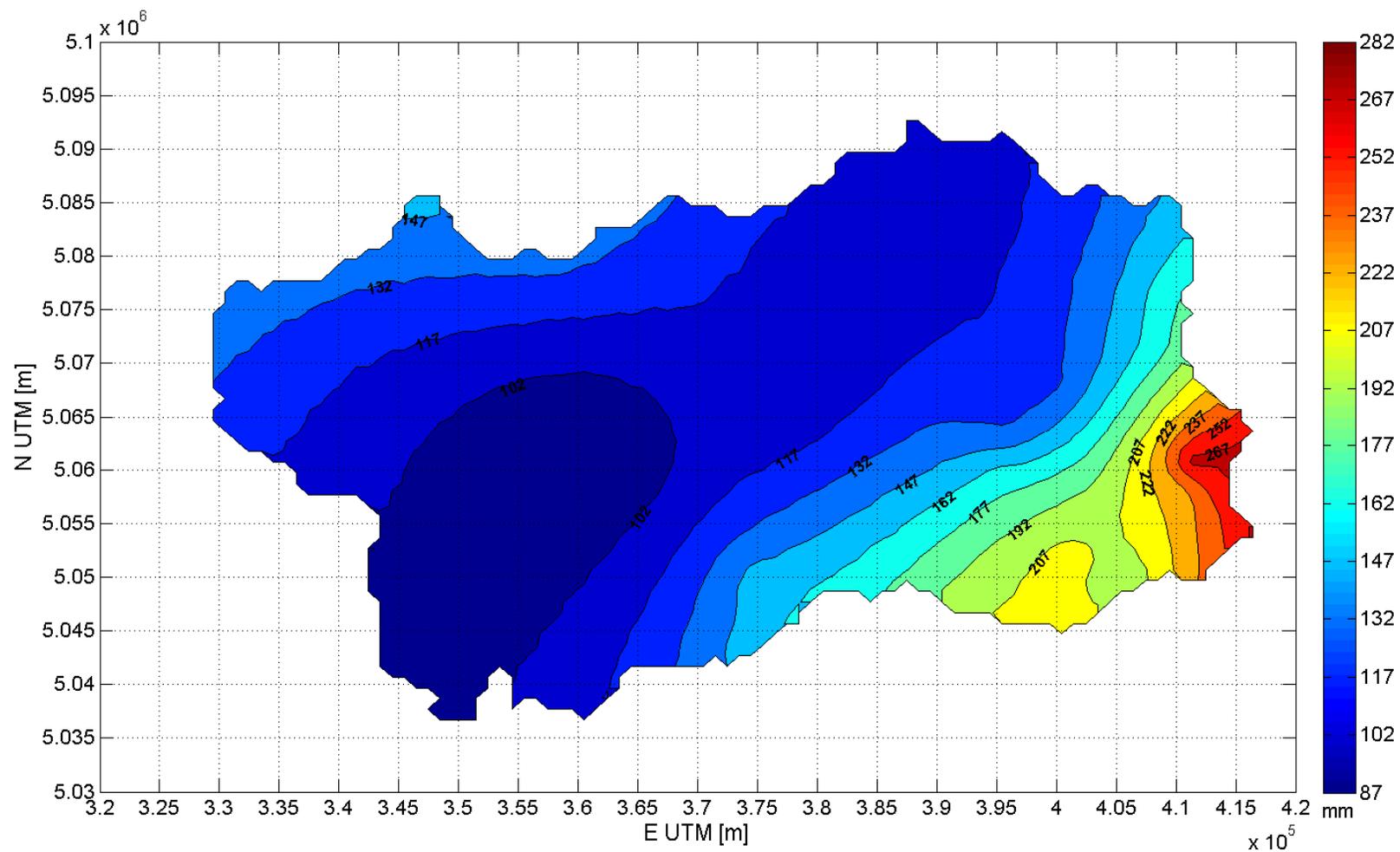


Figura 165: Mappa di pioggia definita per durata di 12 ore e tempo di ritorno pari a 200 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

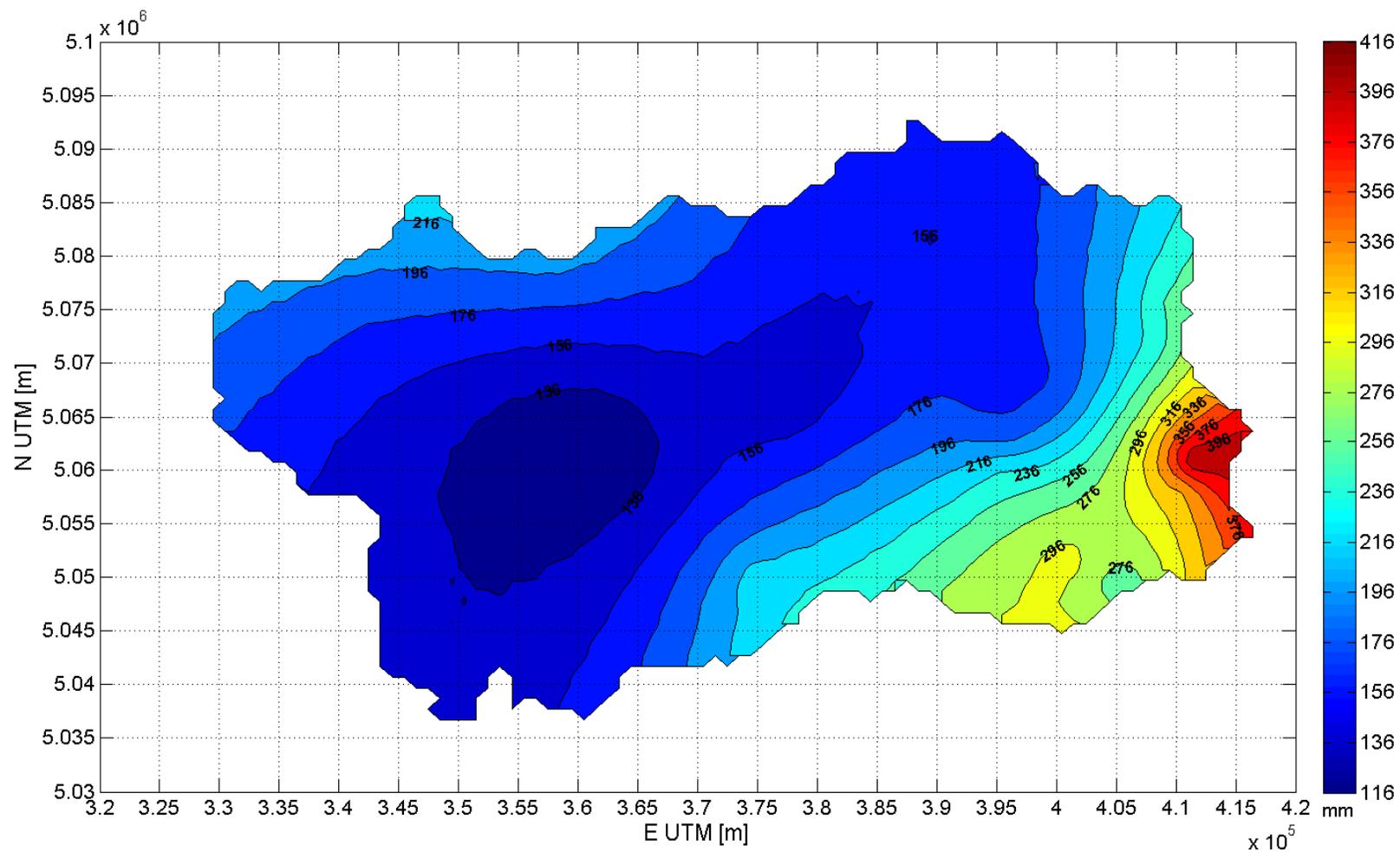


Figura 166: Mappa di pioggia definita per durata di 24 ore e tempo di ritorno pari a 200 anni relativa alla Regione Valle d'Aosta.

11 APPENDICE F: CONFRONTO A SITO SINGOLO TRA STUDIO PAI E METODO CIMA

11.1 TEMPO DI RITORNO 20 ANNI

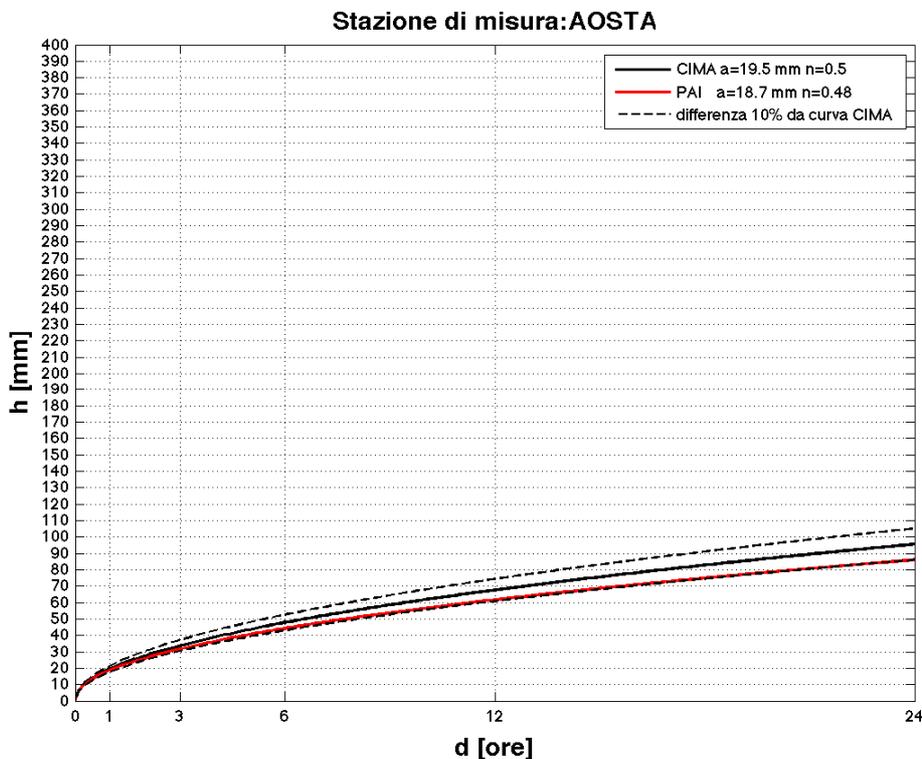


Figura 167: LSPP ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

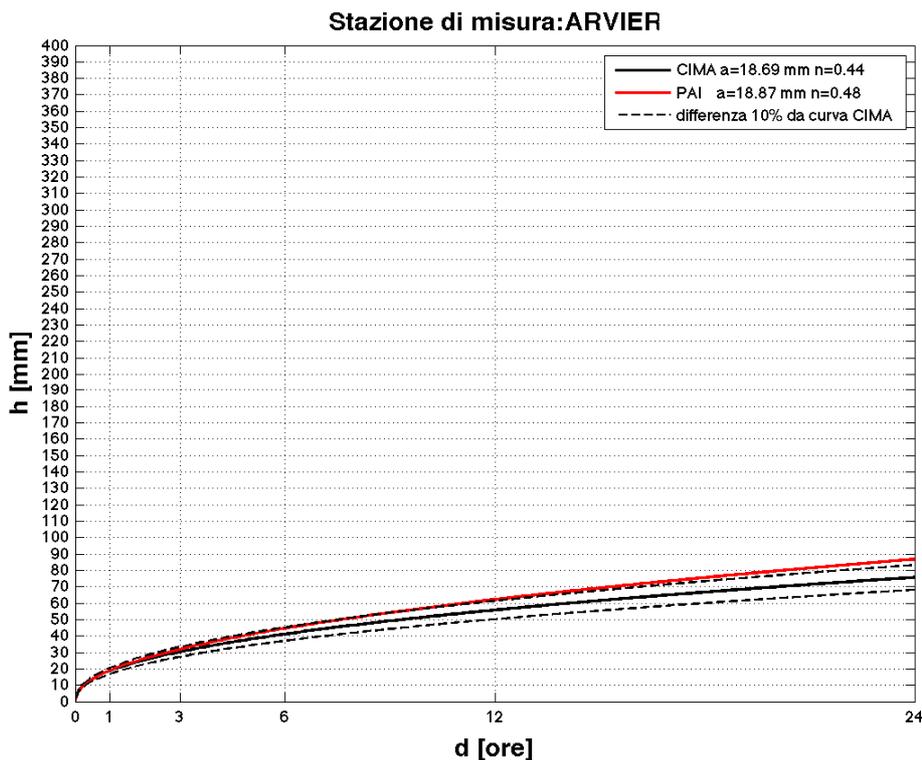


Figura 168: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

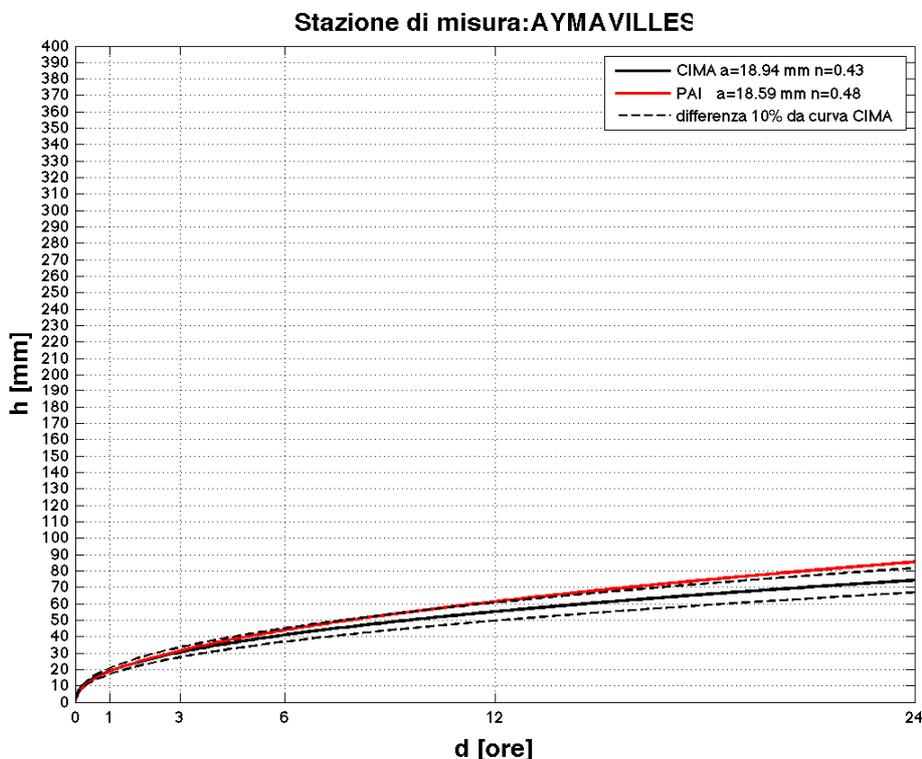


Figura 169: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

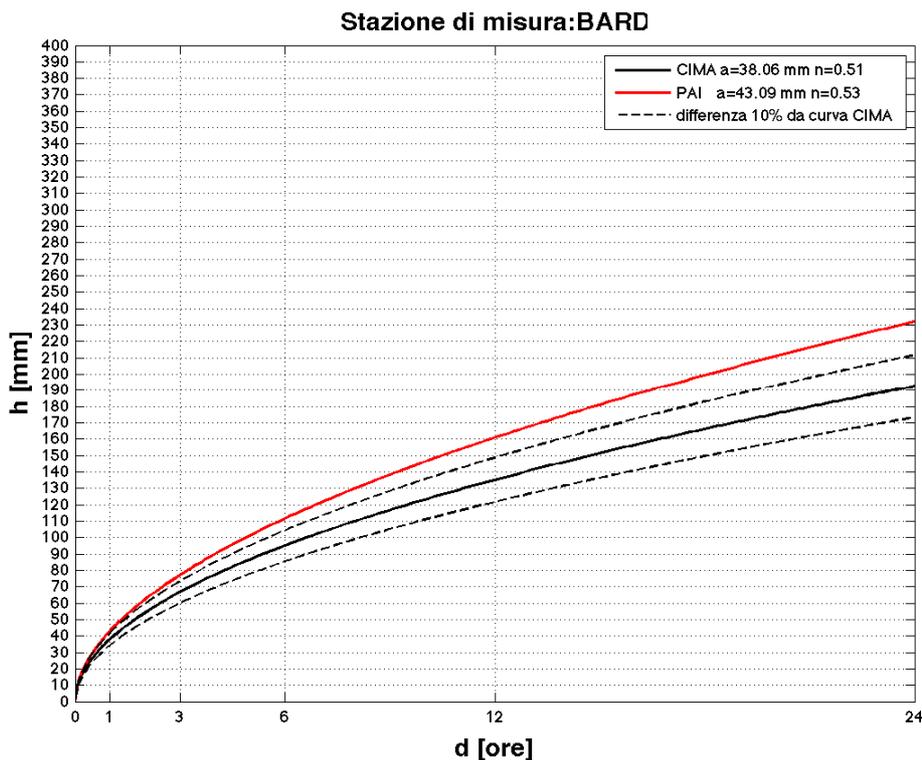


Figura 170: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

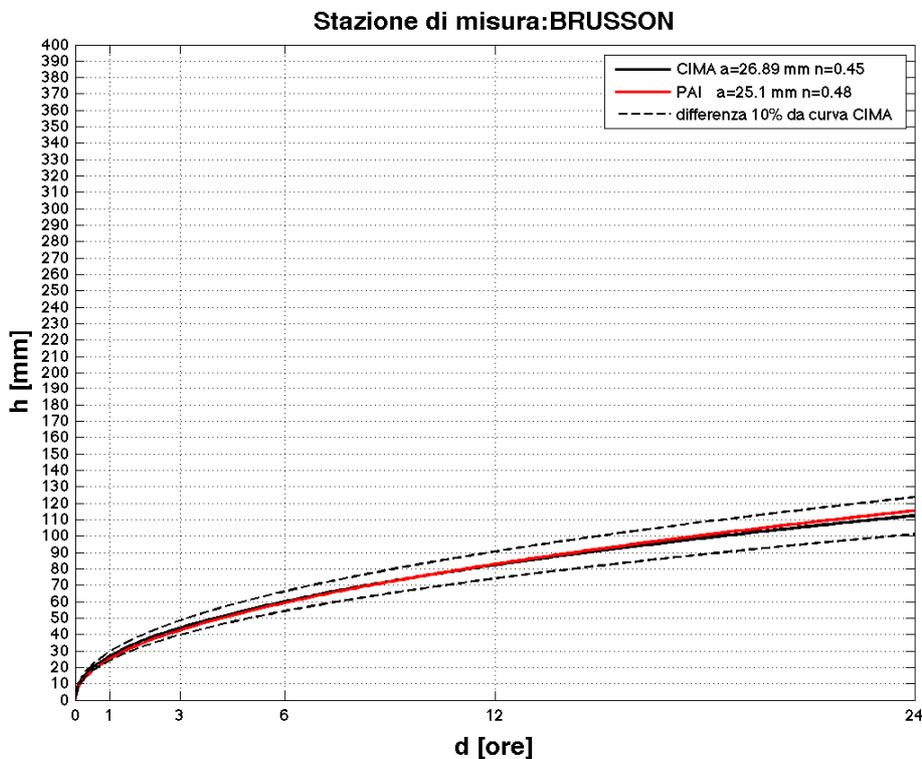


Figura 171: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

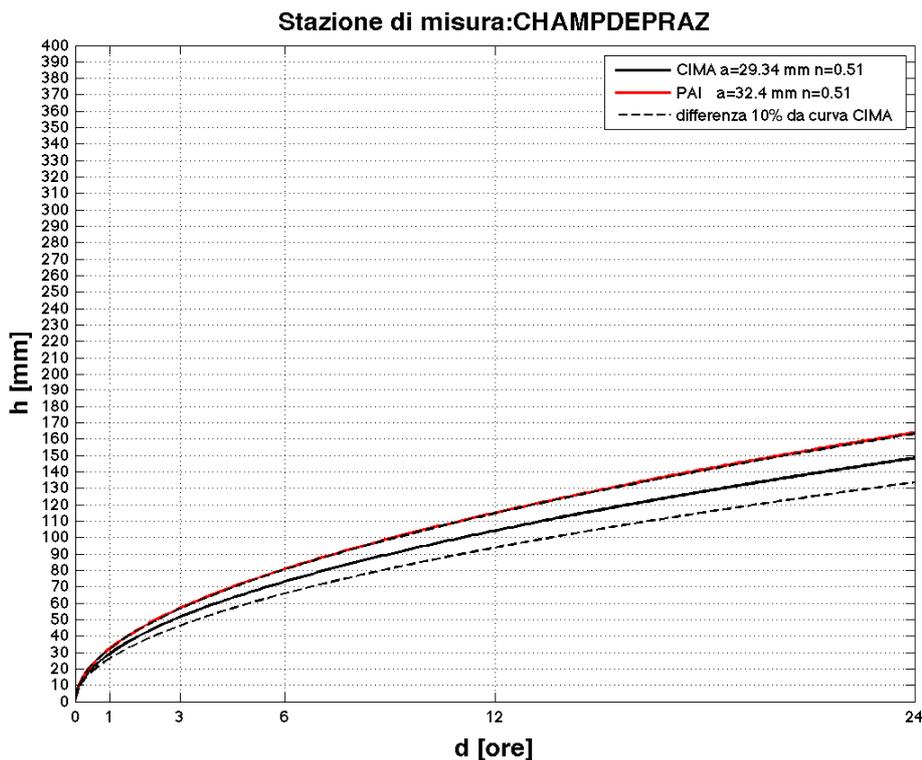


Figura 172: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

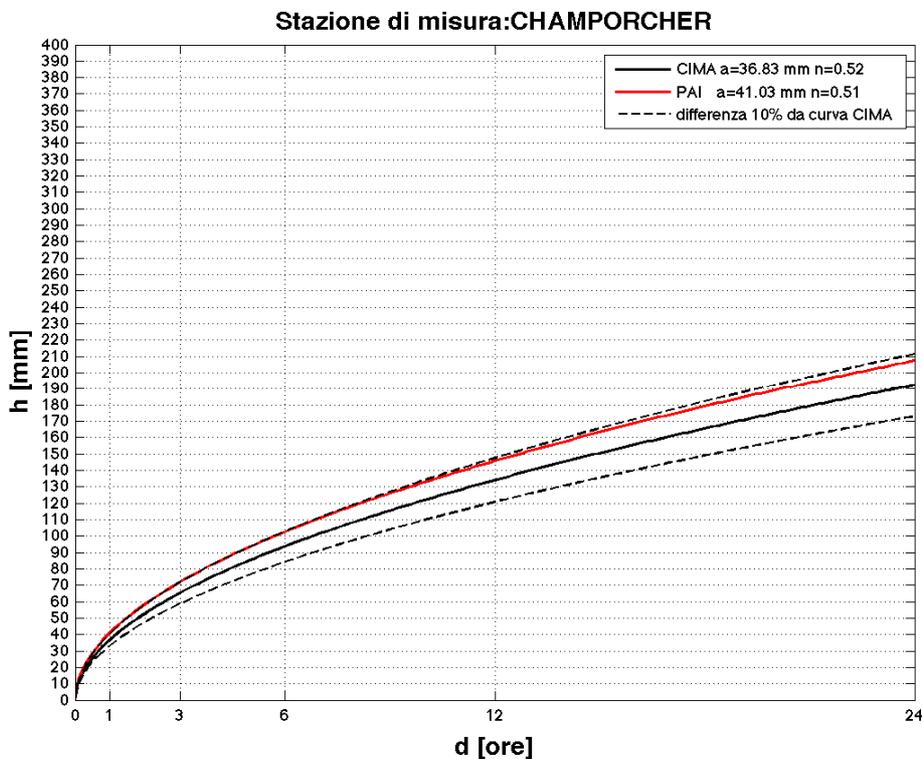


Figura 173: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

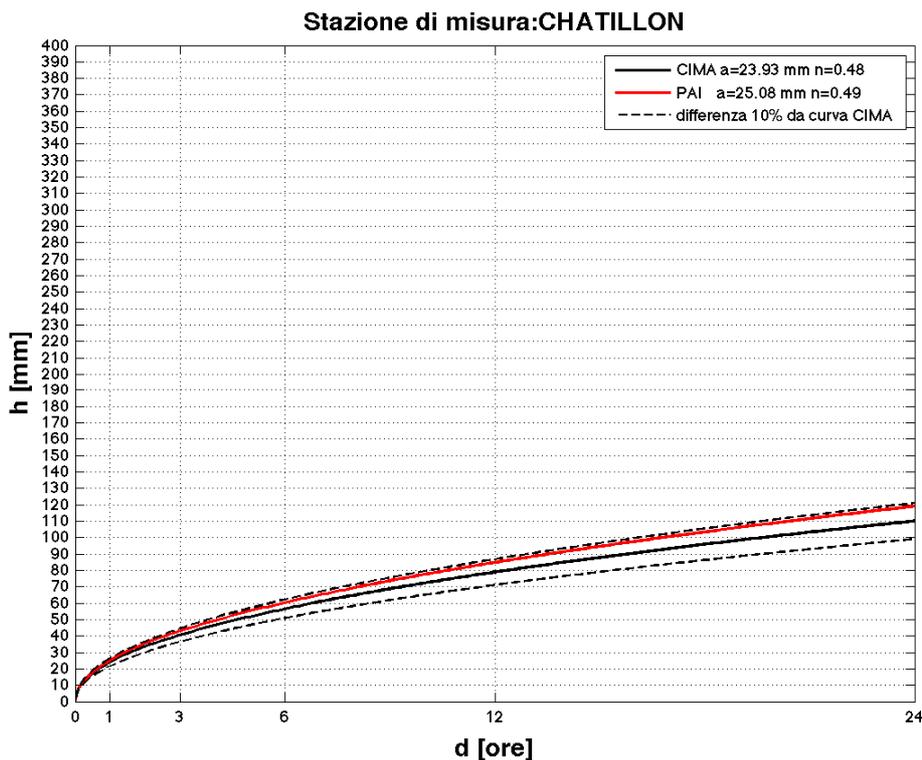


Figura 174: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

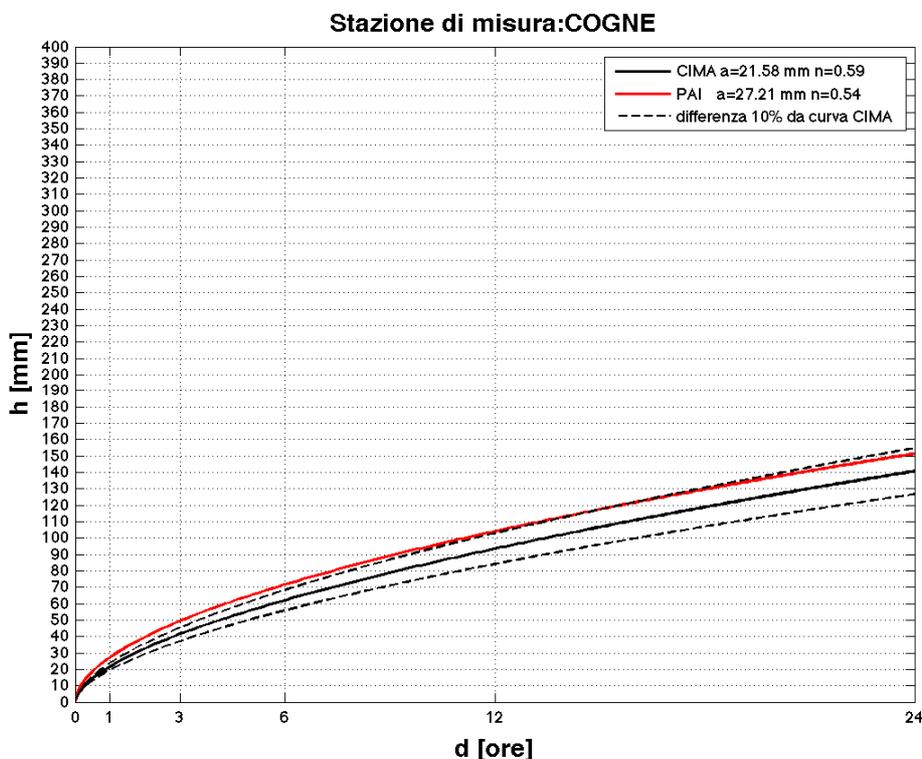


Figura 175: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

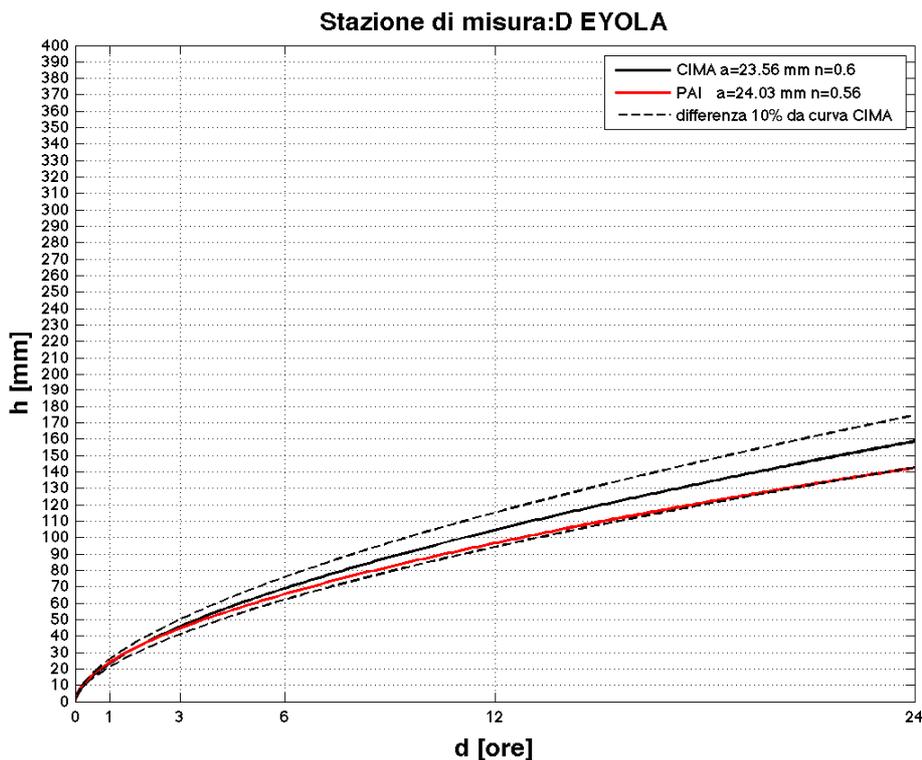


Figura 176: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

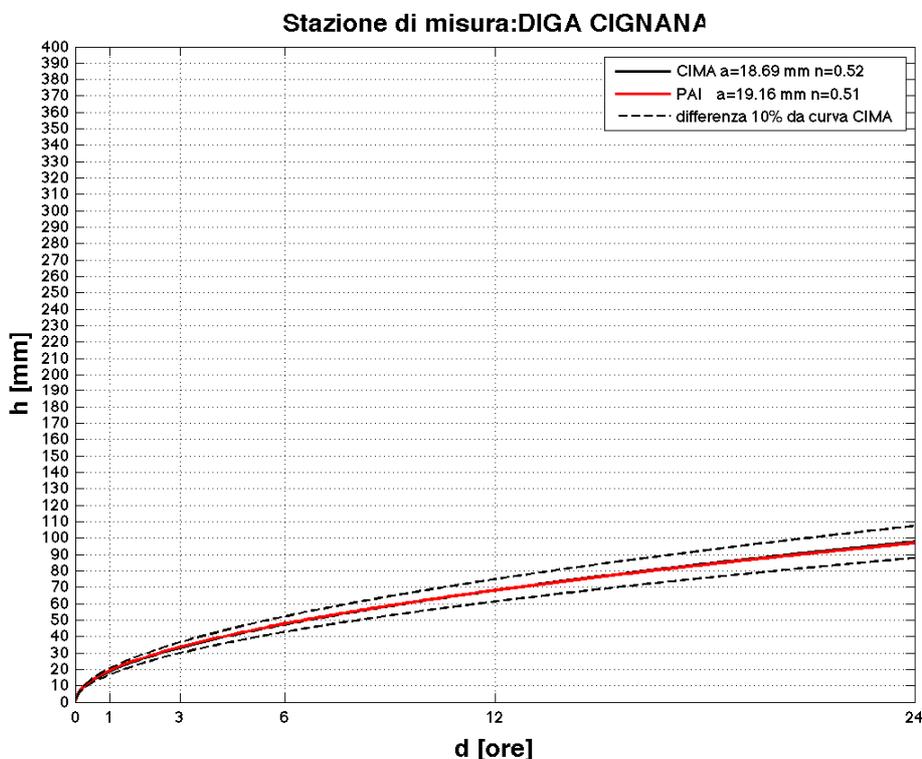


Figura 177: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

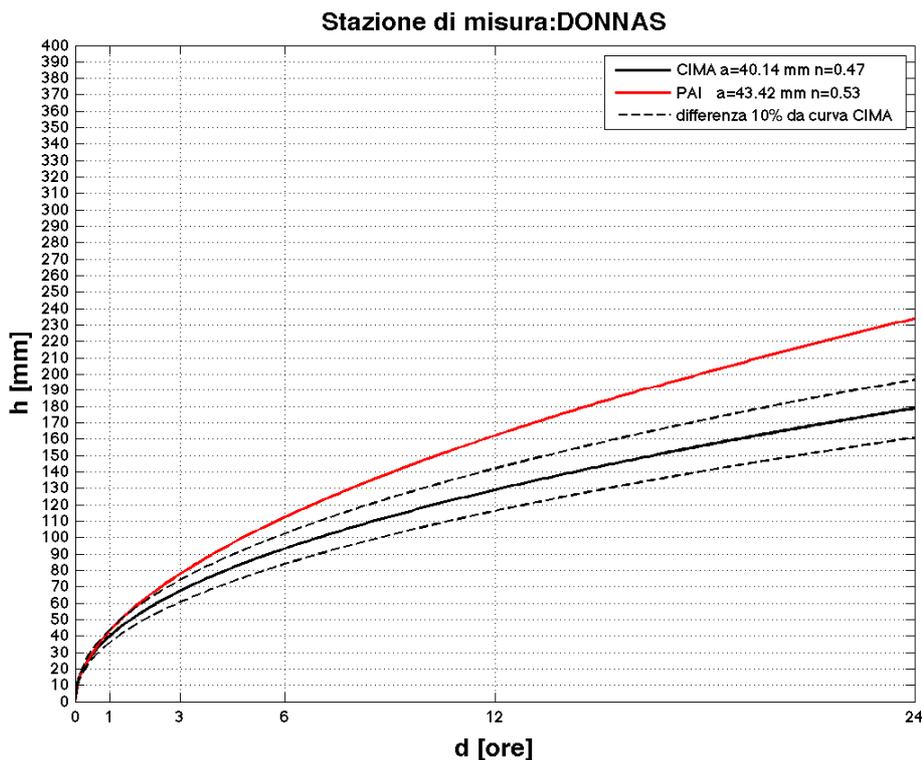


Figura 178: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

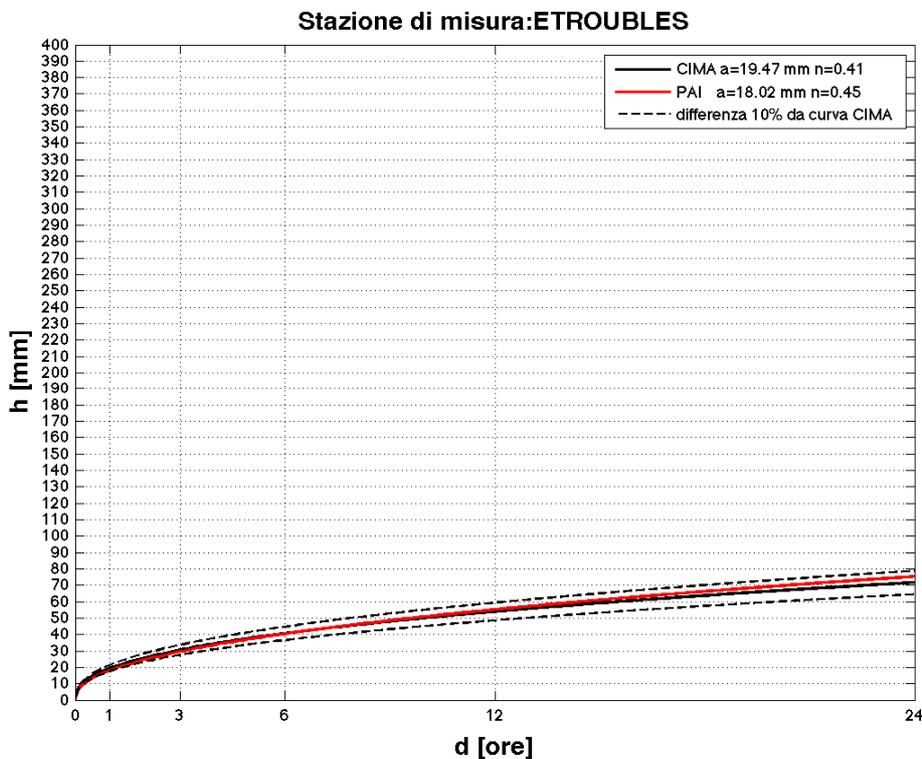


Figura 179: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

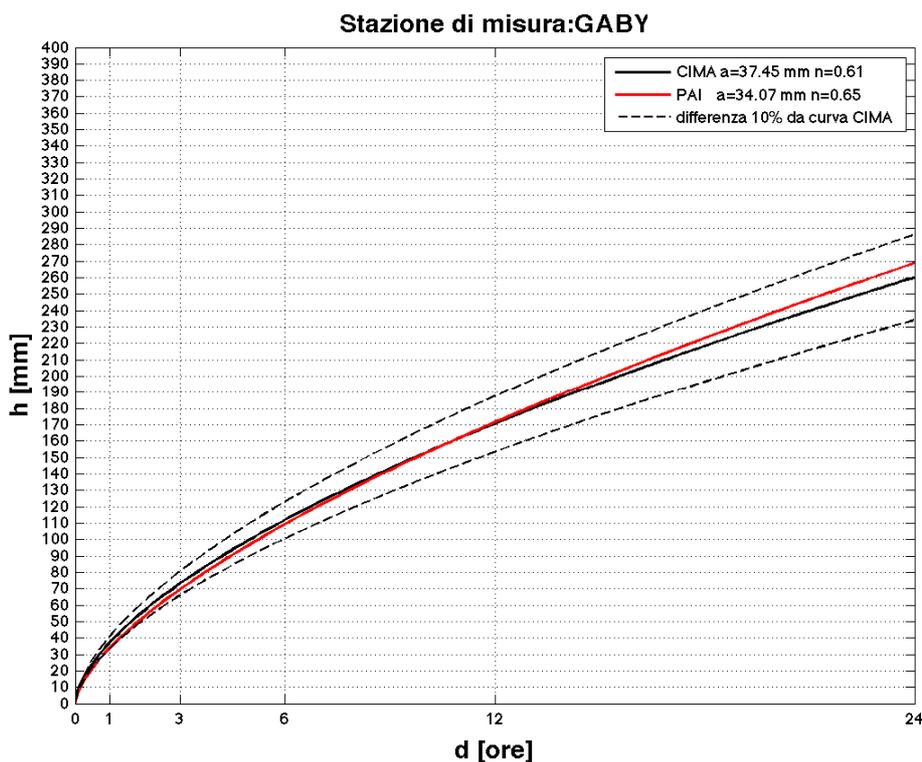


Figura 180: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

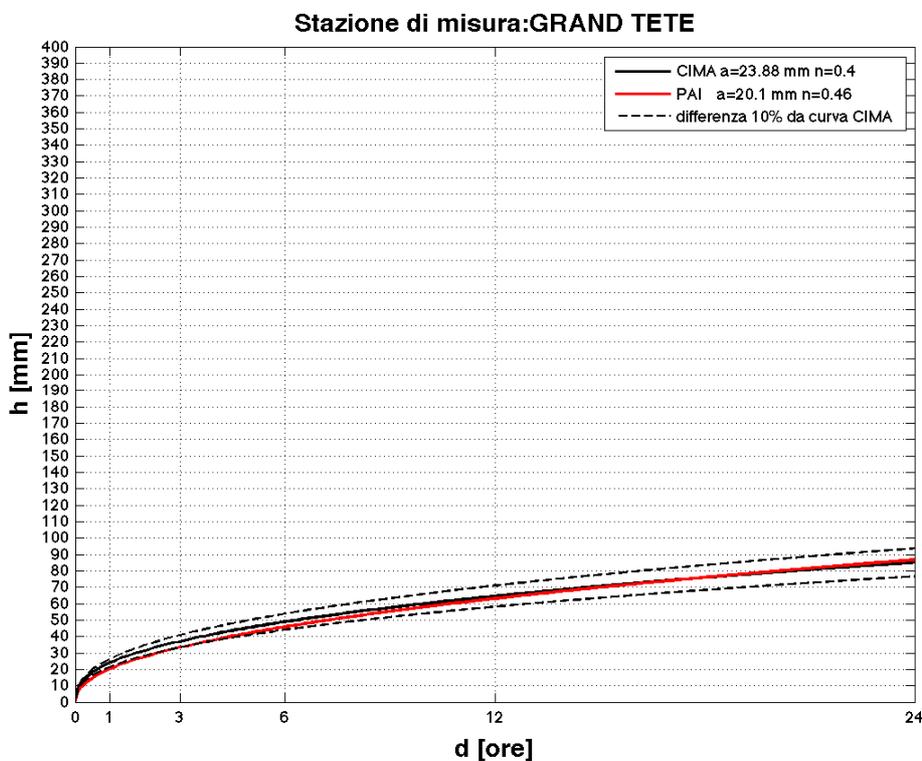


Figura 181: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

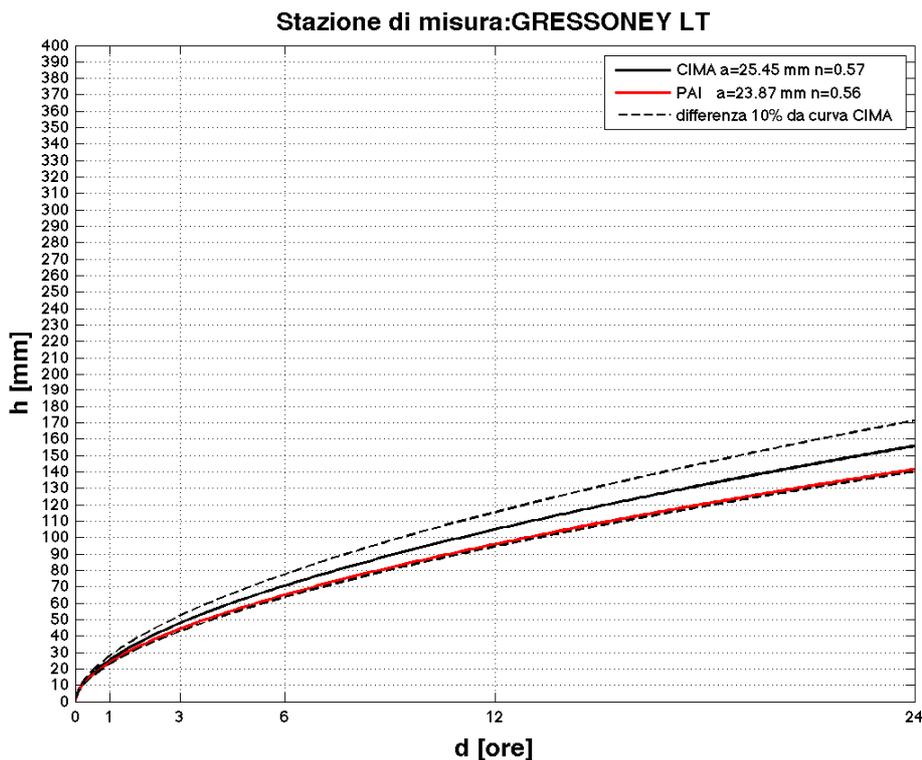


Figura 182: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

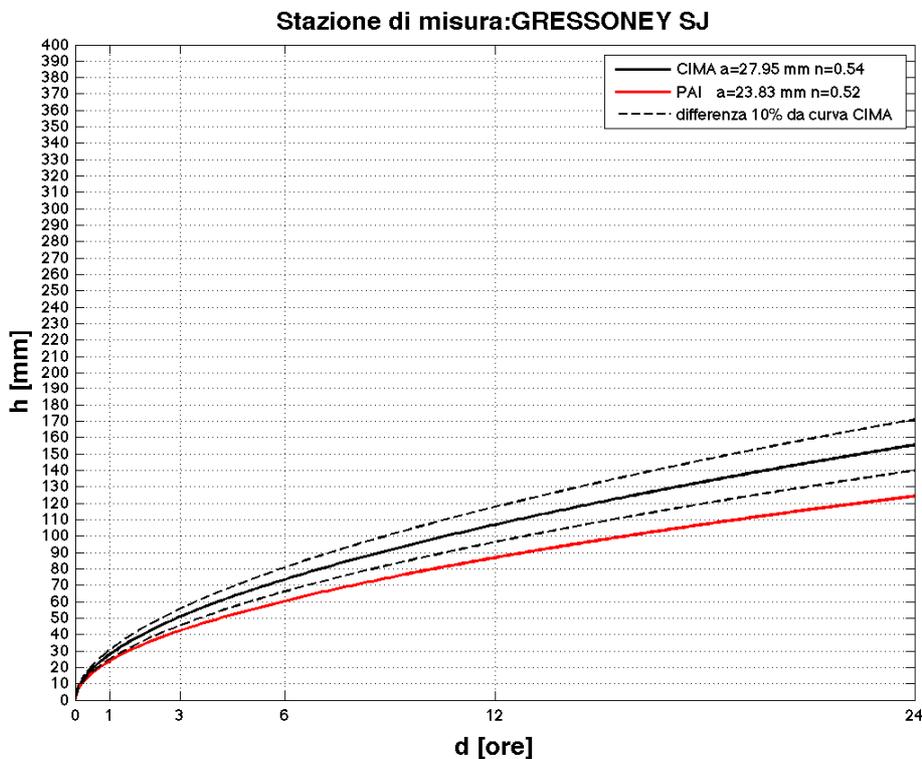


Figura 183: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

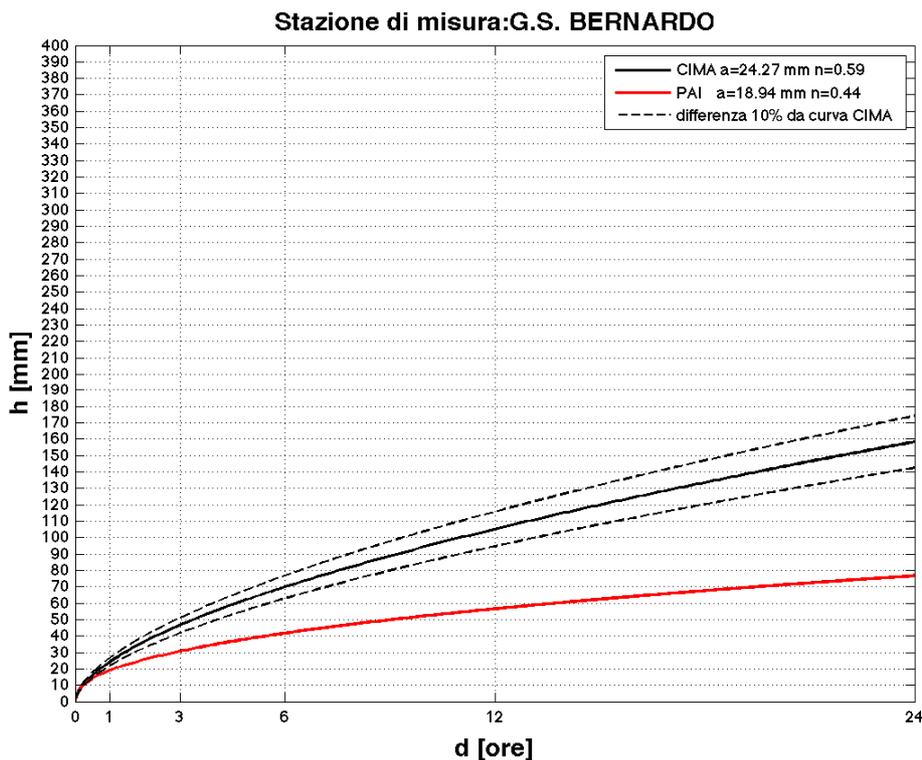


Figura 184: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

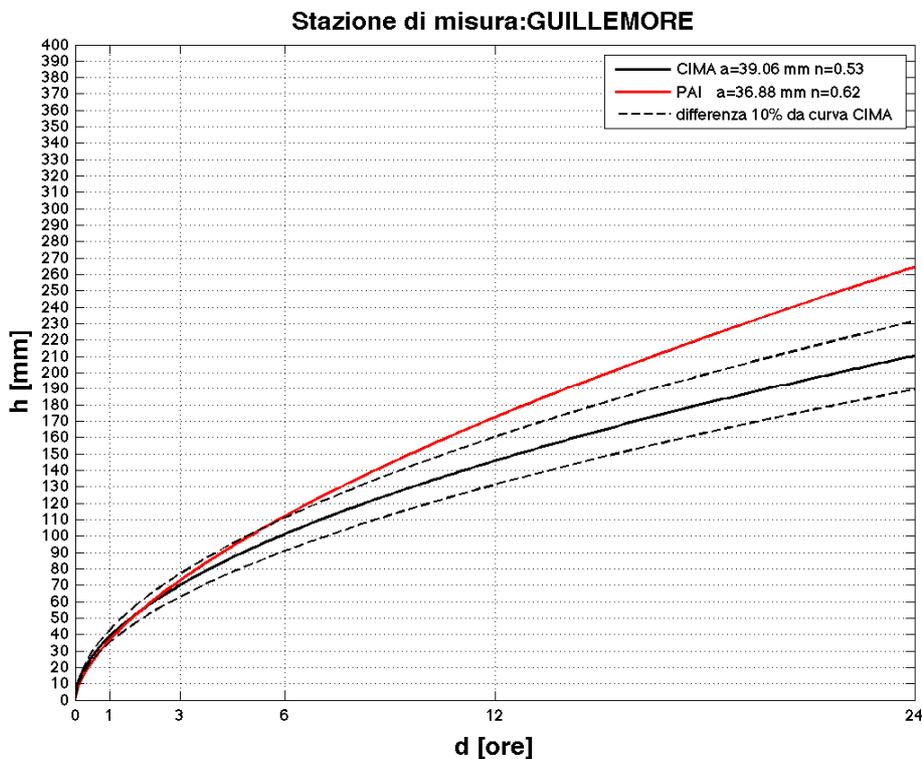


Figura 185: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

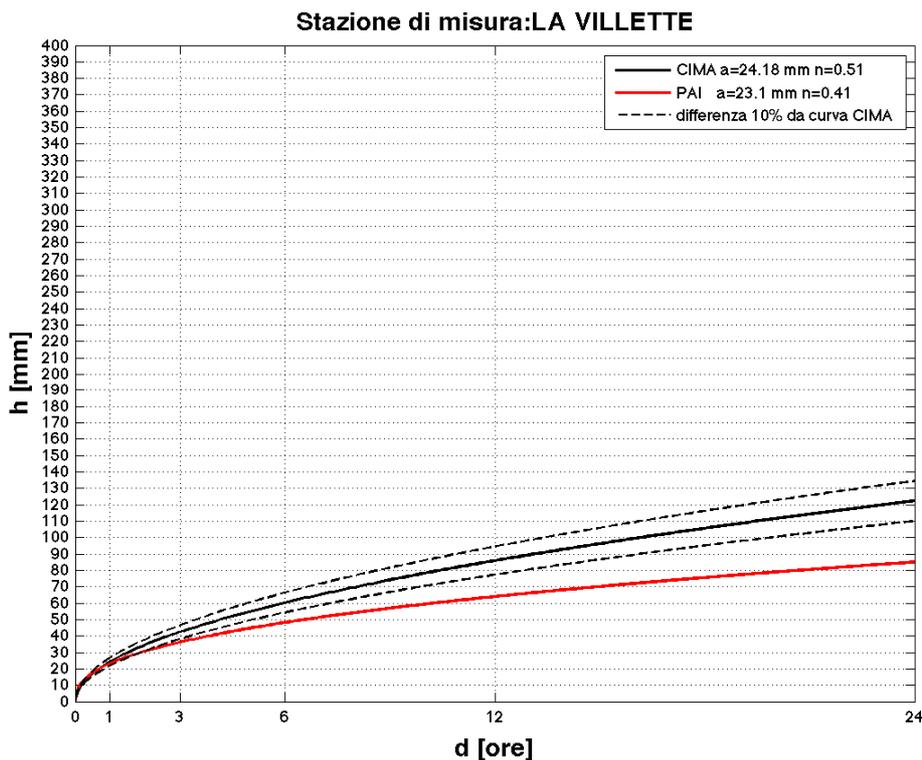


Figura 186: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

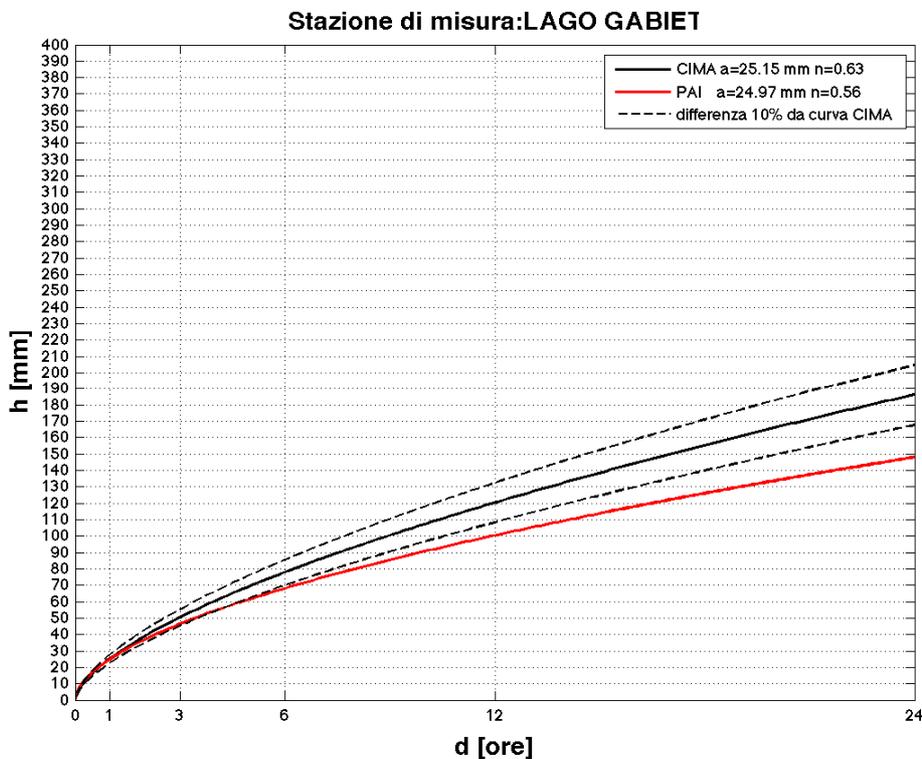


Figura 187: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

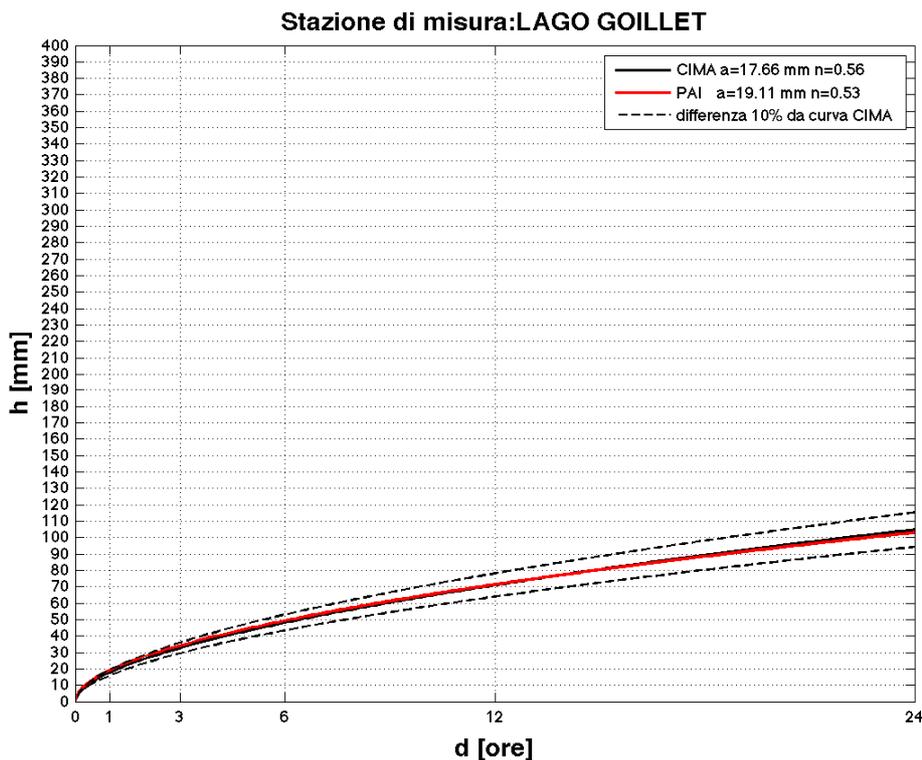


Figura 188: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

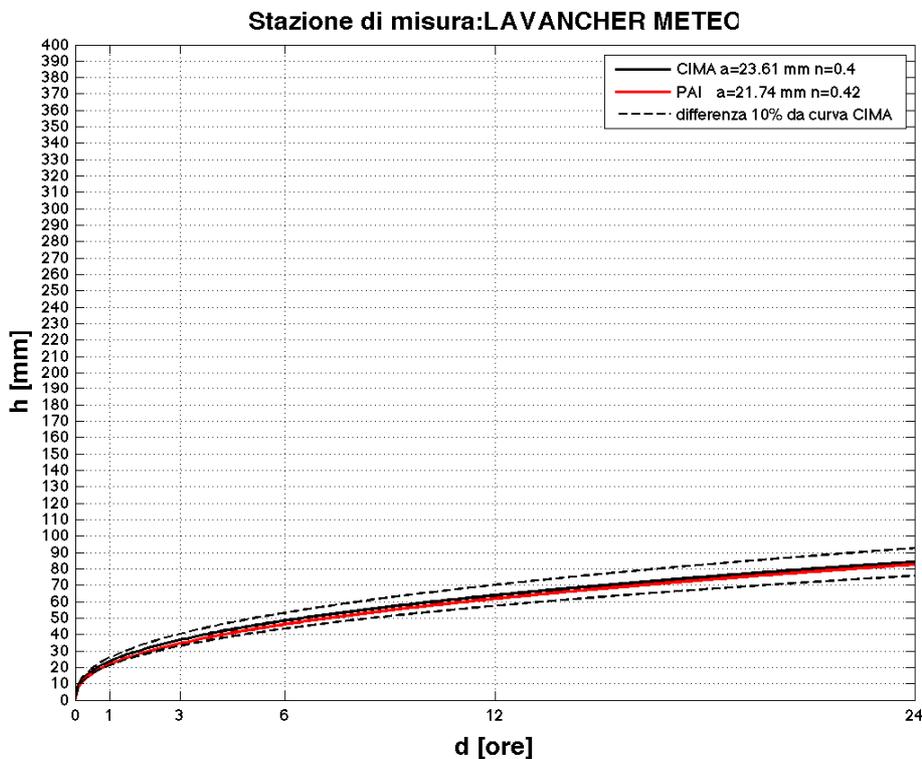


Figura 189: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

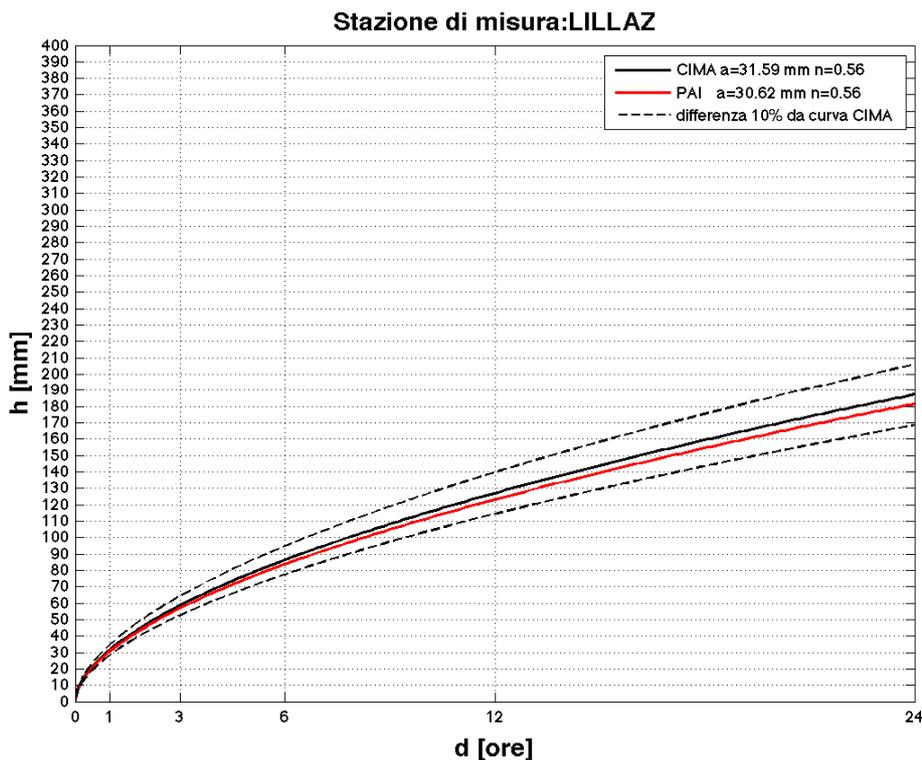


Figura 190: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

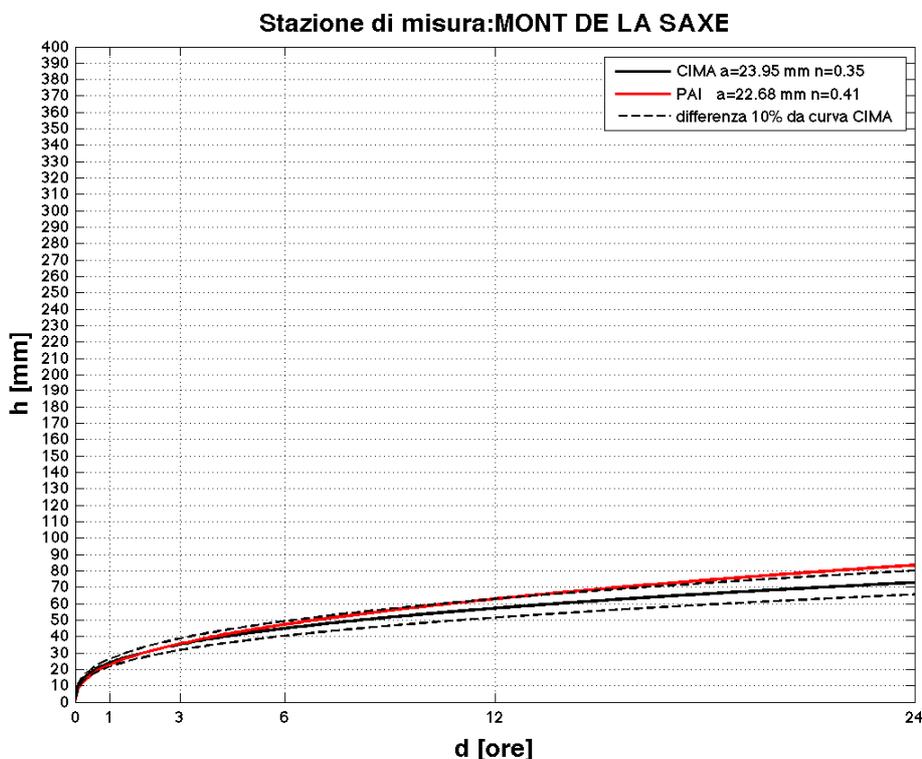


Figura 191: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

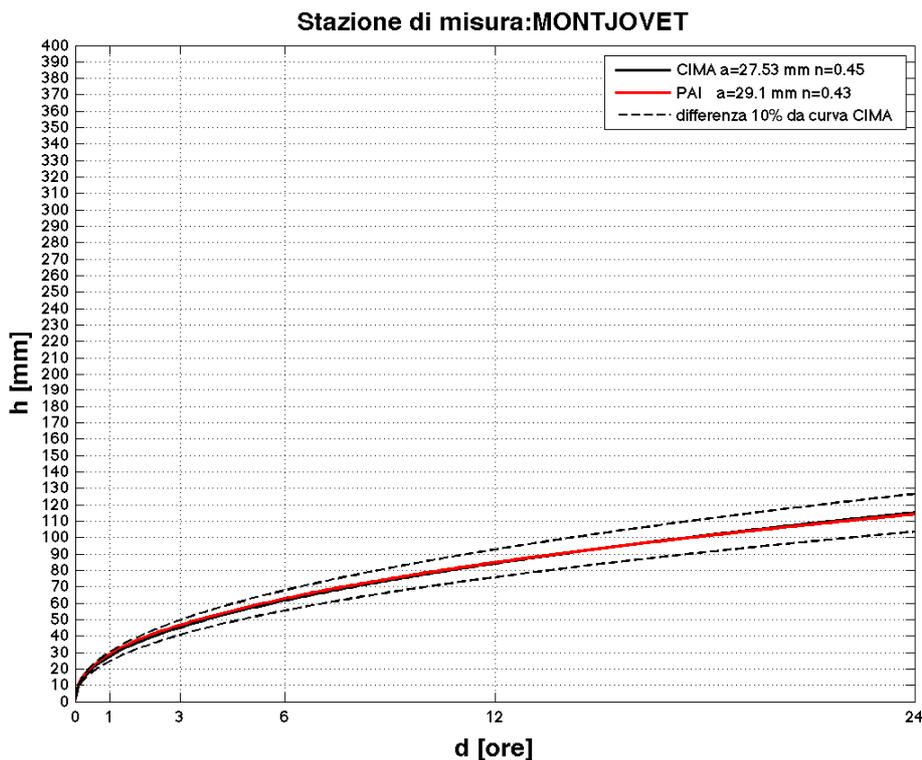


Figura 192: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

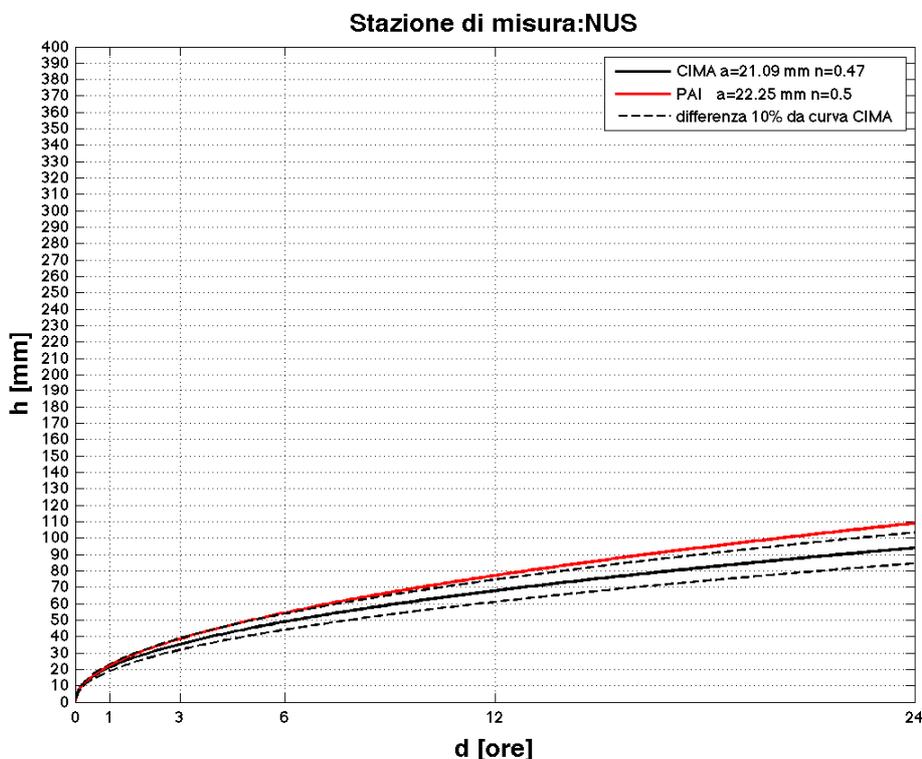


Figura 193: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

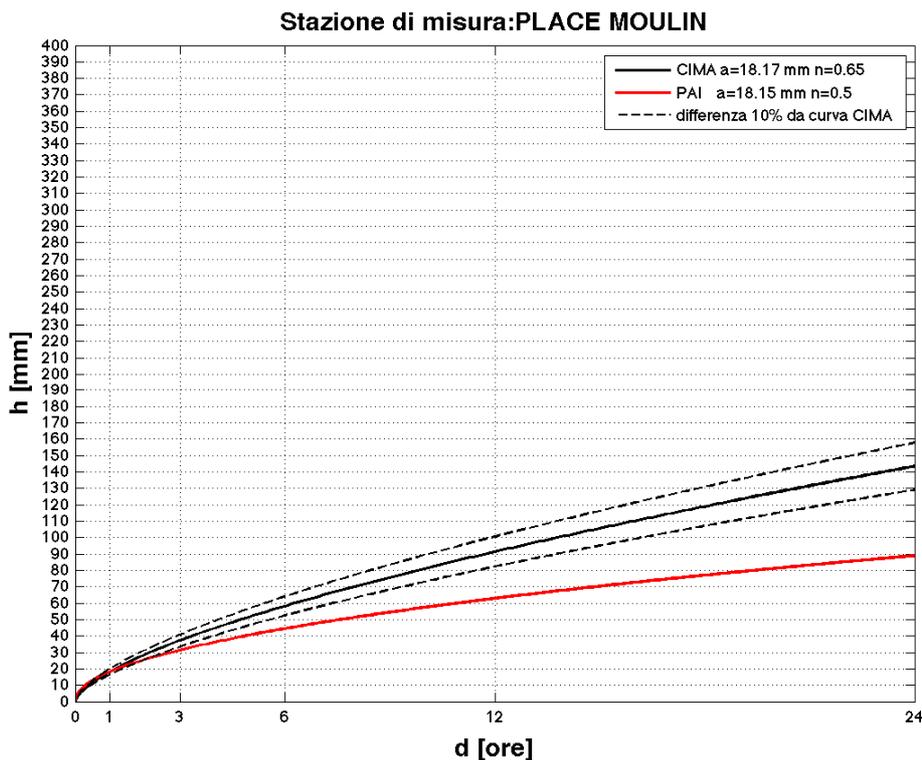


Figura 194: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

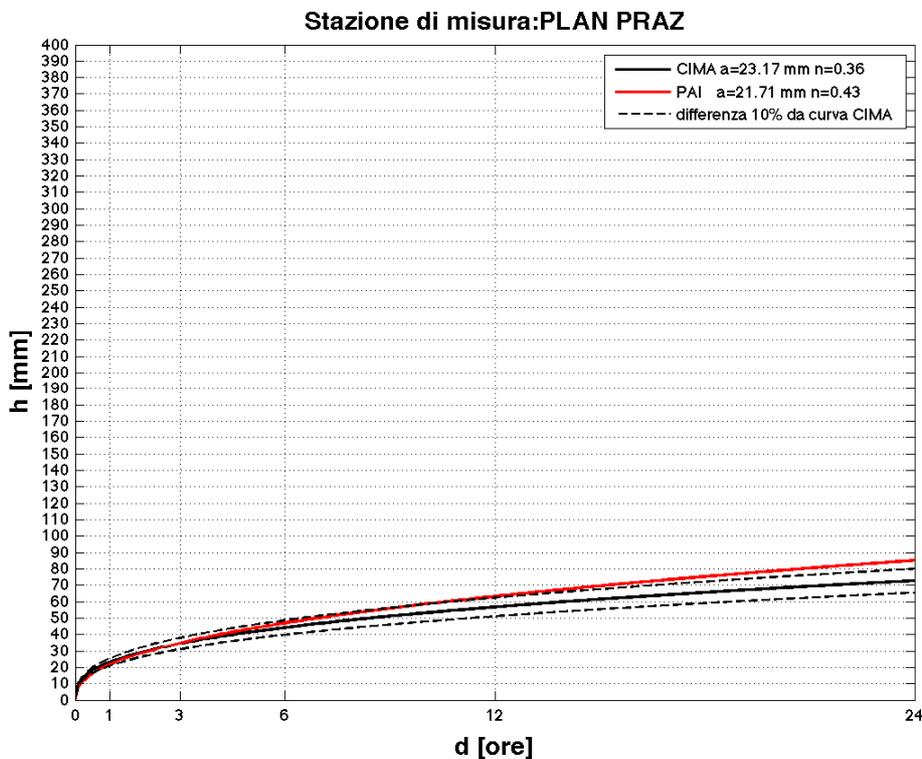


Figura 195: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

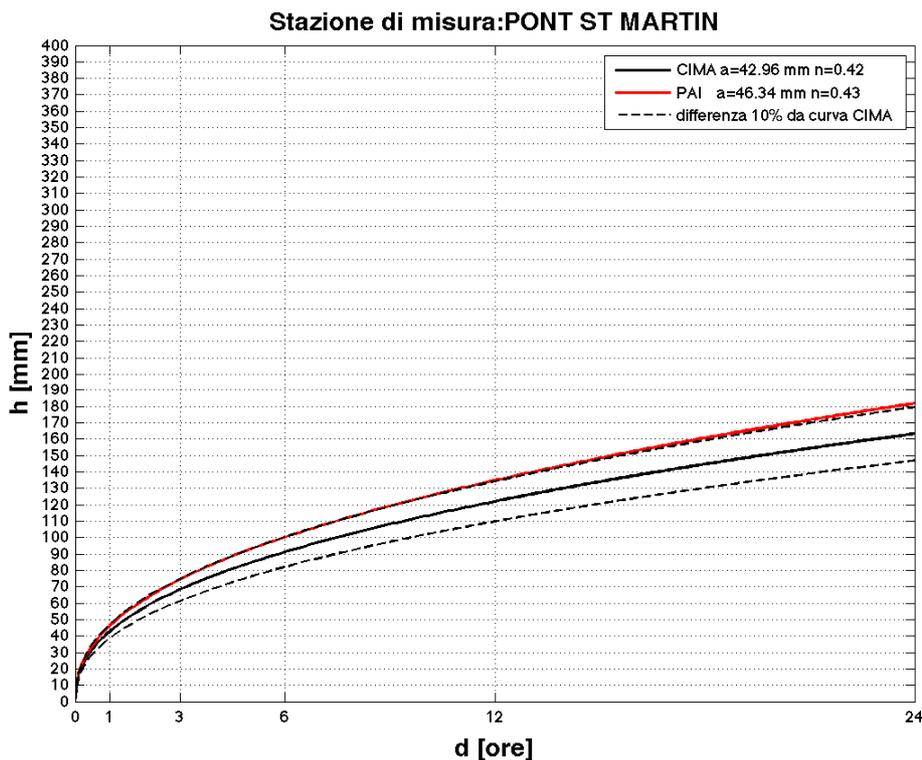


Figura 196: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

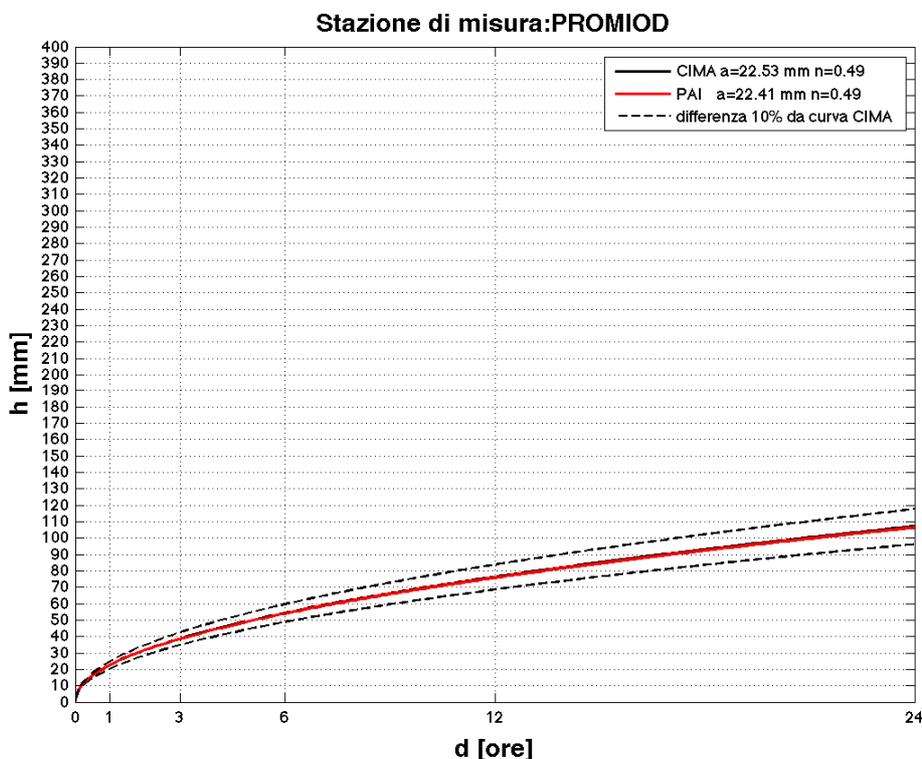


Figura 197: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

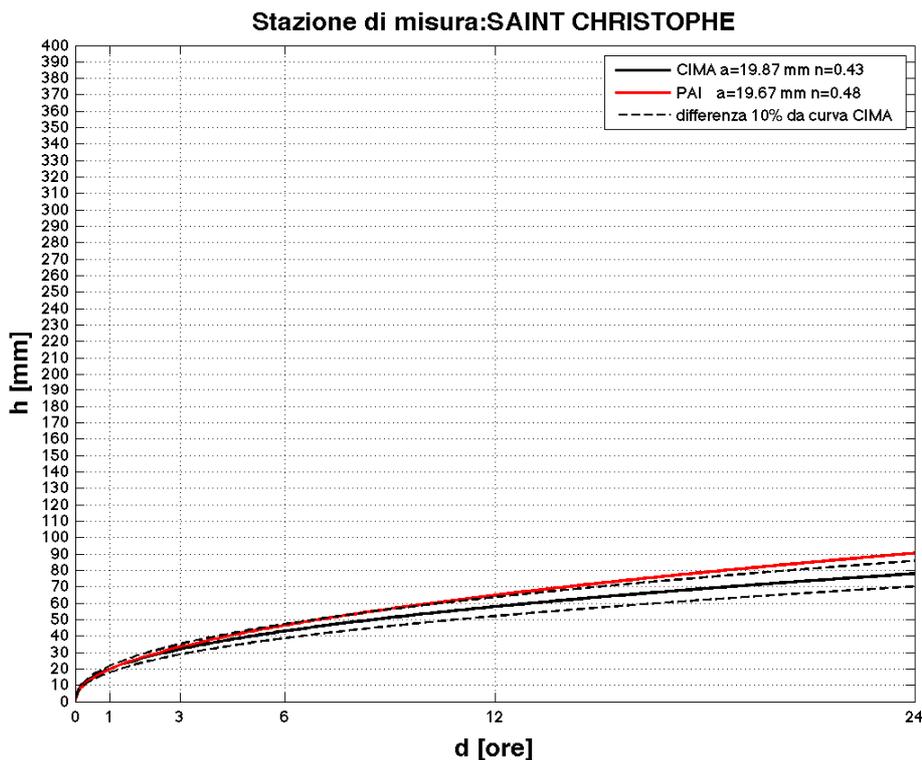


Figura 198: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

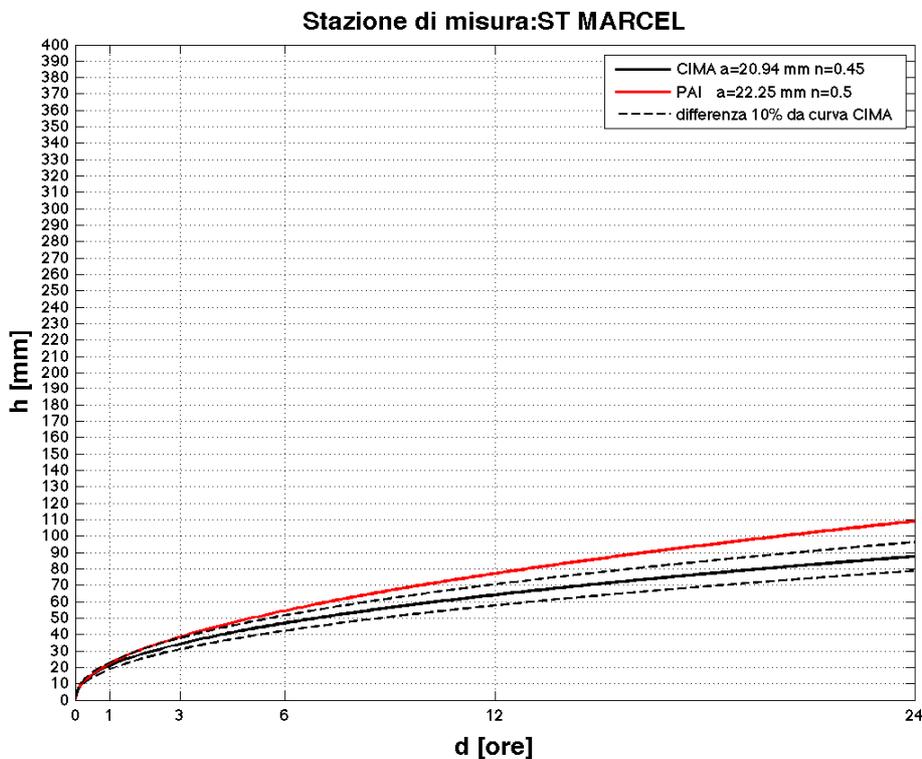


Figura 199: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

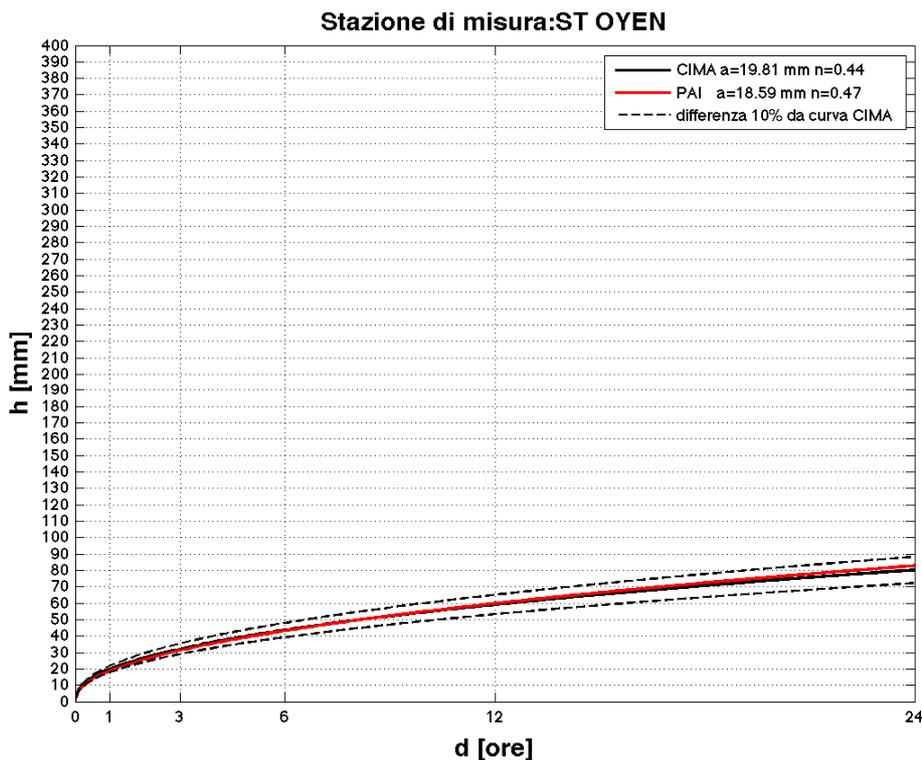


Figura 200: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

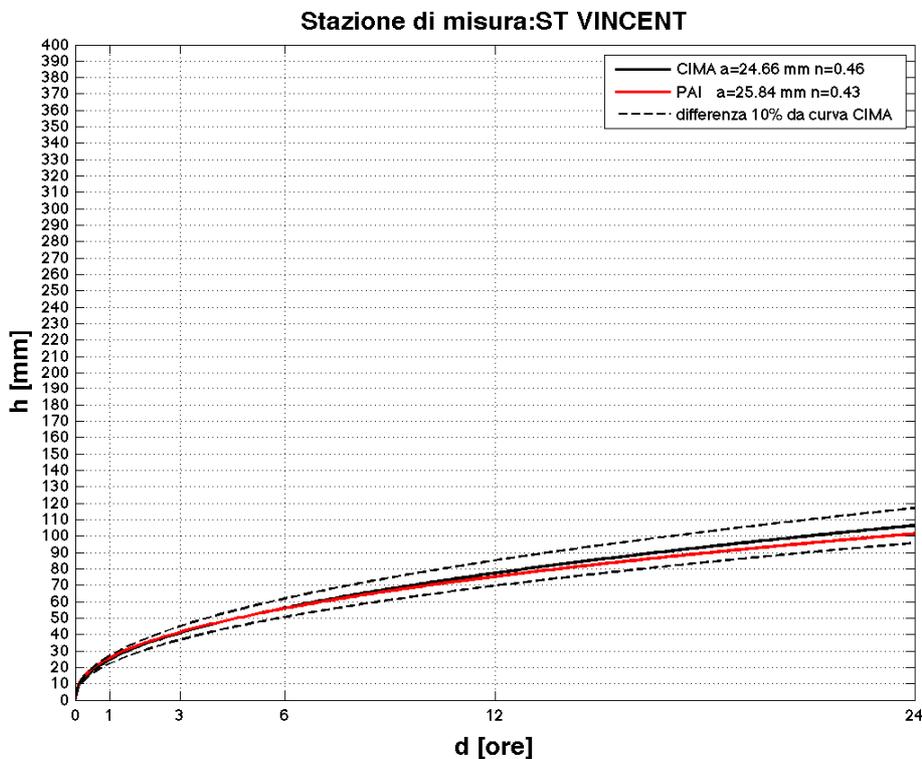


Figura 201: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

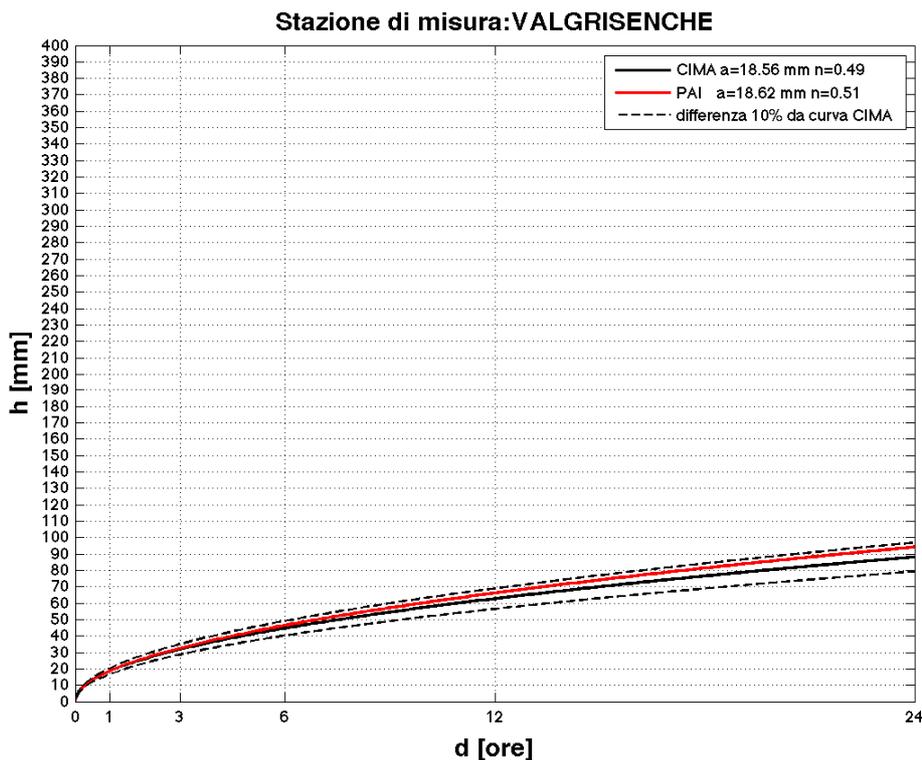


Figura 202: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

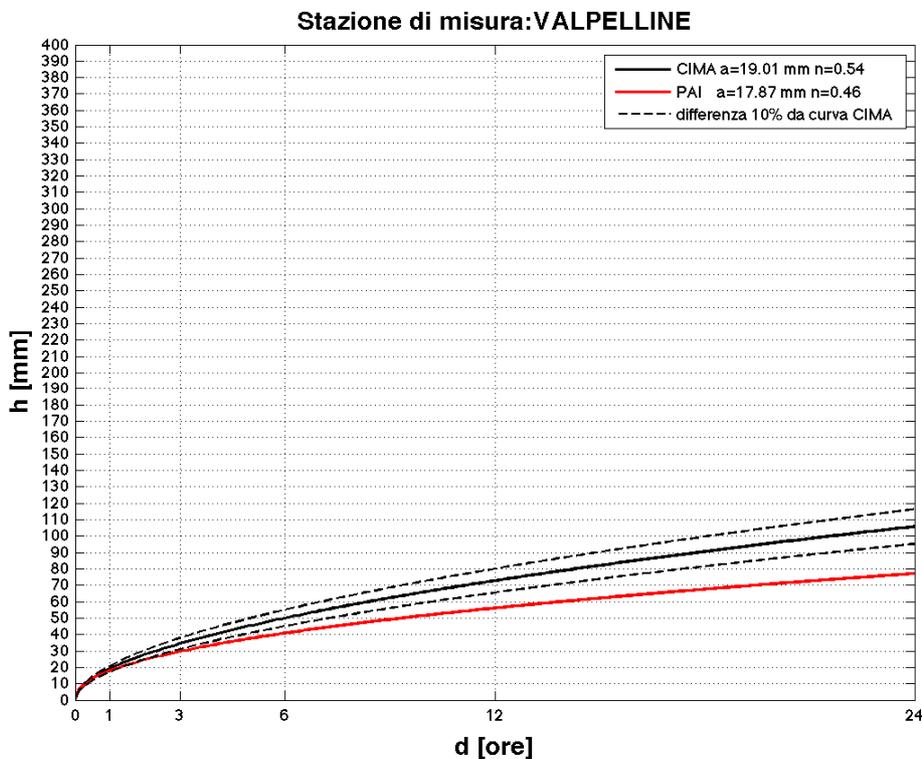


Figura 203: LSPP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

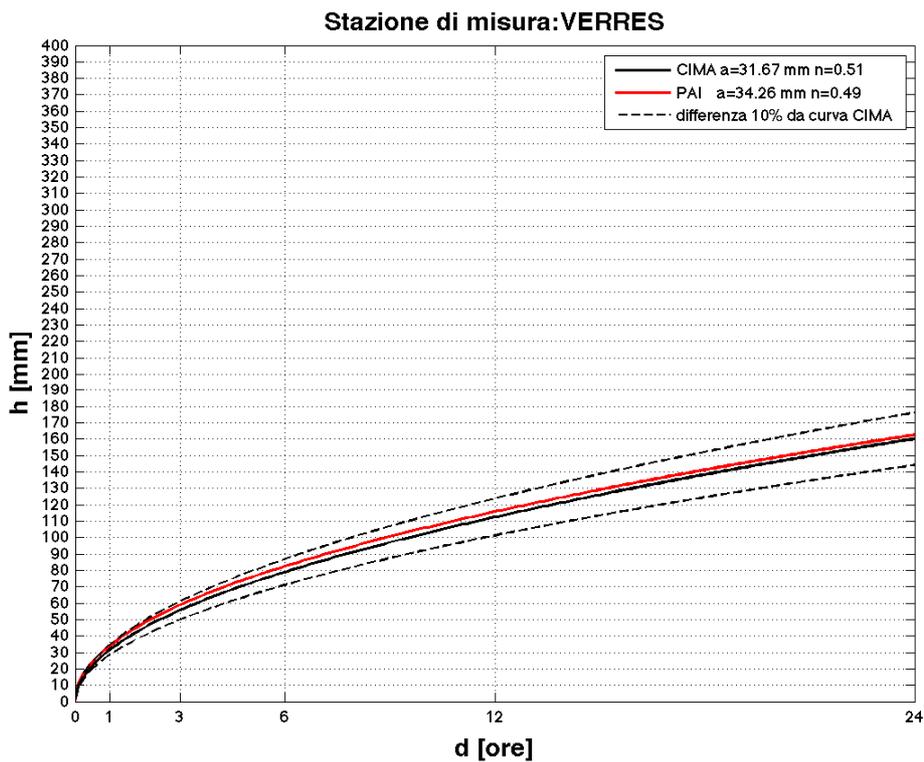


Figura 204: LSP T=20 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

11.2 TEMPO DI RITORNO 100 ANNI

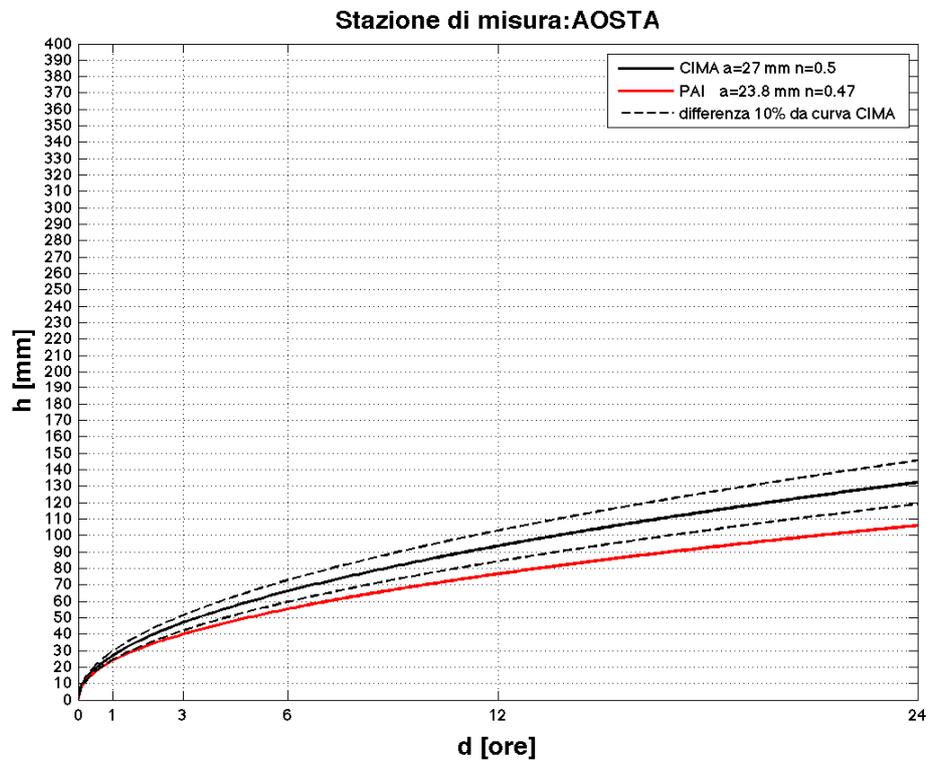


Figura 205: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

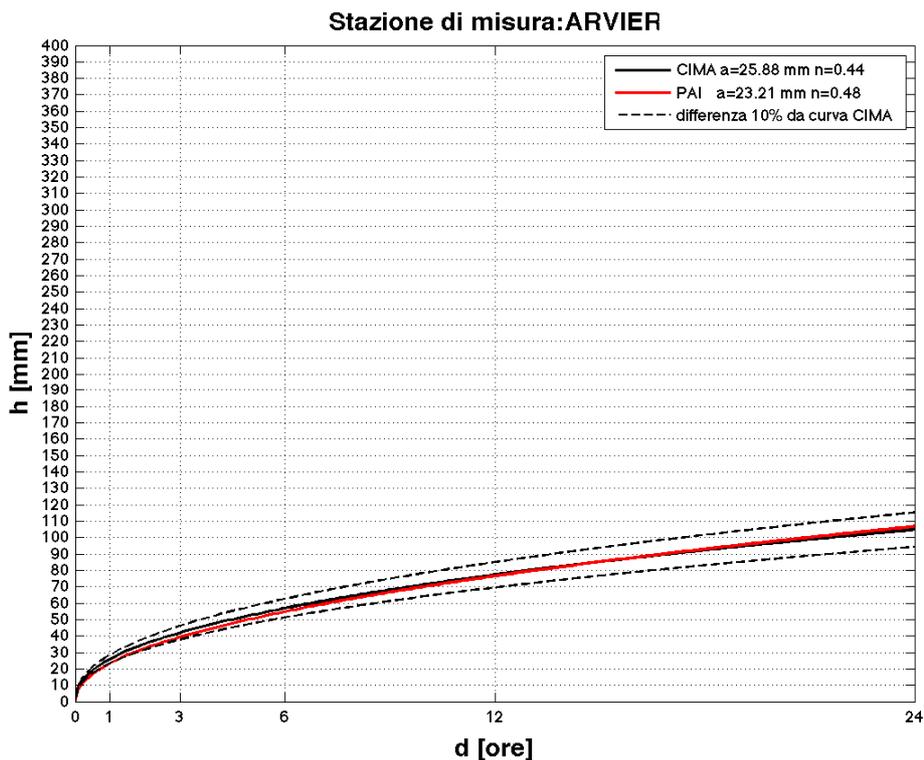


Figura 206: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

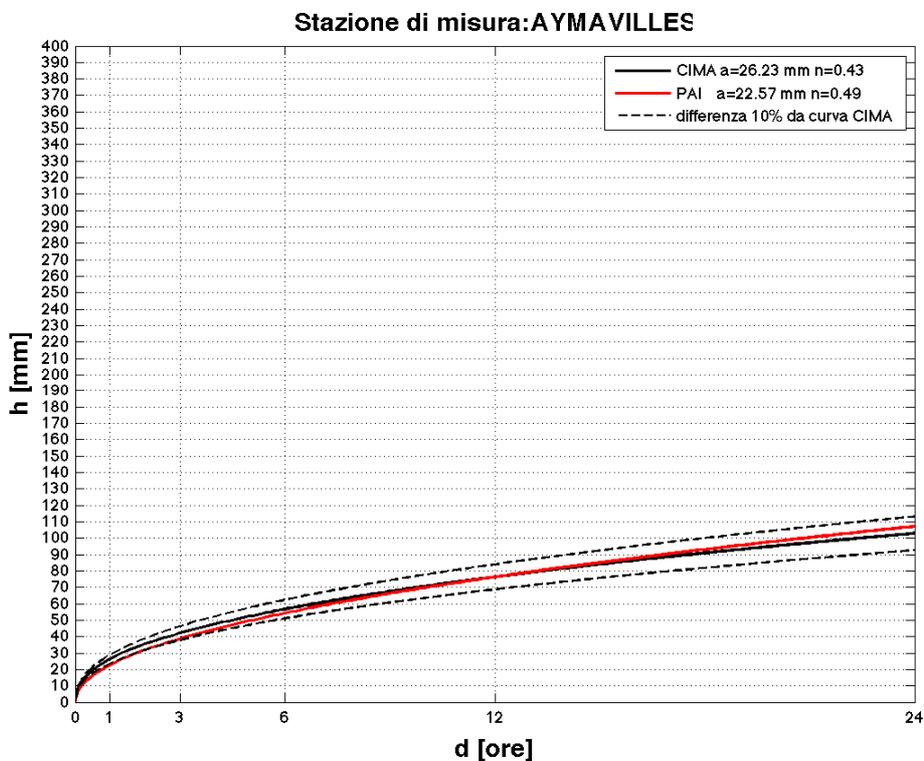


Figura 207: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

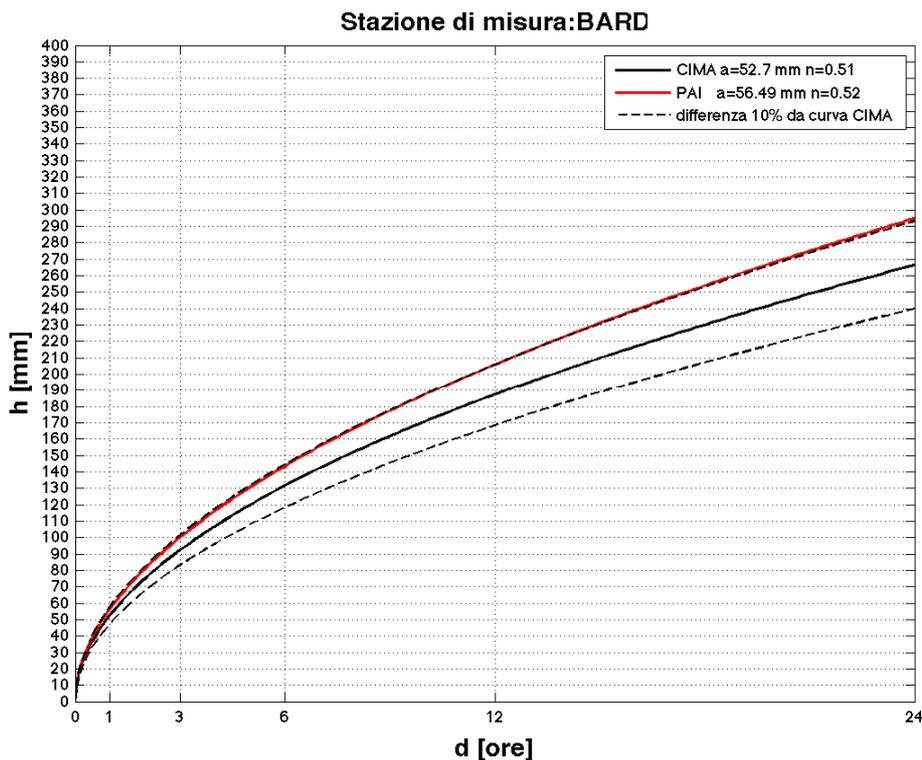


Figura 208: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

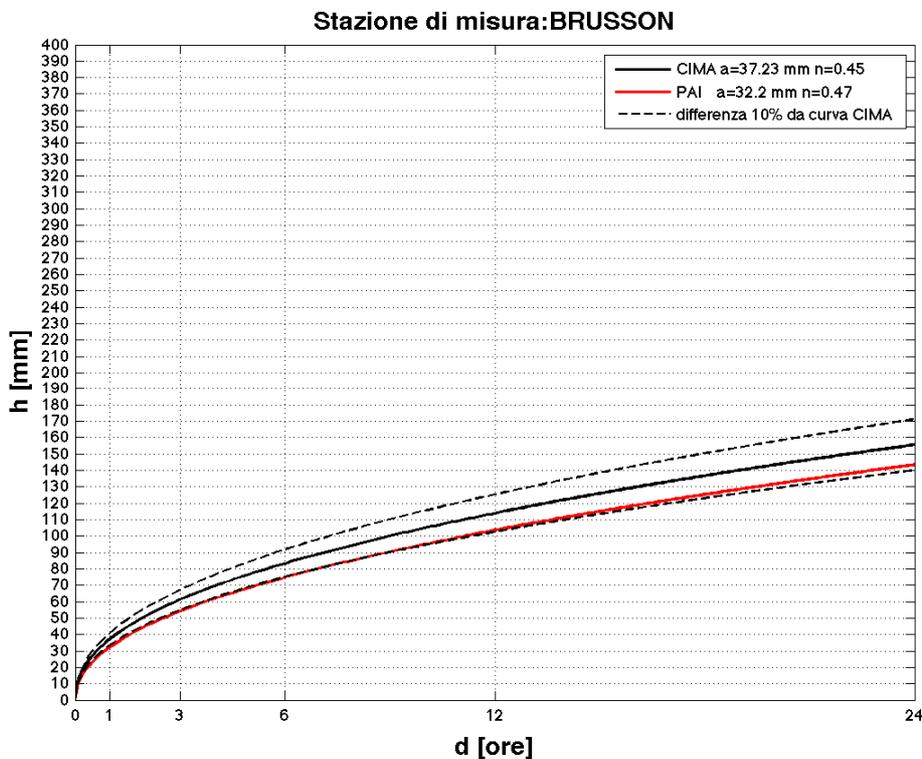


Figura 209: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

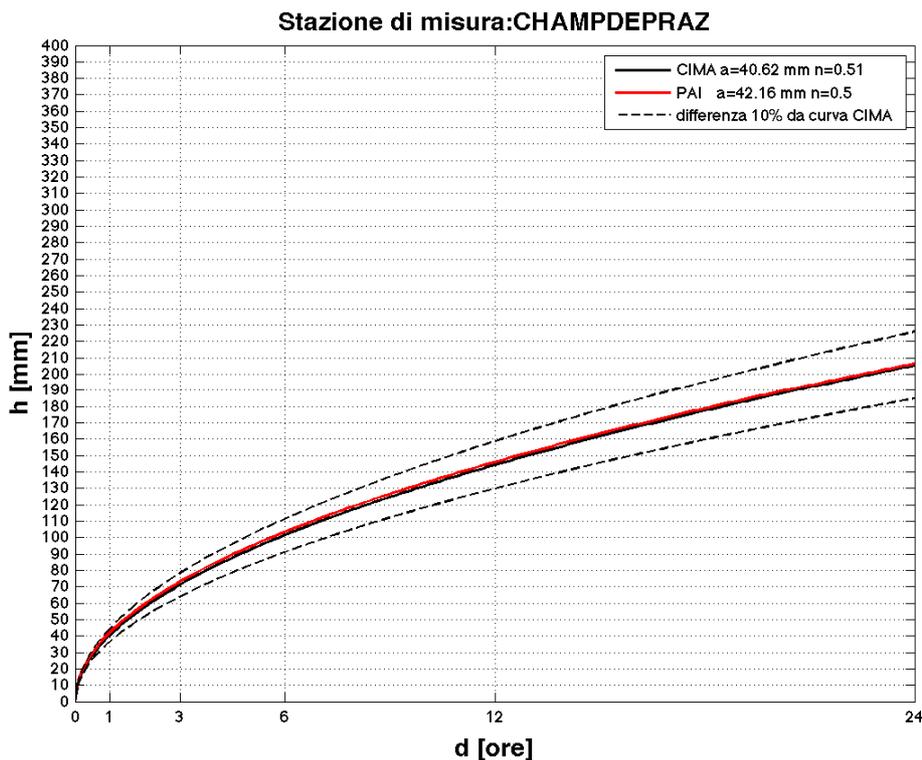


Figura 210: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

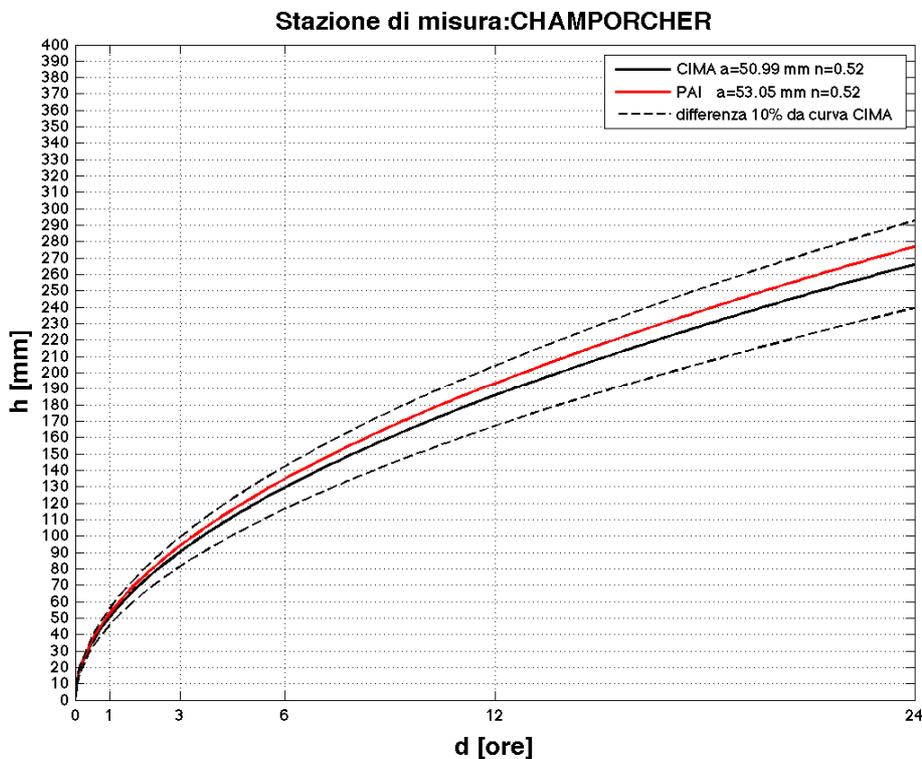


Figura 211: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

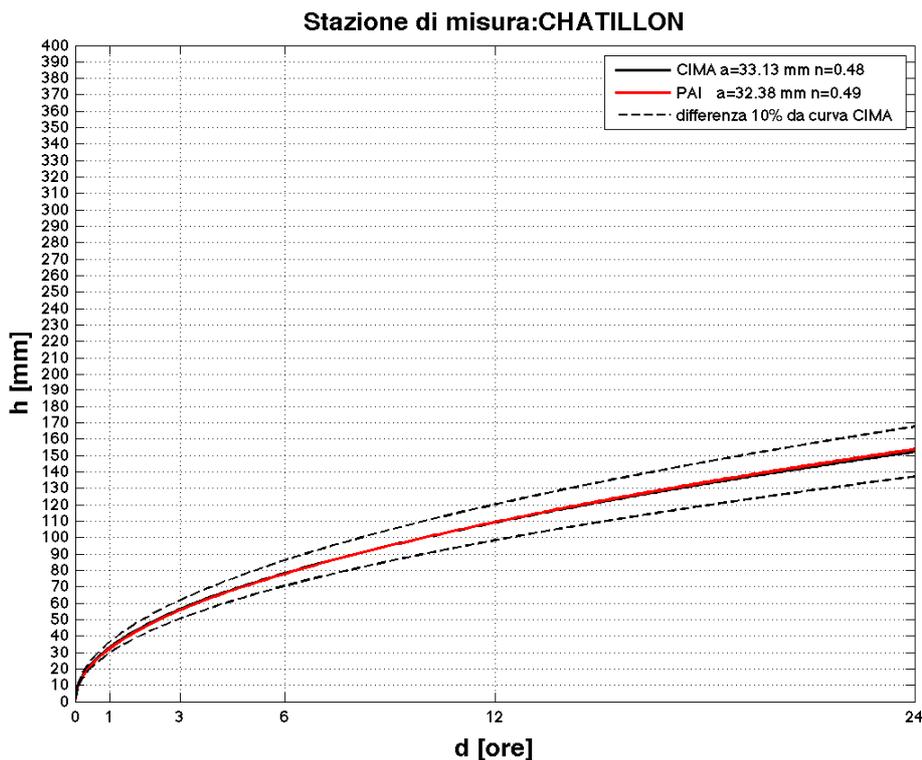


Figura 212: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

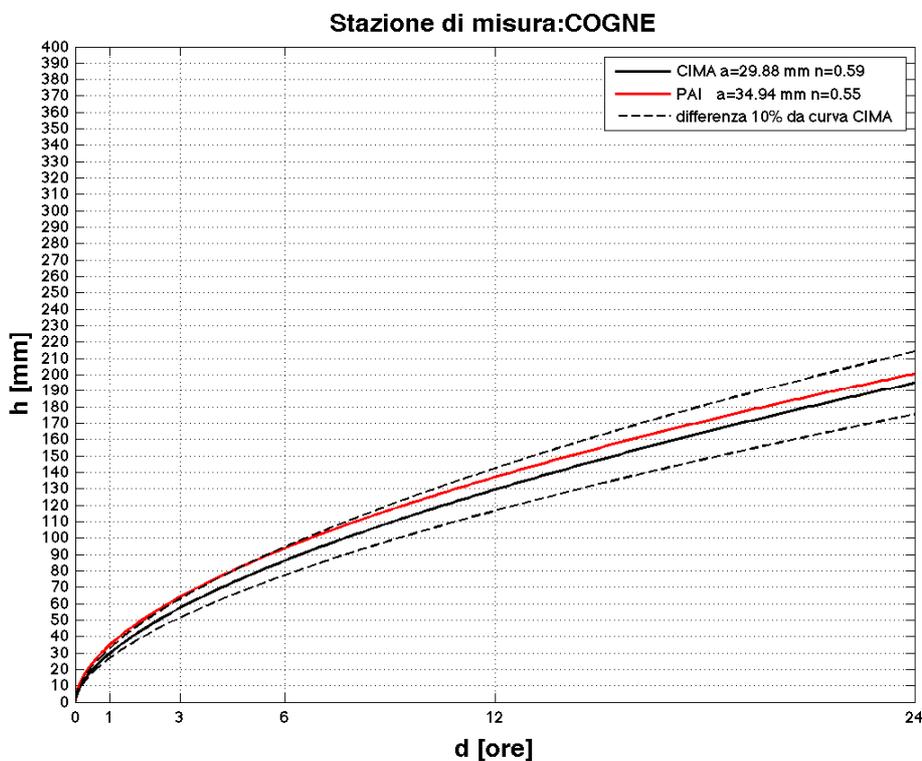


Figura 213: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

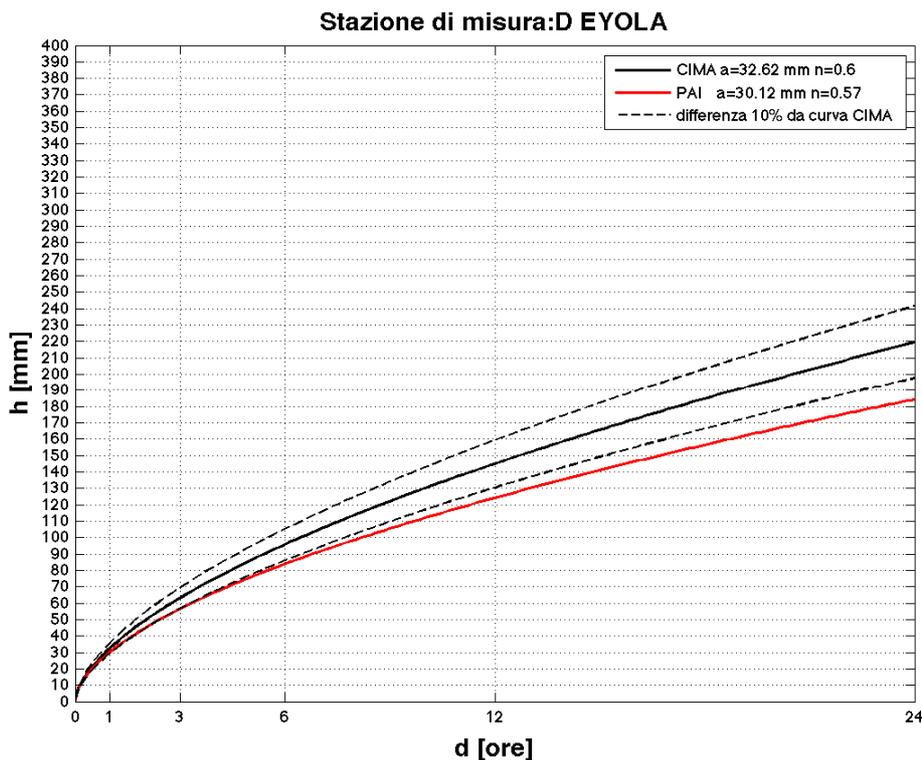


Figura 214: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

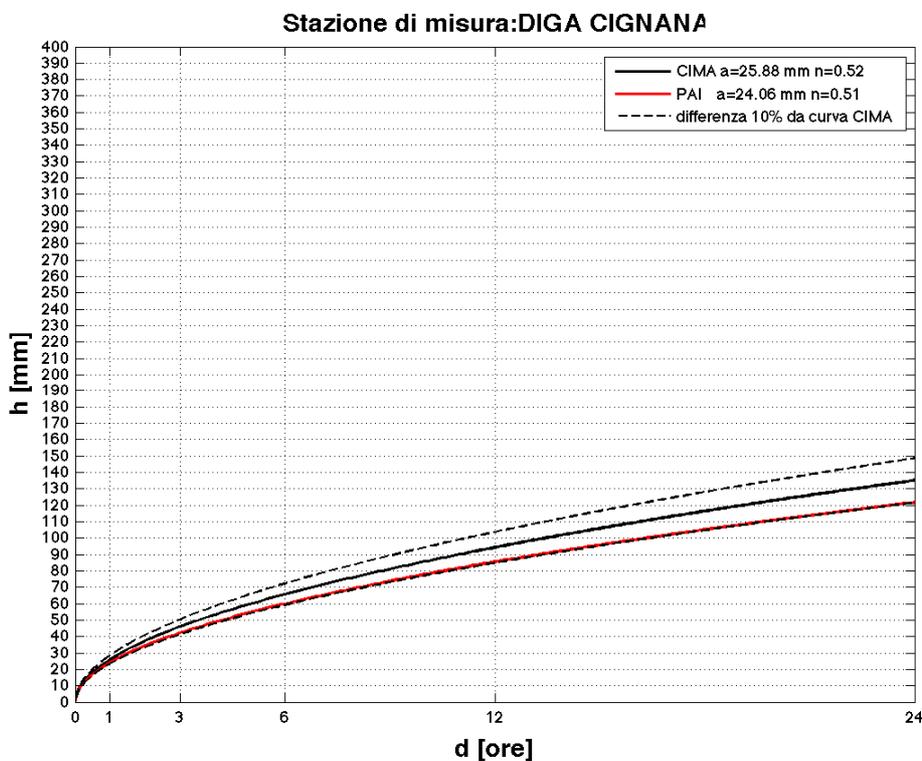


Figura 215: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

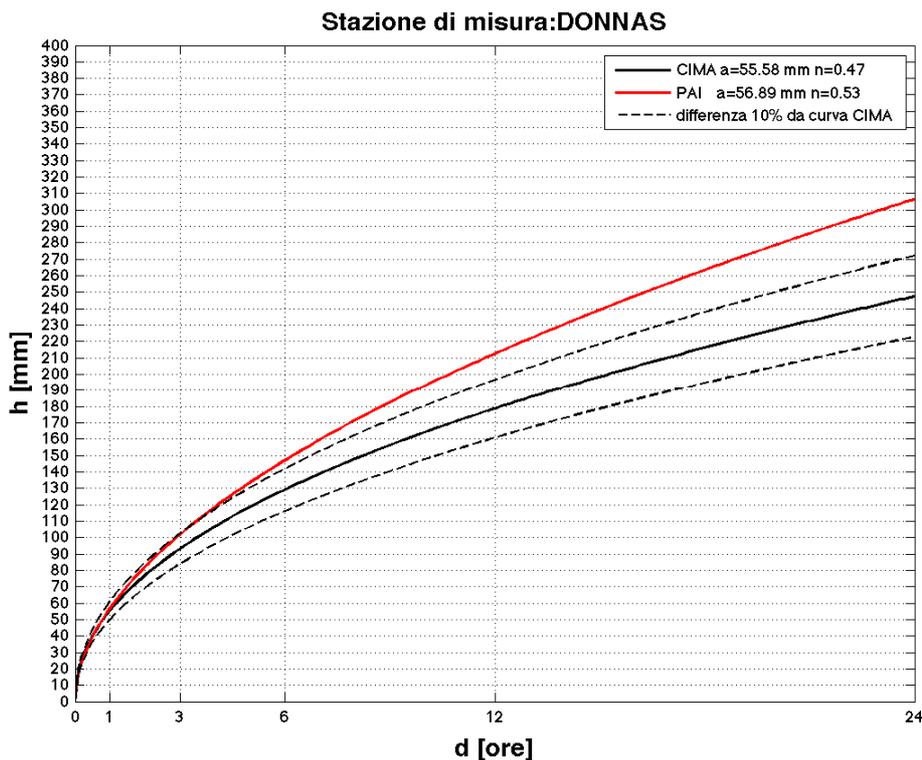


Figura 216: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

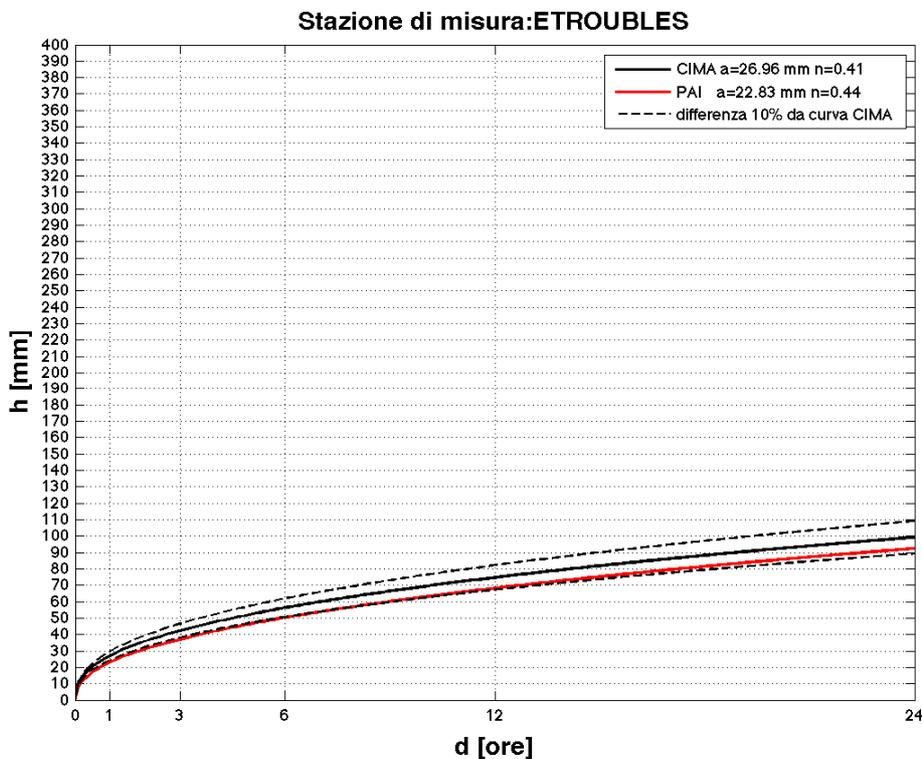


Figura 217: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

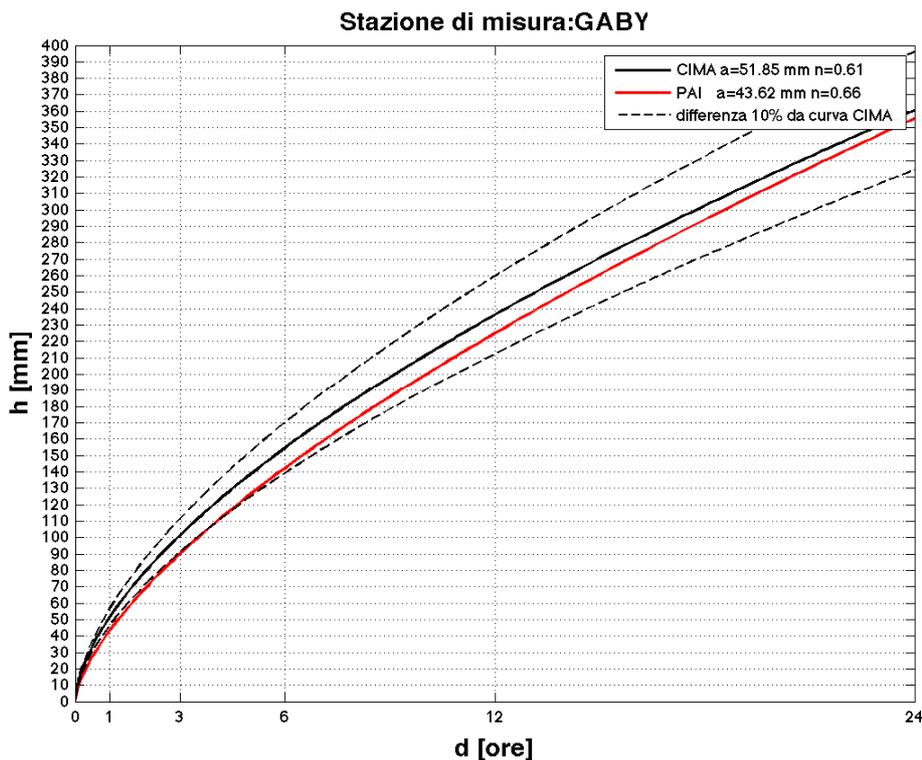


Figura 218: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

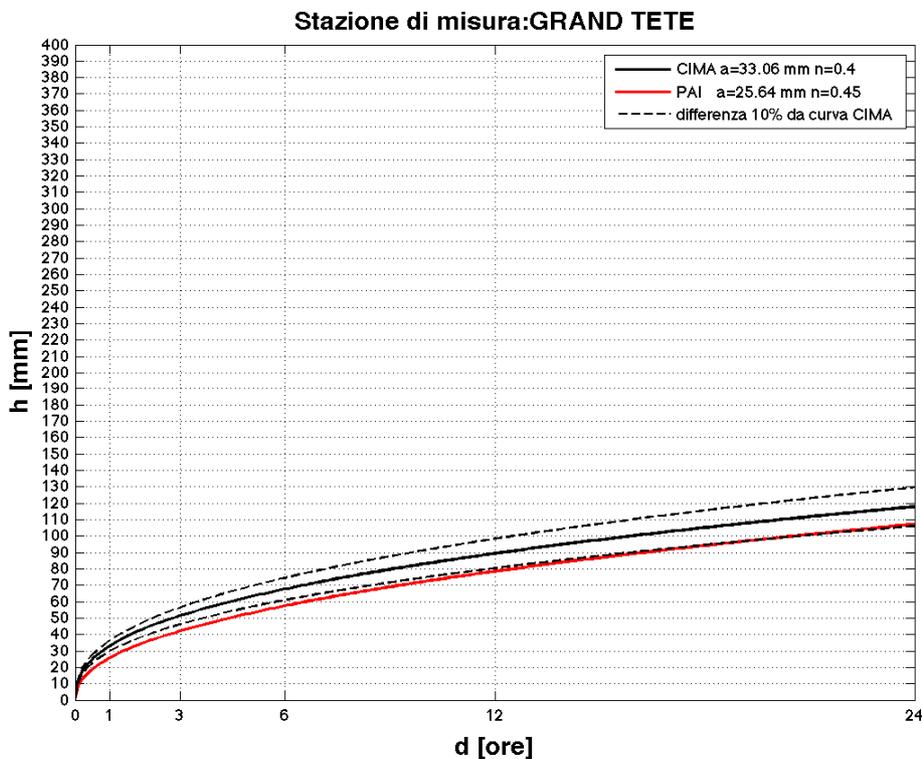


Figura 219: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

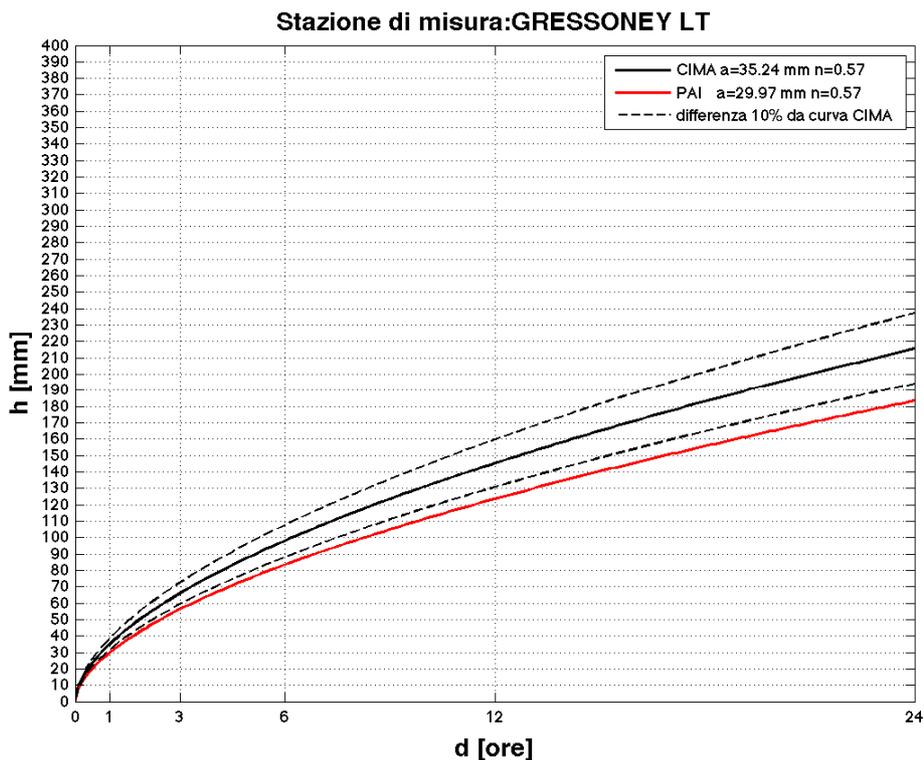


Figura 220: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

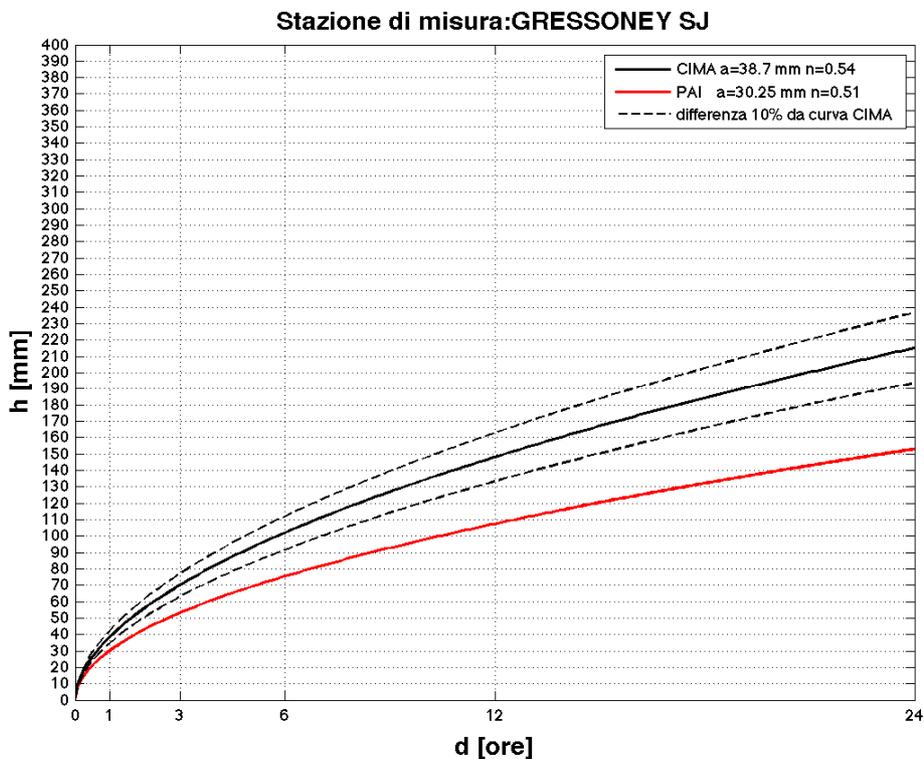


Figura 221: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

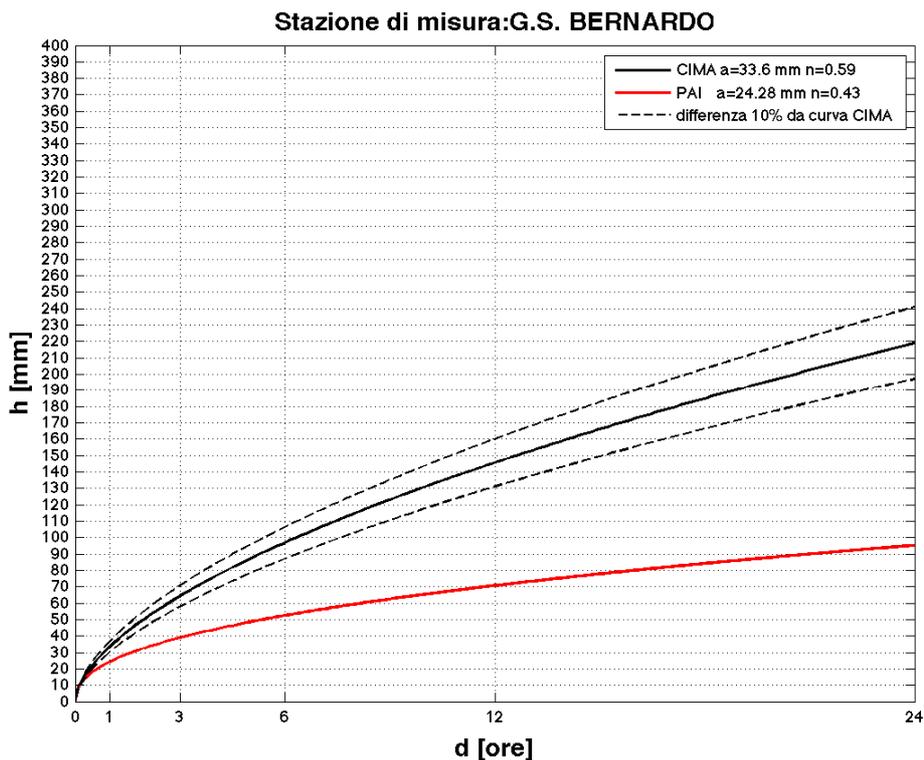


Figura 222: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

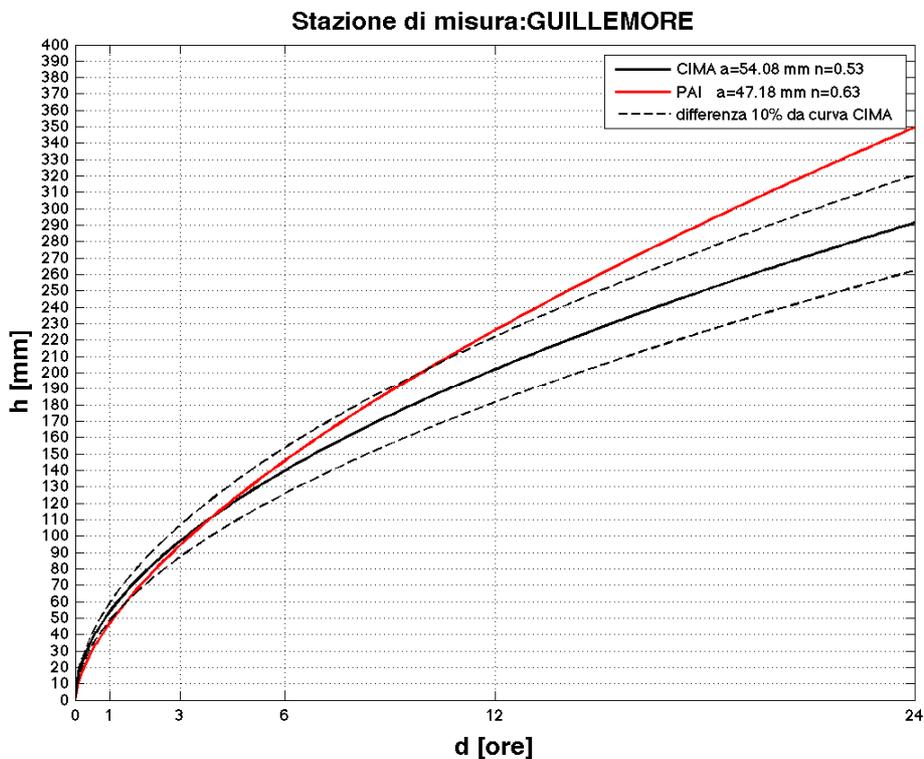


Figura 223: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

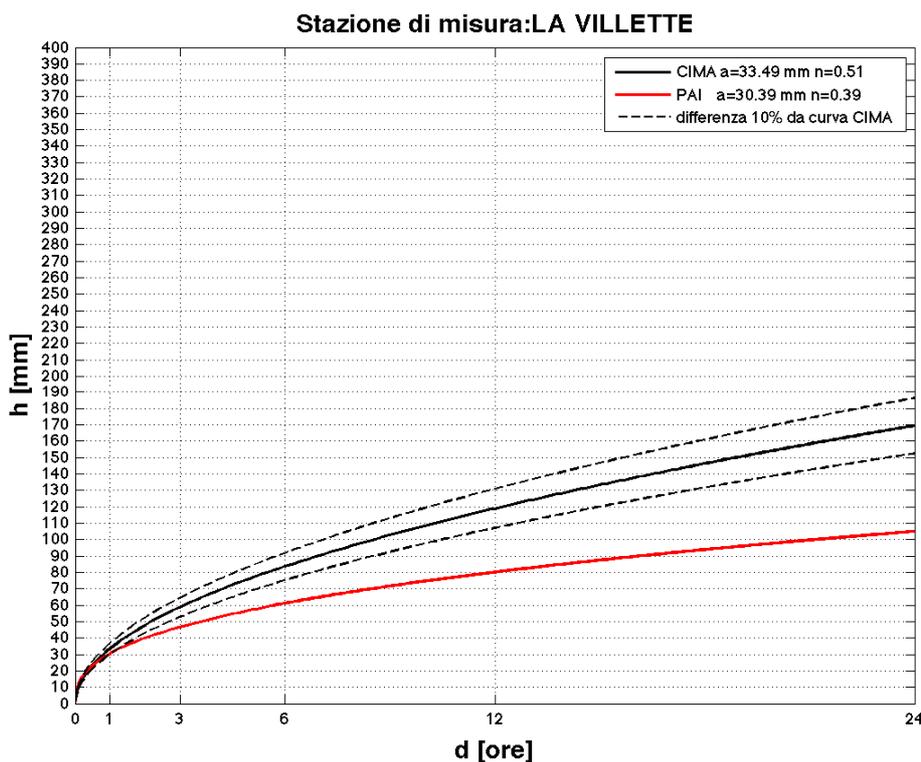


Figura 224: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

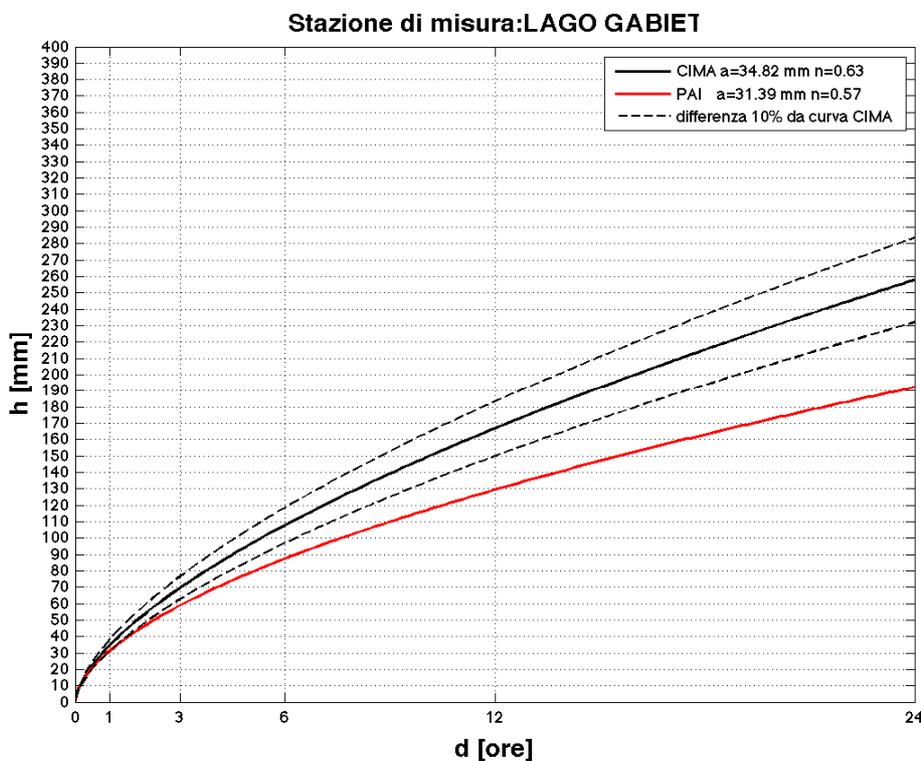


Figura 225: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

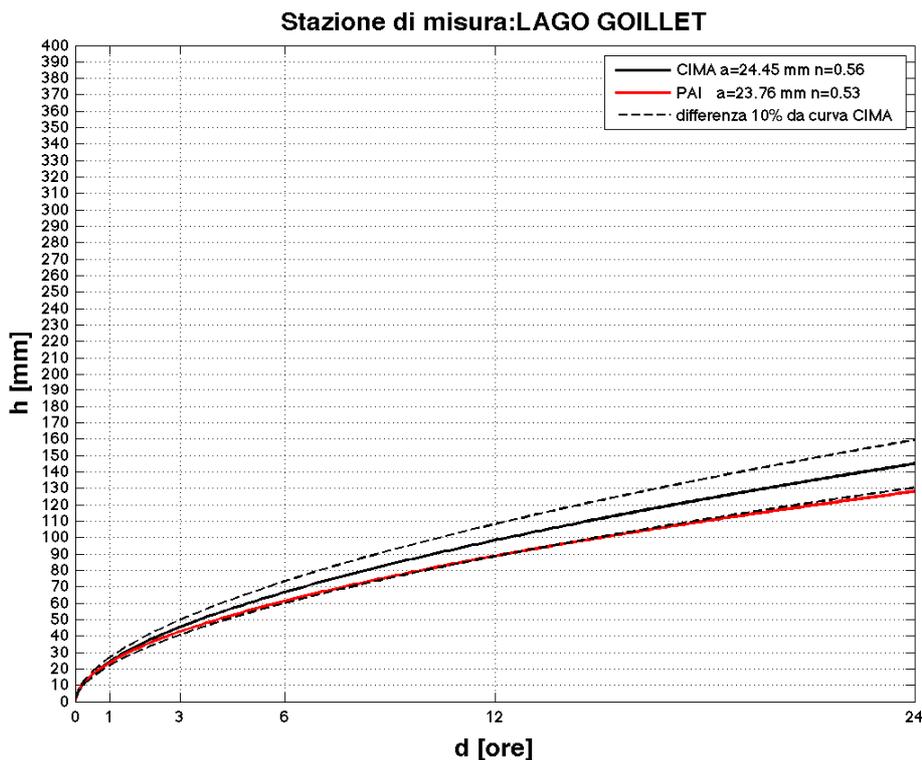


Figura 226: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

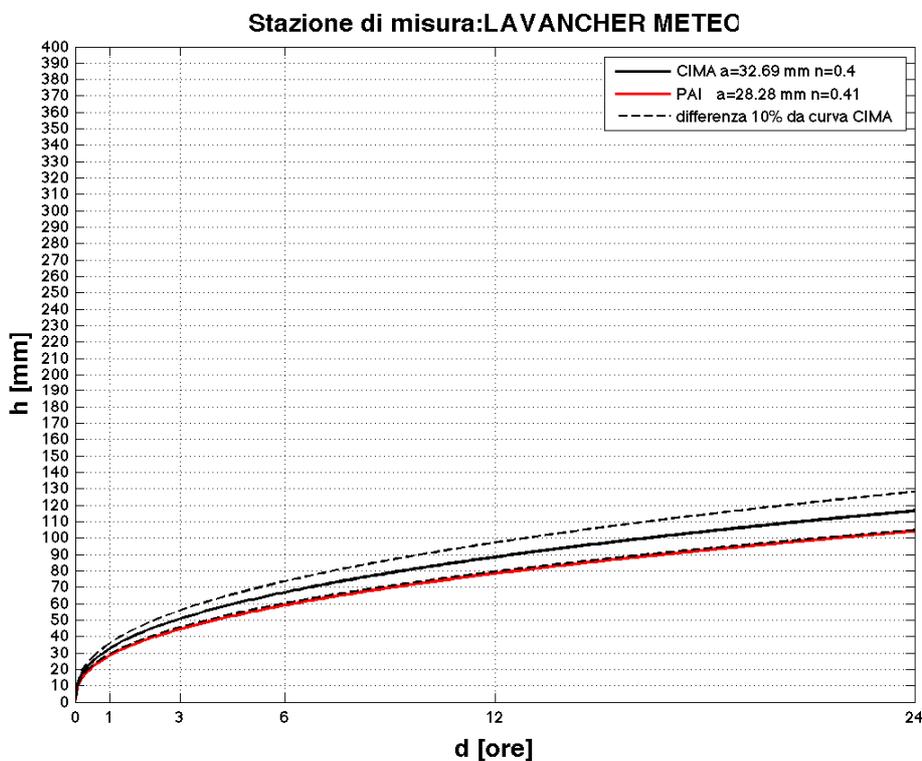


Figura 227: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

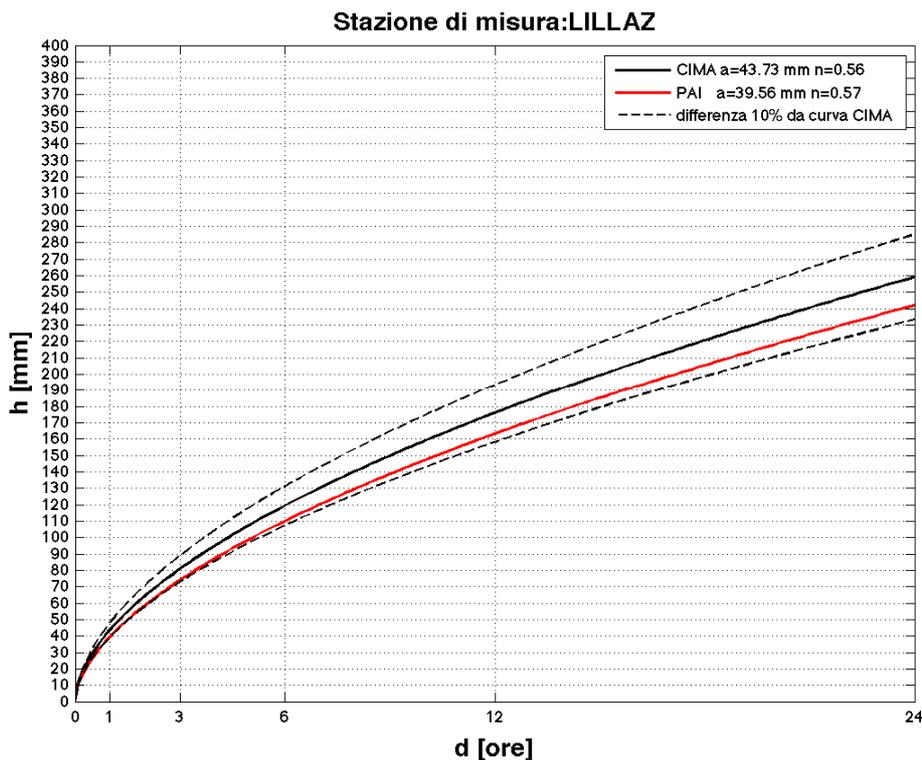


Figura 228: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

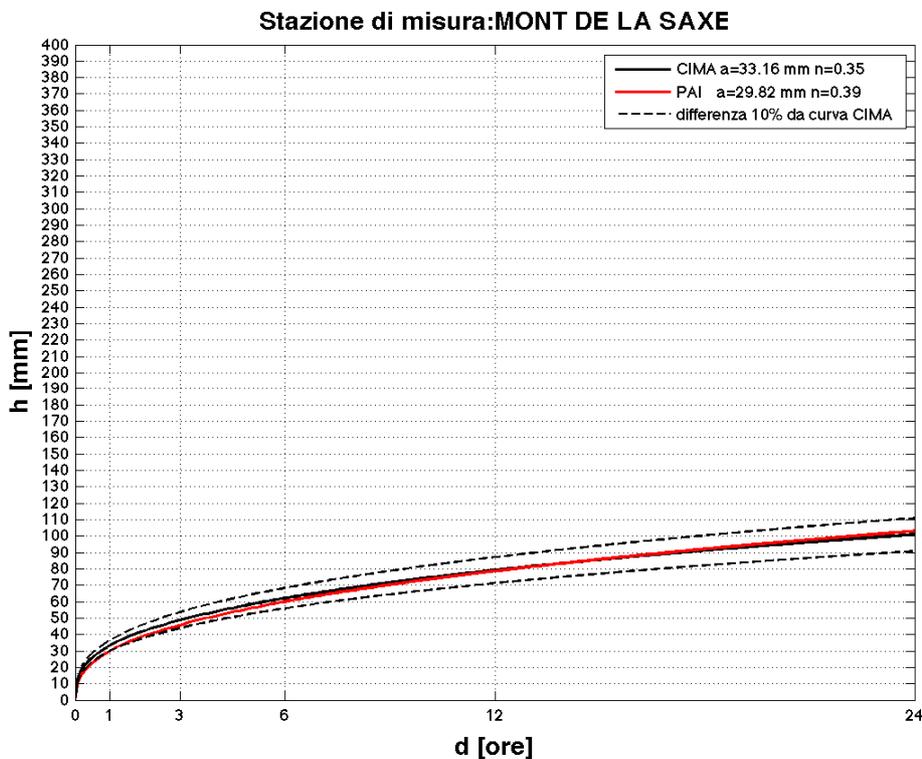


Figura 229: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

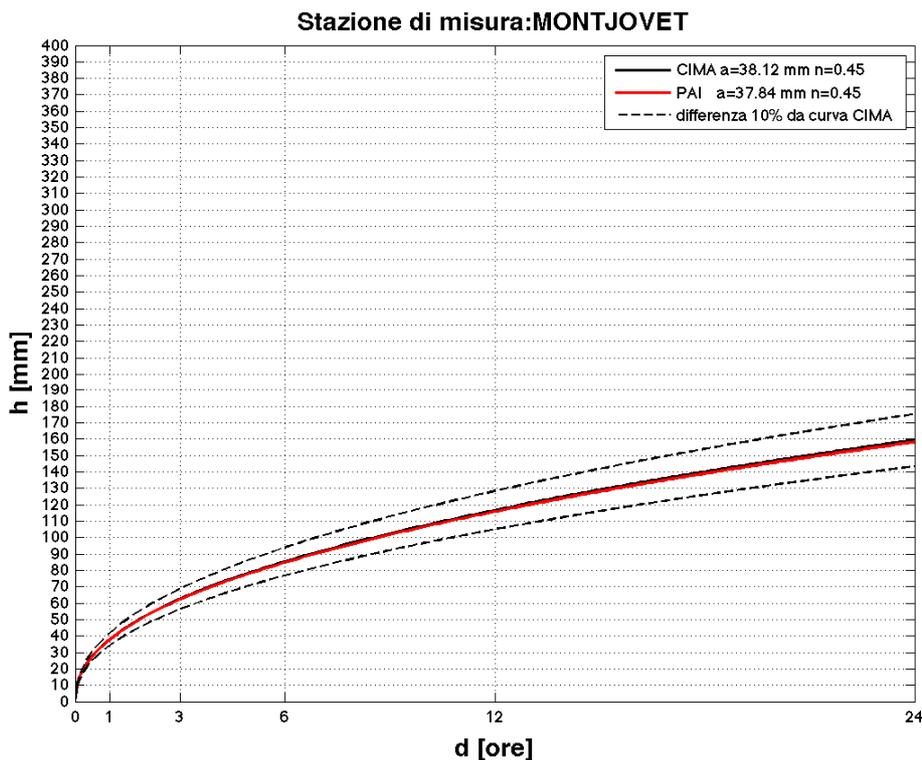


Figura 230: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

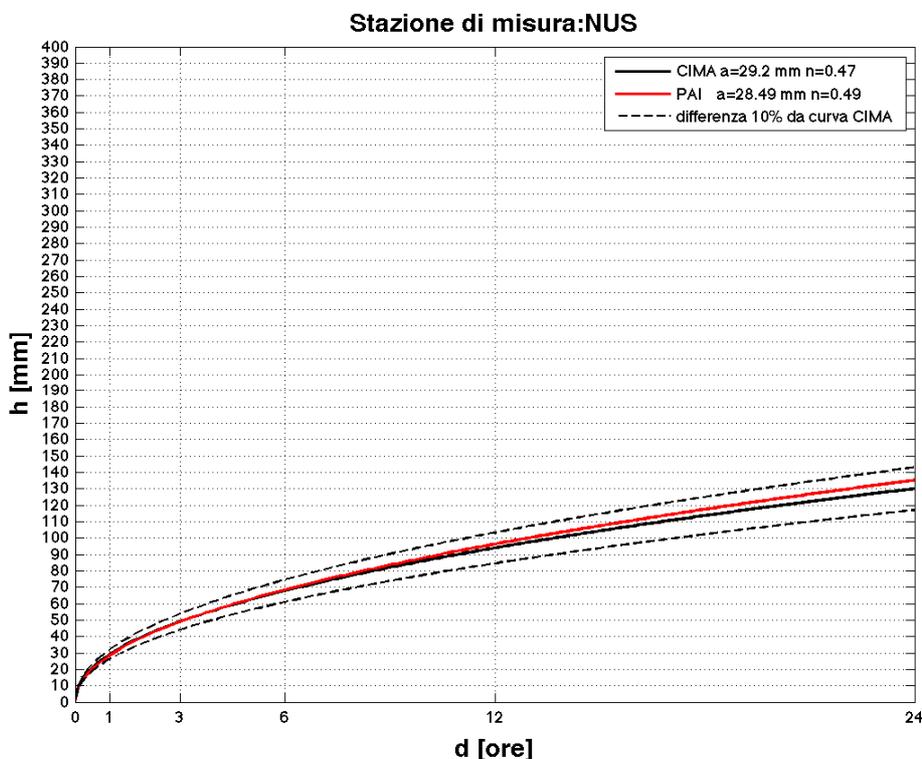


Figura 231: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

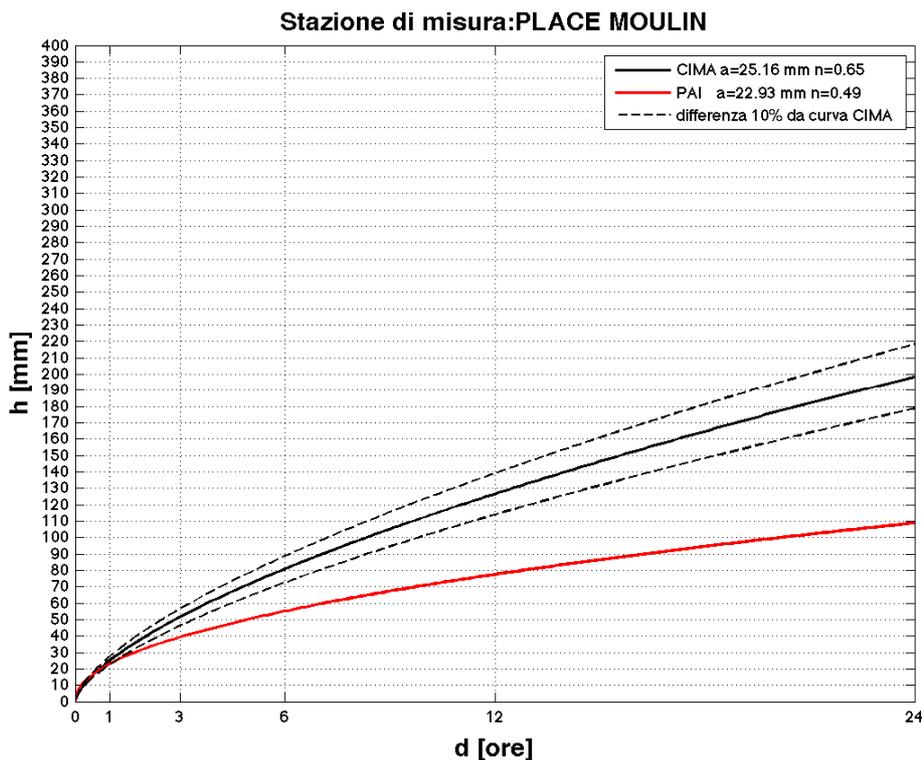


Figura 232: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

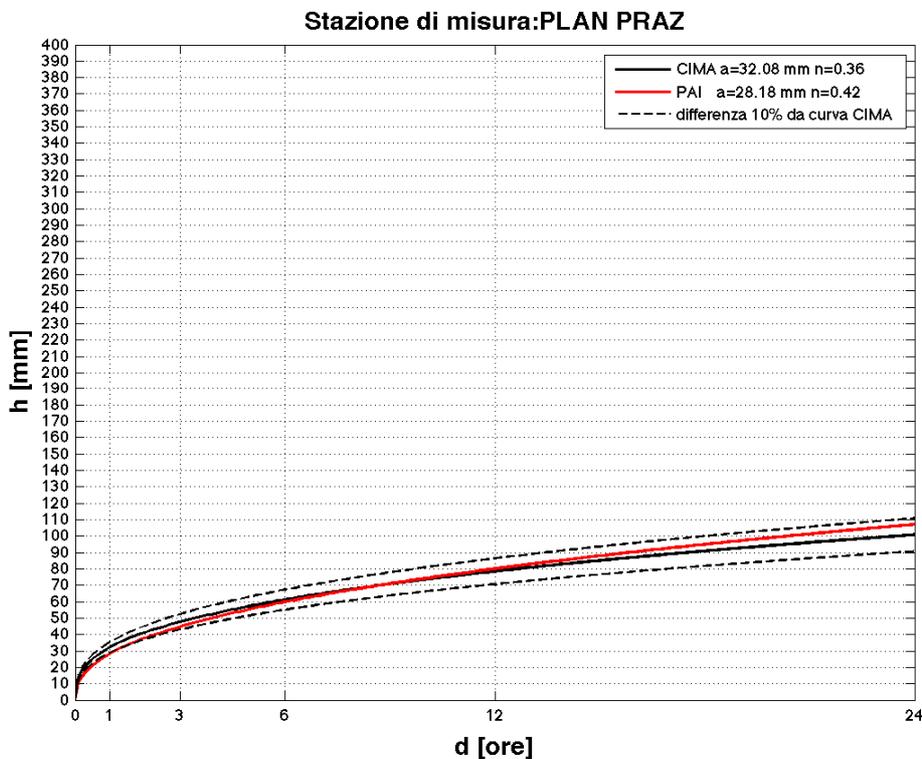


Figura 233: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

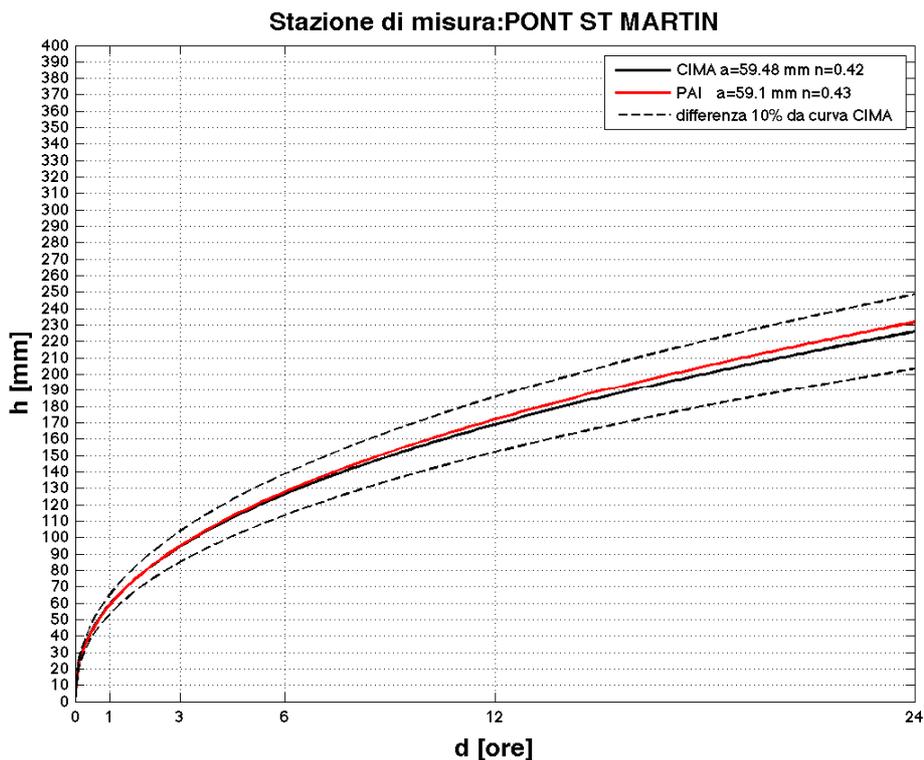


Figura 234: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

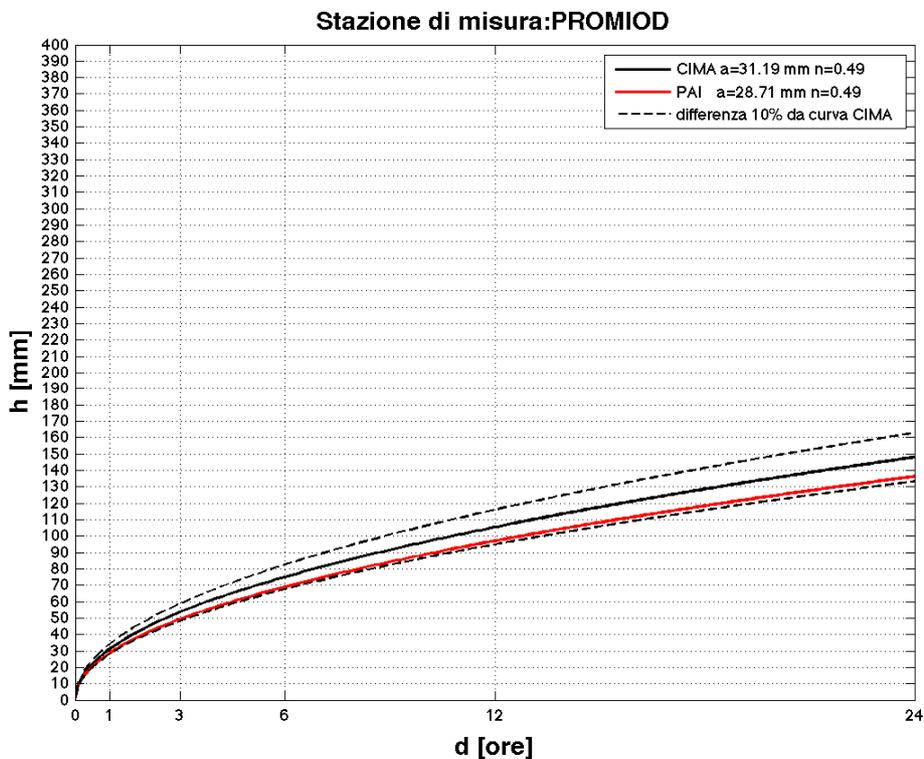


Figura 235: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

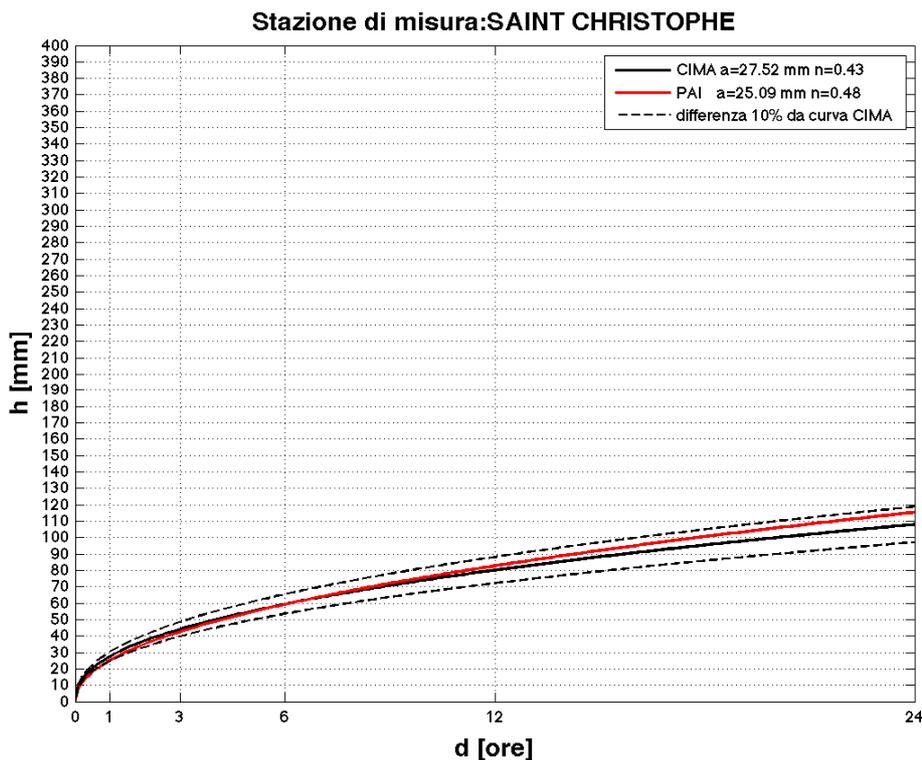


Figura 236: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

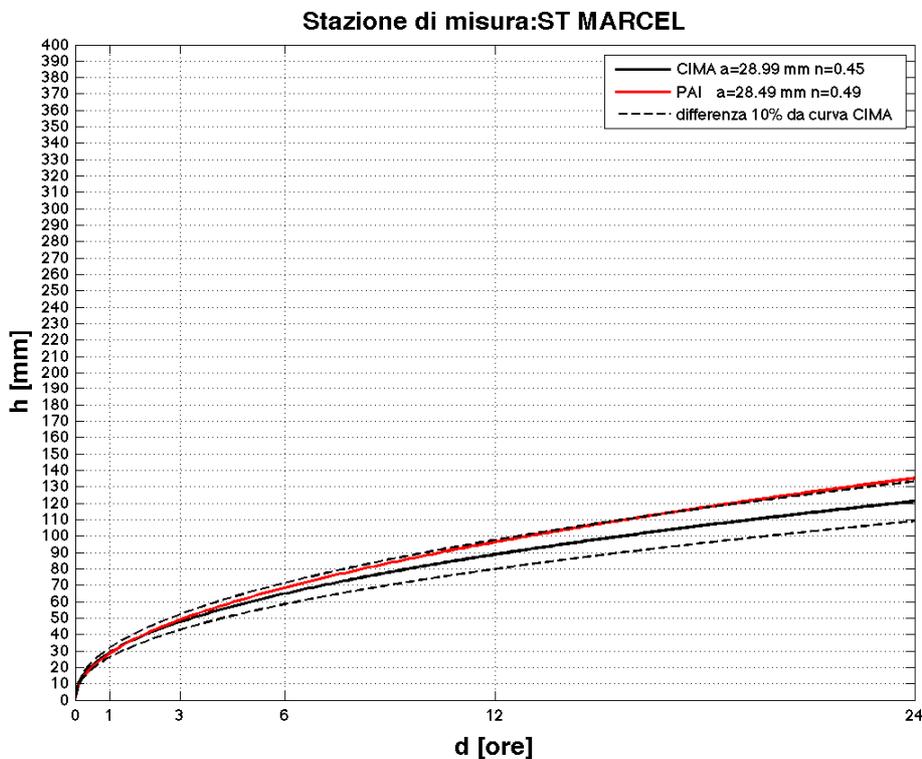


Figura 237: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

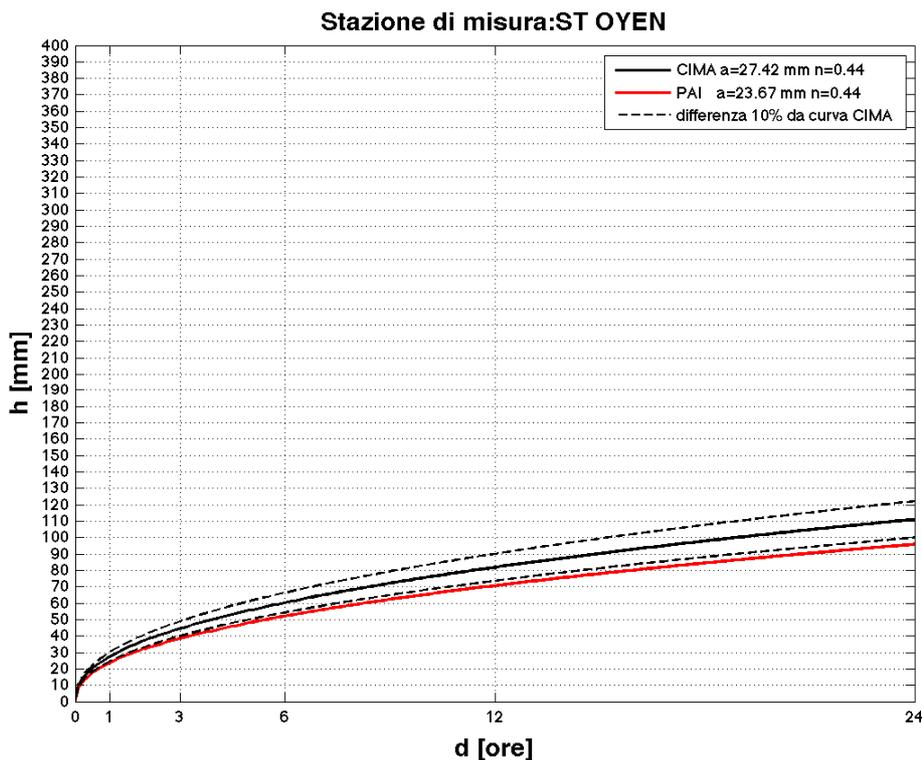


Figura 238: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

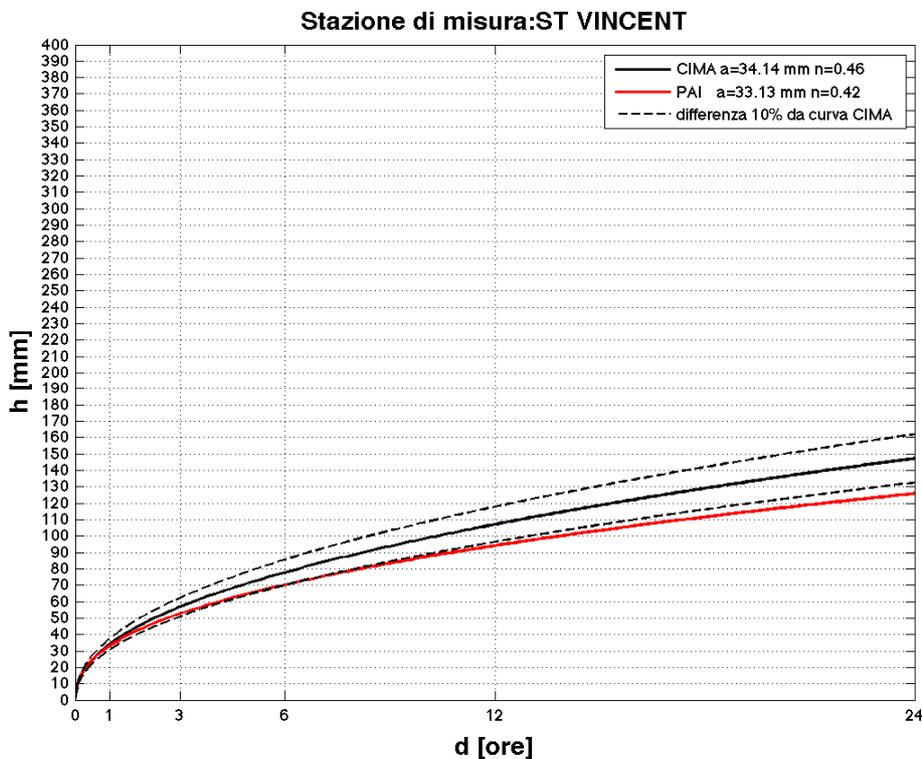


Figura 239: LSP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

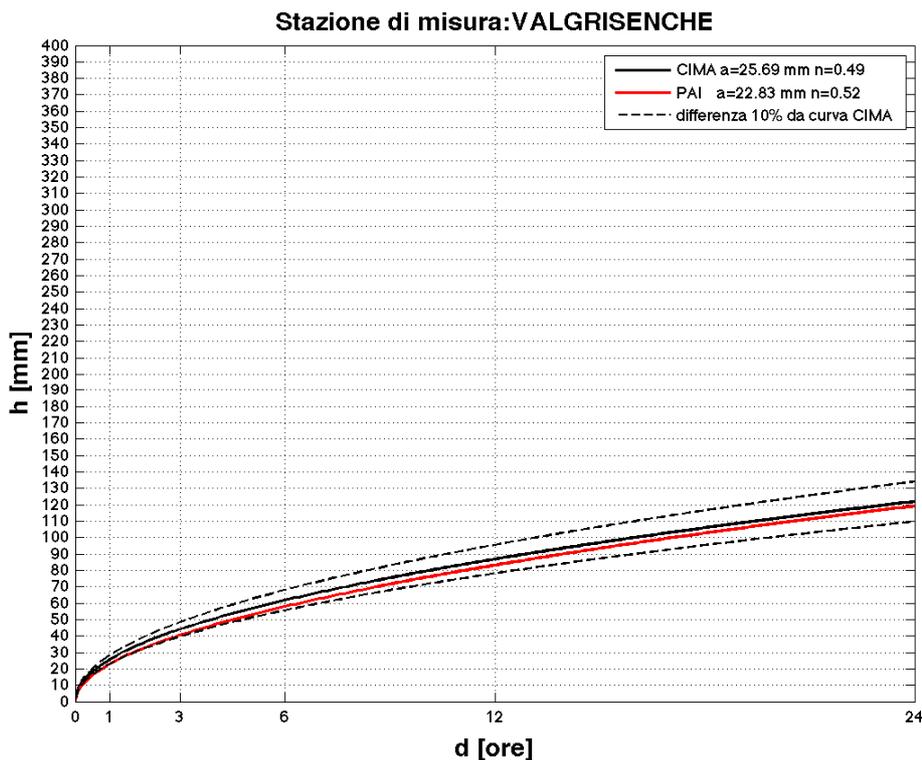


Figura 240: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

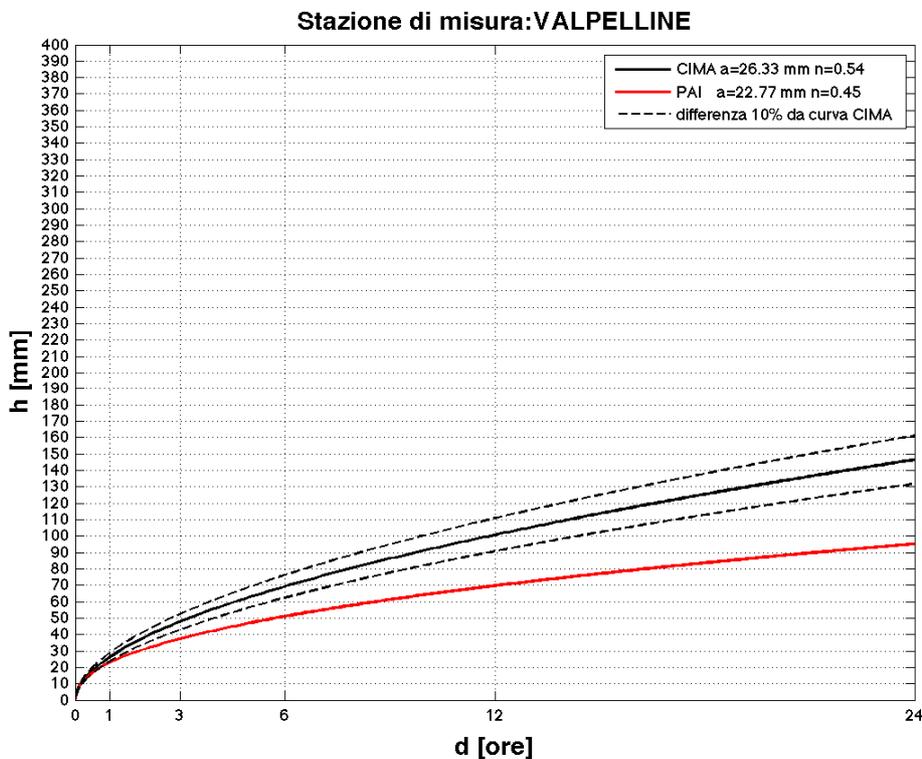


Figura 241: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

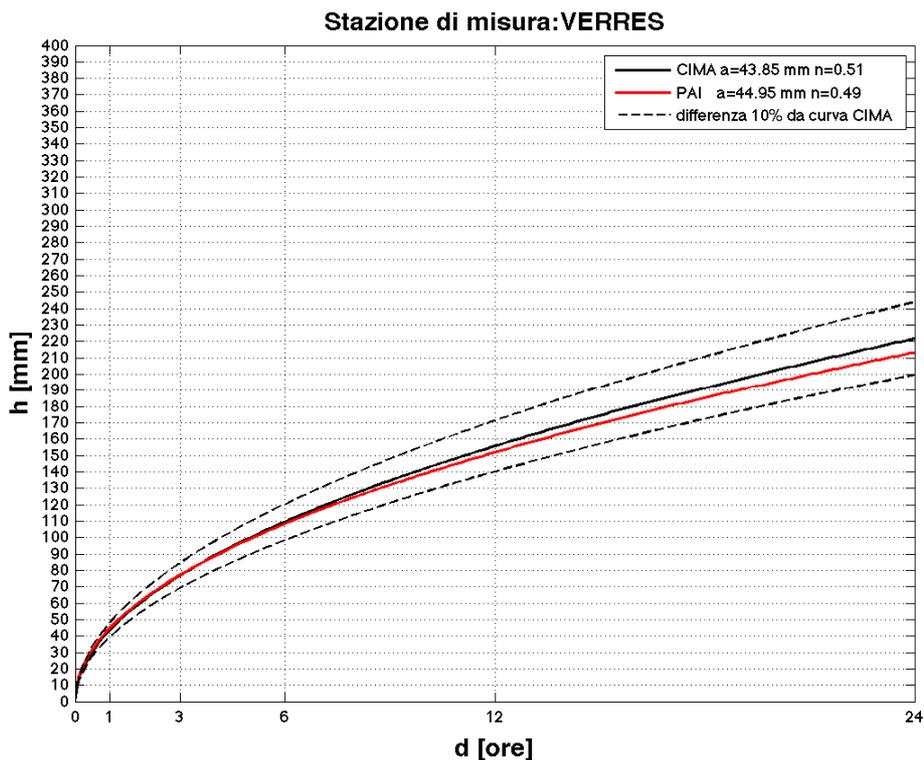


Figura 242: LSPP T=100 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

11.3 TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

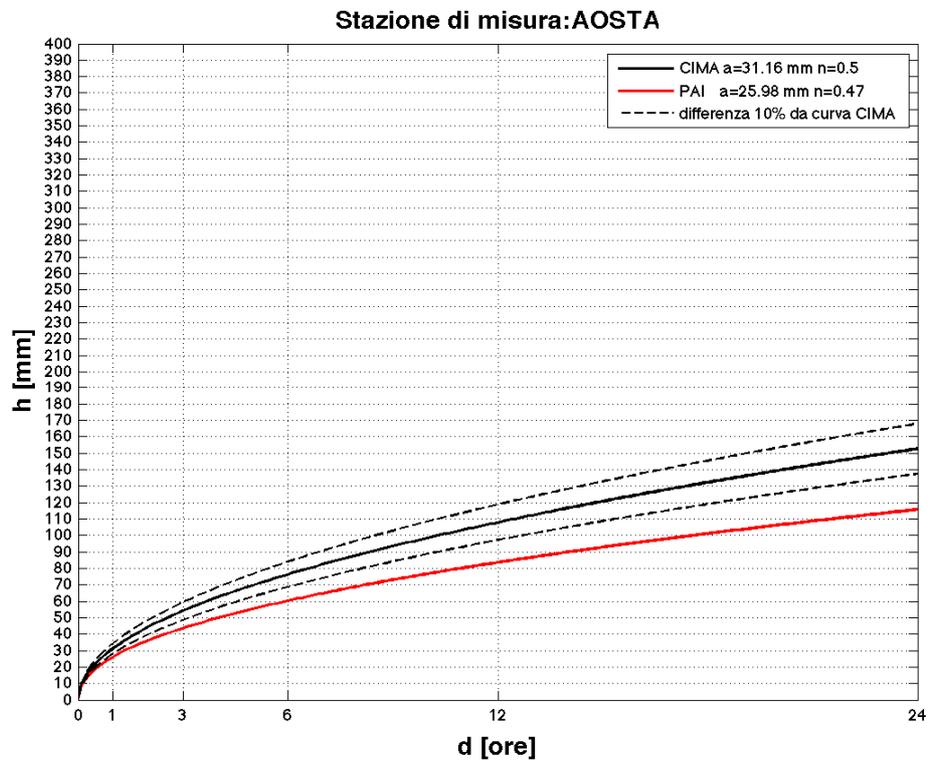


Figura 243: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

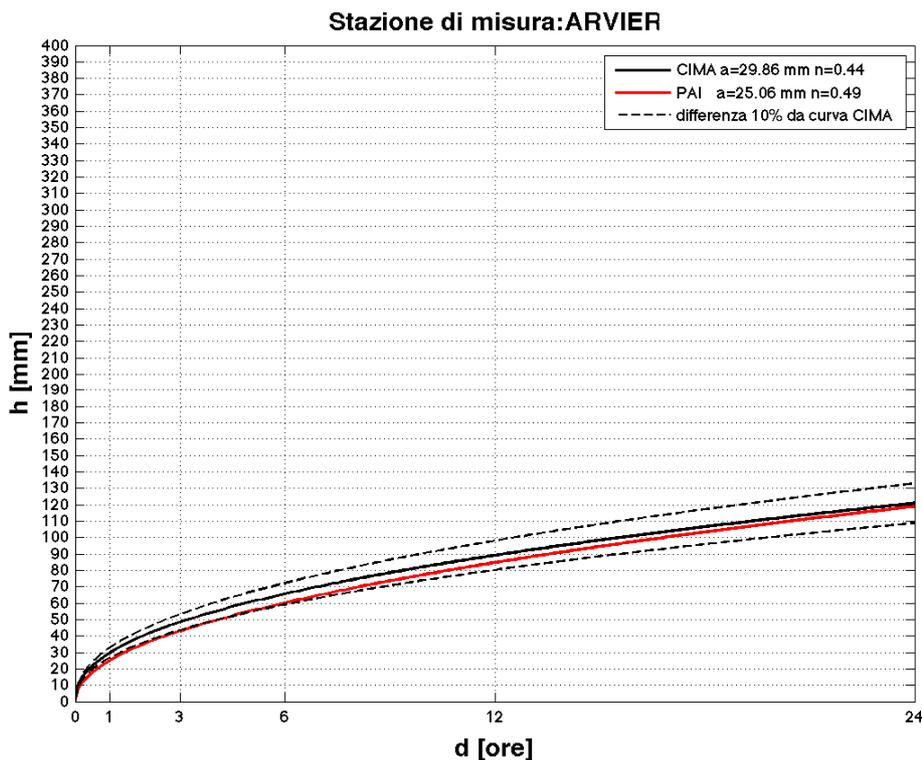


Figura 244: LSP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

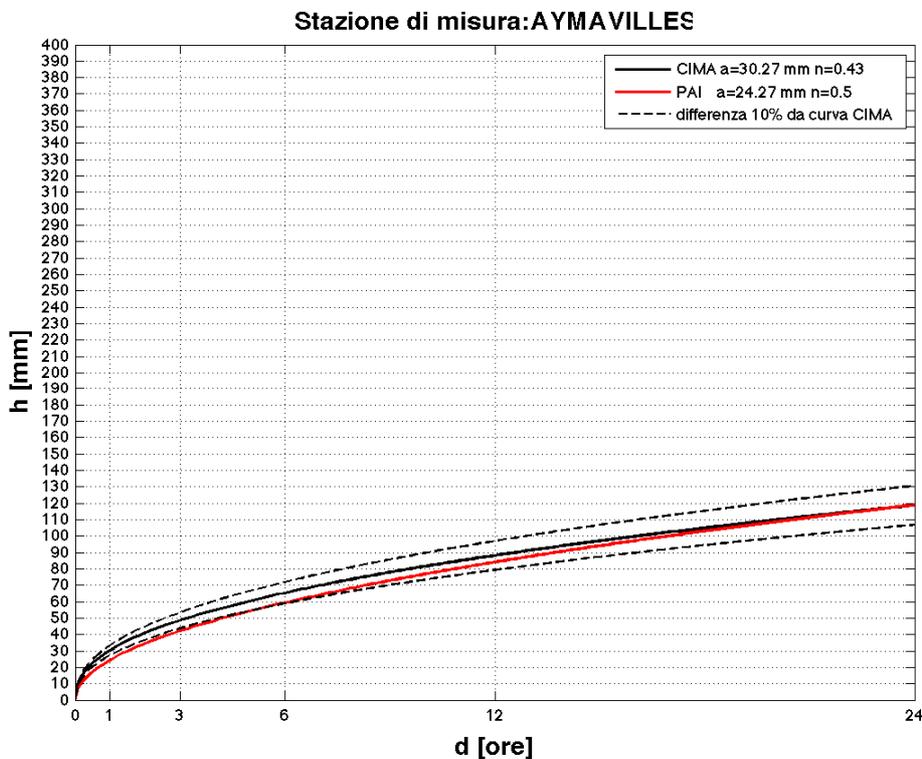


Figura 245: LSP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

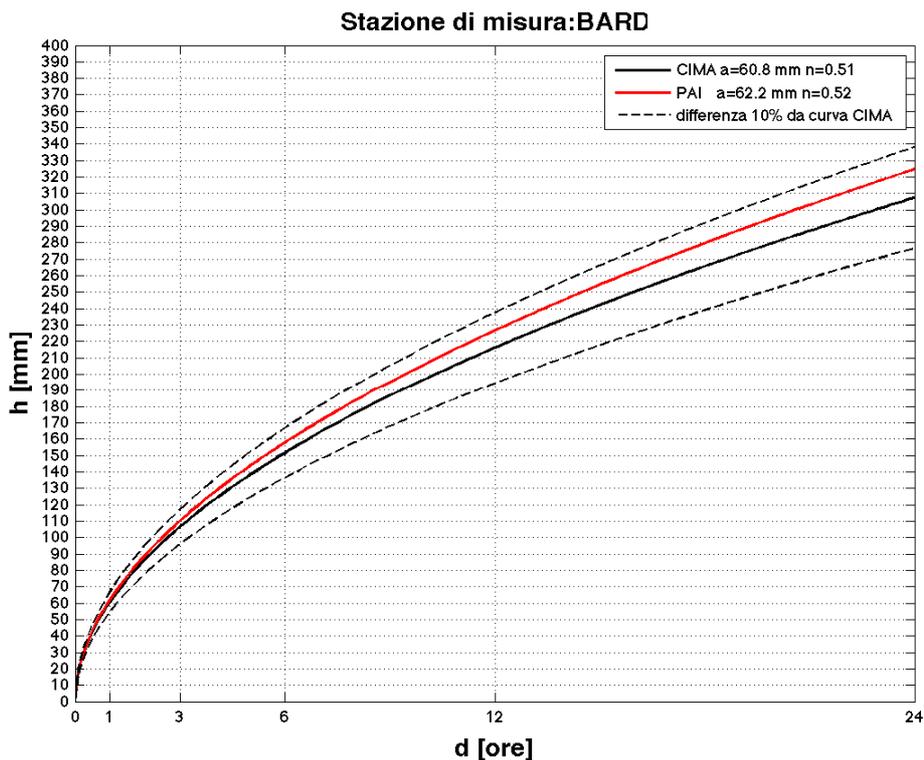


Figura 246: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

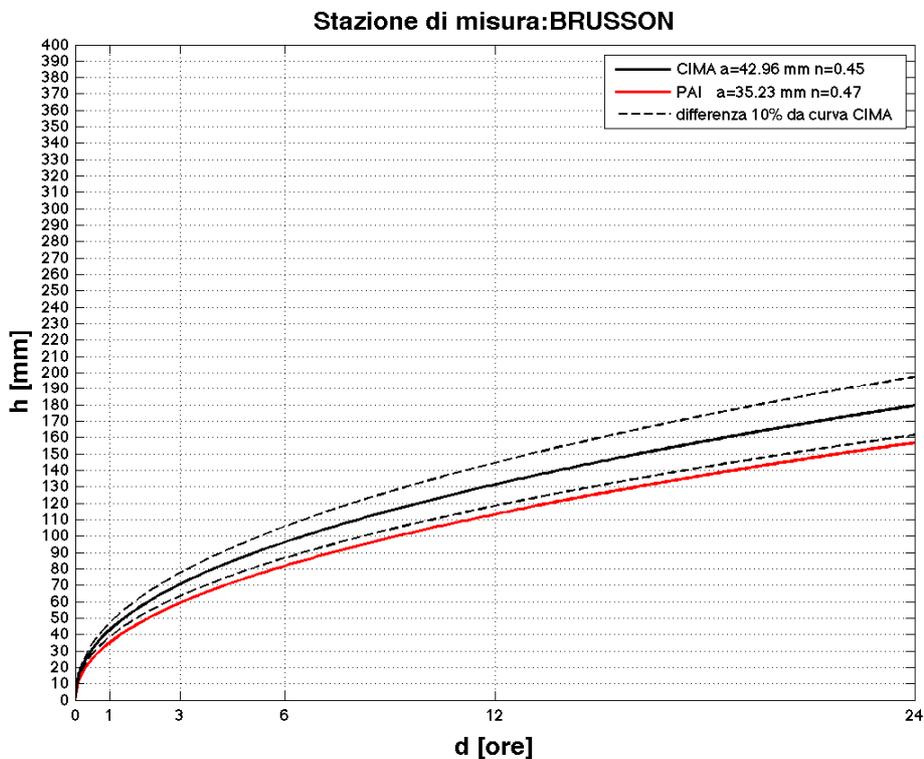


Figura 247: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

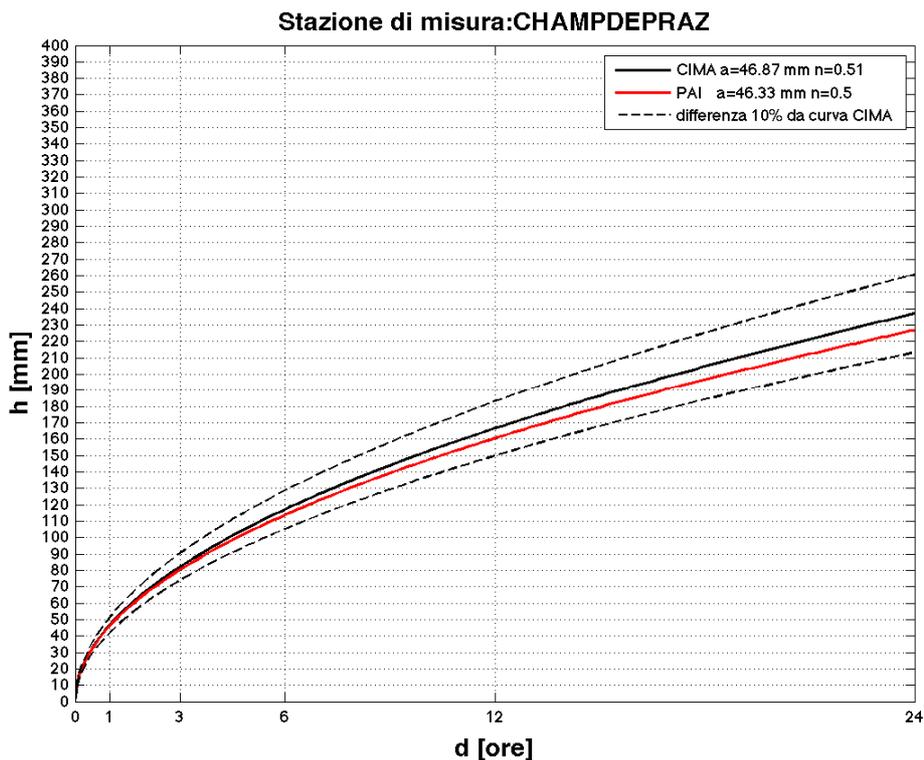


Figura 248: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

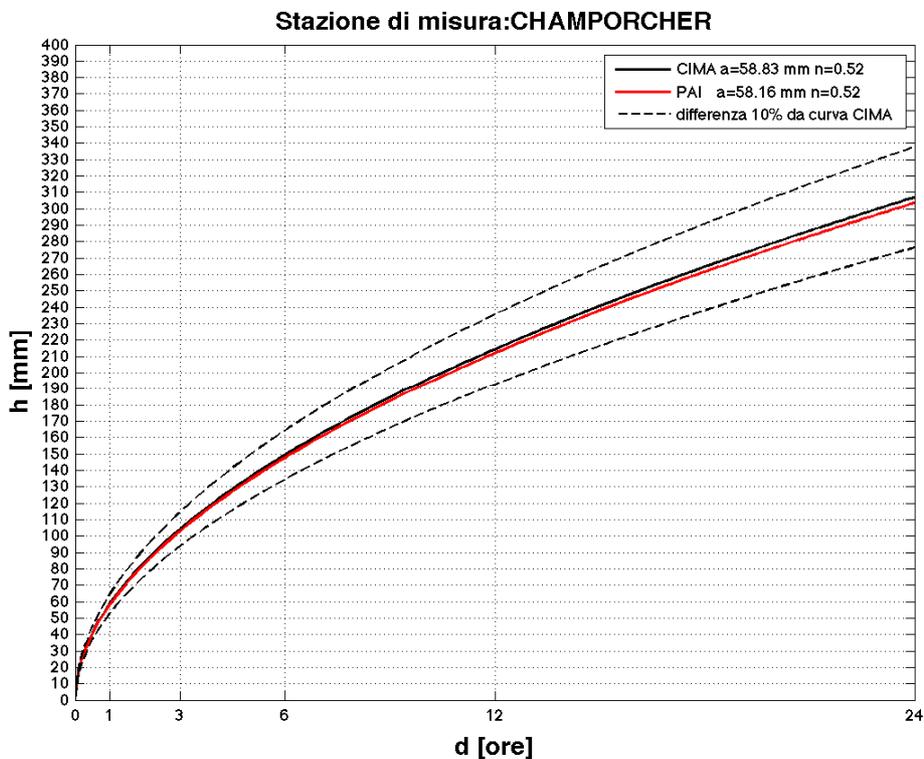


Figura 249: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

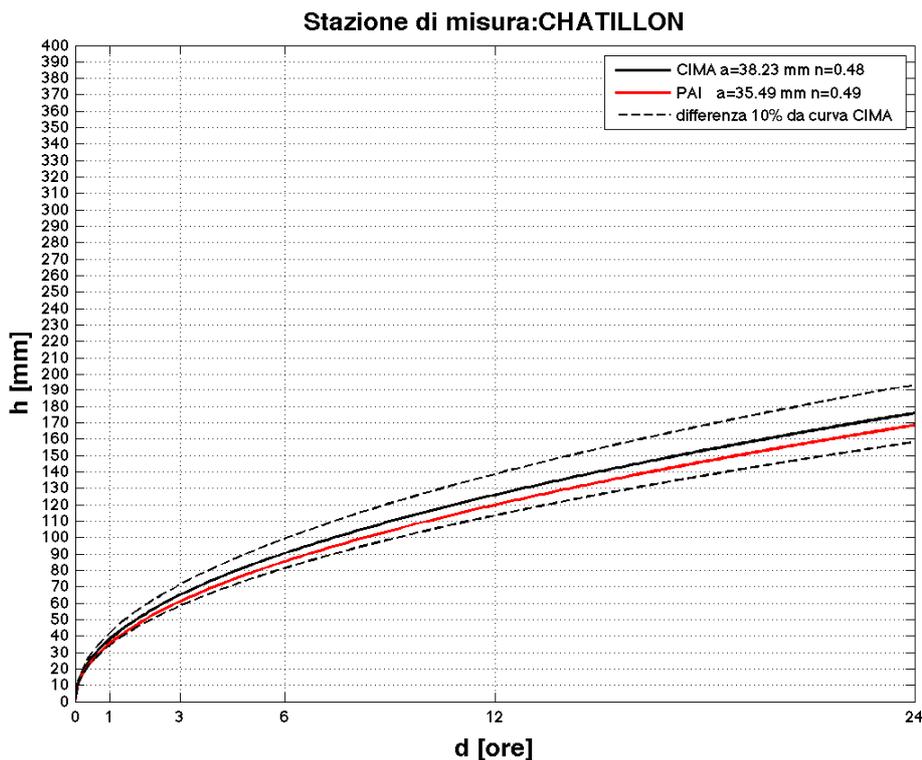


Figura 250: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

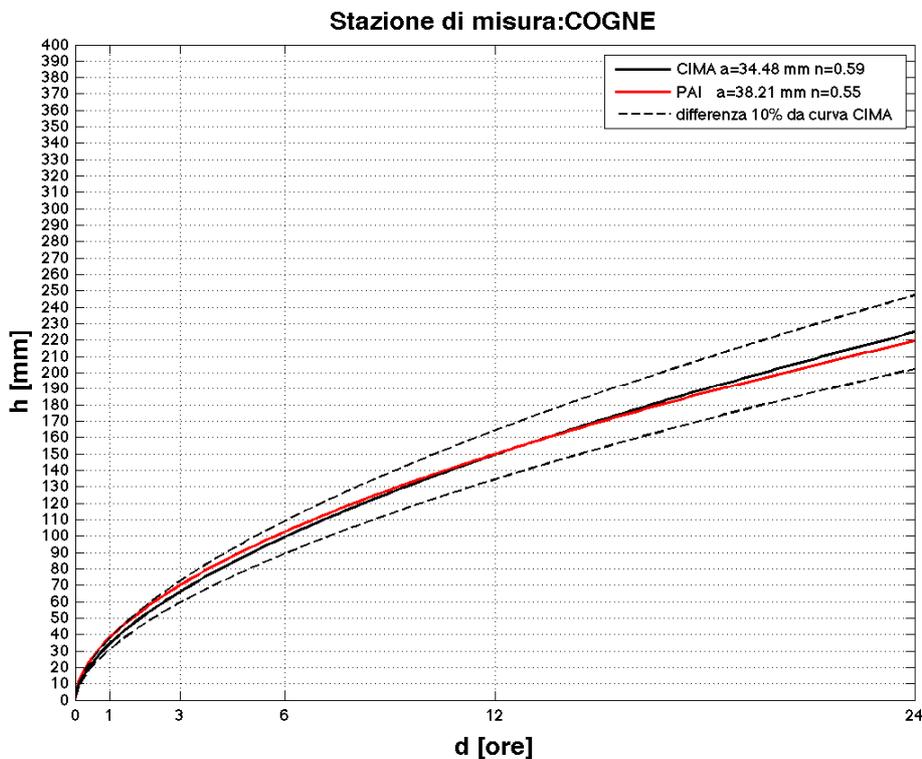


Figura 251: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

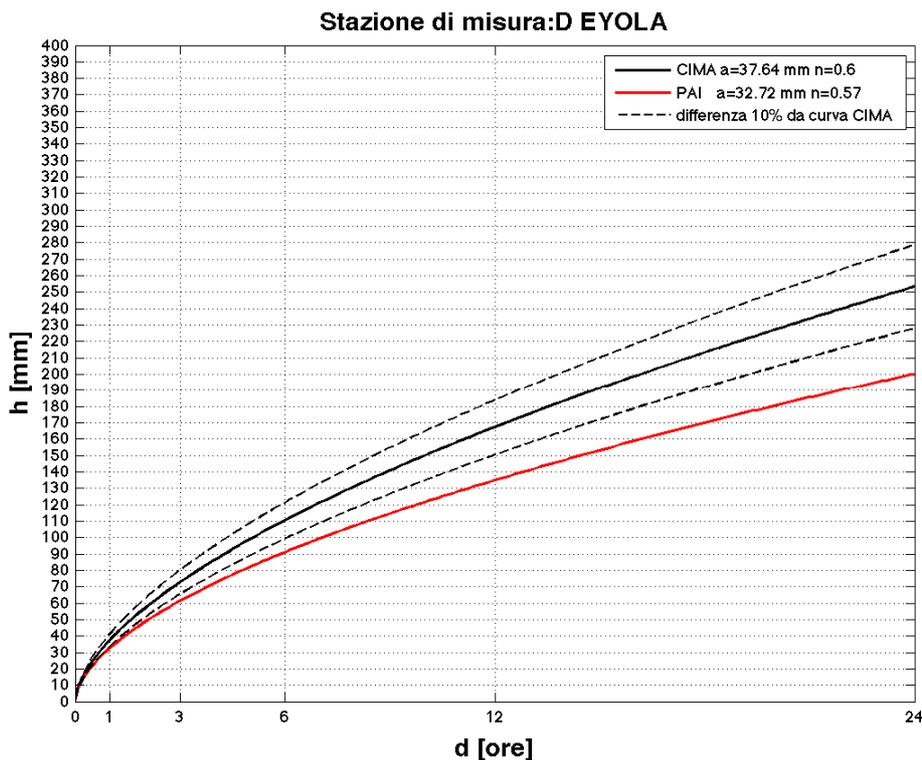


Figura 252: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

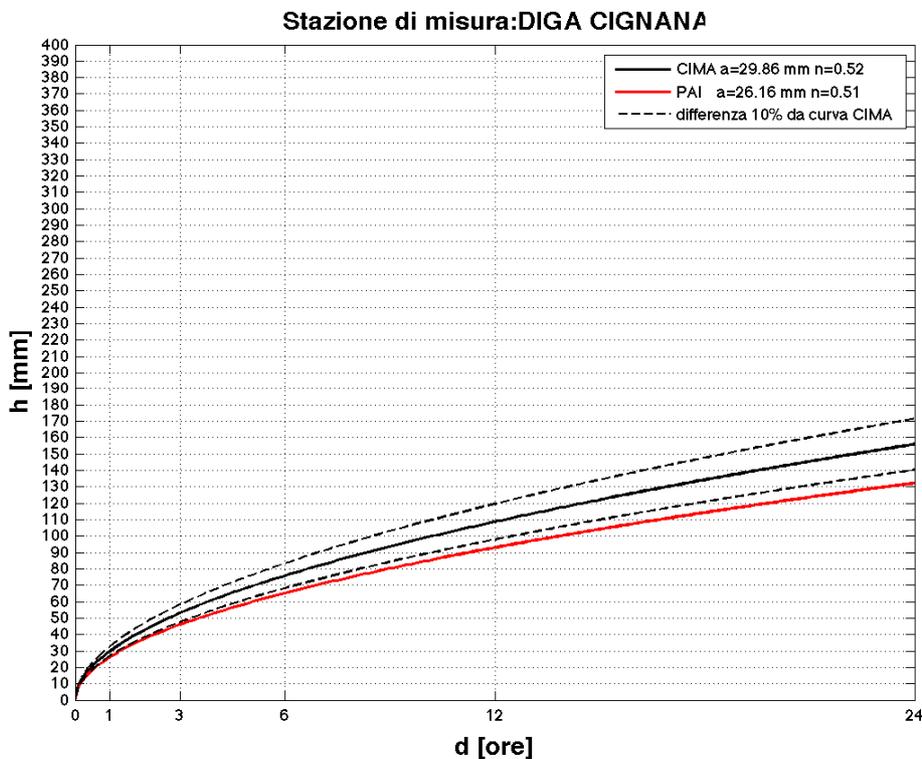


Figura 253: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

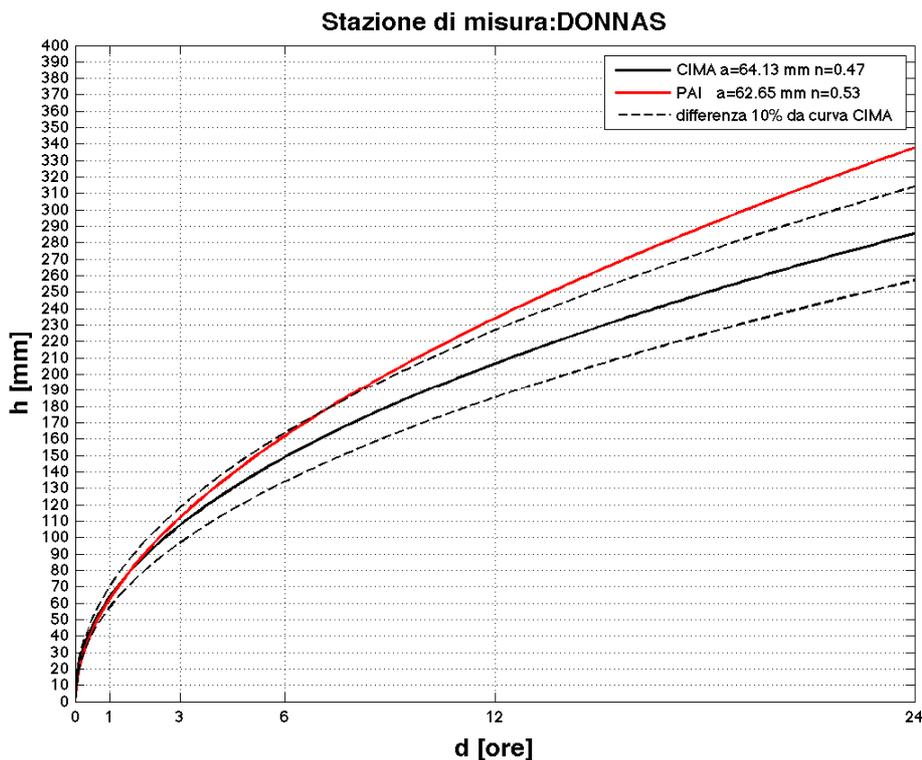


Figura 254: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

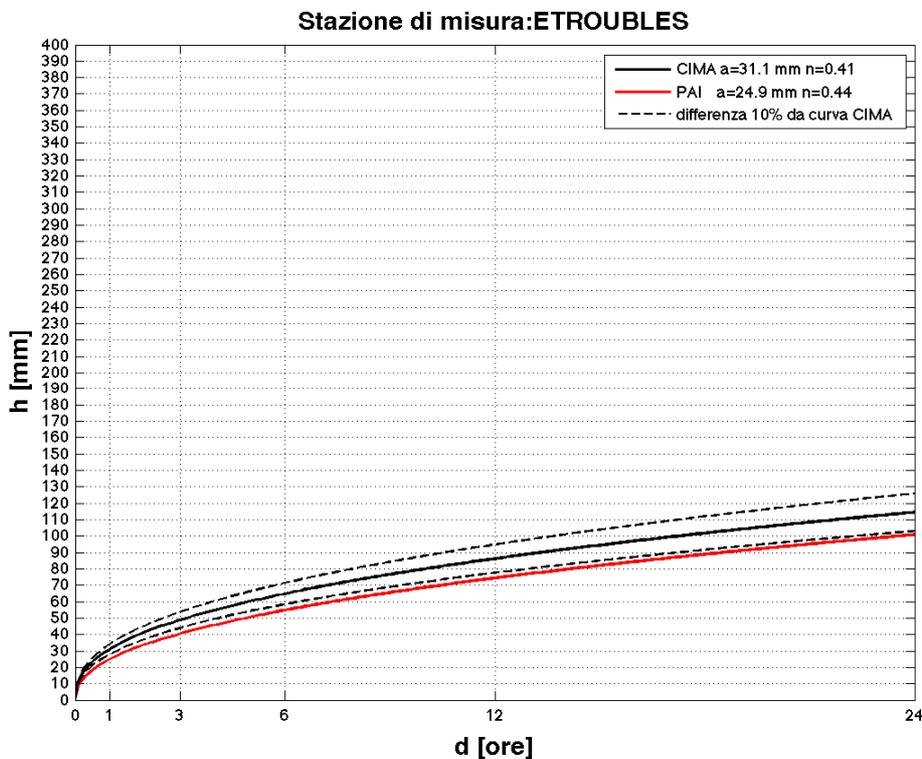


Figura 255: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

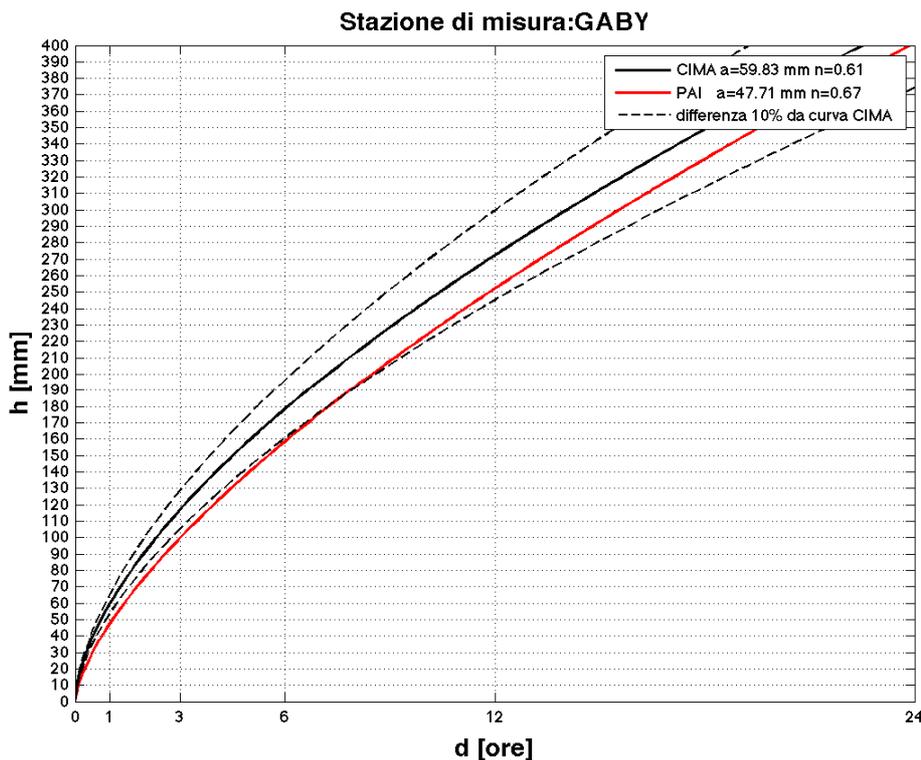


Figura 256: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

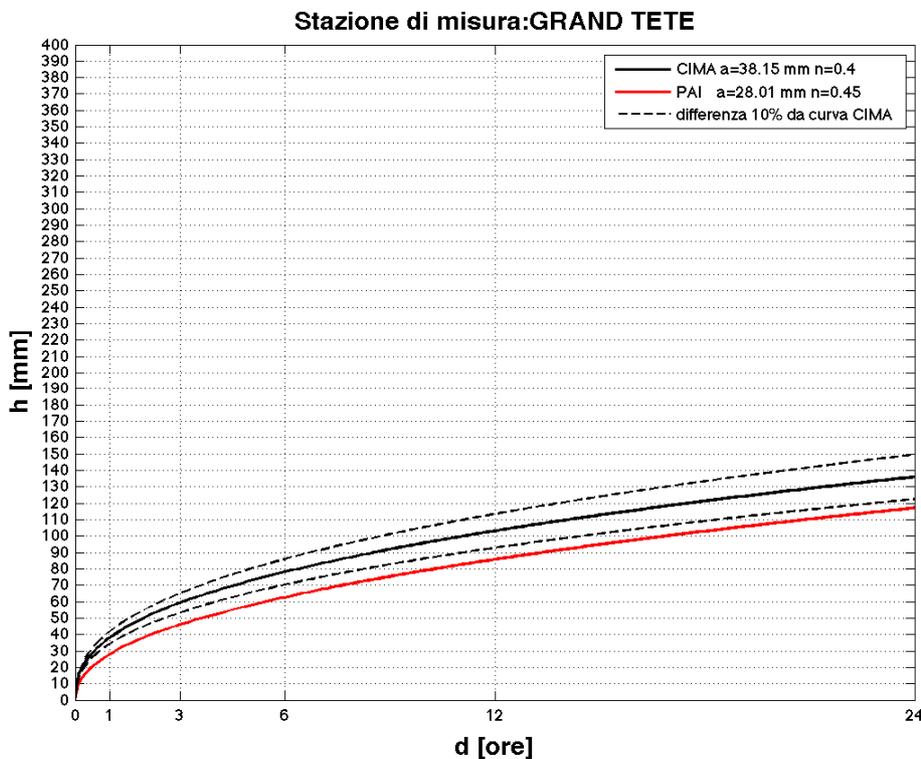


Figura 257: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

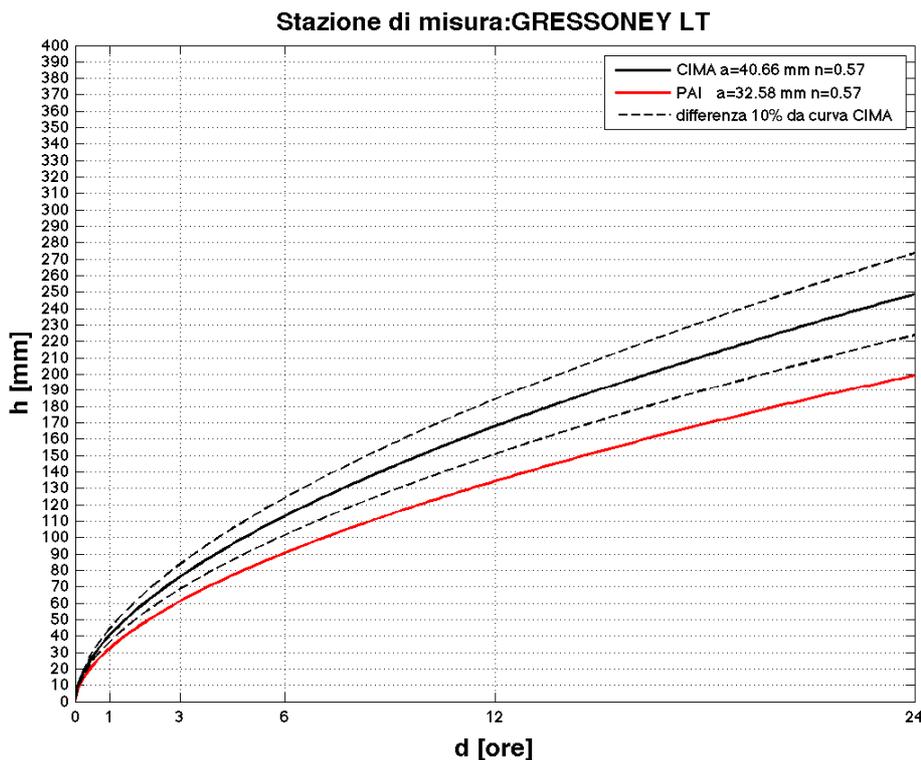


Figura 258: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

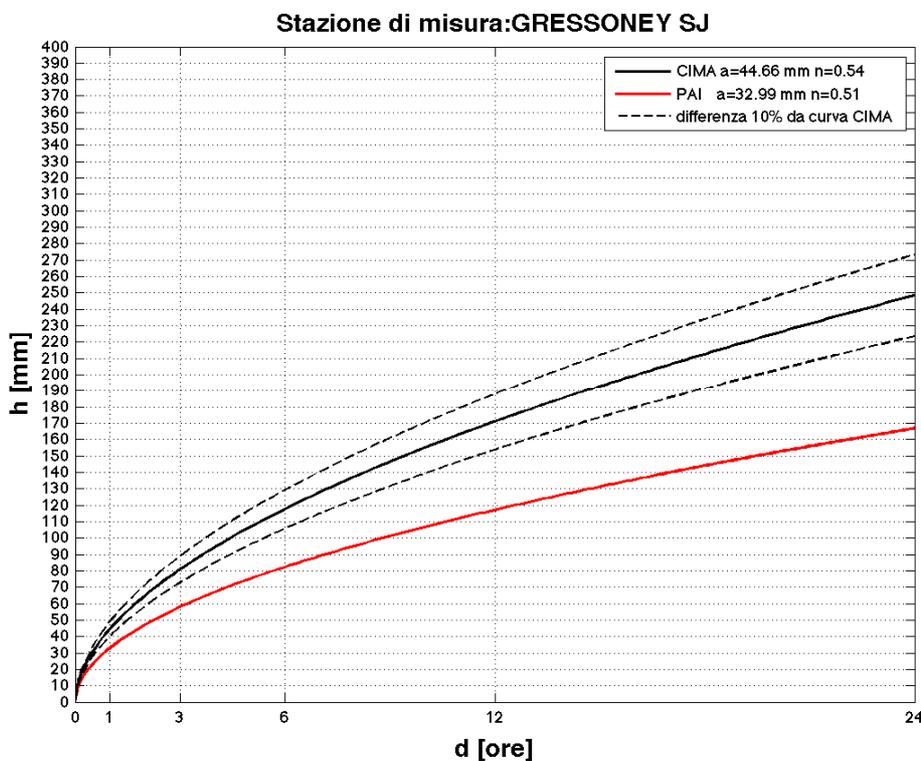


Figura 259: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

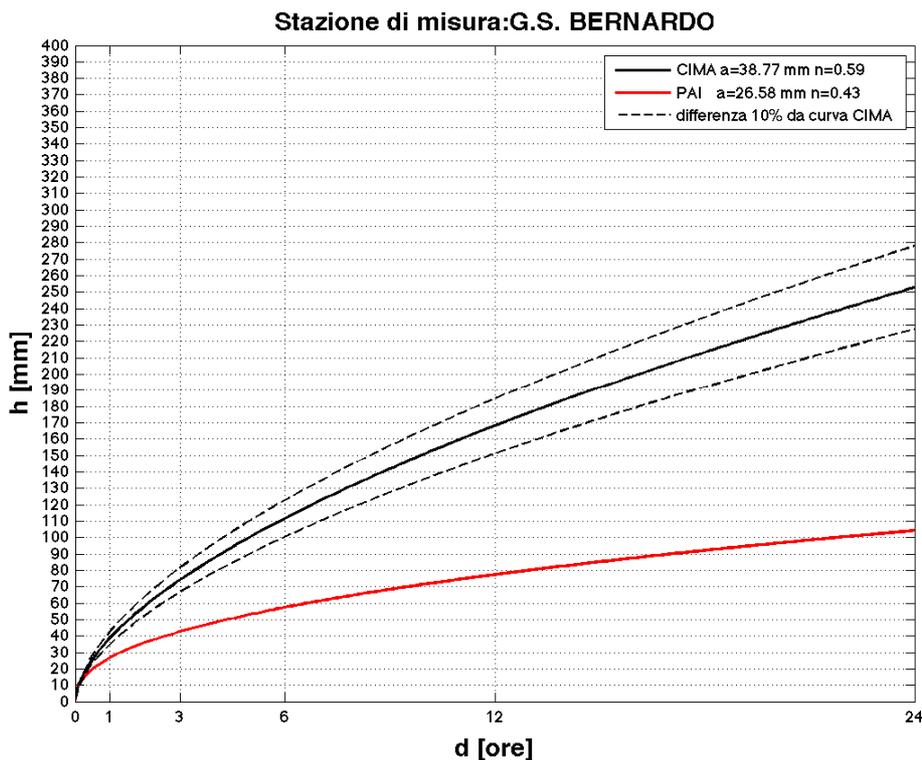


Figura 260: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

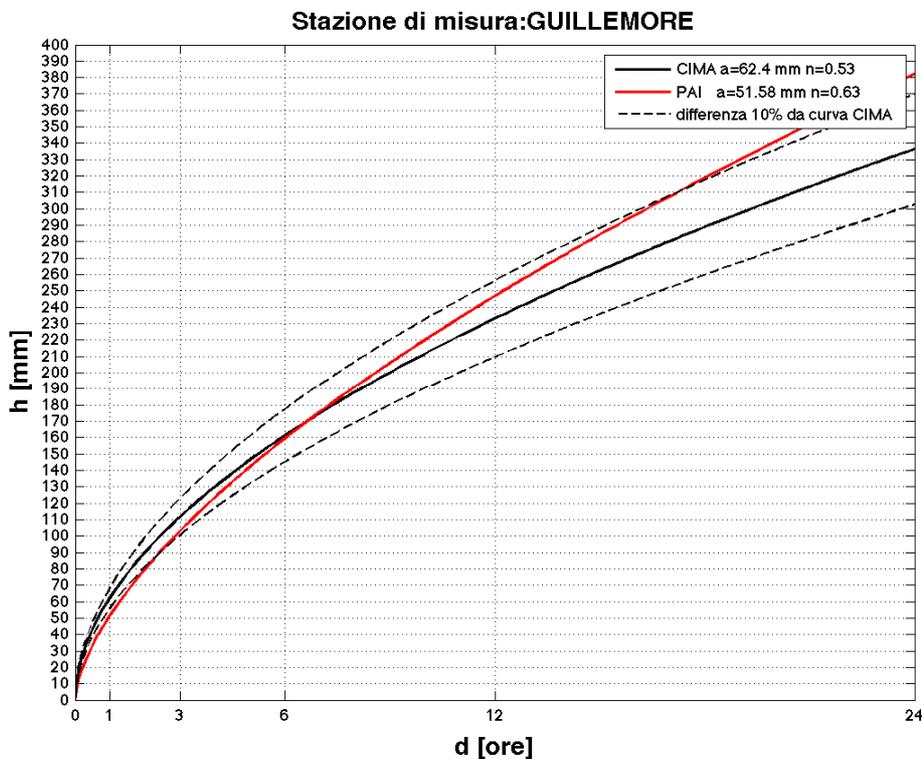


Figura 261: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

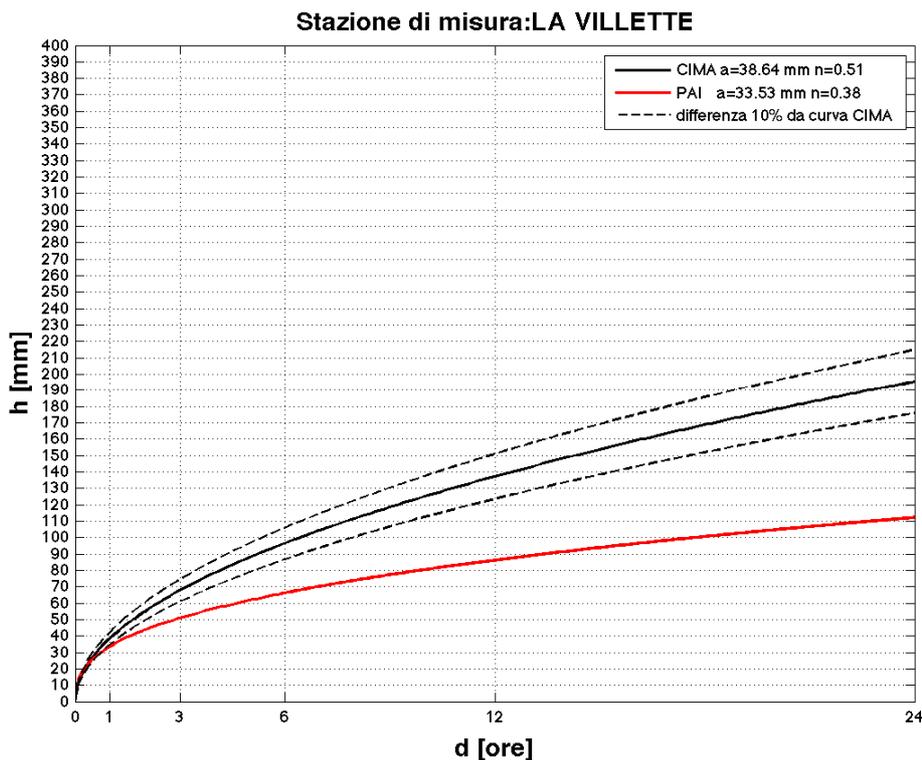


Figura 262: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

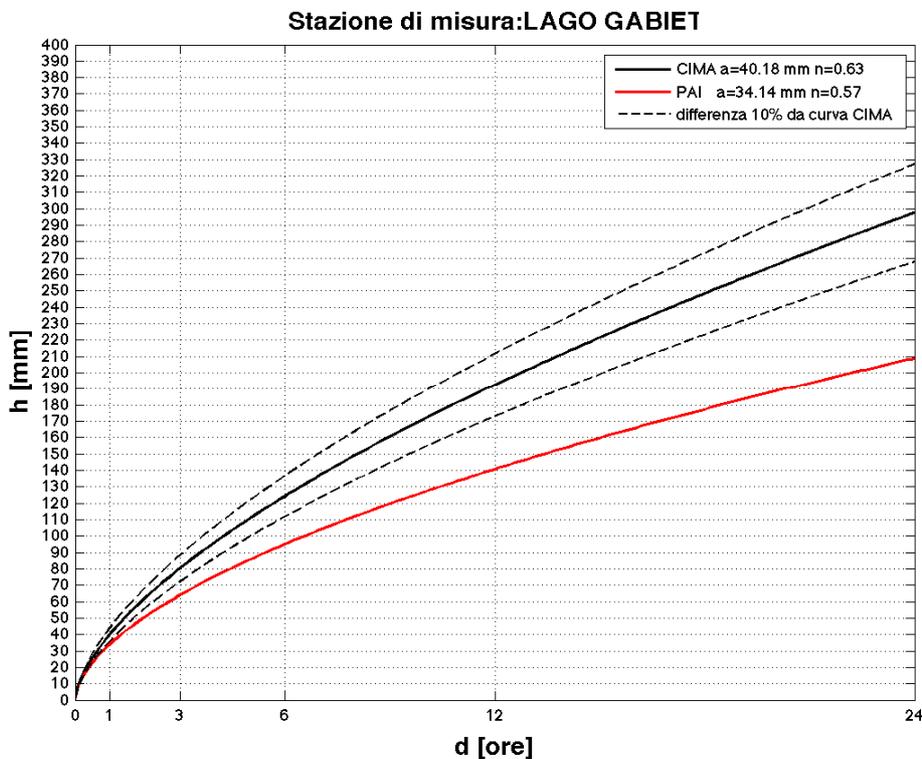


Figura 263: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

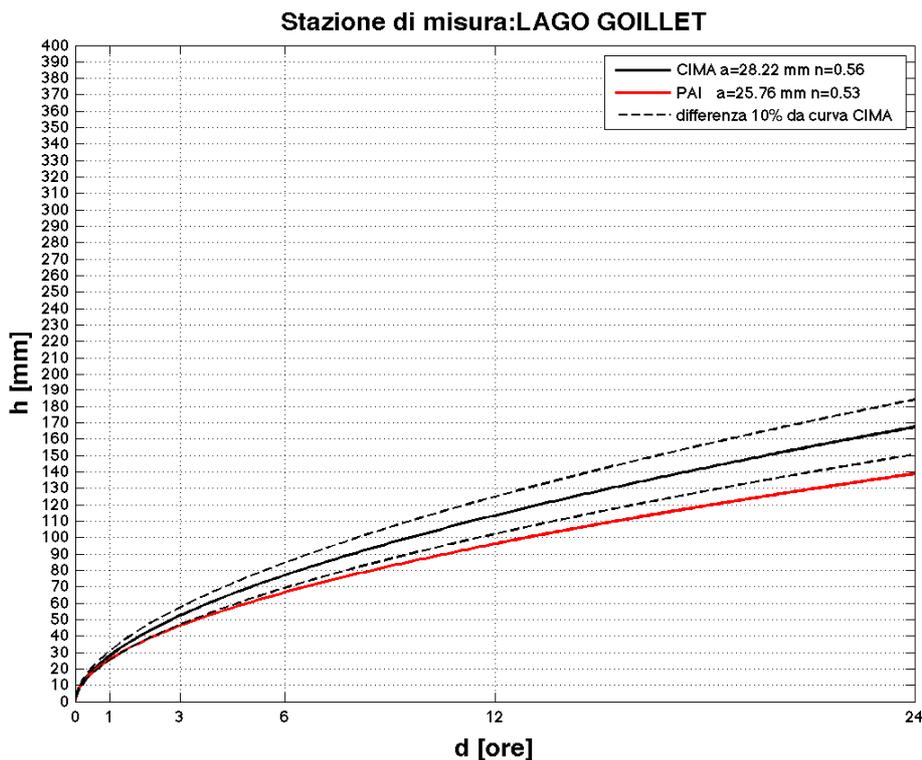


Figura 264: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

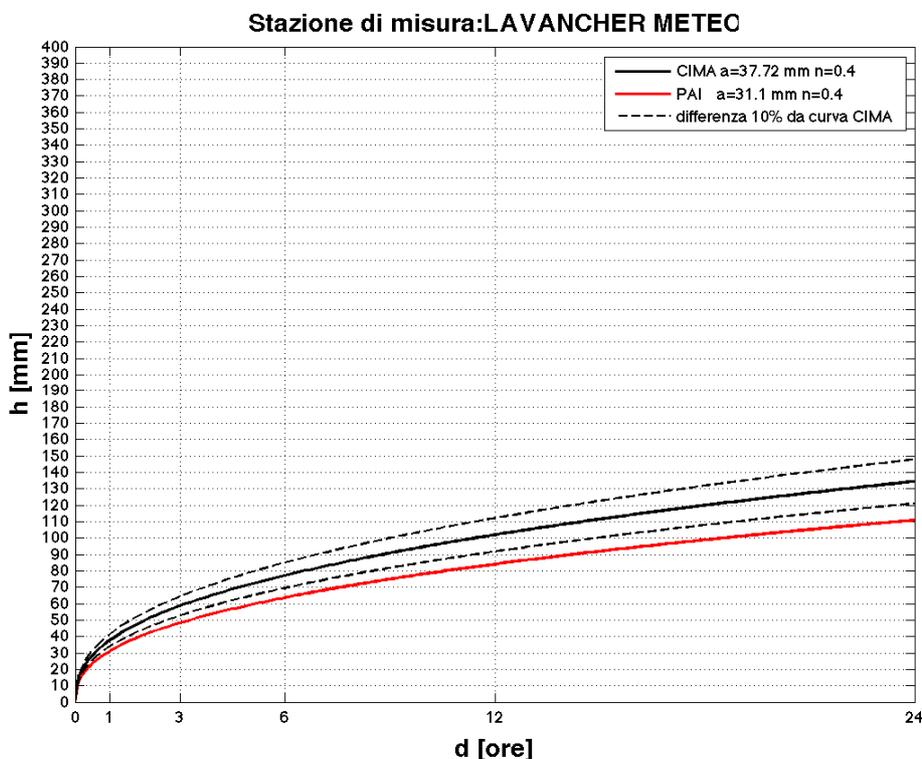


Figura 265: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

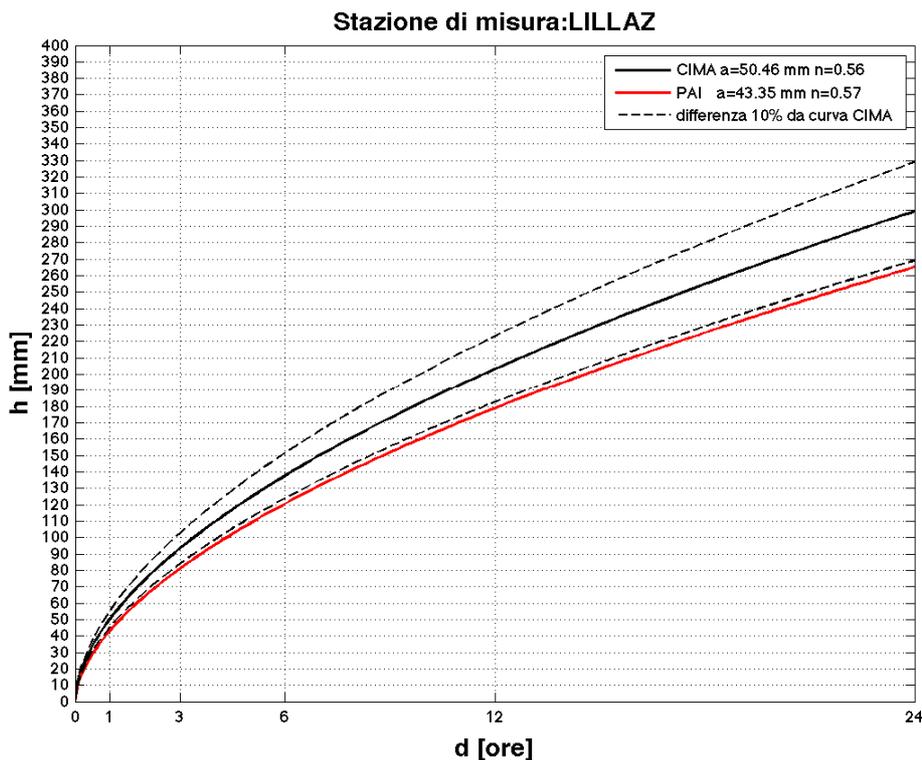


Figura 266: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

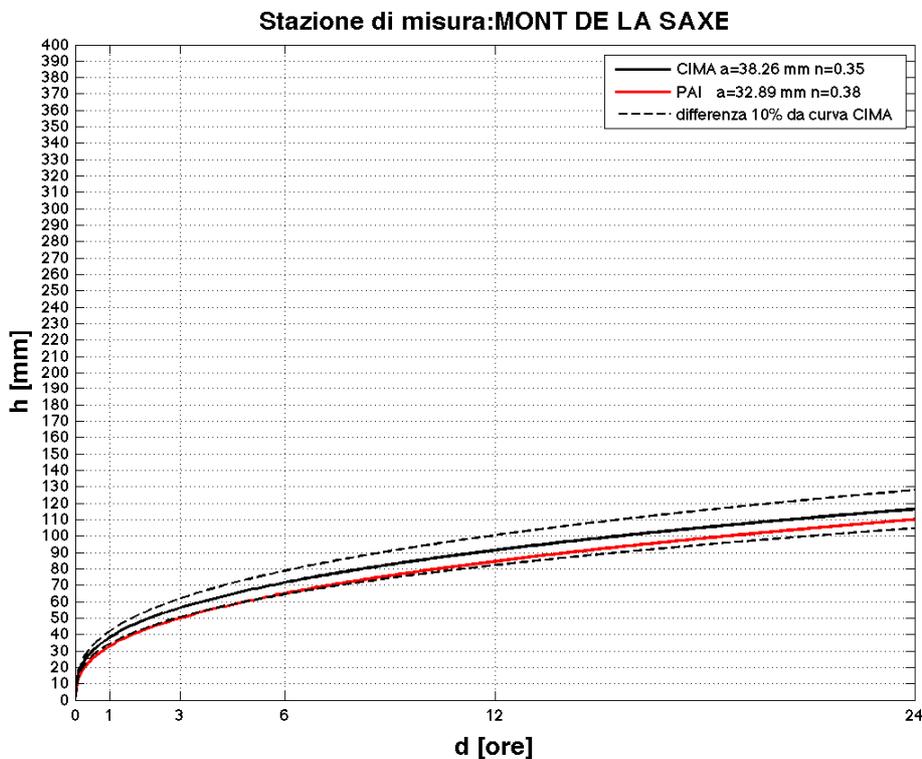


Figura 267: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

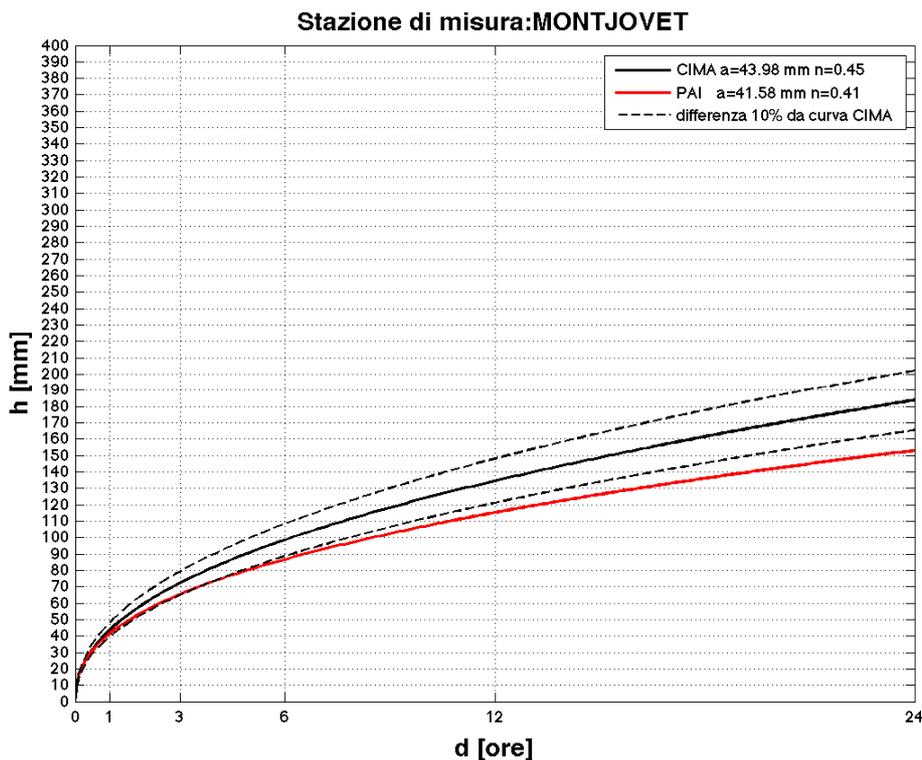


Figura 268: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

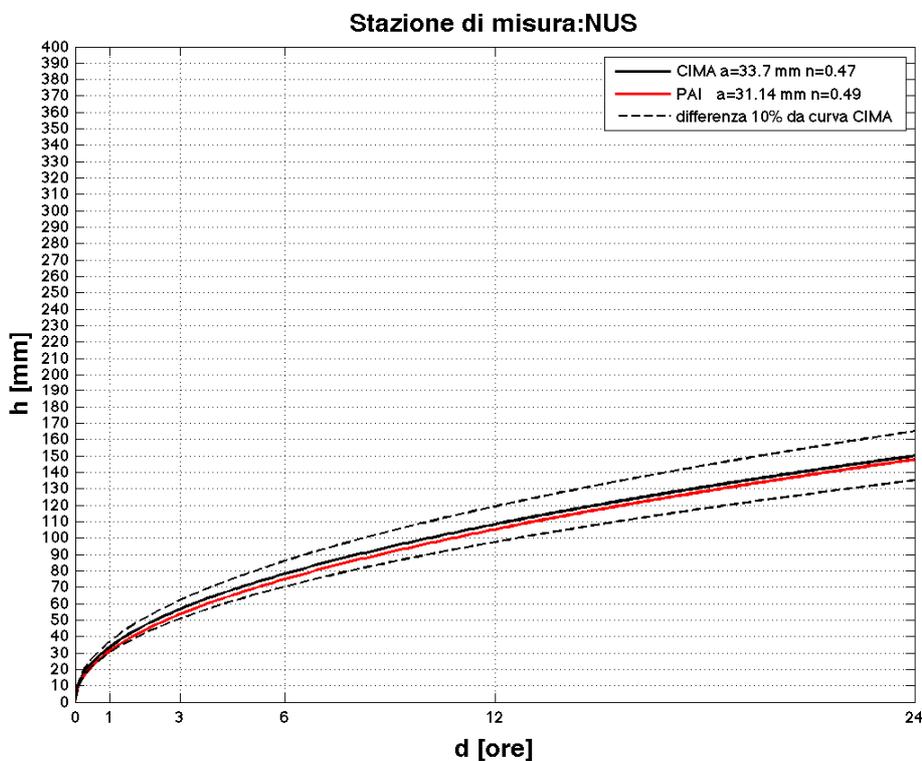


Figura 269: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

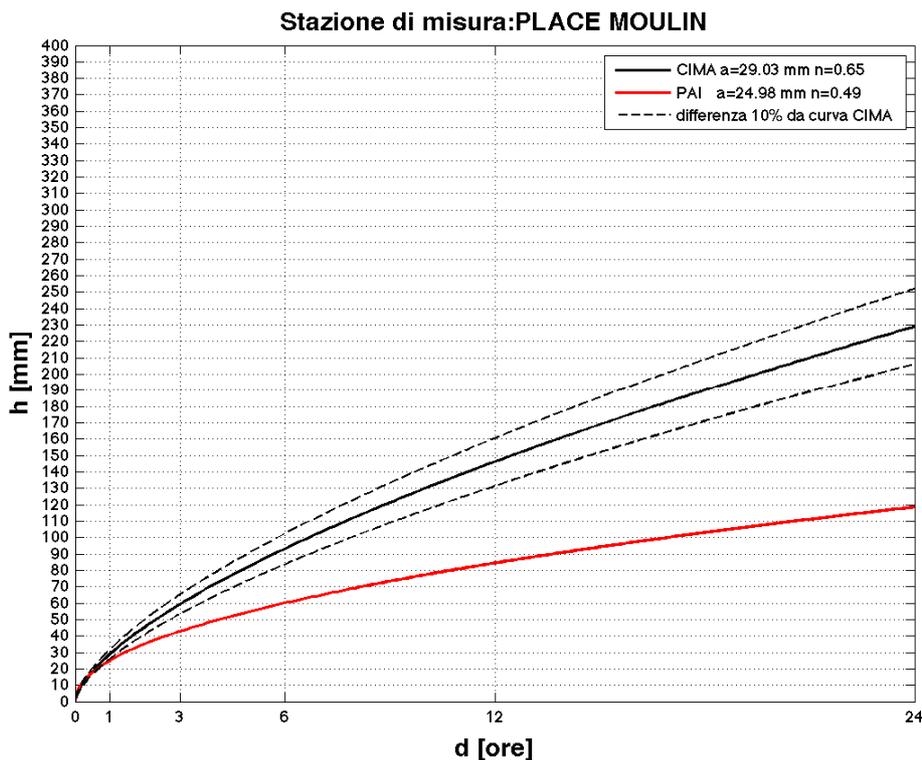


Figura 270: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

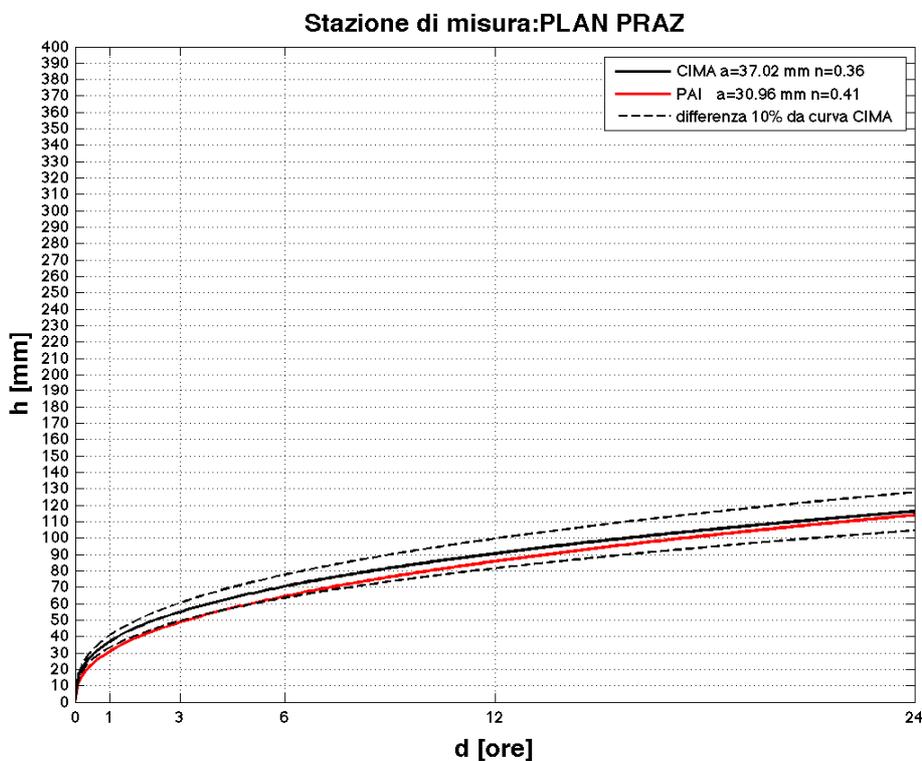


Figura 271: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

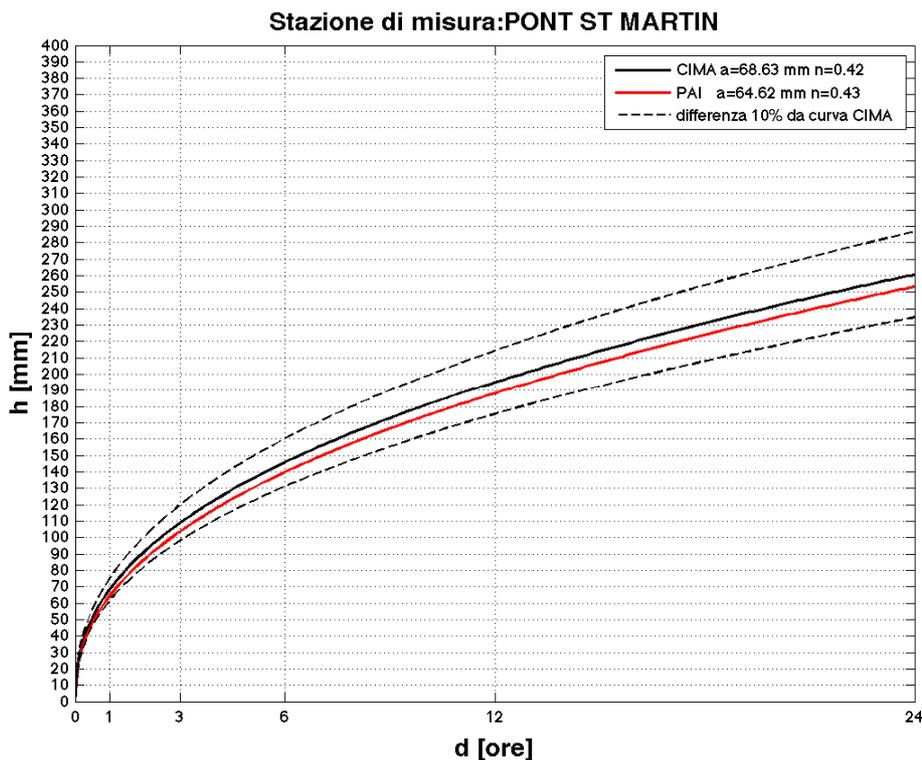


Figura 272: LSP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

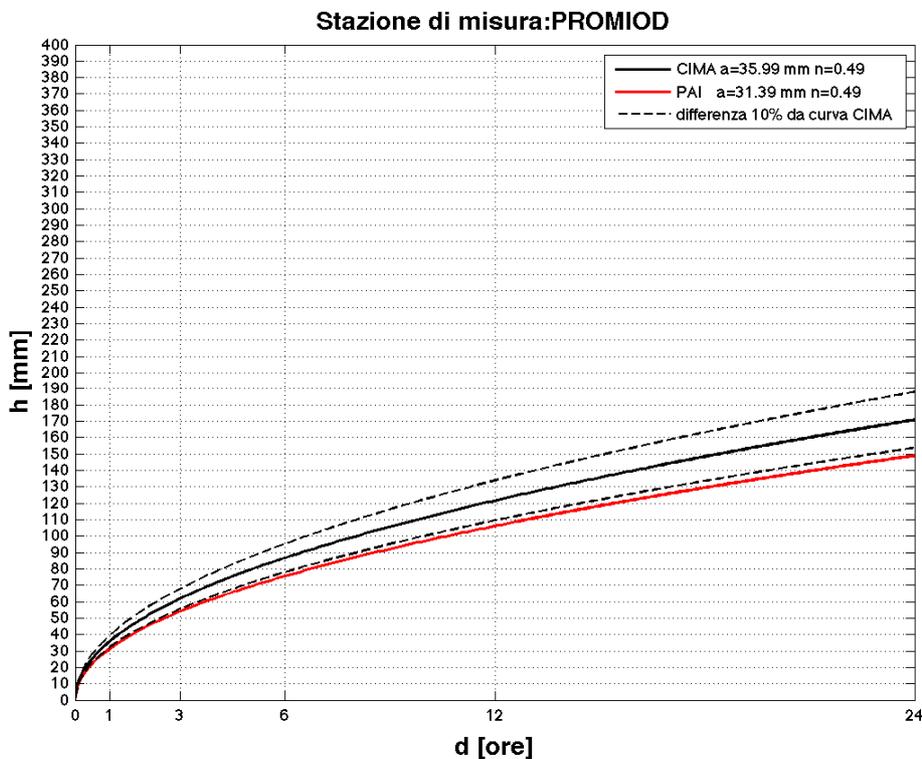


Figura 273: LSP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

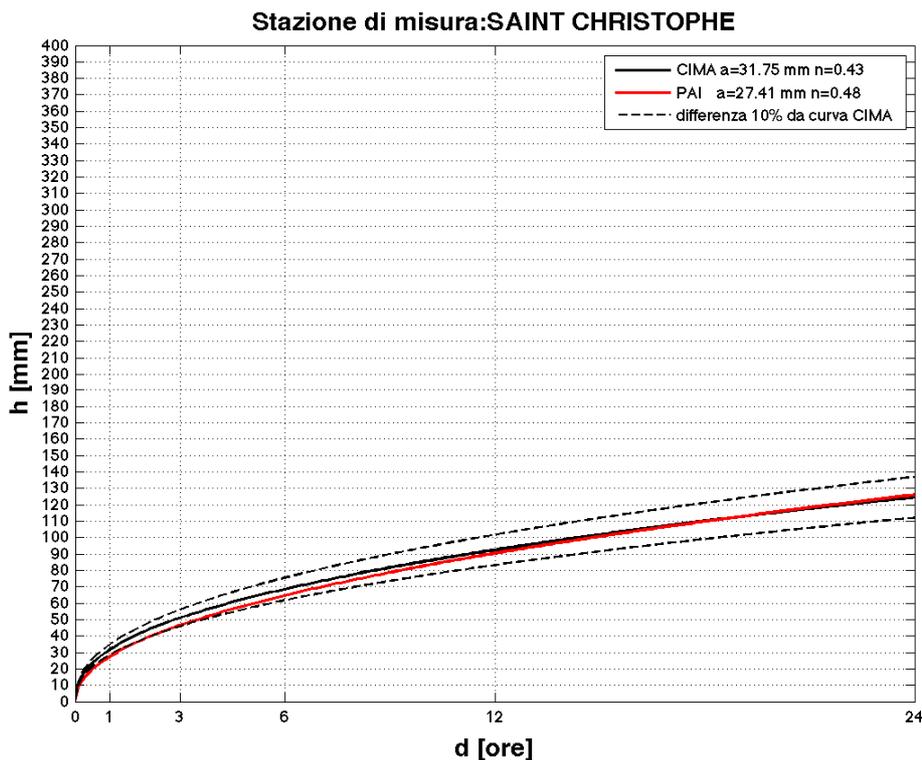


Figura 274: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

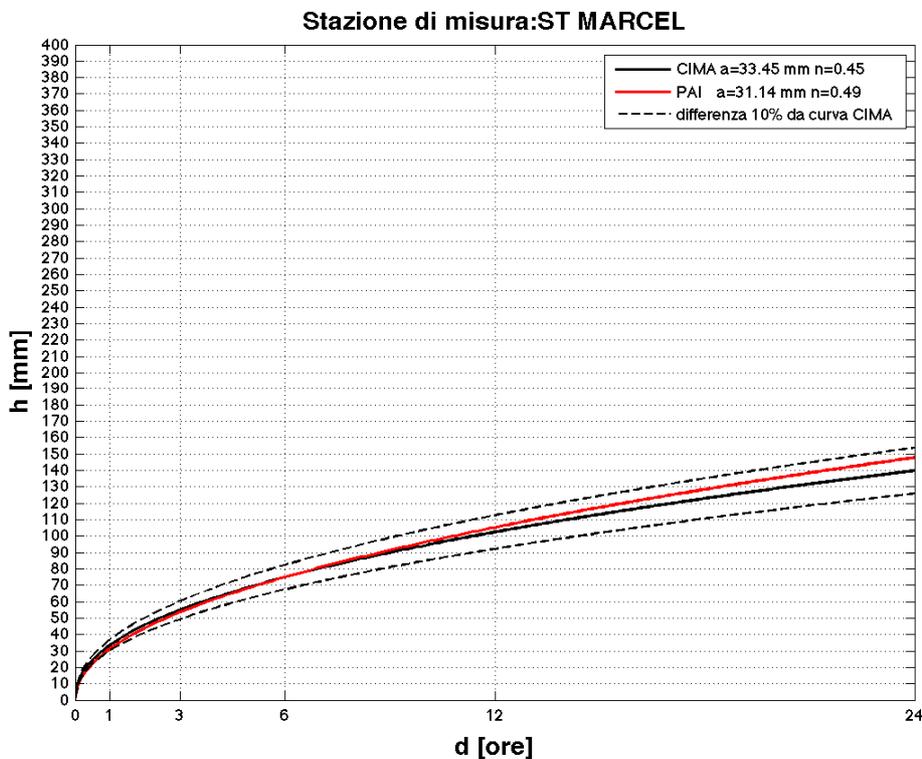


Figura 275: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

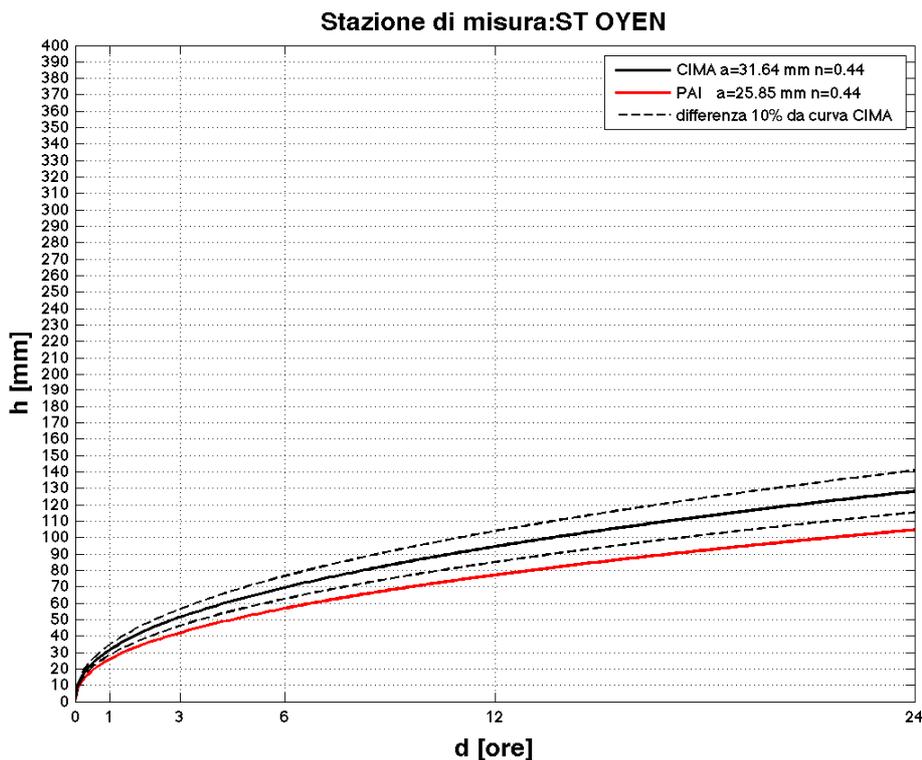


Figura 276: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

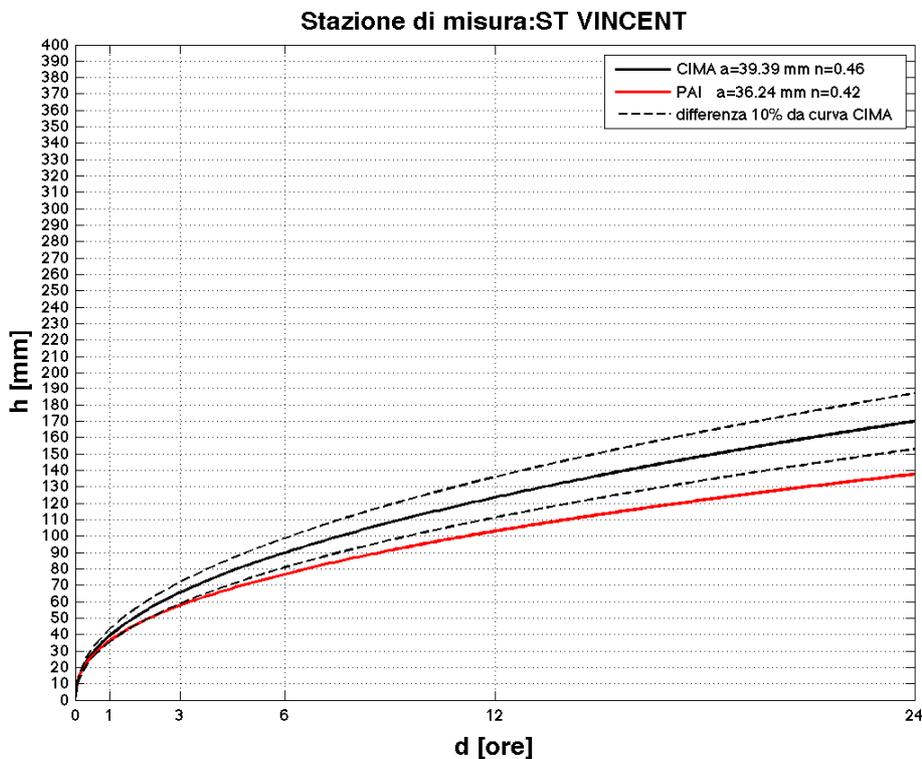


Figura 277: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

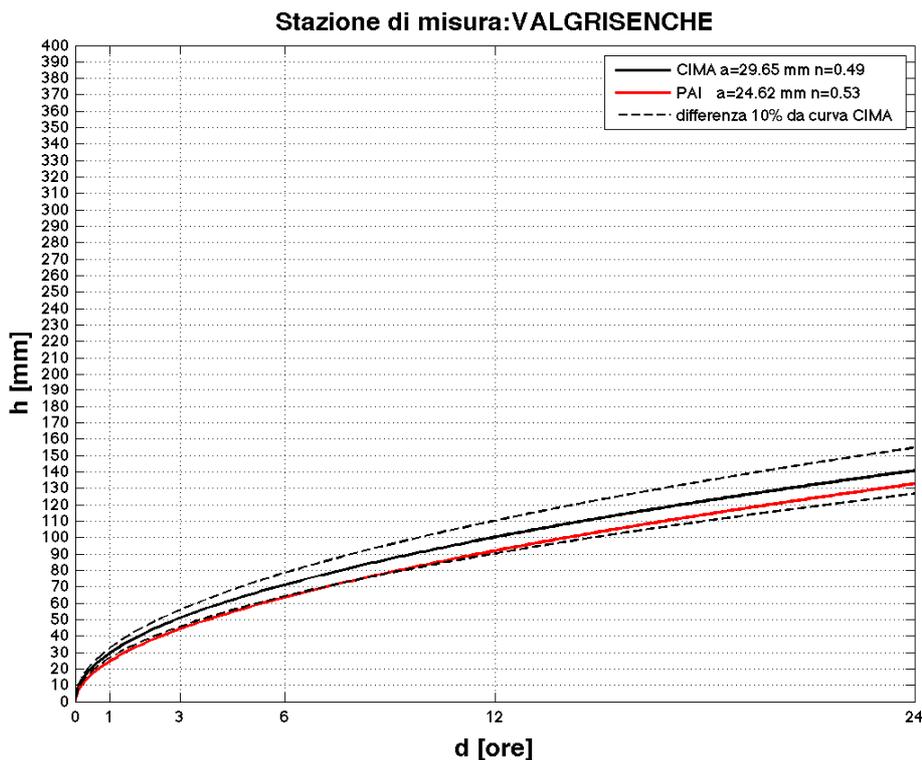


Figura 278: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

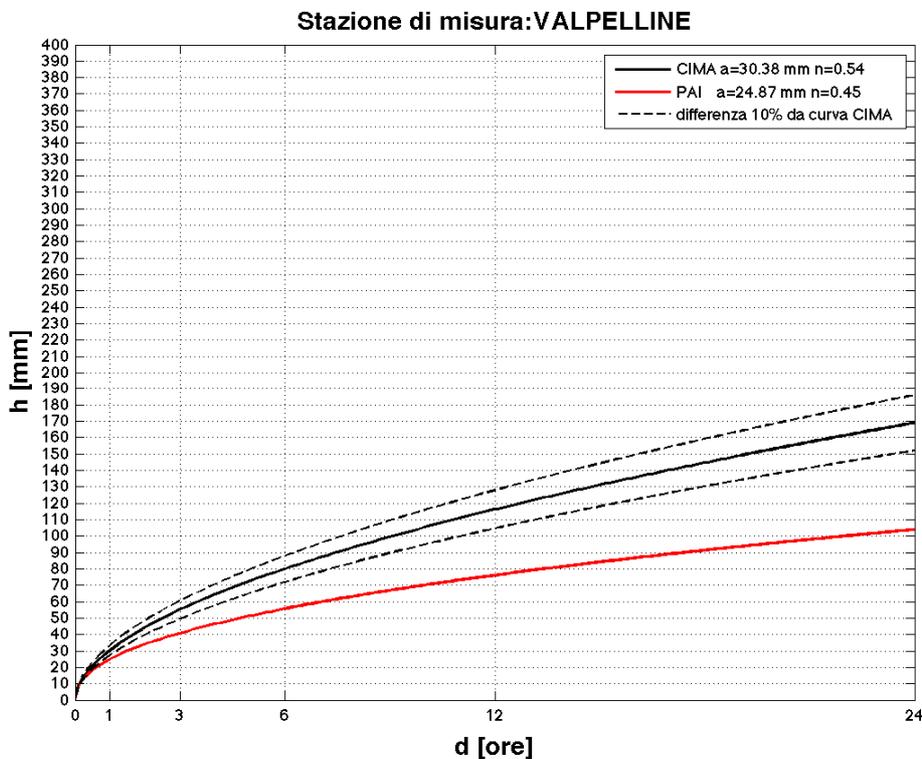


Figura 279: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

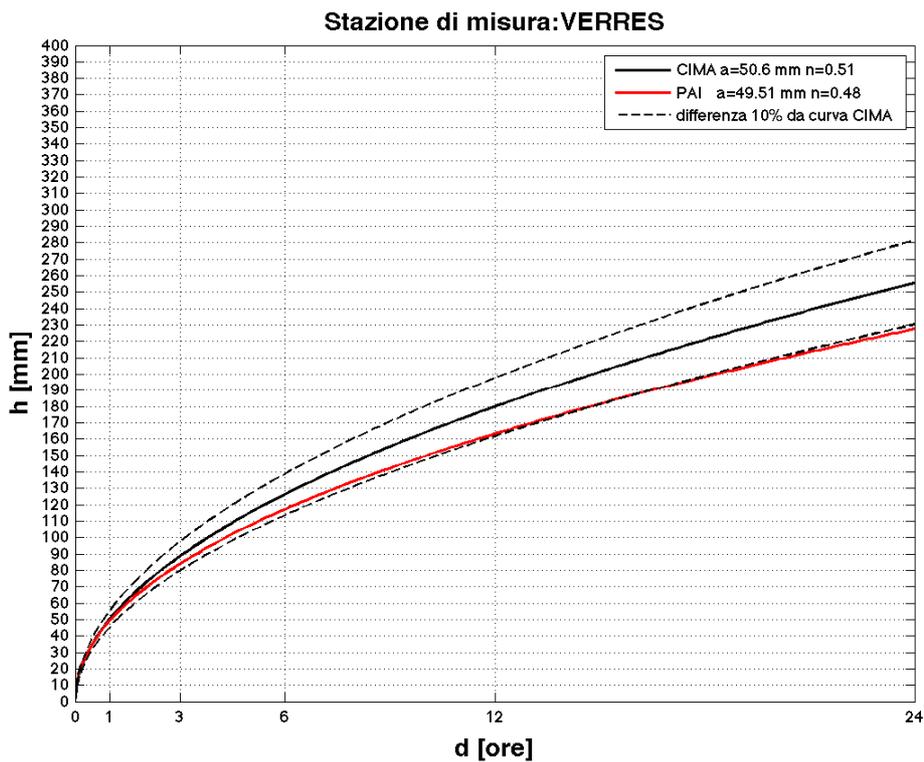


Figura 280: LSPP T=200 ANNI ottenute con il metodo CIMA (curva nera) e con lo studio PAI (curva rossa). Le curve nere tratteggiate indicano una distanza dalla LSPP metodo CIMA, in valore assoluto par al 10%.

12 APPENDICE G: VALIDAZIONE DELL'ESTENSIONE DELLA REGIONALIZZAZIONE ALLE DURATE INFERIORI A 1 ORA – SET I

12.1 DURATA 15 MINUTI.

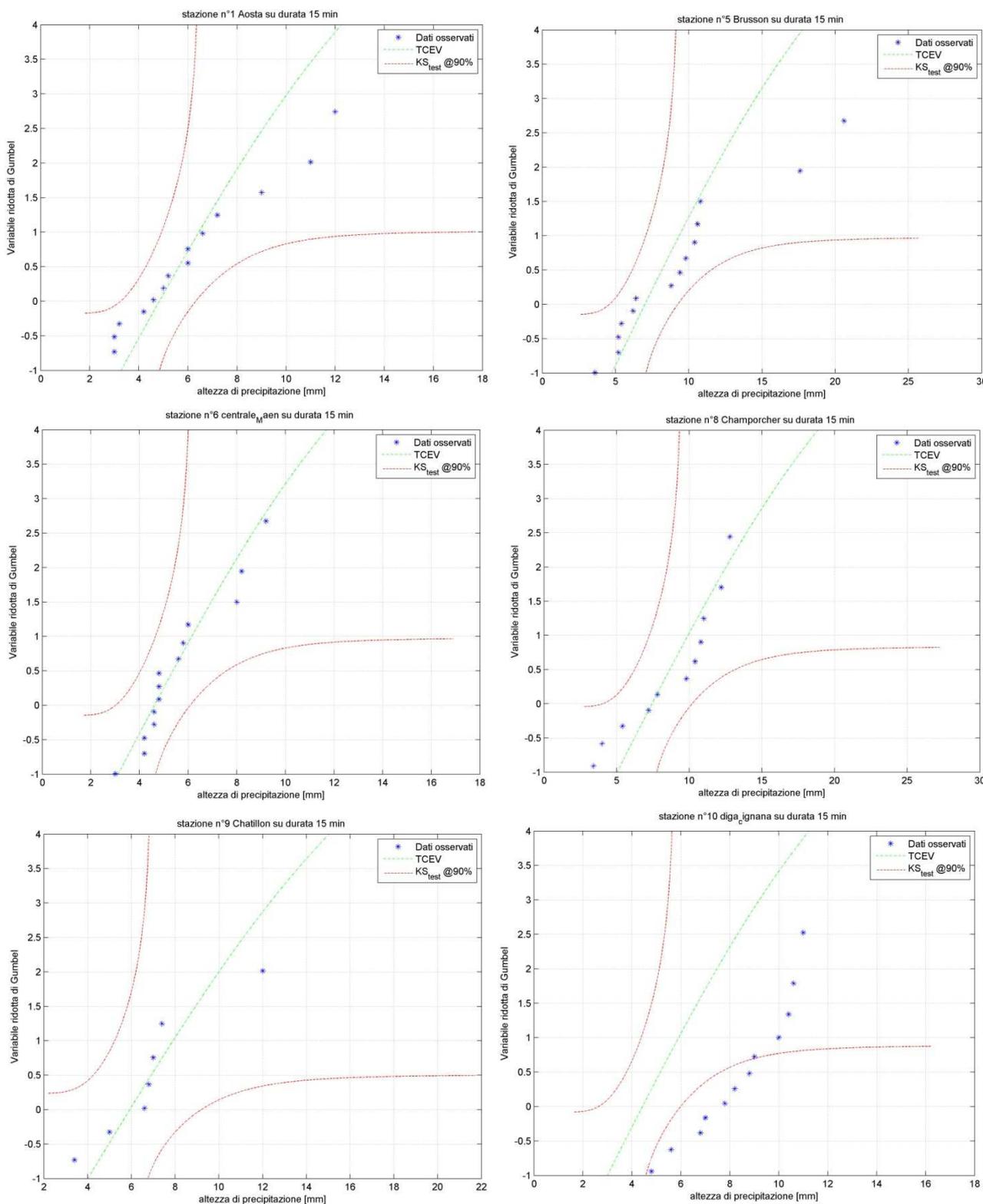


Figura 281 Stazioni 1 - 5 - 6 - 8 - 9 - 10 durata 15 minuti

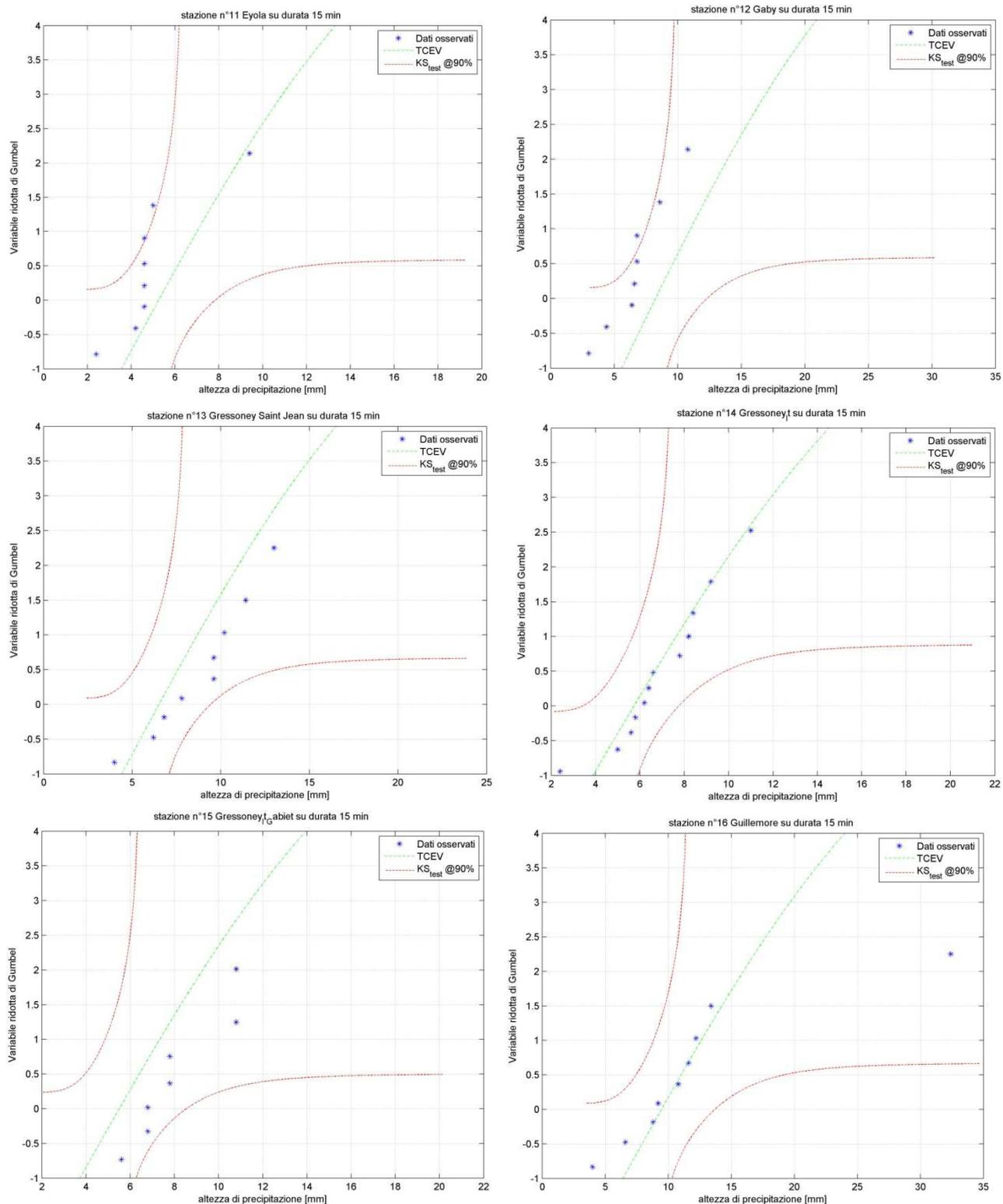


Figura 282 Stazioni 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 durata 15 minuti

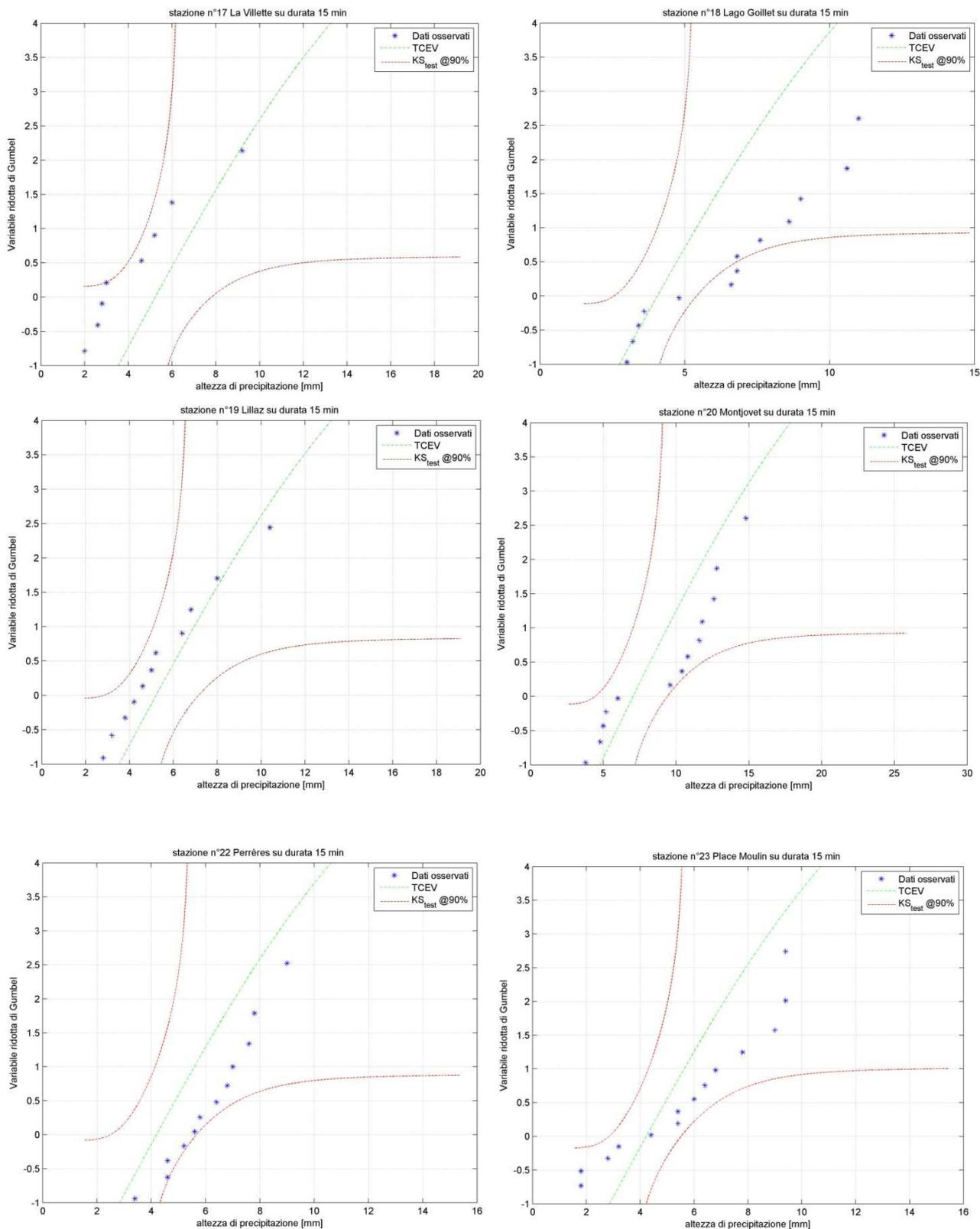


Figura 283 Stazioni 17 - 18 - 19 - 20 - 22 - 23 durata 15 minuti

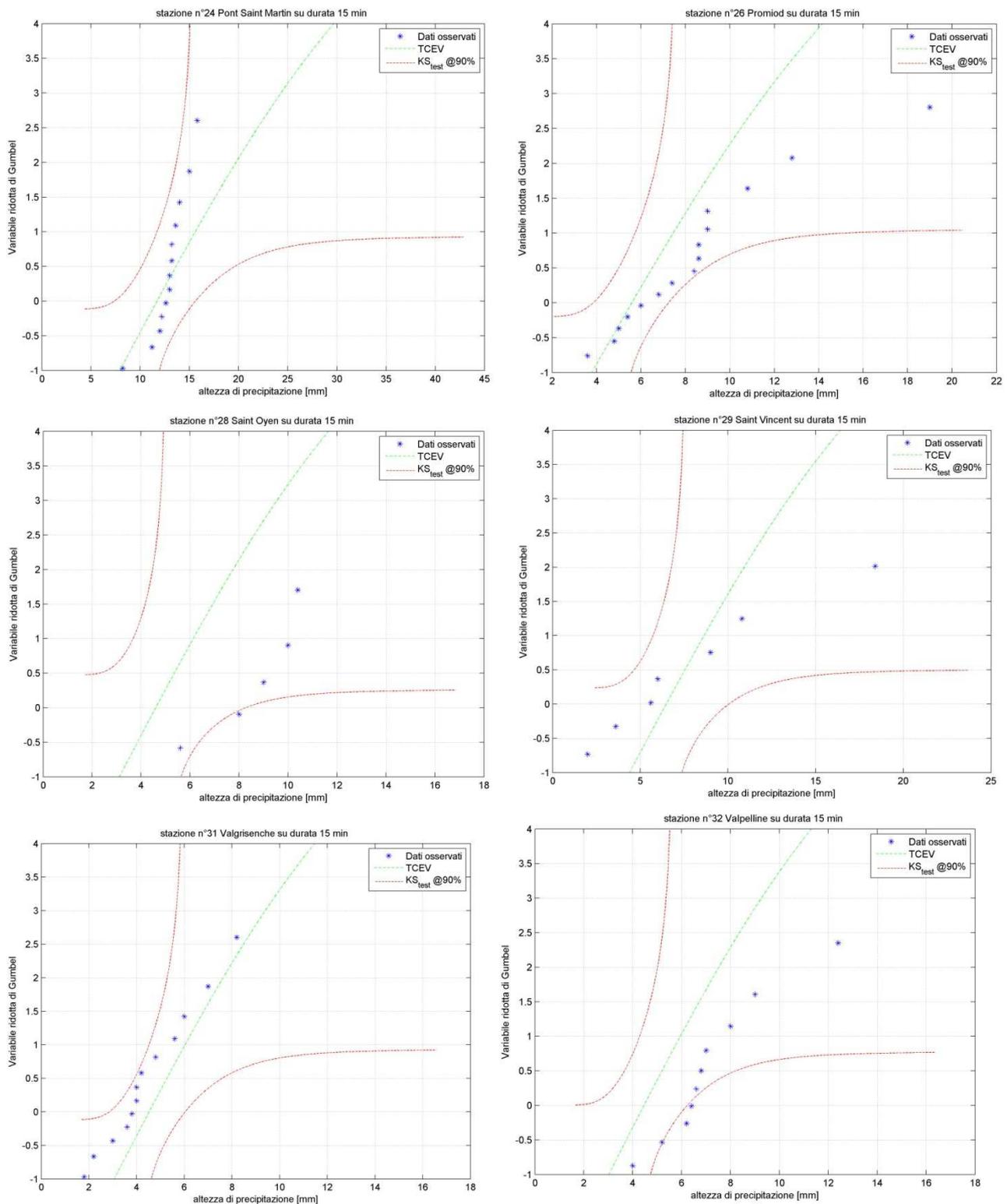


Figura 284 Stazioni 24 - 26 - 28 - 29 - 31 - 32 durata 15 minuti

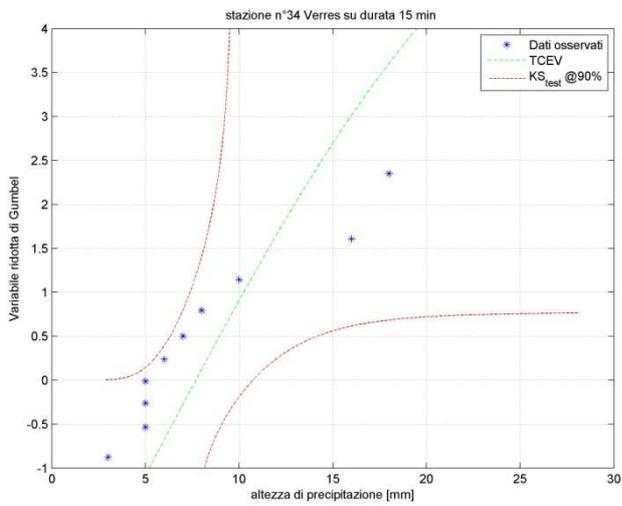


Figura 285 Stazione 34 durata 15 minuti

12.2 DURATA 30 MINUTI

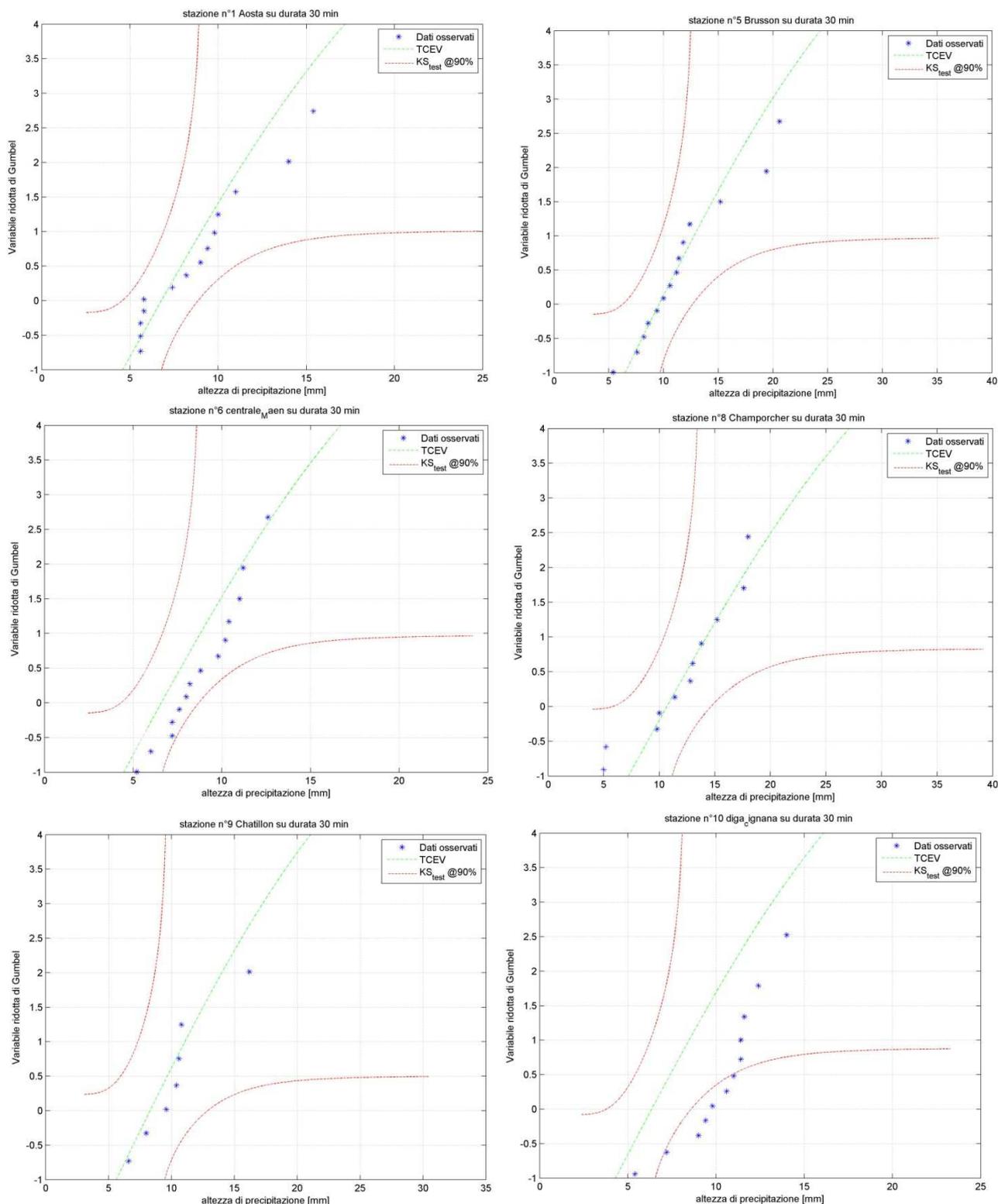


Figura 286 Stazioni 1 - 5 - 6 - 8 - 9 - 10 durata 30 minuti

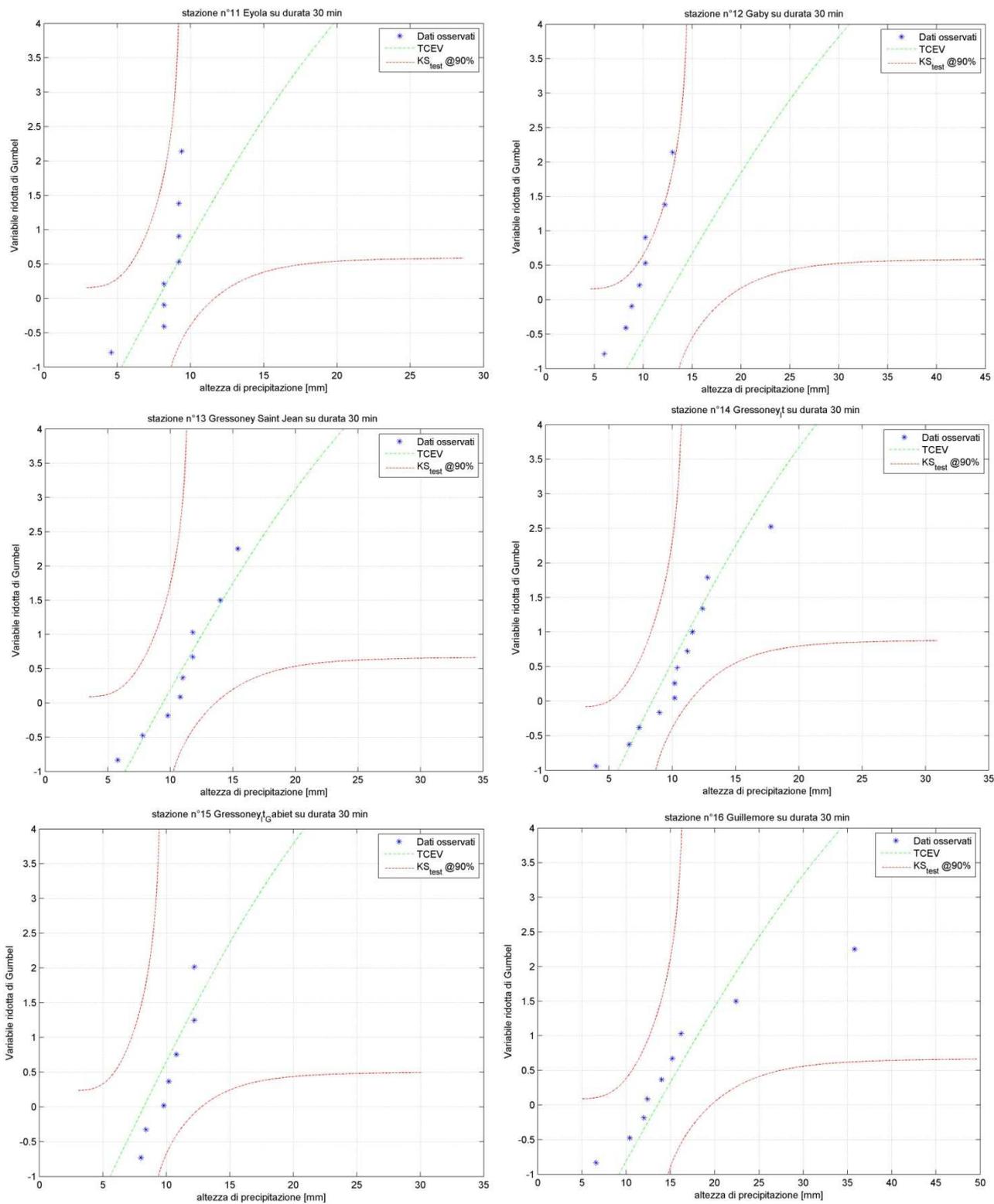


Figura 287 Stazioni 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 durata 30 minuti

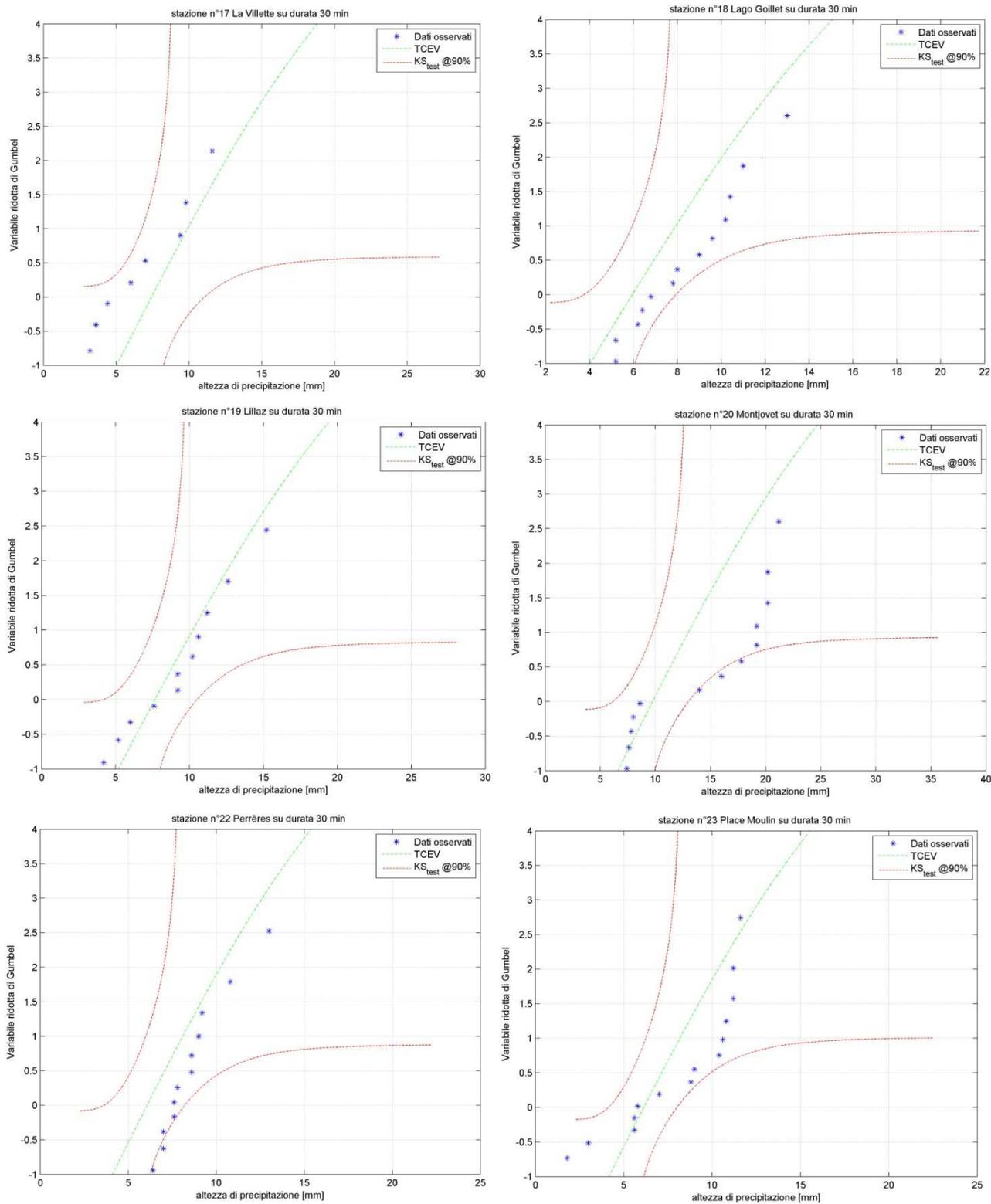


Figura 288 Stazioni 17 - 18 - 19 - 20 - 22 - 23 durata 30 minuti

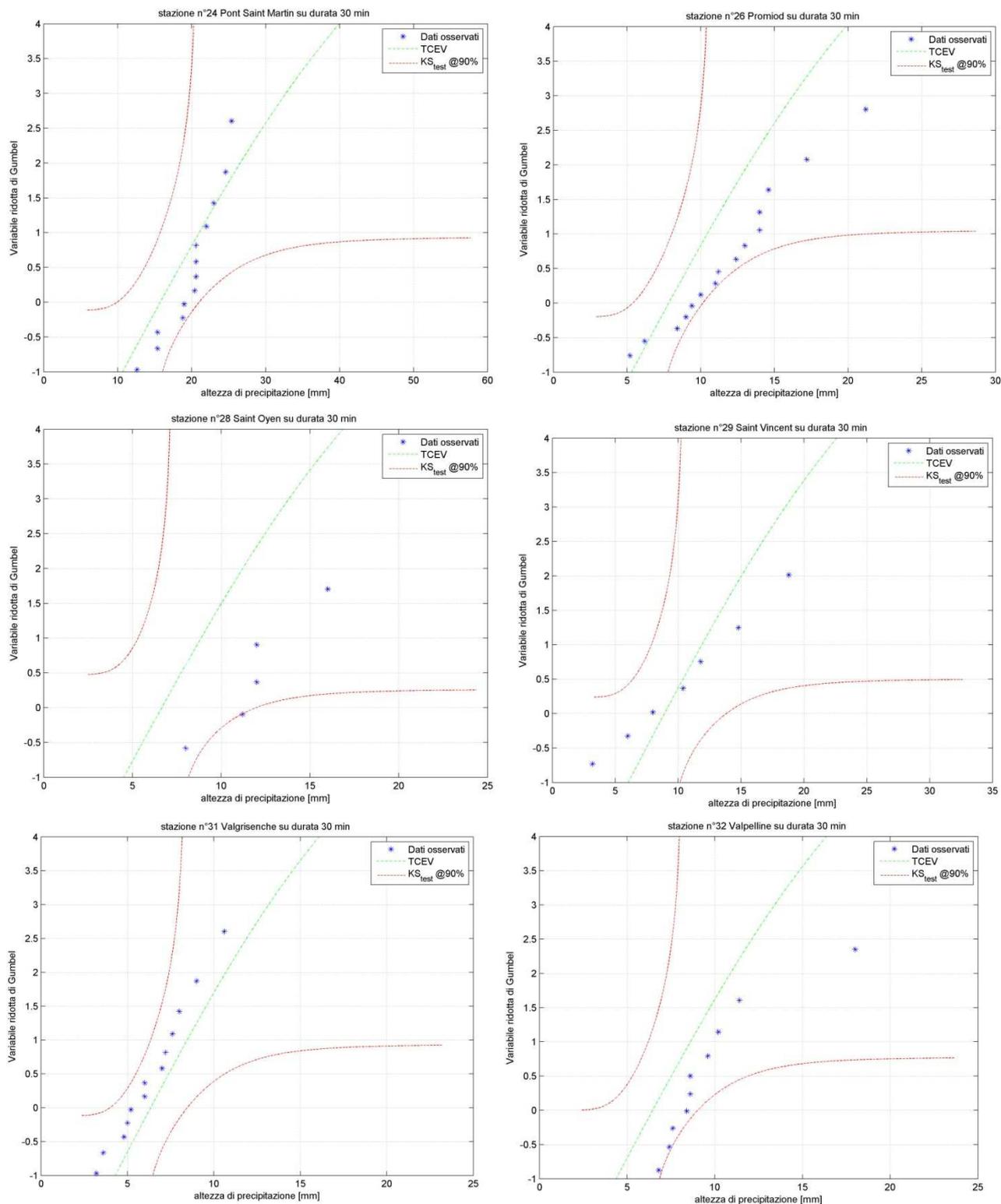


Figura 289 Stazioni 24 - 26 - 28 - 29 - 31 - 32 durata 30 minuti

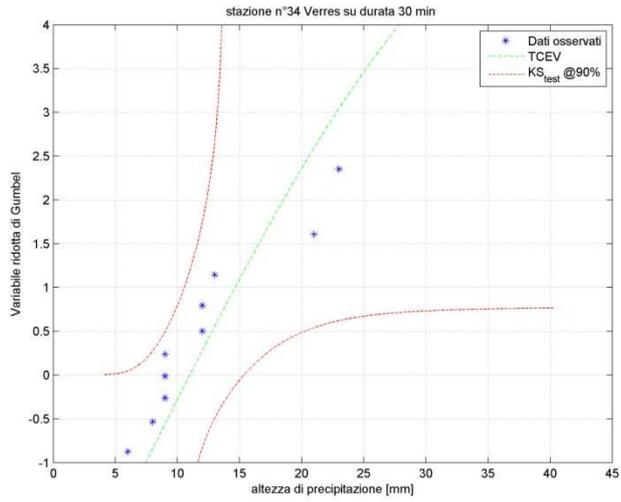


Figura 290 Stazione 34 durata 30 minuti

13 APPENDICE H: VALIDAZIONE DELL'ESTENSIONE DELLA REGIONALIZZAZIONE ALLE DURATE INFERIORI A 1 ORA – SET II

13.1 DURATA 10 MINUTI

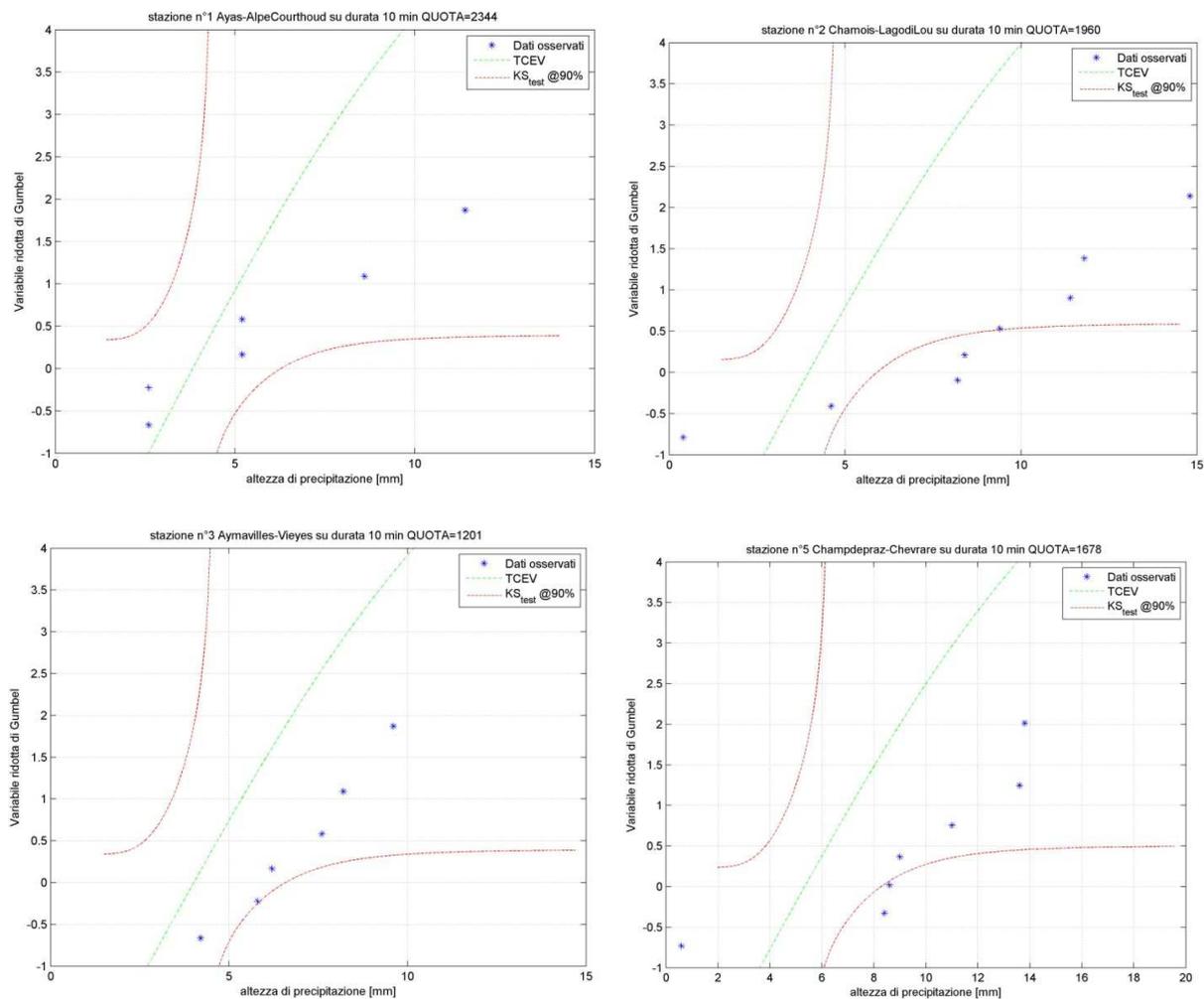


Figura 291 Stazioni 1 - 2 - 3 - 5 durata 10 minuti

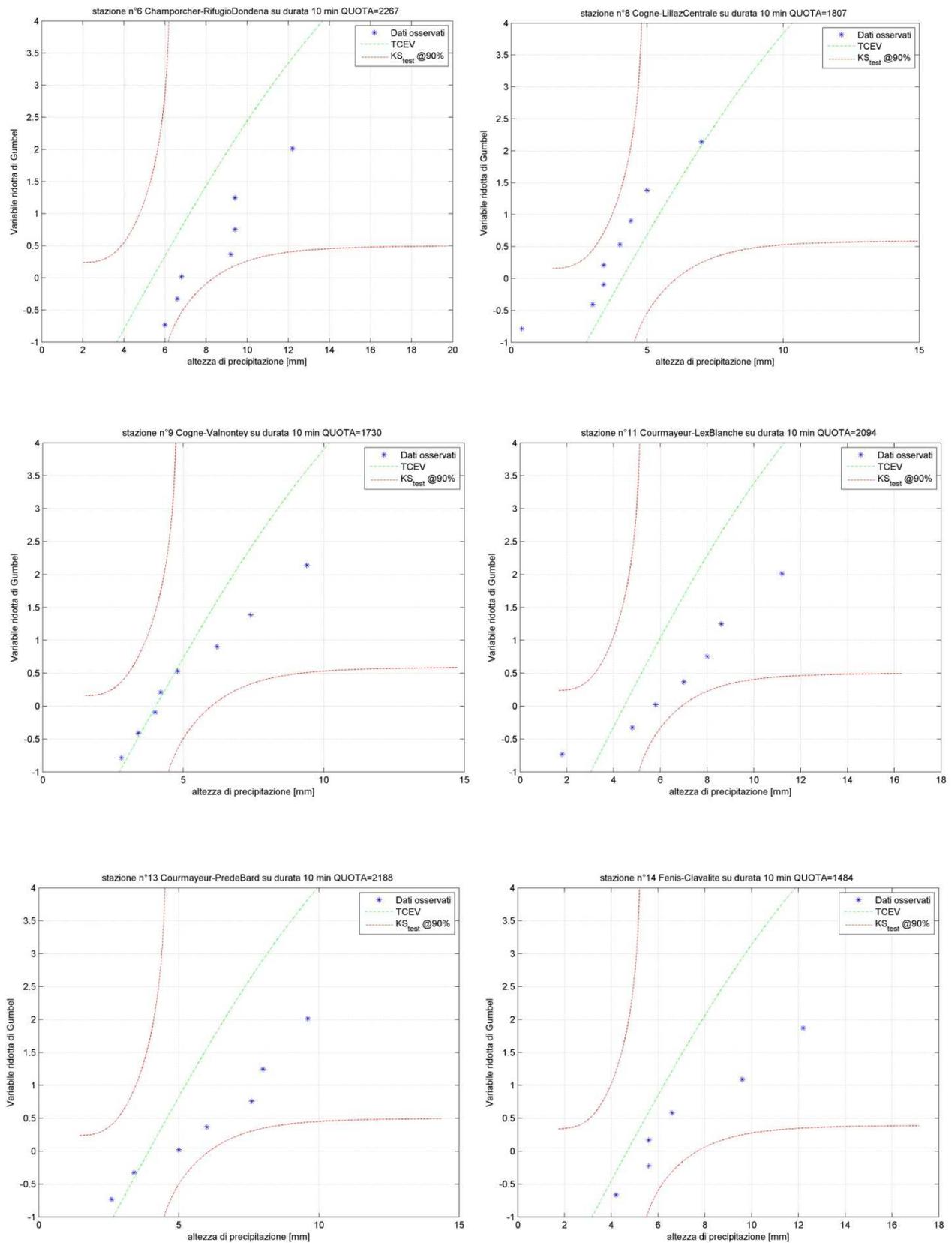


Figura 292 Stazioni 6 – 8 - 9 - 11 - 13 - 14 durata 10 minuti

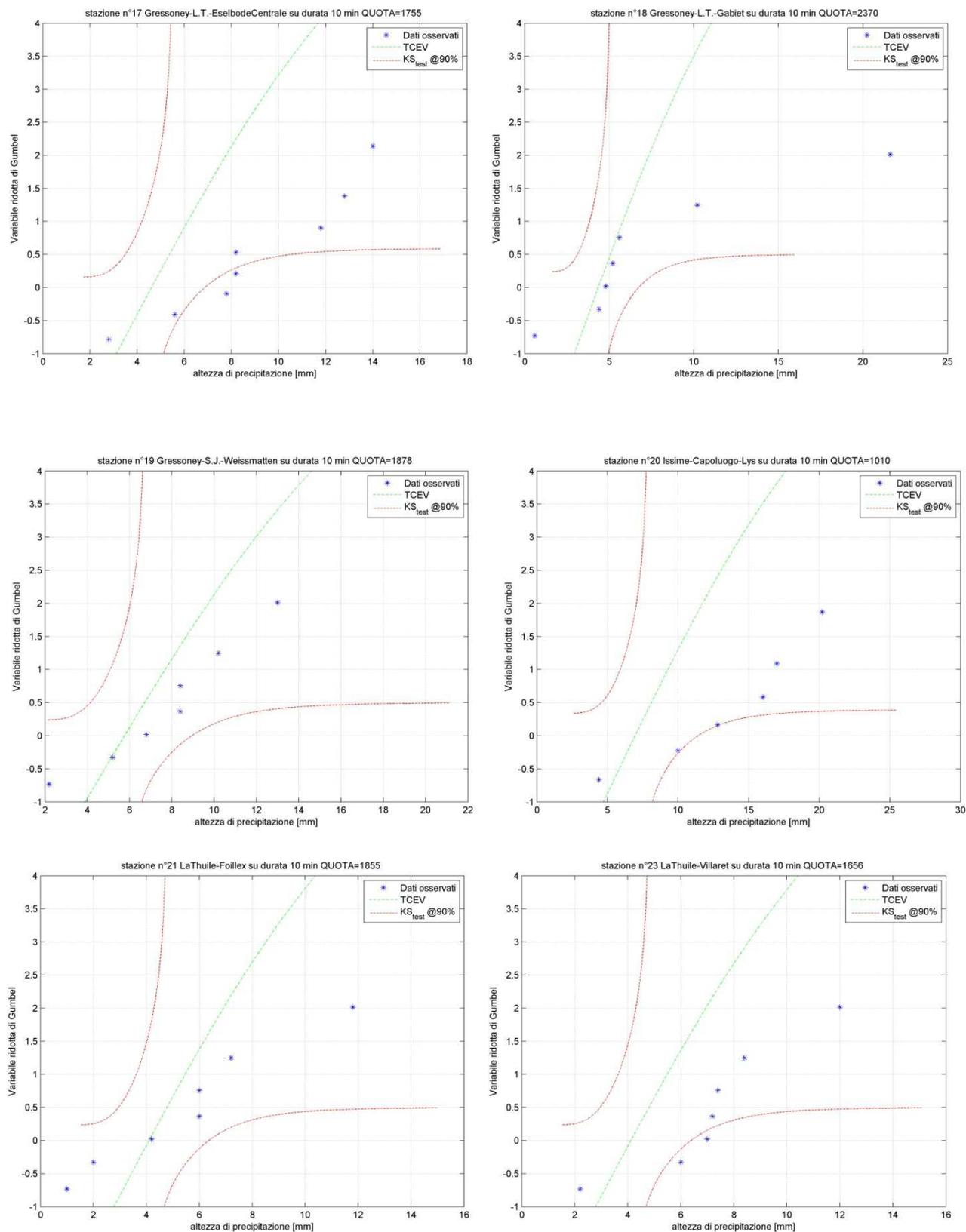


Figura 293 Stazioni 17 – 18 - 19 - 20 - 21 - 23 durata 10 minuti

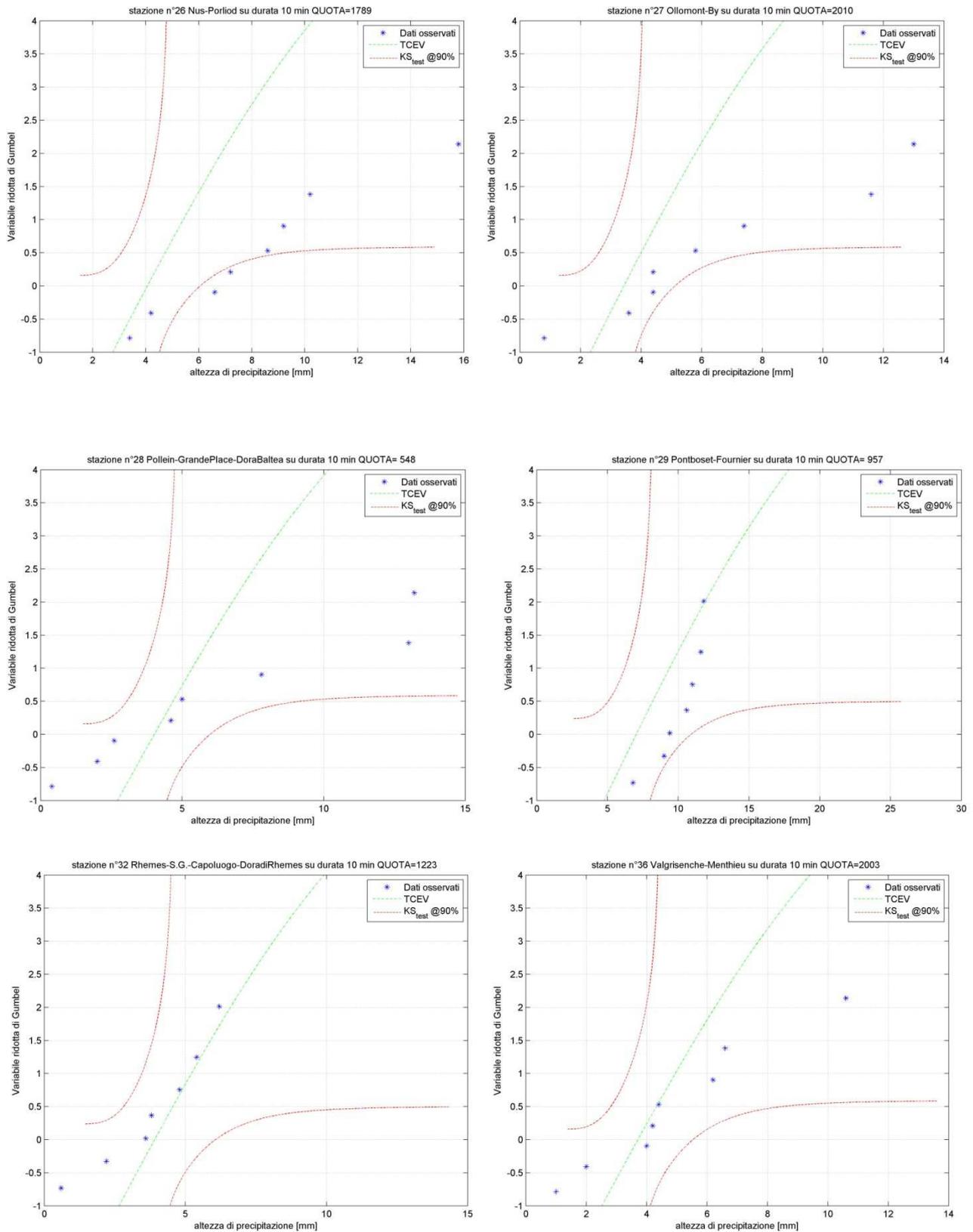


Figura 294 Stazioni 26 – 27 - 28 - 29 - 32 - 36 durata 10 minuti

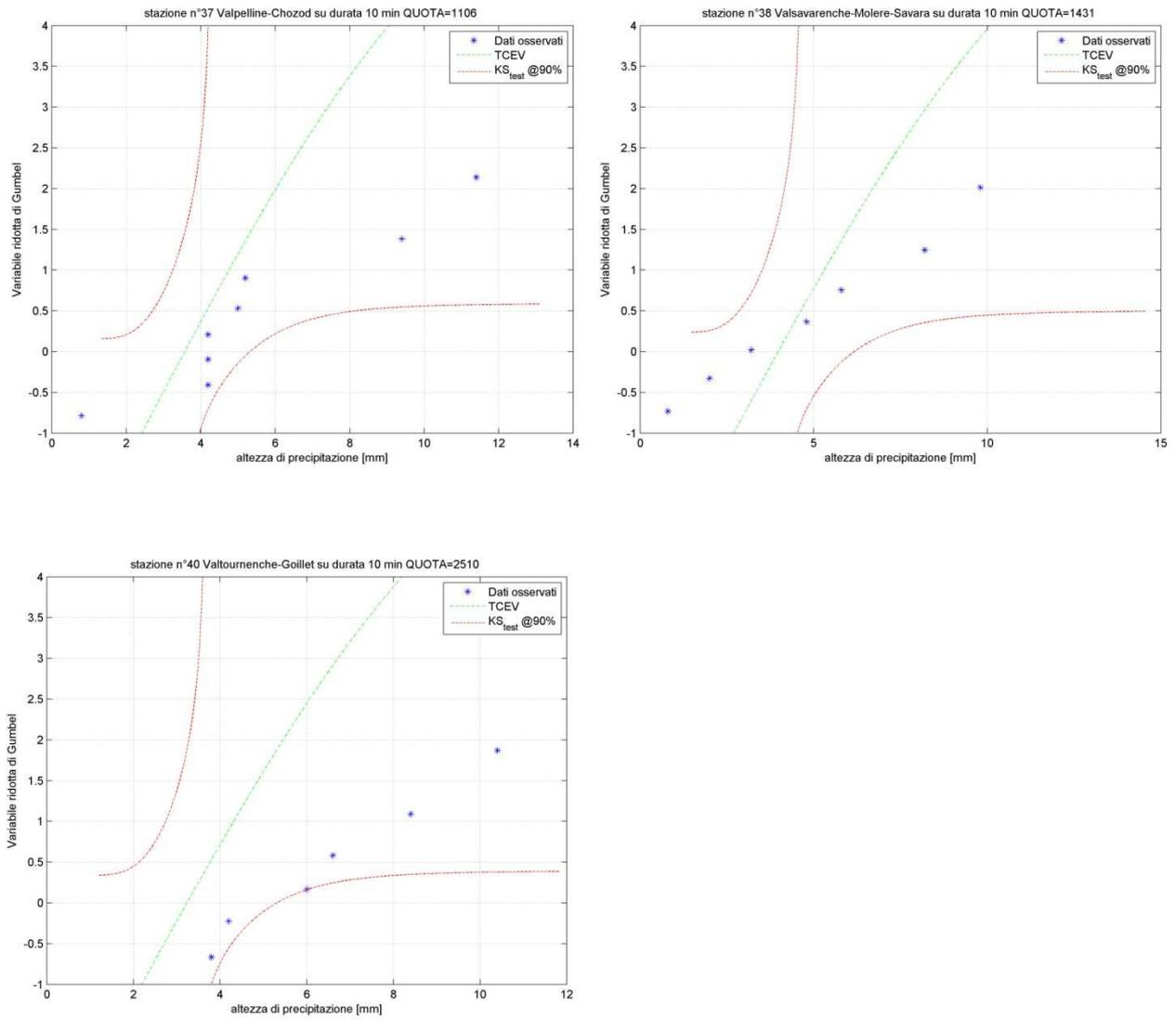


Figura 295 Stazioni 37 – 38 - 40 durata 10 minuti

13.2 DURATA 20 MINUTI

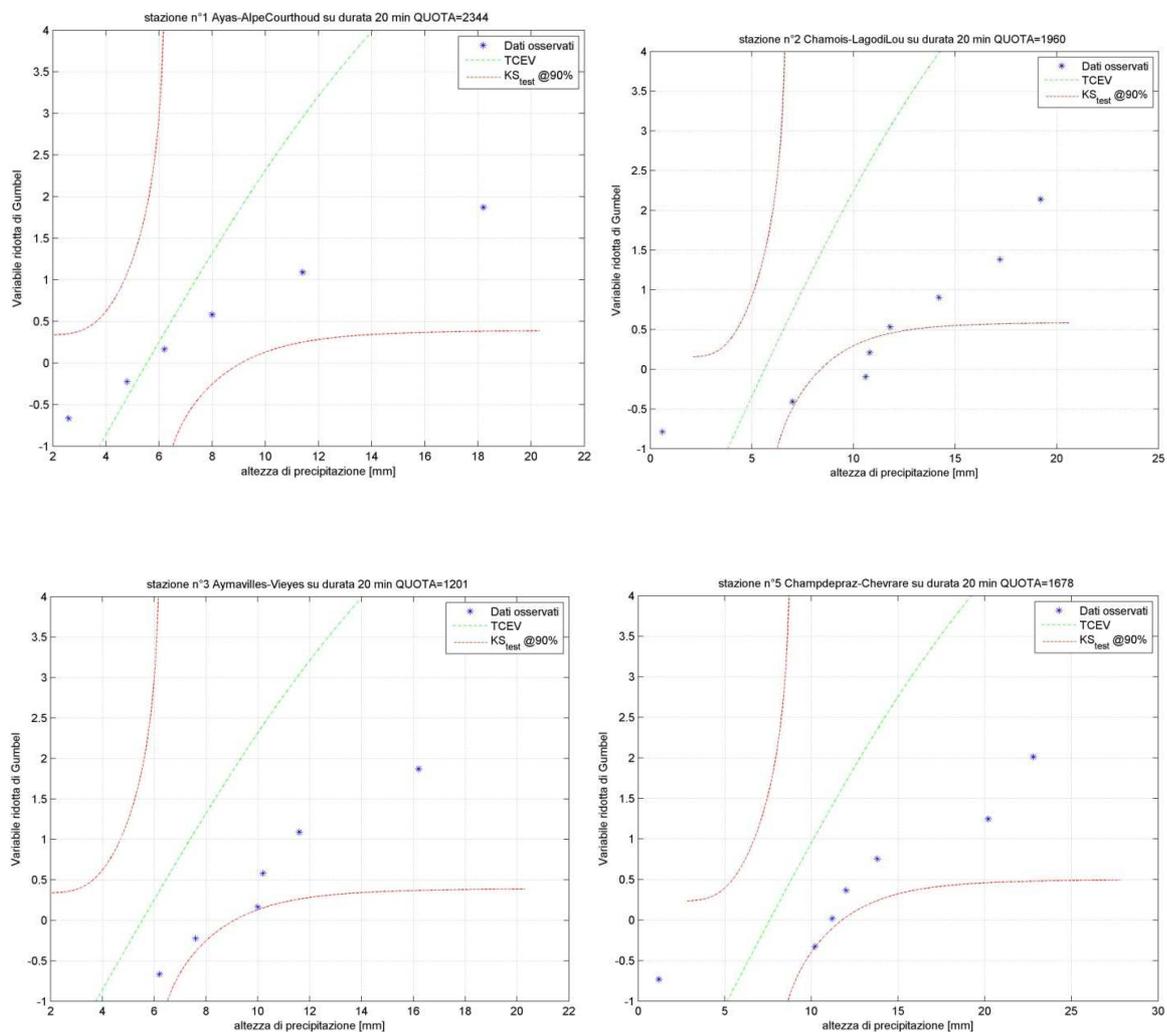


Figura 296 Stazioni 1 - 2 - 3 - 5 durata 20 minuti

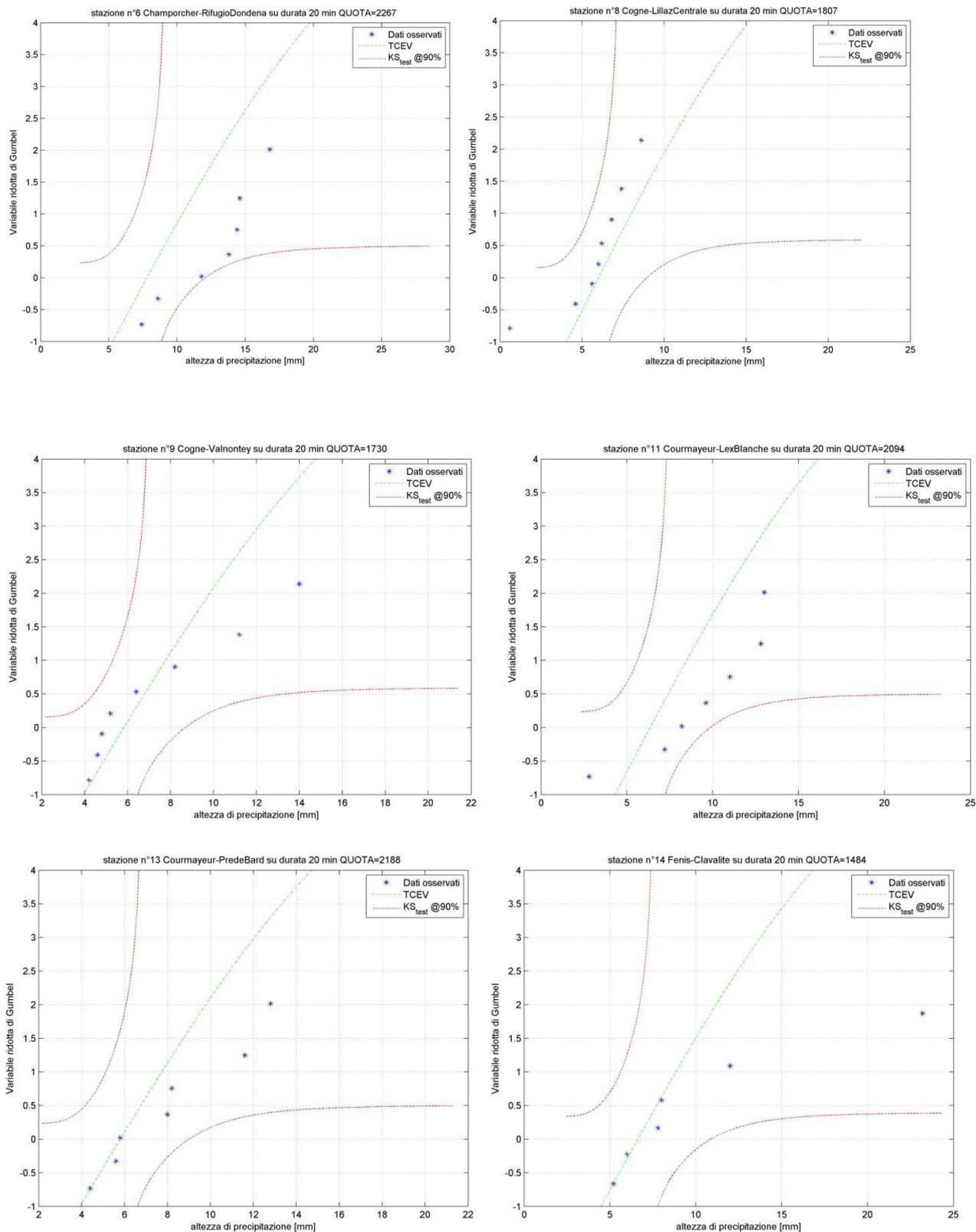


Figura 297 Stazioni 6 – 8 - 9 - 11 - 13 - 14 durata 20 minuti

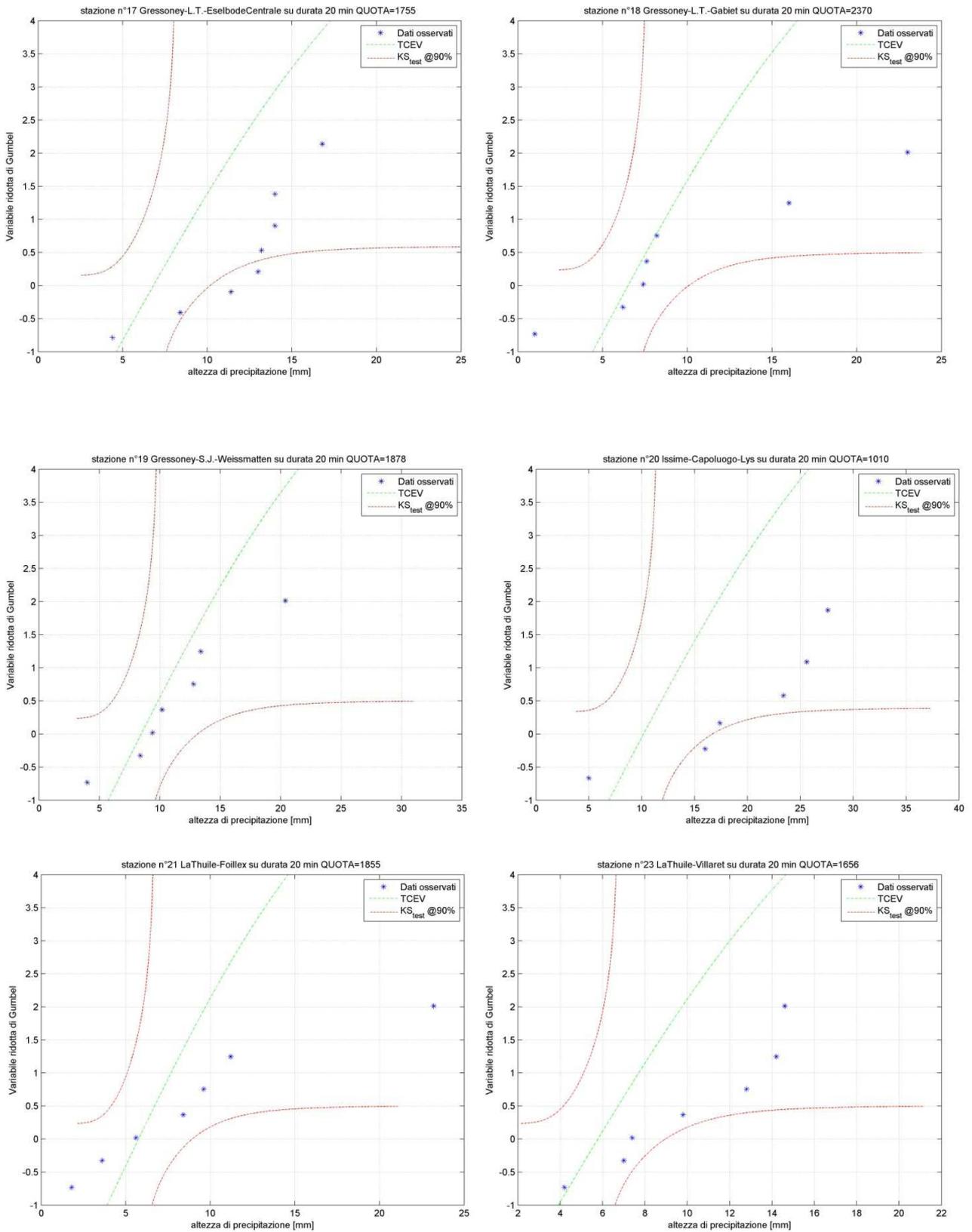


Figura 298 Stazioni 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 23 durata 20 minuti

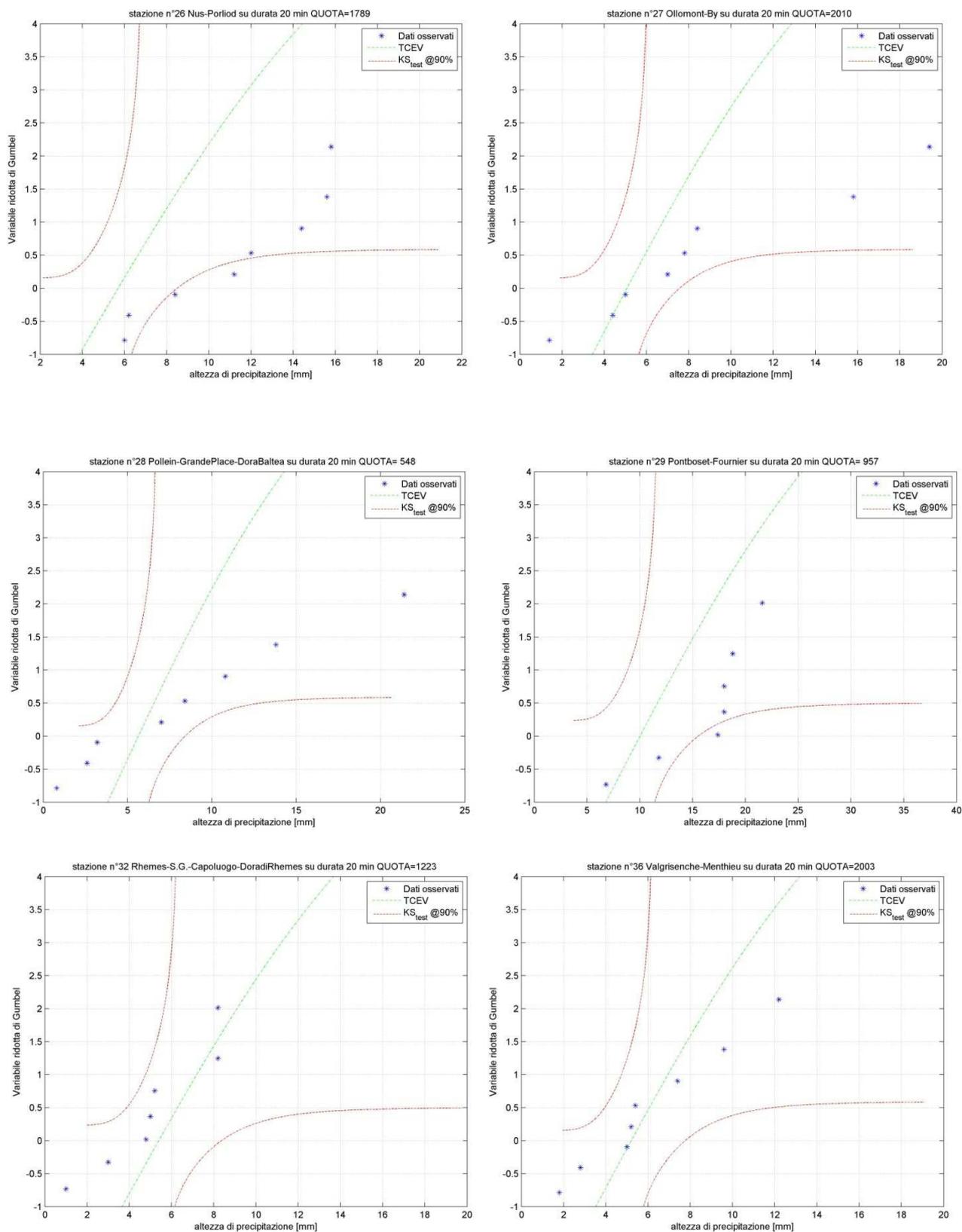


Figura 299 Stazioni 26 - 27 - 28 - 29 - 32 - 36 durata 20 minuti

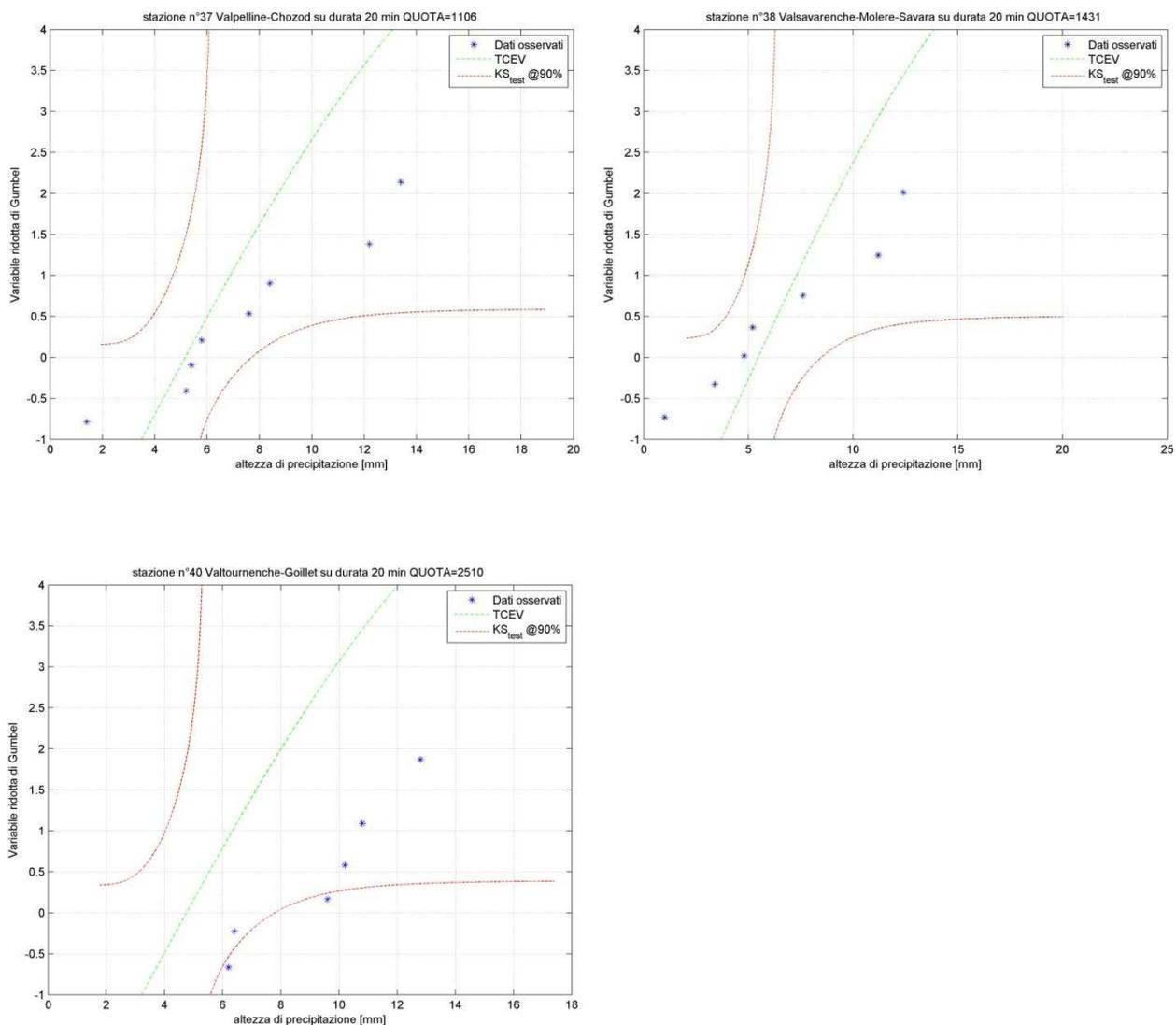
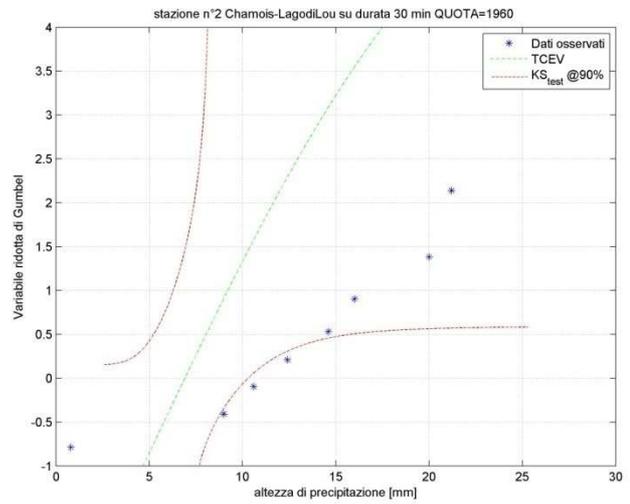
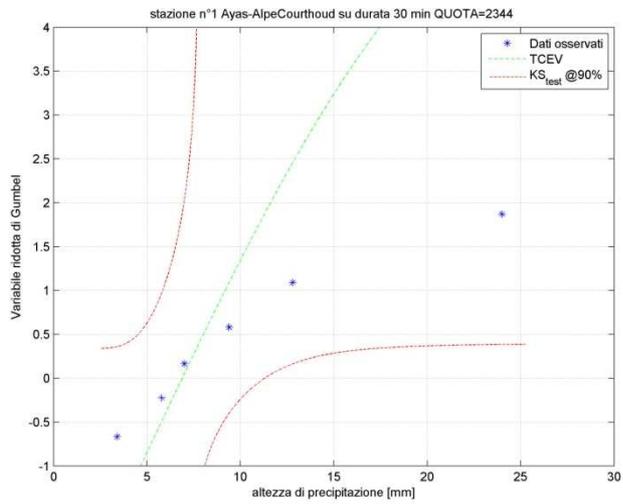


Figura 300 Stazioni 37 – 38 - 40 durata 20 minuti

13.3 DURATA 30 MINUTI



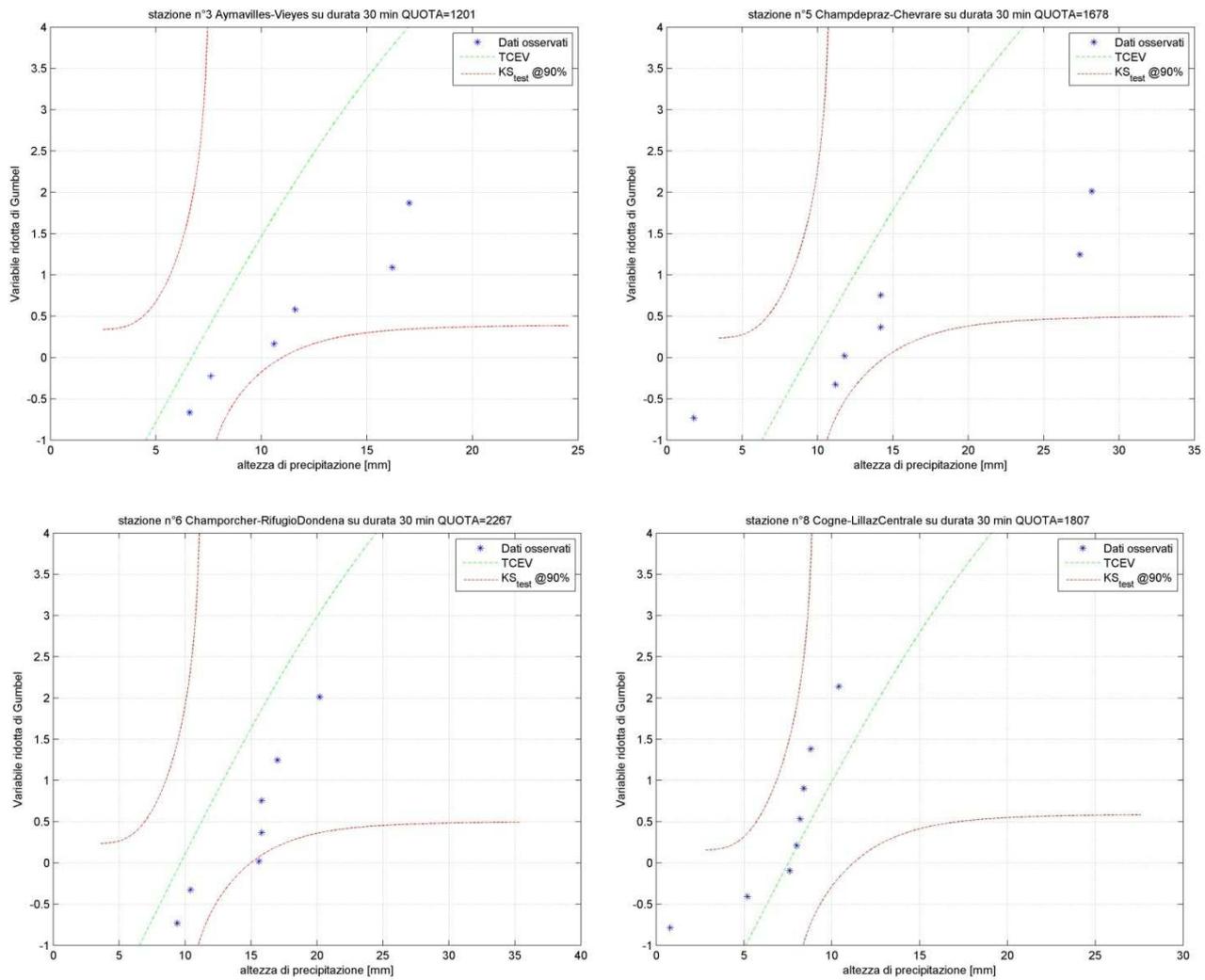
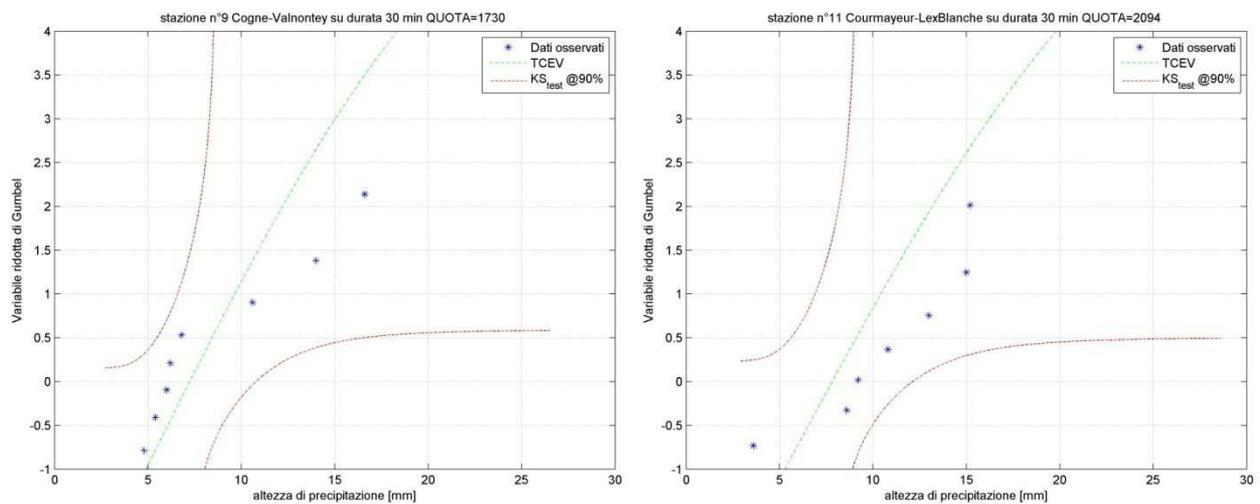


Figura 301 Stazioni 1 - 2 - 3 - 5 - 6 - 8 durata 30 minuti



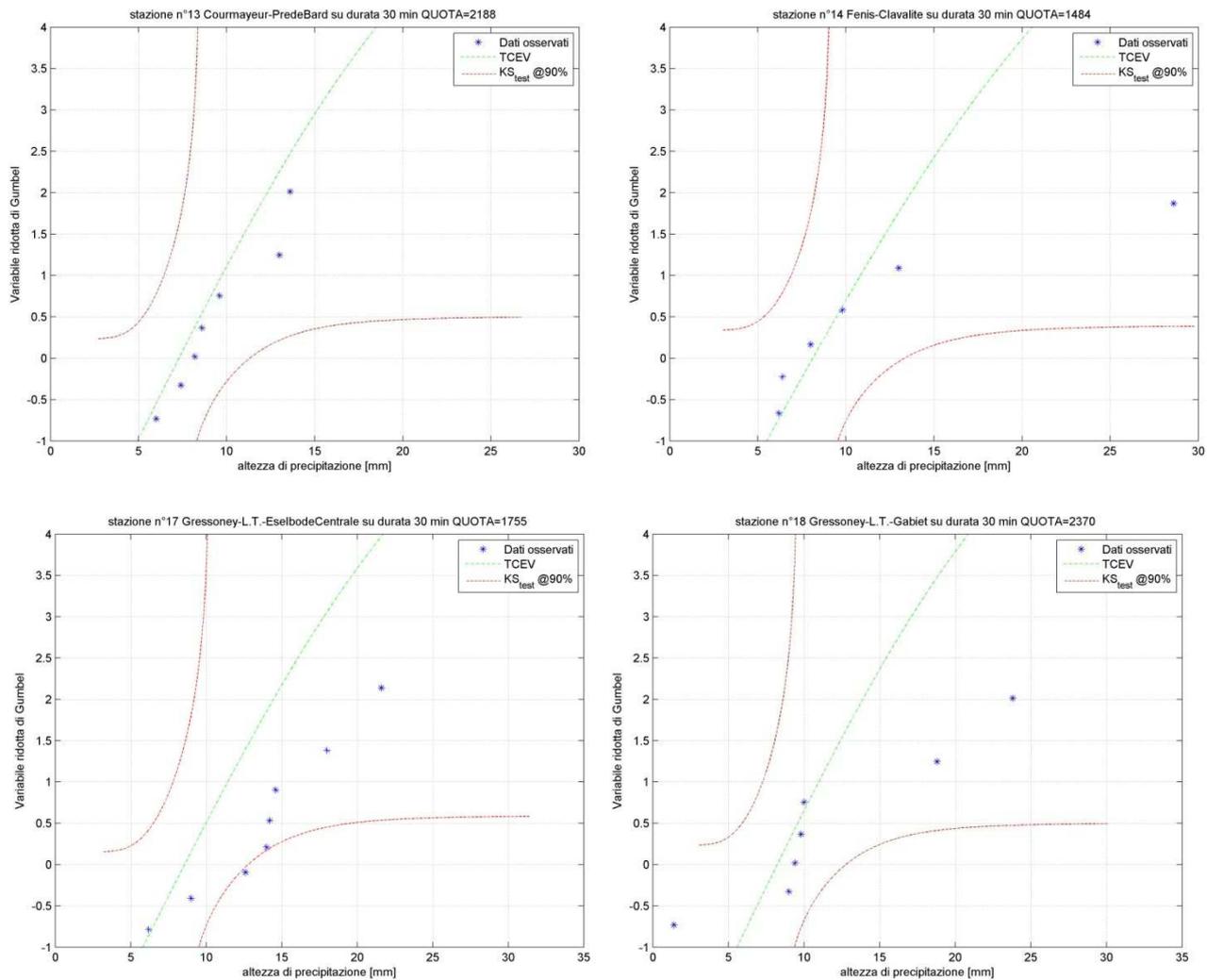
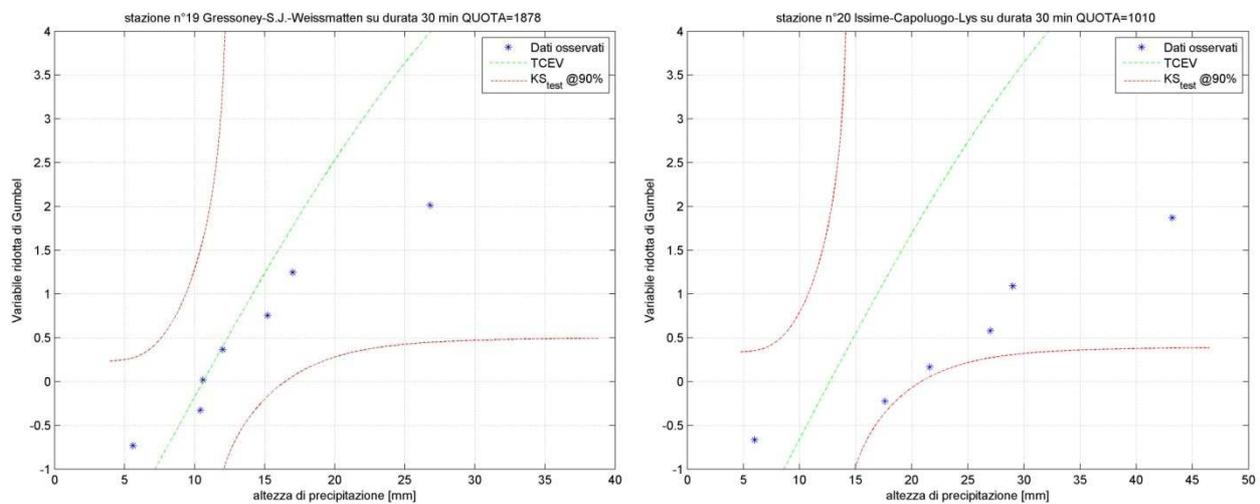


Figura 302 Stazioni 9 - 11 - 13 - 14 - 17 - 18 durata 30 minuti



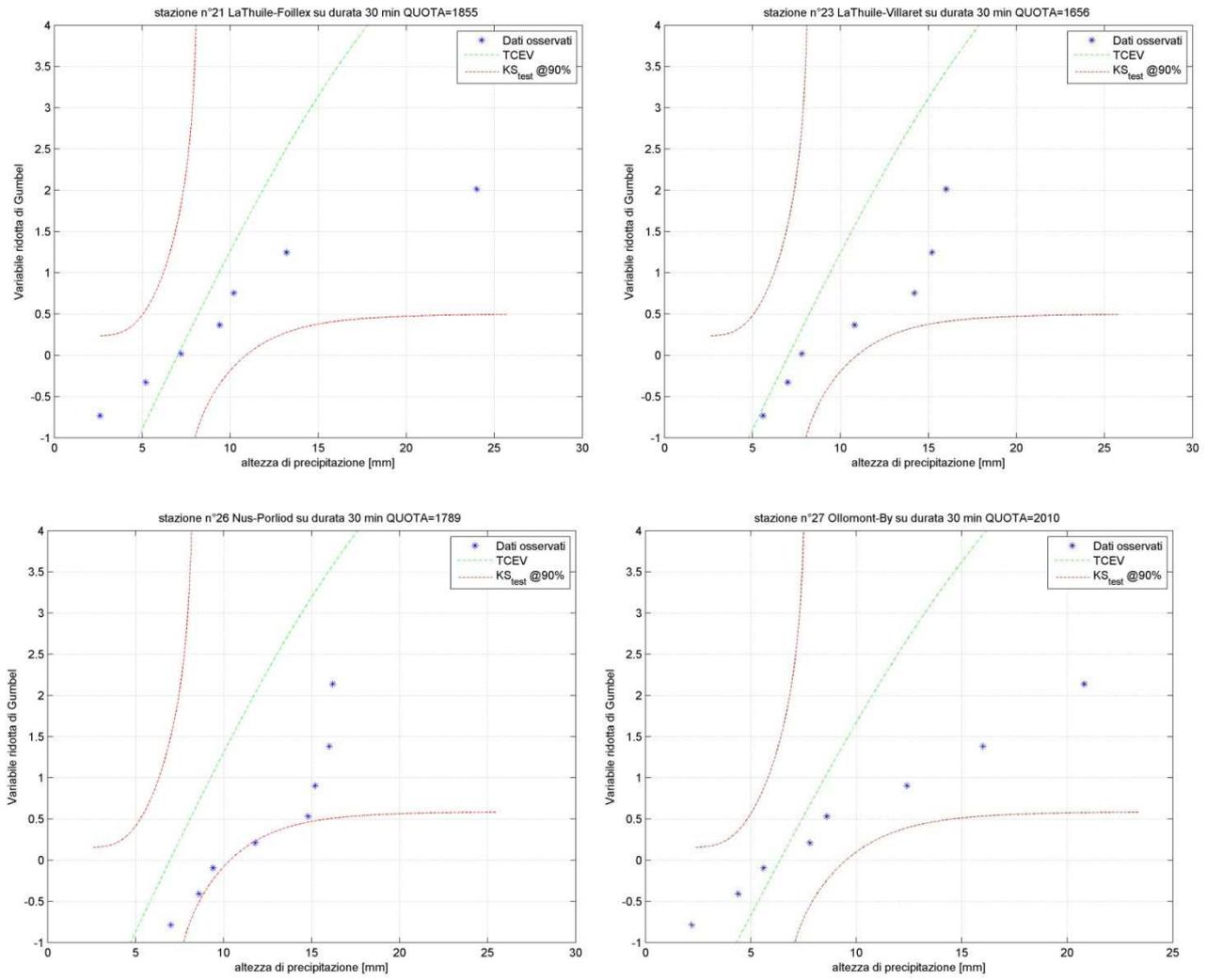
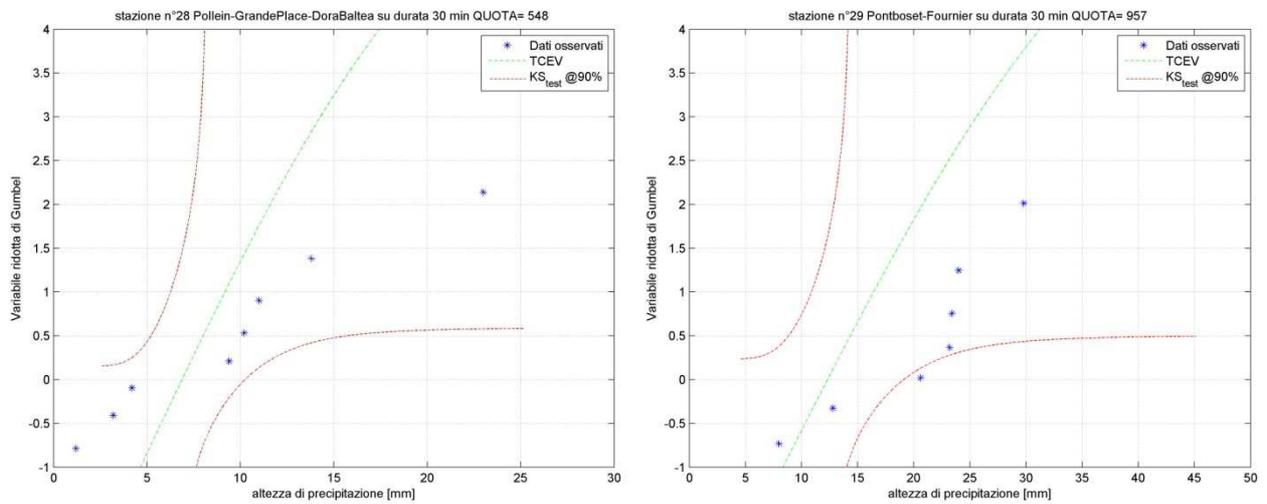


Figura 303 Stazioni 19 - 20 - 21 - 23 - 26 - 27 durata 30 minuti



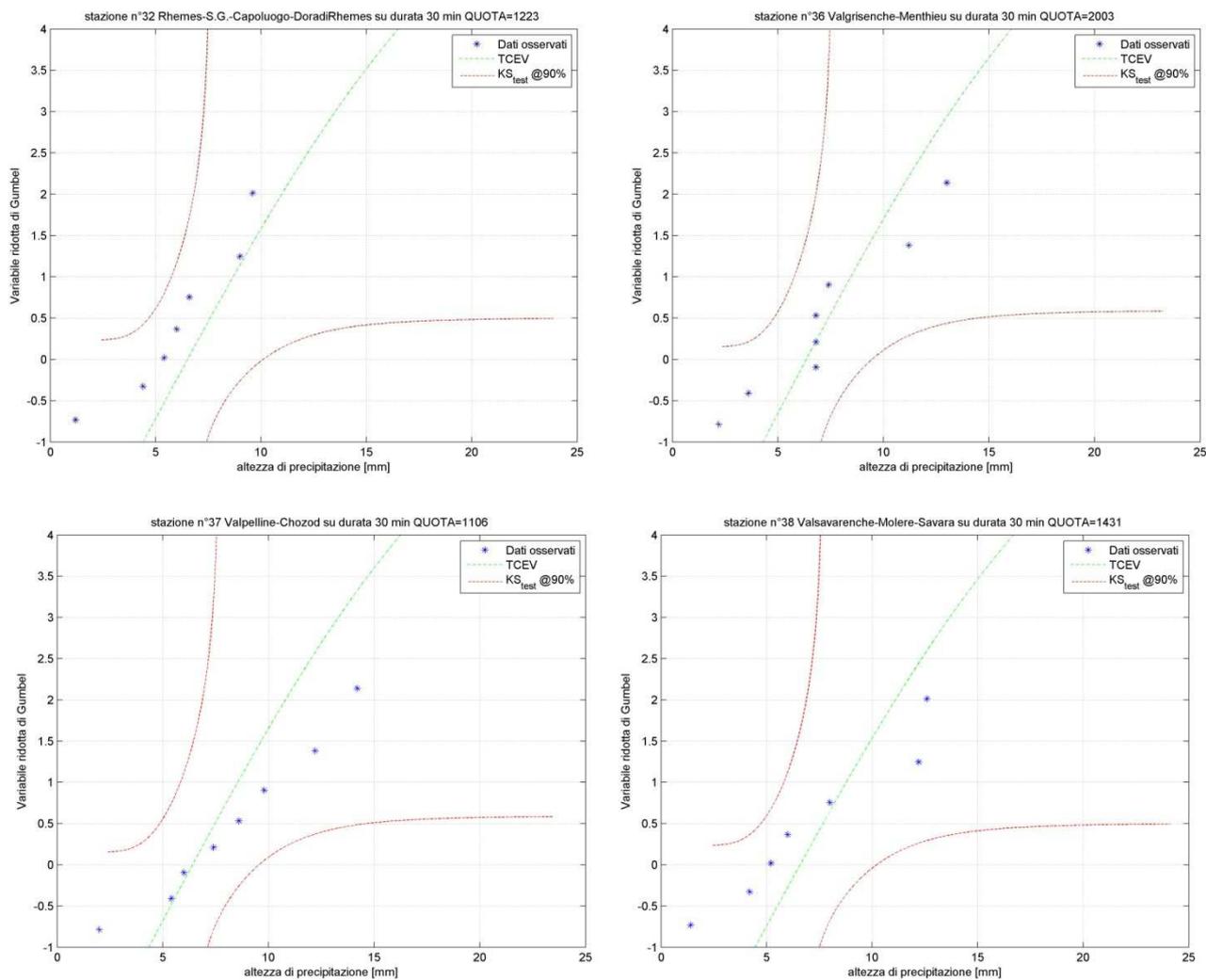


Figura 304 Stazioni 28 - 29 - 32 - 36 - 37 - 38 durata 30 minuti

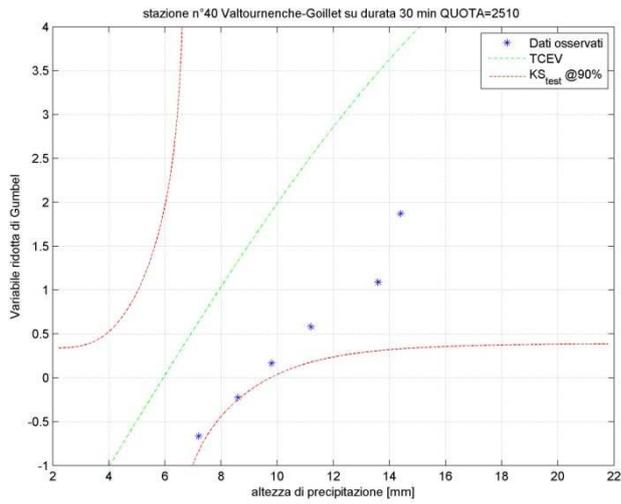


Figura 305 Stazione 40 durata 30 minuti