

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

# ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE 2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO

IDROLOGIA E IDRAULICA

ID00 - Elaborati Generali

Relazione idrologica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V O H 0 2 D 2 6 R H I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	C. Soave	Febbraio 2022	S. Scafa	Febbraio 2022	G. Fadda	Febbraio 2022	A. Perego Febbraio 2022



File: IV0H02D26RHID0001001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3	STUDIO IDROLOGICO.....	6
3.1	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	6
3.1.1	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel</i> .....	6
3.1.2	<i>Metodo VA.PI. dell' Italia Nord Occidentale</i> .....	8
3.2	CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE ADOTTATE.....	10
4	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI DI BREVE DURATA .....	13
4.1	STIMA DEI PARAMETRI CPP – FORMULA DI BELL .....	13
4.2	CONFRONTO TRA LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE (CPP).....	14
	APPENDICE – SERIE STORICHE E REGOLARIZZAZIONE STATISTICA.....	17

	<b>ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE</b> <b>2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione Idrologica</b>	COMMESSA IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Stazione pluviometrica di Savona - Istituto Nautico.....	6
Figura 2 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di forma, k.....	9
Figura 3 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di scala, $\alpha$ .....	9
Figura 4 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di posizione, $\epsilon$ .....	9
Figura 5 – Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro $a_1$ (mm/h <sup>n</sup> ).....	10
Figura 6 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro n.....	10
Figura 7 – Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all'ora per Tr 25 anni.....	11
Figura 8- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all'ora per Tr 50 anni.....	11
Figura 9- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all'ora per Tr 100 anni.....	12
Figura 10 - Curve di probabilità pluviometrica per la stazione di Savona – Istituto Nautico per durate inferiori all'ora.....	14
Figura 11- Curve di probabilità pluviometrica derivante da metodologia VAPI per durate inferiori all'ora.....	14
Figura 12 – Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 25 anni.....	15
Figura 13- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 50 anni.....	15
Figura 14- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 100 anni.....	16
Figura 15 – Curve CPP, Stazione di Savona – Istituto Nautico.....	18

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Stazioni pluviometrica Savona – Istituto Nautico: parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.....	7
Tabella 2 – VAPI: Valori medi dei parametri k, $\alpha$ , $\epsilon$ , a ed n per il bacino studiato.....	10
Tabella 3 - Valori dei parametri a e n per durate inferiori all'ora.....	13

	<b>ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE</b> <b>2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione Idrologica</b>	COMMESSA IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

## 1 PREMESSA

L'impianto di Vado Ligure Zona Industriale, oggetto della presente relazione, è collegato alla stazione di Savona Parco Doria, che appartiene alla linea Genova – Ventimiglia.

Il progetto, in questa fase, prevede complessivamente la realizzazione di un nuovo ACC, in luogo dell'attuale Apparato Centrale Idrodinamico, con centralizzazione ed elettrificazione di tutti i 6 binari del piazzale, e la rivisitazione del PRG della stazione, con adeguamento di un binario a modulo 750 metri. All'interno del perimetro saranno compresi anche l'adeguamento per la gestione delle merci pericolose, la progettazione dell'indipendenza della radice dei raccordi Porto ed Esso/Infineum e l'adeguamento stradale di via Leopardi, necessario nell'ambito dei lavori di PRG a regime.

Scopo della presente relazione è la descrizione delle analisi idrologiche e idrauliche relative al Rio Lusso interferente con le opere di progetto, con riferimento al Progetto Definitivo: "ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE - ZONA INDUSTRIALE - 2^ FASE.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- reperimento della cartografia di base;
- interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche di caratterizzazione del bacino di interesse;
- raccolta ed analisi dei dati meteorologici con determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative proposte nella relazione idrologica.

La presente relazione riporta lo studio idrologico teso alla stima della curva di probabilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di smaltimento idraulico.

	<b>ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE</b> <b>2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione Idrologica</b>	COMMESSA IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle normative e degli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico - idraulico, ambientale e di difesa del suolo; in particolare:

- Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.), Regione Liguria, 2015-2021 aggiornamento: 31/10/2019;
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Liguria;
- R.D. 25/07/1904, n. 523 - "Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 - "Testo unico delle leggi sanitarie";
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 - "Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto";
- D.M. 12/12/1985 - "Normativa tecnica per le tubazioni";
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 - "Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni";
- L.R. 15/05/1986, n. 27 - "Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla L.R. 18/06/1977, n. 39 e s.m.i.".
- L. 18/05/1989, n. 183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 - "Norme in materia ambientale" e s.m.i.;
- D.lgs. 16/01/2008, n. 4 - "Codice dell'Ambiente" (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- D.M. 04/04/2014 - "Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto";
- Manuale di Progettazione RFI - Edizione dicembre/2020;

	<b>ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE</b> <b>2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione Idrologica</b>	COMMESSA IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

### 3 STUDIO IDROLOGICO

Ai fini dello studio idrologico dell'area di interesse è stata condotta un'analisi delle precipitazioni sulla base dei dati ricavati dal sito [www.ambienteinliguria.it](http://www.ambienteinliguria.it) della Regione Liguria (<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>) e dagli Annali Idrologici disponibili sul sito [www.arpal.liguria.it](http://www.arpal.liguria.it).

Tramite l'elaborazione statistica di questi dati, ossia i valori massimi annuali di pioggia di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrate nella stazione pluviografica di Savona - Istituto Nautico, sono stati ricavati i parametri delle curve CPP per i vari tempi di ritorno considerati (25, 50 e 100 anni). I valori così determinati sono stati, infine, confrontati con le corrispondenti curve CPP calcolate secondo le linee guida del VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale.

#### 3.1 Analisi delle precipitazioni

##### 3.1.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel

Sono state considerate le curve di possibilità pluviometrica (CPP) ricavate tramite l'analisi statistica secondo Gumbel da campioni di dati registrati nella stazione di misura ricadente nelle vicinanze dell'area oggetto di studio; più precisamente le stazioni di **Savona - Istituto Nautico**, la quale risulta avere il maggior numero di anni di osservazione e la maggior corrispondenza altimetrica con l'area soggetta a intervento, rispetto le altre stazioni presenti sul territorio.



Figura 1 – Stazione pluviometrica di Savona - Istituto Nautico.

La funzione di probabilità di Gumbel è del tipo a doppio-esponenziale:

$$F(X) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-\epsilon)}}$$

con  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  parametri della legge di Gumbel; di solito stimati attraverso il metodo dei momenti e legati alla media  $\mu$  ed allo scarto quadratico medio  $\sigma$  dei dati campionari dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6} * \sigma}$$

$$\varepsilon = \mu - 0.45 * \sigma$$

Essendo  $Tr=1/p$  la relazione esistente tra il tempo di ritorno  $T_r$ , ossia il numero di anni  $T$  in cui la variabile  $x$  è raggiunta o superata mediamente una sola volta, e la probabilità di superamento  $p=P(X>x)$ , vale la relazione:

$$T_r = \frac{1}{1 - F(X)} \rightarrow \frac{T_r - 1}{T_r} = F(X) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}}$$

Invertendo questa relazione, considerando le espressioni di  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  sopra riportate e ponendo  $x=h_{t,T_r}$  (altezza di pioggia di durata  $t$  e tempo di ritorno  $T_r$ ), si ottiene la relazione:

$$h_{t,T_r} = \varepsilon - \frac{1}{\alpha} * \ln \ln \left( \frac{T_r}{T_r - 1} \right) = \mu(h_t) - \sigma(h_t) * \left[ 0.45 + 0.78 * \ln \ln \left( \frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

Tramite questa relazione, per ciascun valore di  $T_r$ , si ottengono  $n$  valori corrispondenti alle  $n$  durate considerate ( $n=5$  essendo  $t=1, 3, 6, 12, 24$  h). Questi valori, in un piano bi-logartimico ( $t, h_t$ ) individuano una curva detta curva di possibilità pluviometrica (CPP) che può essere rappresentata da un'equazione del tipo:

$$h_{t,T_r} = a * t^n$$

Dove i parametri  $a$  ed  $n$  possono essere stimati, per ciascun tempo di ritorno, tramite regressione lineare ai minimi quadrati.

In Tabella 1 sono riportati i valori di  $a$  ed  $n$ , calcolati con il metodo di Gumbel, secondo la metodologia appena descritta, per le stazione meteo di Savona - Istituto Nautico, le cui registrazioni pluviometriche (riportate in Appendice) sono state ricavate dal sito [www.ambienteinliguria.it](http://www.ambienteinliguria.it) e dagli Annali Idrologici.

Parametri curve CPP $t>1h$		
Savona - Istituto Nautico		
Anno inf	Anno sup	N anni
1969	2020	36
Tr(Anni)	a(mm/h)	n
25	98.25	0.276
50	112.04	0.272
100	125.73	0.268
200	139.38	0.266

**Tabella 1 – Stazioni pluviometrica Savona – Istituto Nautico: parametri  $a$  ed  $n$  per i vari tempi di ritorno considerati.**

### 3.1.2 Metodo VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale

Nell'ambito del progetto VA.PI. del GNDCI-CNR per la valutazione delle piene nell'Italia nord occidentale (fonte: "Rapporto regionale per i compartimenti di Parma e Genova", 2001), sono stati utilizzati i dati osservati nelle stazioni di misura pluviometriche e pluviografiche del SIMN. Dopo un'analisi di qualità dell'informazione contenuta nelle serie storiche registrate, è stato ottenuto un database comprendente 366 stazioni di misura (270 nel bacino del Fiume Po e 96 in Liguria) con almeno 20 anni di osservazione e numerosità media di 34 anni. Non sono state identificate sottozone pluviometriche omogenee in relazione alla distribuzione di probabilità cumulata (DPC) delle piogge da 1 a 24 ore consecutive e, in alternativa, si è provveduto alla valutazione della DPC per ogni stazione in base all'ipotesi di invarianza di scala utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV). Stimati i parametri di forma "k", di scala "α", e di posizione "ε", della DPC/GEV per le stazioni in esame resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno  $T_r$  e valore del coefficiente di crescita K:

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

valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive. Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della relazione precedente per cui, fissato un valore  $T_r$  del periodo di ritorno in anni, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K:

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

dove  $y_T$  indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a:

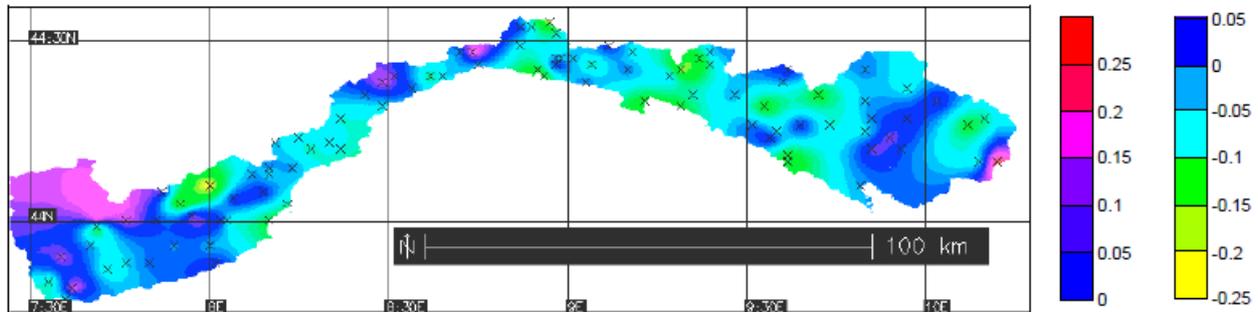
$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)$$

e i valori dei parametri k, α ed ε sono relativi ai siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche. Per gli altri siti, si riportano nelle figure seguenti le mappe dei parametri per l'intero territorio analizzato, che sono state ricavate per interpolazione con metodi di kriging.

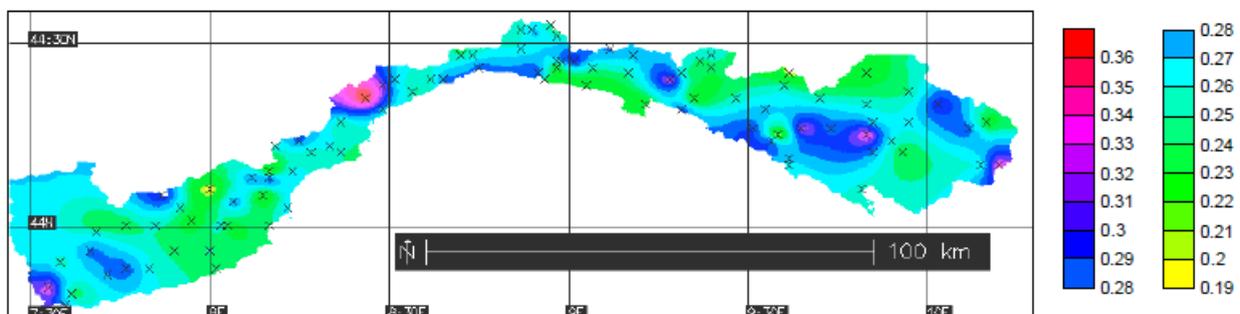
L'altezza di pioggia cumulata con periodo di ritorno T-ennale va quindi valutata come:

$$h_T(d) = m(d)K_T$$

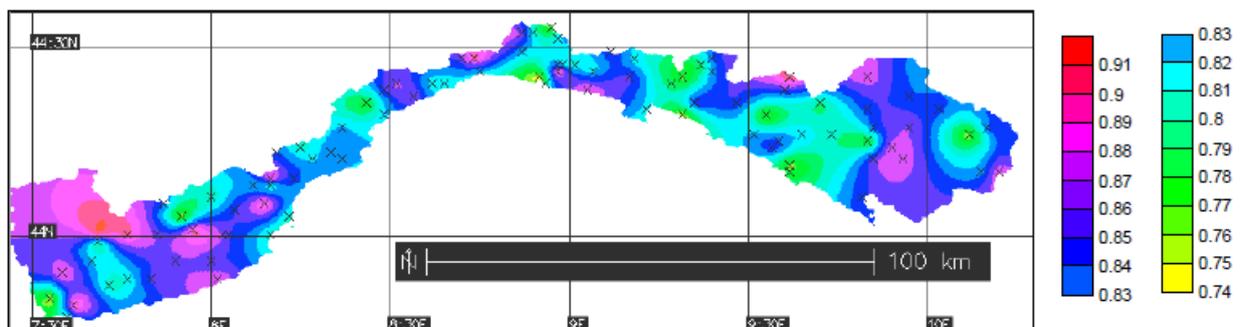
dove m(d) è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in d ore consecutive.



**Figura 2 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di forma, k.**



**Figura 3 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di scala, alpha.**

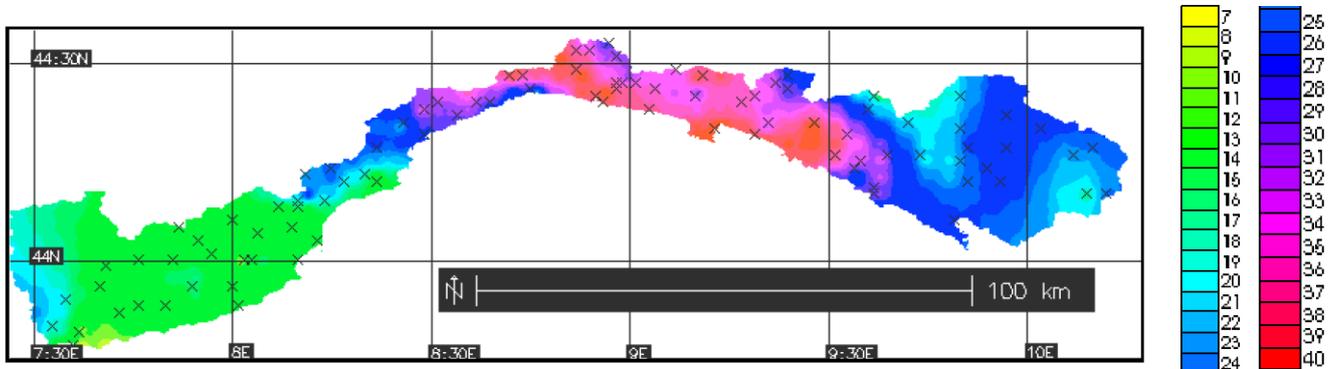


**Figura 4 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro di posizione, epsilon.**

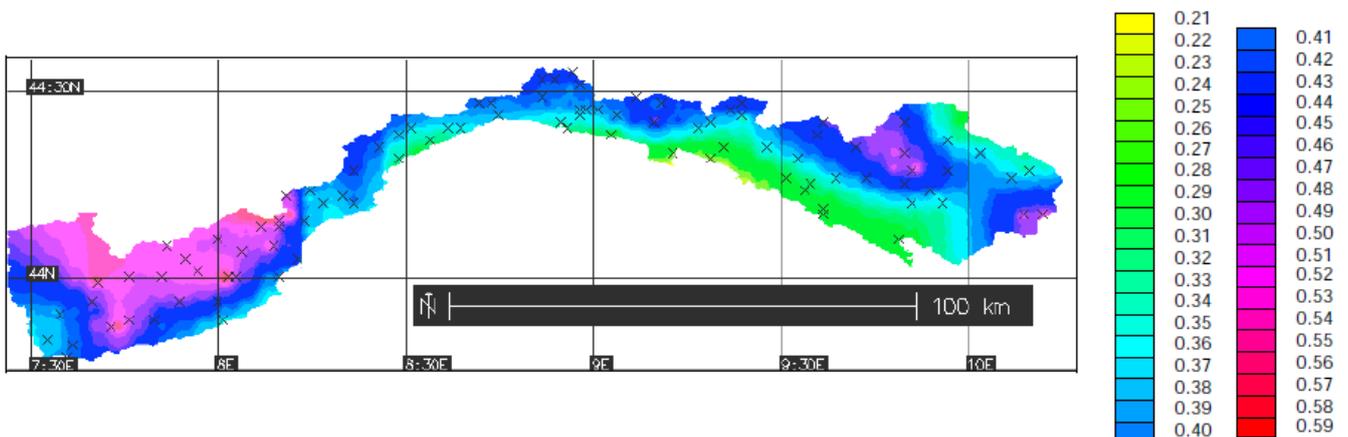
Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata  $d$ ,  $m[h(d)]$ , con la durata stessa. Per la zona in esame è stata adottata la seguente espressione:

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

I parametri  $a_1$  e  $n$  sono stati valutati con regressione ai minimi quadrati dei dati pluviometrici presso le stazioni di misura presenti sul territorio esaminato. I valori osservati variano per  $a_1$  da 10 a 49 mm/ore<sup>n</sup> e per  $n$  da 0.21 a 0.61; l'ampiezza di questi intervalli richiede un modello di variabilità spaziale dei parametri. In particolare, si è fatto riferimento ad un modello a variabilità continua: per una pratica applicazione della legge di probabilità pluviometrica sono fornite le mappe iso-parametriche di  $a_1$  e di  $n$  per l'intero territorio, riportate nelle figure seguenti.



**Figura 5 – Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro  $a_1$  (mm/h<sup>n</sup>).**



**Figura 6 - Regionalizzazione VAPI: mappa del parametro n.**

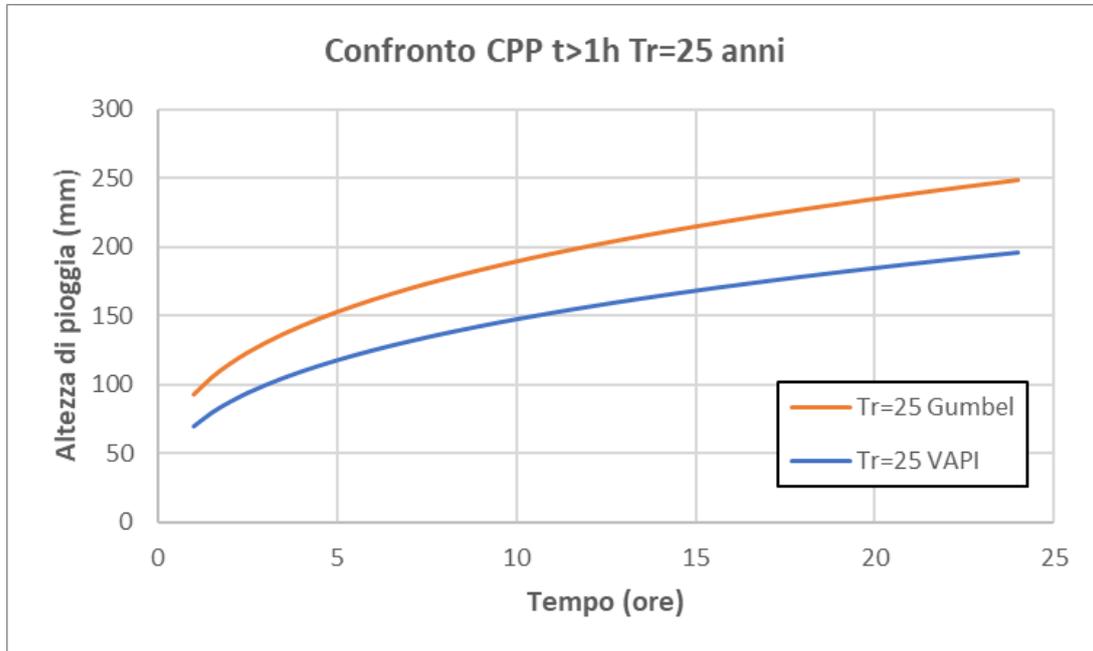
Nello specifico, a partire dai parametri **k**,  **$\alpha$** ,  **$\epsilon$** , **a** ed **n** contenuti nelle tabelle in appendice al rapporto VA.PI. della Italia Nord Occidentale, mediante l'utilizzo di uno strumento GIS, tali valori sono stati "spazializzati" sull'intero bacino studiato e successivamente "mediati". In Tabella 2 vengono riportati i valori dei parametri per l'area oggetto di studio.

VAPI	k	$\alpha$	$\epsilon$	a	n
	-0.062	0.303	0.806	37.43	0.373

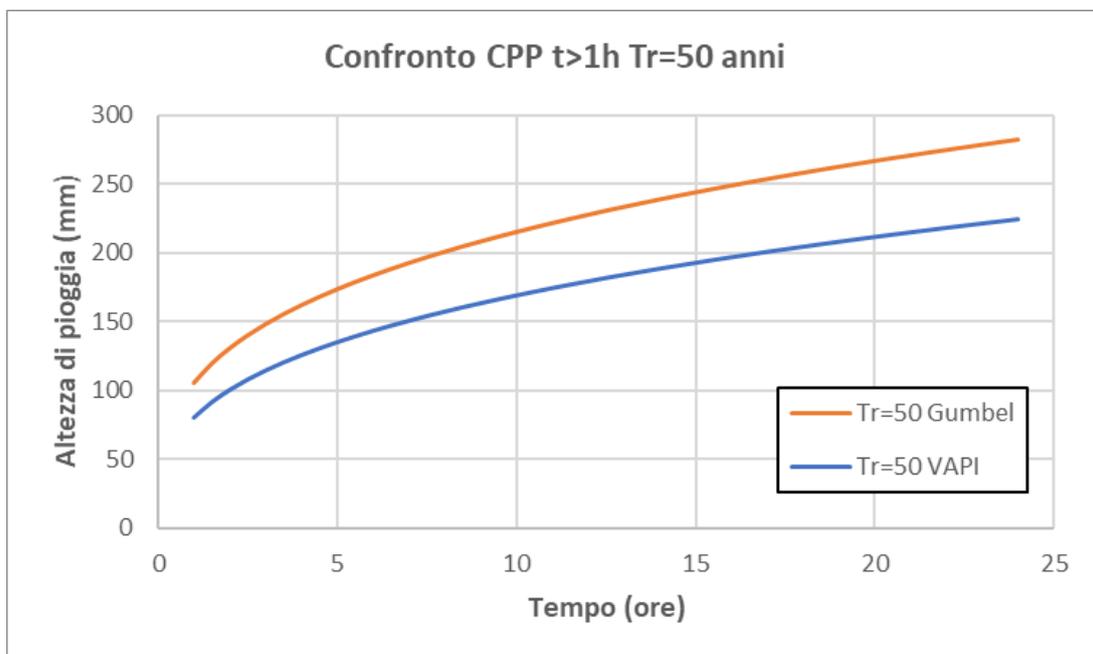
**Tabella 2 – VAPI: Valori medi dei parametri k,  $\alpha$ ,  $\epsilon$ , a ed n per il bacino studiato.**

### 3.2 Confronto tra le metodologie adottate

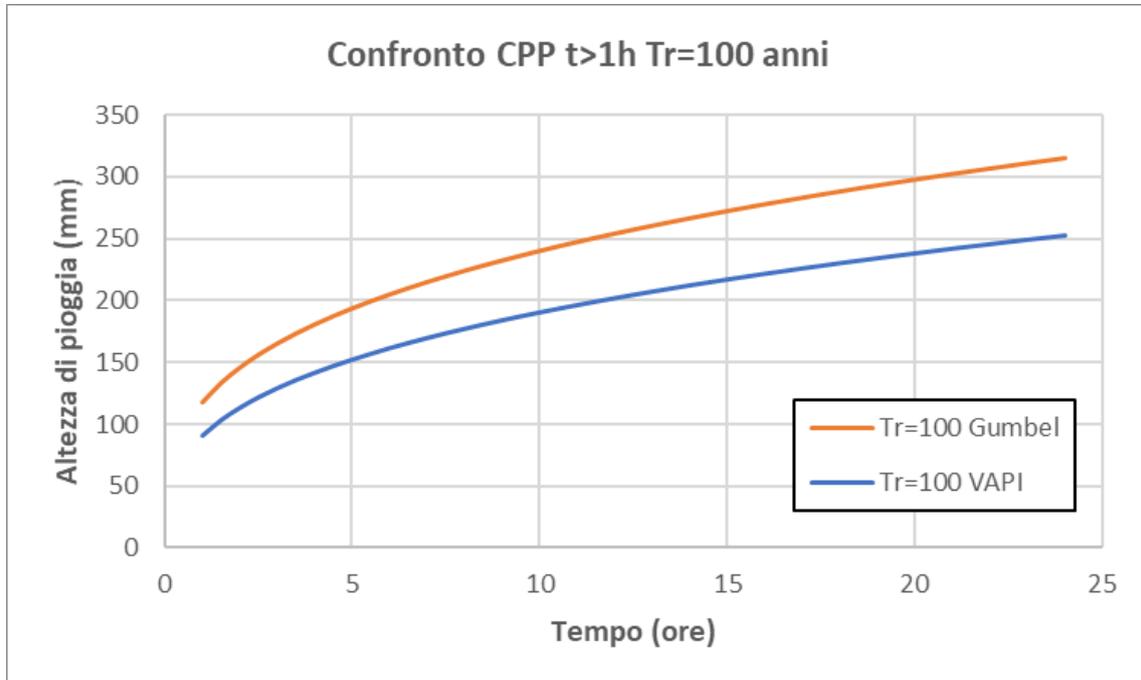
Di seguito si riporta il confronto tra i valori di altezza di pioggia ottenuti dai parametri conseguiti applicando il modello VAPI e quelli ottenuti con l'analisi statistica illustrate ai paragrafi precedenti per durate di pioggia maggiori dell'ora, considerando i diversi periodi di ritorno utilizzati.



**Figura 7 – Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all’ora per Tr 25 anni.**



**Figura 8- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all’ora per Tr 50 anni.**



**Figura 9- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata superiore all'ora per  $Tr$  100 anni.**

Dal confronto, si è ritenuto opportuno utilizzare, quale dato di base per ricavare le altezze di pioggia di progetto, i parametri ottenuti dall'analisi statistica di Gumbel, in quanto maggiormente cautelativi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE          ZONA INDUSTRIALE</b> <b>2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON          IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione Idrologica</b>	COMMESSA IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

## 4 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI DI BREVE DURATA

### 4.1 Stima dei parametri CPP – Formula di Bell

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa e poco rappresentativa. Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica, per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship” – Journal of the HydraulicsDivision – Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969).

$$\frac{h_{\tau,Tr}}{h_{60,Tr}} = (0.54 * \tau^{0.25} - 0.50)$$

Dove:

- $h_{\tau,Tr}$  è l'altezza di pioggia espressa in mm di una durata  $\tau$  e tempo di ritorno  $Tr$ ;
- $h_{60,Tr}$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno  $Tr$ ;
- $\tau$  è la durata di pioggia espressa in minuti.

Quindi le altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora ( $5 < \tau < 60$  min) sono valutabili a partire dai parametri della curva CPP per  $d > 1h$  (parametro  $a = h_{60,Tr}$ ), riportate nei paragrafi precedenti, applicando la formula di Bell sopra riportata. Note l'altezze di pioggia  $h_{\tau,Tr}$  relative all'evento di durata  $\tau$  ( $5 < \tau < 60$  min), passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro  $a'$  e il coefficiente angolare rappresenta il parametro  $n'$ . In Tabella 3 sono riportati i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  derivanti da analisi statistica di Gumbel e dall'applicazione del Vapi per i diversi periodi di ritorno, mentre in Figura 11 e Figura 12 sono rappresentate le curve di probabilità pluviometrica derivanti dall'utilizzo dei parametri riportati in Tabella 3.

Parametri curve CPP t<1h Gumbel		
Savona – Istituto Nautico		
Tr(Anni)	a(mm/h)	n
25	101.67	0.464
50	115.94	0.464
100	130.11	0.464
200	144.23	0.464

Parametri curve CPP t<1h Vapi		
Savona		
Tr(Anni)	a(mm/h)	n
25	73.36	0.464
50	83.72	0.464
100	94.44	0.464
200	105.58	0.464

Tabella 3 - Valori dei parametri  $a$  e  $n$  per durate inferiori all'ora.

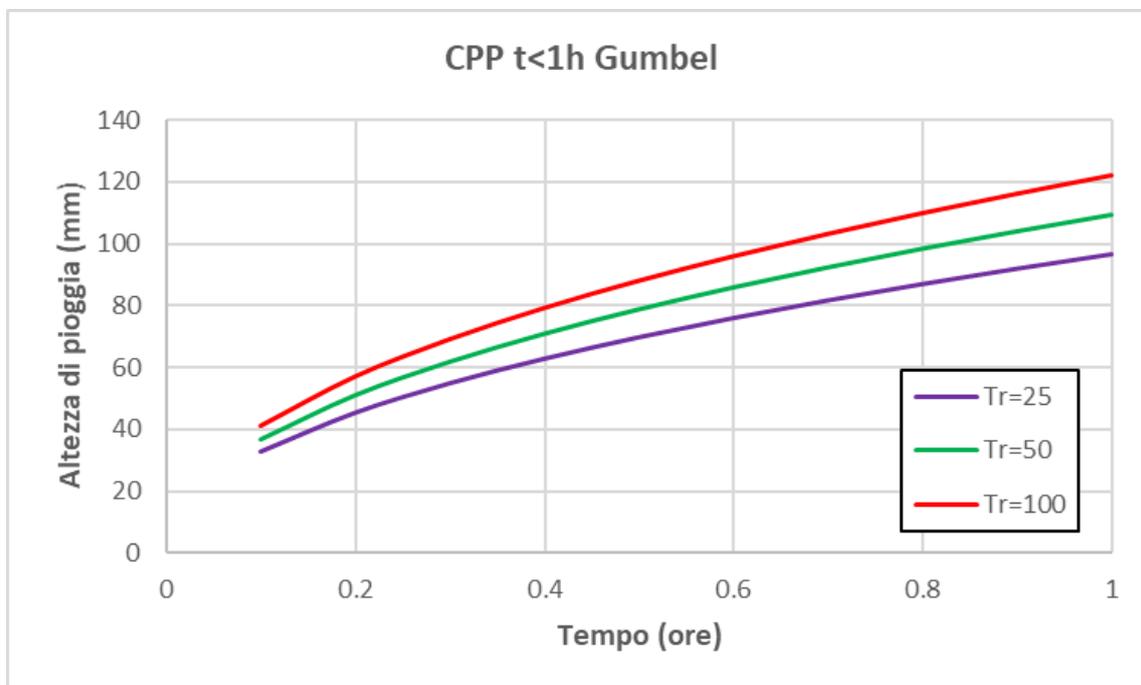


Figura 10 - Curve di probabilità pluviometrica per la stazione di Savona – Istituto Nautico per durate inferiori all'ora.

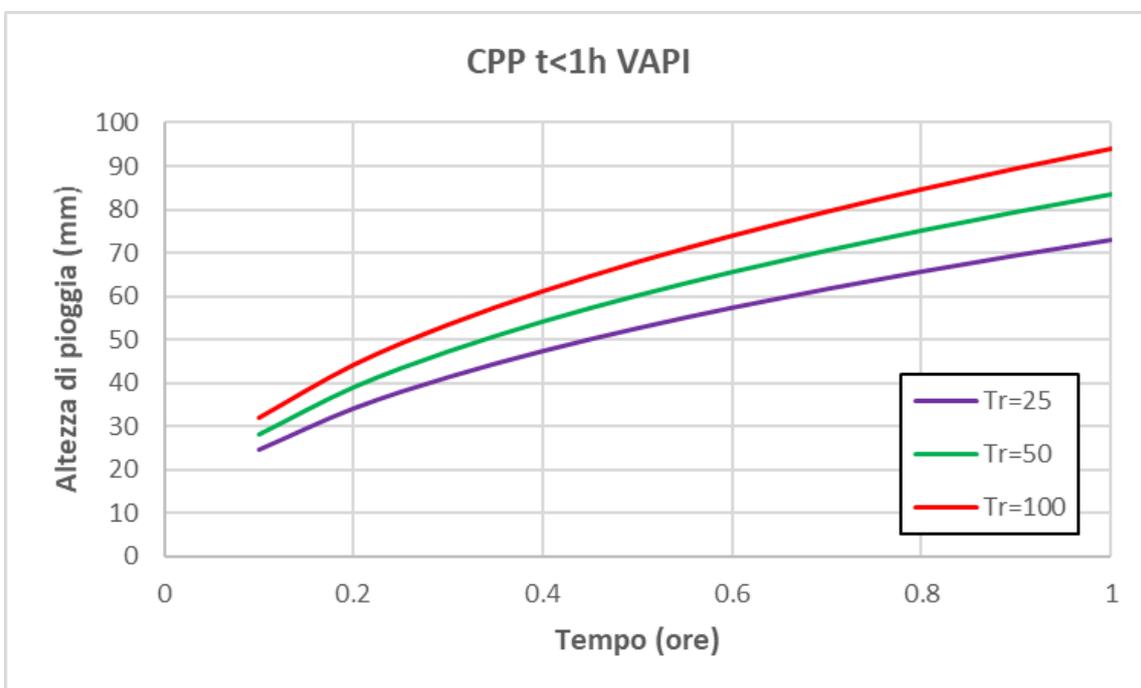
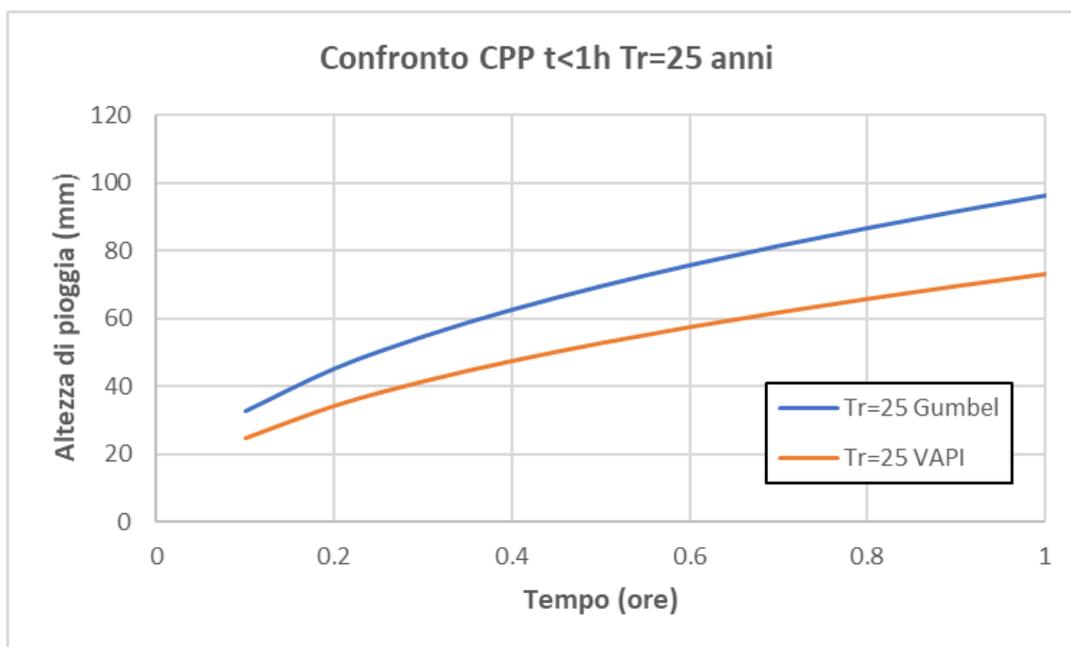


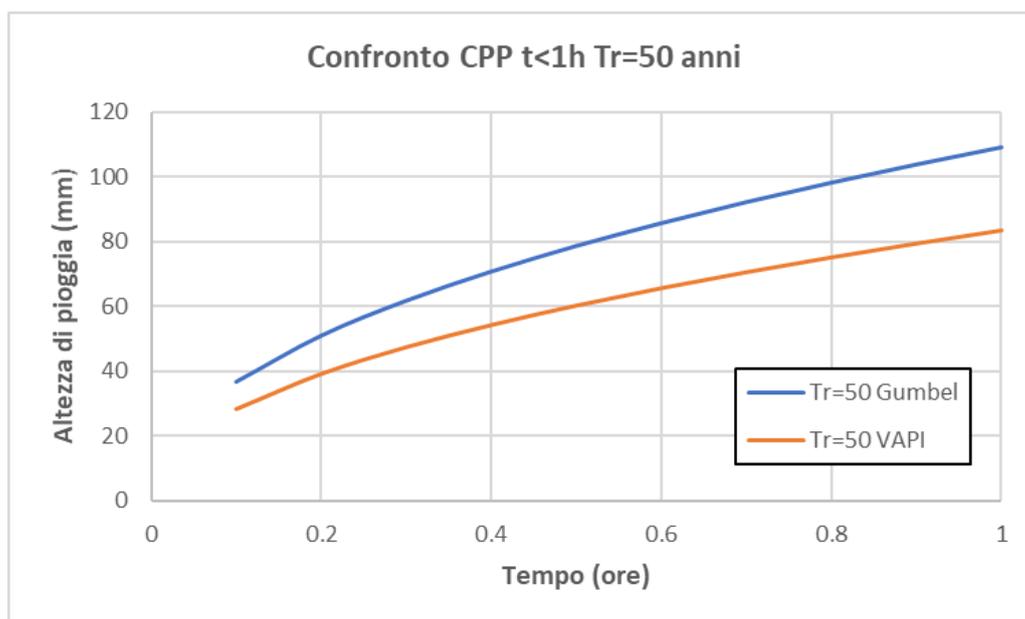
Figura 11- Curve di probabilità pluviometrica derivante da metodologia VAPI per durate inferiori all'ora.

#### 4.2 Confronto tra le curve di possibilità pluviometriche (CPP)

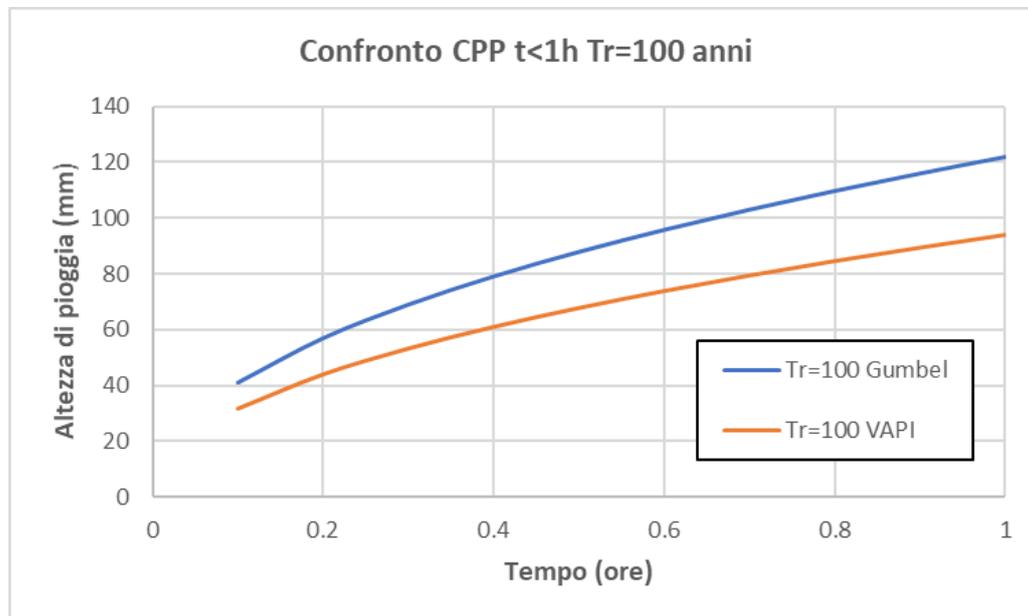
Si riporta di seguito il confronto tra le curve di probabilità pluviometrica ricavate dall'analisi statistica dei dati di pioggia e quelle derivanti da metodologia VAPI con durata  $\tau > 1$  ora, opportunamente adattate a durate  $\tau < 1$  tramite la formulazione di Bell descritta al paragrafo precedente, per i periodi di ritorno di 25 anni, 50 anni e 100 anni. Anche in questo caso si nota come sia maggiormente cautelativa l'altezza di pioggia definita dalla formulazione statistica di Gumbel.



**Figura 12 – Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 25 anni.**



**Figura 13- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 50 anni.**



**Figura 14- Confronto tra le CPP ottenute con analisi statistica di Gumbel e metodologia VAPI per le piogge di durata inferiore all'ora per Tr 100 anni.**

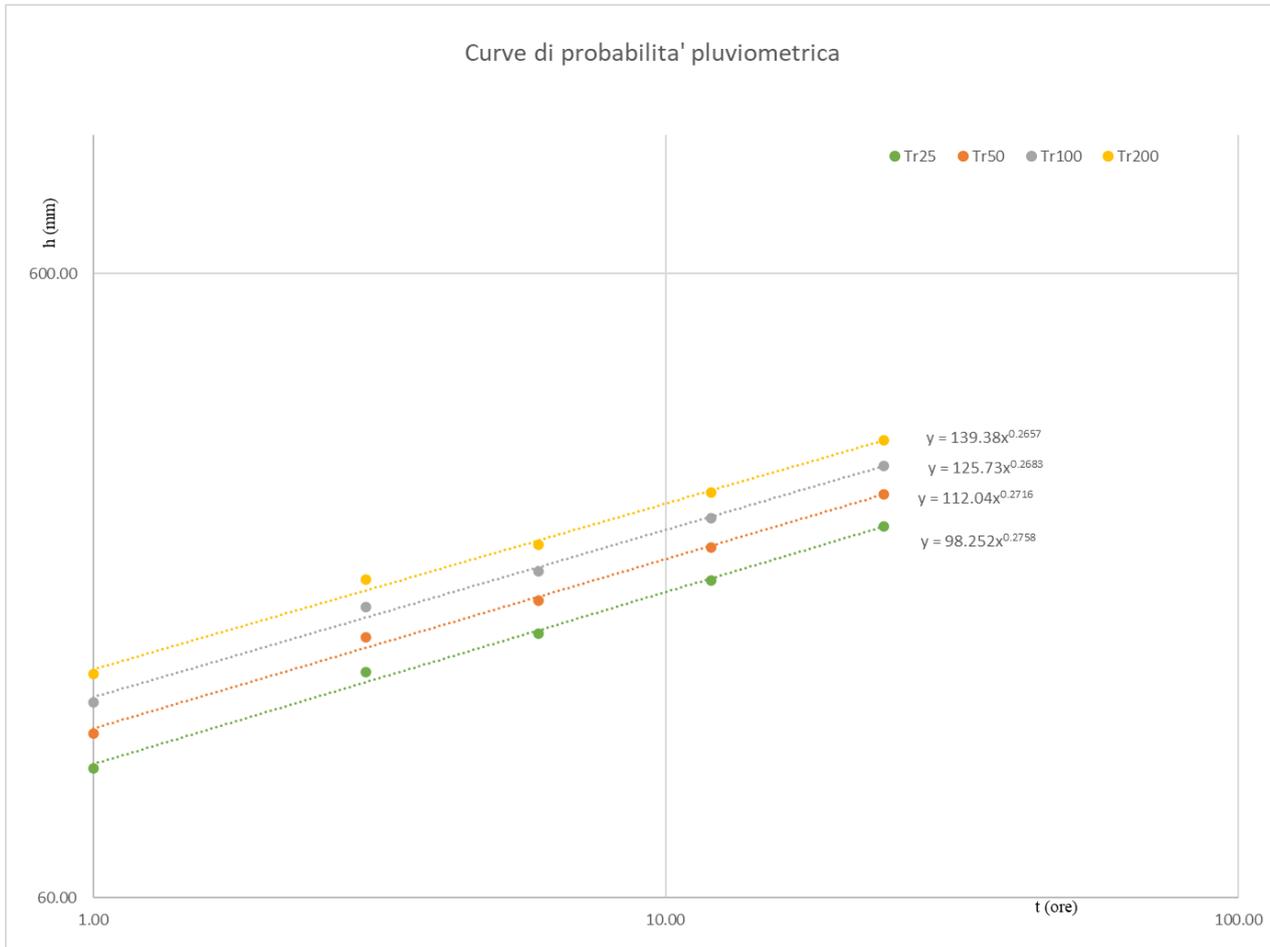
**APPENDICE – SERIE STORICHE E REGOLARIZZAZIONE STATISTICA**
**Stazione di Savona – Istituto Nautico**
**TABELLA 1 - OSSERVAZIONI AL PLUVIOMETRO**

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI:		SAVONA									
BACINO :											
QUOTA:											
Anni di osservazione		36									
Anno	INTERVALLO DI ORE										
	1		3		6		12		24		
	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	
1969	17.20	853.94	25.40	1772.41	42.40	1507.16	58.00	1855.69	73.60	2741.10	
1970	71.20	613.94	128.60	3733.21	139.80	3431.36	151.40	2532.33	151.40	647.42	
1971	49.80	11.41	84.00	272.25	87.60	40.68	90.60	109.78	161.40	1256.31	
1972	47.00	0.33	53.20	204.49	56.00	636.16	64.80	1316.08	94.40	995.75	
1973	50.80	19.16	62.00	30.25	110.00	828.16	131.80	943.85	132.00	36.54	
1976	82.00	1265.78	112.00	1980.25	117.20	1294.40	125.40	591.57	155.40	866.98	
1986	41.00	29.40	55.00	156.25	62.60	346.79	73.80	744.08	111.00	223.67	
1987	84.60	1457.54	141.80	5520.49	147.60	4406.01	147.60	2164.32	159.60	1131.95	
1988	95.00	2359.80	133.00	4290.25	159.80	6174.47	177.60	5855.65	177.80	2687.85	
1989	22.00	596.44	26.00	1722.25	42.00	1538.38	53.40	2273.17	73.20	2783.15	
1990	34.80	135.08	44.20	542.89	47.00	1171.16	55.80	2050.08	68.40	3312.64	
1992	50.00	12.80	110.00	1806.25	113.00	1009.83	115.80	216.74	145.00	362.69	
1993	38.00	70.93	53.60	193.21	57.40	567.50	57.40	1907.75	102.80	536.18	
1994	99.20	2785.49	142.60	5640.01	157.80	5864.16	169.40	4667.93	183.40	3299.86	
1995	121.20	5591.72	121.20	2883.69	146.00	4196.16	157.40	3172.19	190.80	4204.80	
1996	25.00	458.91	39.60	778.41	58.00	539.27	86.80	203.85	98.40	759.31	
1997	29.40	289.76	34.20	1108.89	46.40	1212.59	59.20	1753.75	78.60	2242.55	
1998	47.20	0.60	66.60	0.81	100.00	352.60	128.60	757.47	135.00	81.80	
2003	15.00	987.36	35.20	1043.29	42.00	1538.38	57.80	1872.97	79.00	2204.82	
2004	33.20	174.83	41.40	681.21	44.40	1355.88	55.40	2086.46	88.60	1395.44	
2005	63.80	301.99	73.60	37.21	75.00	38.72	82.20	356.37	92.40	1125.98	
2006	37.60	77.83	60.80	44.89	91.00	95.60	161.60	3662.94	201.20	5661.73	
2007	19.60	719.43	22.40	2034.01	27.00	2940.05	27.00	5487.52	40.20	7354.02	
2008	29.60	282.99	43.40	580.81	68.00	174.83	103.20	4.50	144.60	347.62	
2009	28.60	317.63	44.20	542.89	66.40	219.70	132.00	956.18	156.20	914.73	
2010	25.40	441.93	48.00	380.25	56.40	616.14	59.20	1753.75	82.40	1897.09	
2011	39.60	46.54	44.40	533.61	44.40	1355.88	74.80	690.52	99.80	684.11	
2012	32.80	185.56	37.00	930.25	44.20	1370.64	64.60	1330.63	86.60	1548.86	
2013	60.00	184.36	61.80	32.49	61.80	377.22	72.00	845.52	92.00	1152.98	
2014	47.80	1.90	88.40	436.81	138.20	3246.47	206.20	11050.68	244.20	13981.75	
2015	49.60	10.10	70.00	6.25	73.20	64.36	74.40	711.70	87.00	1517.54	
2016	20.00	698.13	44.40	533.61	55.00	687.60	88.40	160.73	104.00	482.05	
2017	47.00	0.33	70.80	10.89	94.80	184.36	118.00	286.36	121.00	24.56	
2018	43.40	9.13	84.80	299.29	87.00	33.38	106.20	26.24	145.80	393.80	
2019	34.20	149.38	82.20	216.09	105.00	565.38	181.60	6483.83	301.00	30640.56	
2020	38.60	61.19	44.20	542.89	59.60	467.52	69.40	1003.48	76.20	2475.62	

**TABELLA 2 - ELABORAZIONI STATISTICHE - METODO DI GUMBEL**

N=	36	36	36	36	36
$M = \frac{\sum h_i}{N}$	46.42	67.50	81.22	101.08	125.96
$\sum X^2$	21203.66	41523.00	50448.94	71886.66	101973.77
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N-1}}$	24.61	34.44	37.97	45.32	53.98
$\alpha = 1,283 / \sigma$	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
$\beta = M - 0,5772 / \alpha$	35.35	52.00	64.14	80.69	101.67

Tempo di ritorno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
10 anni	hmax= 78.52 mm	112.42 mm	130.73 mm	160.18 mm	196.35 mm
25 anni	hmax= 96.71 mm	137.87 mm	158.79 mm	193.67 mm	236.24 mm
30 anni	hmax= 100.27 mm	142.86 mm	164.29 mm	200.23 mm	244.05 mm
50 anni	hmax= 110.20 mm	156.76 mm	179.61 mm	218.52 mm	265.83 mm
100 anni	hmax= 123.60 mm	175.50 mm	200.27 mm	243.18 mm	295.21 mm
200 anni	hmax= 136.95 mm	194.18 mm	220.85 mm	267.76 mm	324.47 mm



**Figura 15 – Curve CPP, Stazione di Savona – Istituto Nautico.**