



Politecnico di Torino - Prima Facoltà di Ingegneria

A.A.2011-2012

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso di *Protezione Idraulica del Territorio* (8 CFU)

Prof. Pierluigi CLAPS

Oliviero BAIETTO - Andrea LIBERTINO - Marco VOLPATO

185824

177078

177265

Ricostruzione del periodo di ritorno del nubifragio di Molare del 13 Agosto 1935

Obiettivi

L'obiettivo di questo studio è la ricostruzione del tempo di ritorno del nubifragio che ha colpito la cittadina di Molare (AL) il 13 Agosto 1935 che ha causato, in seguito al sormontamento di una diga idroelettrica sul torrente Orba, numerose vittime presso l'abitato di Ovada (AL).

Tale nubifragio, sebbene sia stato pressochè dimenticato, anche dalle popolazioni che oggi risiedono nella zona, è tutt'oggi annoverato come la più intensa precipitazione a 8h mai avvenuta in Italia (dall'inizio della registrazione sistematica dei dati pluviometrici) con 554 mm/8h, e anche per quanto riguarda le altre durate, è annoverato tra quelli caratterizzati da una maggiore intensità.

Localizzazione e contestualizzazione dell'evento

L'abitato di Molare è situato in Piemonte, nella zona meridionale della provincia di Alessandria, ai piedi dell'appennino ligure.

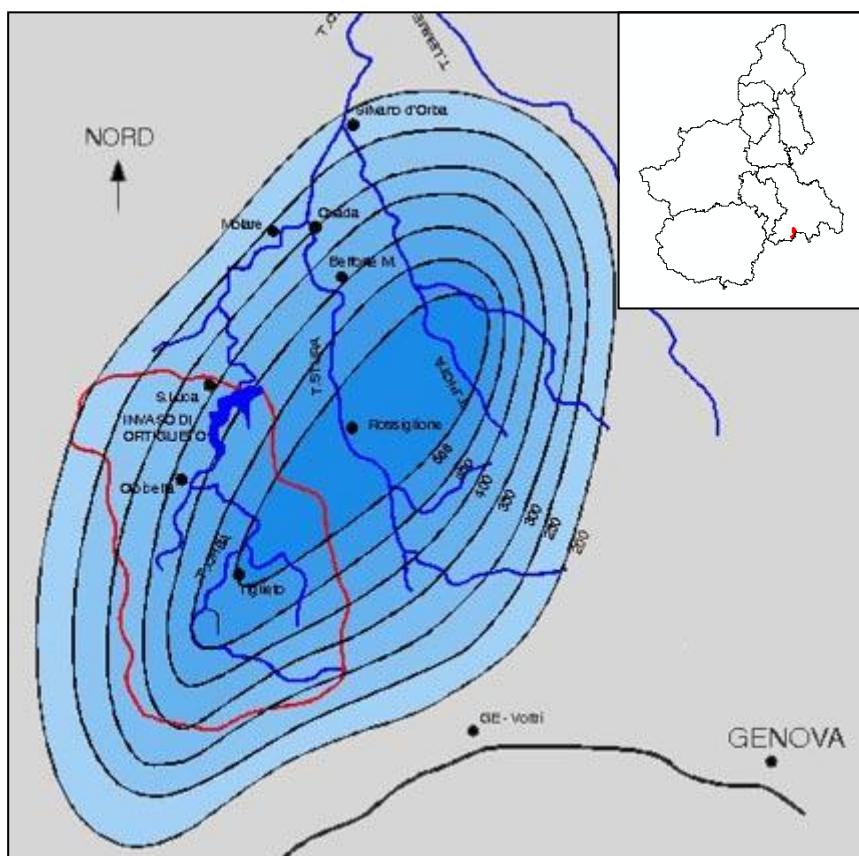


Figura 1 Localizzazione di Molare e mappa pluviometrica dell'evento
(Revue de Geographie alpine vol. XXIV fasc. II 1936)

Nel Gennaio 1925 entrò in funzione la diga idroelettrica, localizzata a pochi chilometri di distanza dal centro abitato, un impianto a gravità ad arco con quota di massimo invaso 322 m s.l.m. e quota coronamento 324,7 m s.l.m sul torrente Orba. L'altezza dell'opera doveva essere inferiore, ma la decisione di innalzarla di 13 m rispetto al progetto originale generava un altro problema: in un punto del perimetro del nuovo bacino, in particolare dove l'avvallamento di due crinali (Bric Zerbino nel lato opposto alla diga principale) formava una sella (Sella Zerbino) l'argine naturale si sarebbe trovato ad una quota inferiore rispetto alla quota massima d'invaso. L'acqua quindi sarebbe potuta "traboccare" riversandosi nel meandro del Torrente Orba immediatamente a valle della diga principale. Si provvide pertanto alla costruzione di uno sbarramento secondario (costruito, peraltro, in modo molto sbrigativo senza il supporto di adeguate indagini geologiche). Il Lago di Ortiglio generato dai due sbarramenti posizionati attorno a Bric Zerbino si estendeva a monte per circa 5 km con un andamento irregolare e larghezza massima intorno ai 400 m. La capienza a massimo invaso era pari a 18 milioni di metri cubi.

Il 13 Agosto 1935 alle 7:30, nel mezzo di una torrida estate, un violento nubifragio colpì l'Appennino Ligure e la valle Orba, (nell'arco di meno di 24 ore una precipitazione pari a quasi il 30% di quelle medie annue) mettendo in seria difficoltà la capacità della Diga di Molare di smaltire le portate in entrata nel bacino.

Alle 13.15 la Diga Secondaria e tutta la Sella Zerbino collassarono, la spaventosa onda generatasi, risparmiò l'abitato di Molare, localizzato su un altopiano, e, guidata dall'alveo dell'Orba, si abbatté con tutta la sua forza sul alcune zone della Città di Ovada, provocando un centinaio di morti e una quantità incalcolabile di danni, per proseguire la sua opera di devastazione fino alla confluenza con il Torrente Stura (per maggiori informazioni è possibile consultare il sito www.molare.net dedicato all'evento e alle sue conseguenze).

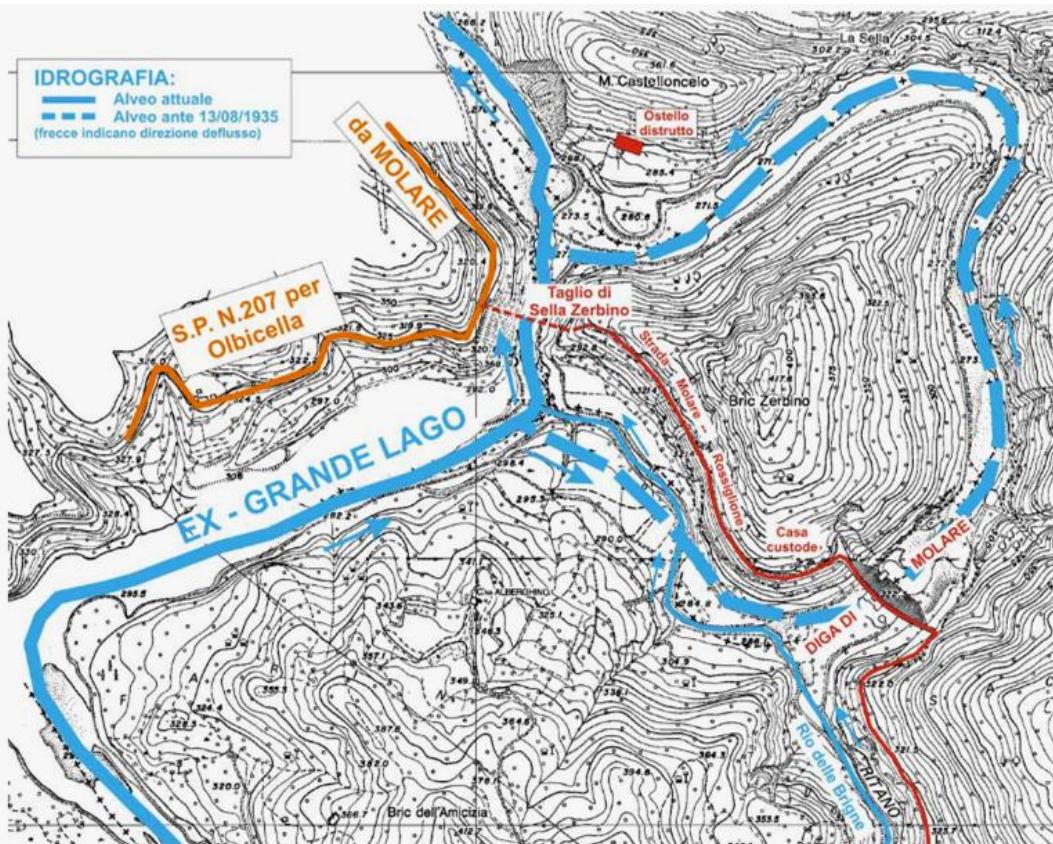


Figura 2 Conseguenze dell'evento su topografia e idrografia (da www.molare.net)

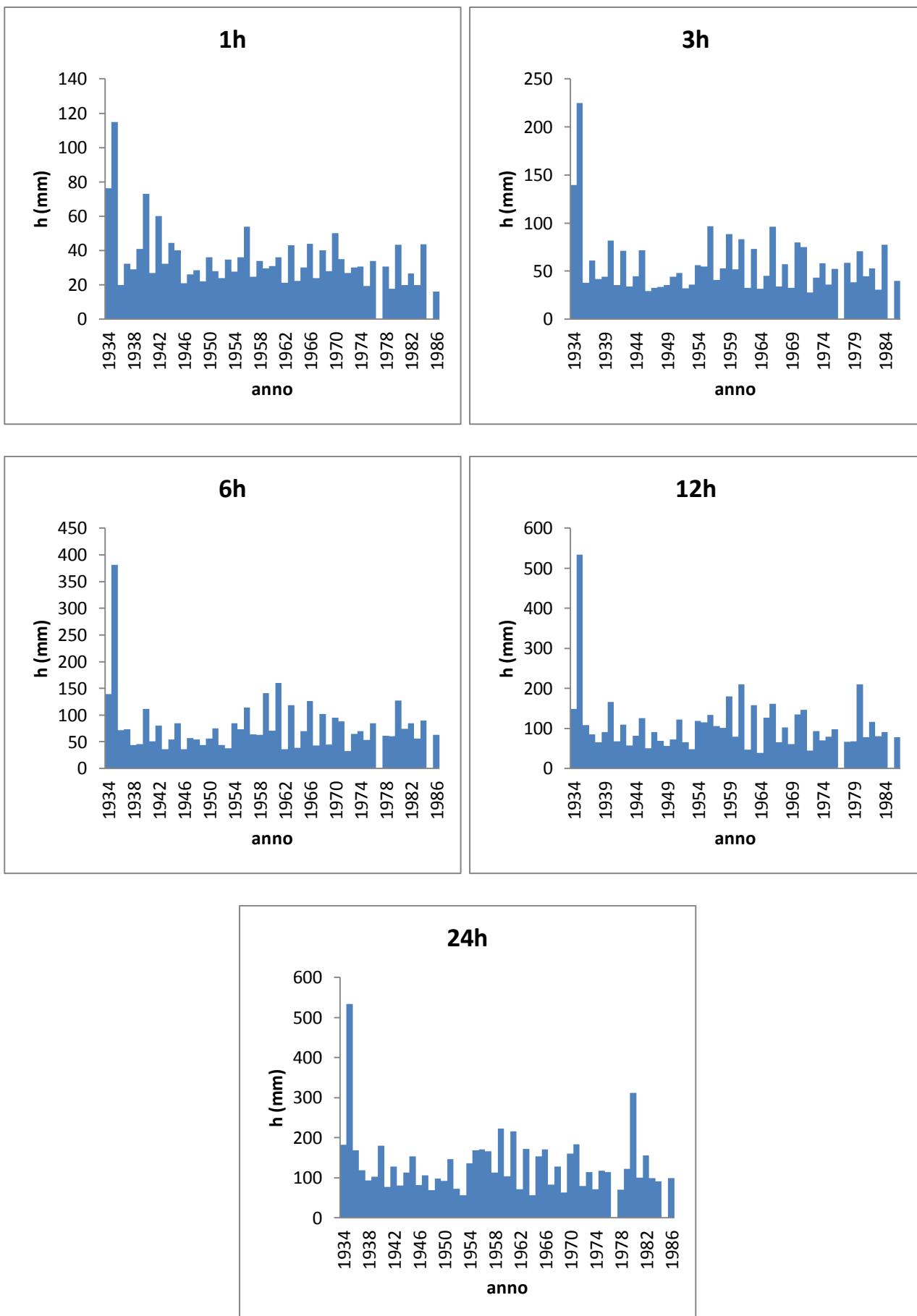
Dati disponibili

Si sono utilizzati i dati relativi alla stazione pluviometrica Lavagnina C.le. (situata in Loc. Lavagnina, 5 km a est di Molare). Sarebbe stato interessante poter valutare anche i dati relativi alla stazione Lavagnina Lago, più prossima all'area di interesse, ma la stessa è andata distrutta durante l'evento.

anno	1h	3h	6h	12h	24h	anno	1h	3h	6h	12h	24h
1930	-	-	-	-	-	1959	29,5	88,6	141,0	180,0	223,4
1931	-	-	-	-	-	1960	31,0	52,0	71,2	79,6	103,4
1932	-	-	-	-	-	1961	36,0	83,0	160,0	209,8	216,0
1933	-	-	-	-	-	1962	21,2	32,8	36,2	47,0	71,6
1934	76,2	139,6	139,6	148,8	181,8	1963	43,0	73,0	118,4	157,8	171,6
1935	115,0	225,0	381,0	534,4	534,4	1964	22,4	31,8	39,0	39,4	55,8
1936	20,0	38,0	72,0	107,8	168,6	1965	30,0	45,0	70,0	127,0	153,0
1937	32,4	61,0	73,2	84,8	119,2	1966	44,0	96,0	126,0	161,2	170,2
1938	29,0	41,6	44,0	66,0	93,8	1967	24,0	34,0	43,0	66,0	83,0
1939	41,0	44,0	45,8	90,7	103,0	1968	40,0	57,0	102,0	102,6	127,6
1940	73,0	81,6	112,0	166,0	180,0	1969	28,0	32,4	45,0	61,4	62,8
1941	27,0	35,4	51,0	67,4	77,2	1970	50,0	80,0	95,4	135,4	160,0
1942	60,0	71,0	80,0	109,0	128,0	1971	35,0	75,0	88,0	146,0	183,0
1943	32,4	34,2	36,4	57,8	81,0	1972	27,0	28,0	32,8	44,2	79,0
1944	44,4	44,6	54,0	82,0	113,4	1973	30,0	43,0	65,0	93,0	114,0
1945	40,0	71,6	85,0	126,0	153,2	1974	30,6	58,2	69,6	69,8	70,8
1946	21,0	29,0	36,0	51,0	82,0	1975	19,4	35,8	53,6	79,0	118,0
1947	26,2	32,6	56,6	91,0	106,4	1976	34,0	52,4	84,4	97,4	113,8
1948	28,4	33,6	54,0	69,0	69,4	1977	-	-	-	-	-
1949	22,0	35,4	44,0	56,0	98,0	1978	30,8	58,6	61,6	66,6	70,6
1950	36,0	44,2	56,0	72,0	92,4	1979	17,6	38,4	60,4	67,8	122,4
1951	28,0	48,0	75,0	122,0	147,0	1980	43,4	70,8	126,8	210,2	311,4
1952	24,0	32,0	43,6	65,0	72,0	1981	19,8	44,6	74,2	78,0	100,0
1953	34,8	35,8	37,8	48,2	56,4	1982	26,6	52,6	85,0	116,6	155,6
1954	27,6	56,4	85,0	118,4	136,4	1983	20,0	30,8	55,8	80,6	99,0
1955	36,2	54,8	73,0	115,4	168,0	1984	43,6	77,6	89,8	90,8	91,2
1956	54,0	96,6	113,8	133,4	171,0	1985	-	-	-	-	-
1957	24,6	41,0	63,6	106,4	166,0	1986	16,2	40,0	63,2	78,0	99,0
1958	34,0	53,0	62,6	101,4	113,4						

Tabella 1 Serie storica dati relativi alla stazione pluviometrica Lavagnina C.le

Si è quindi rappresentato l'andamento dei massimi annui per le diverse durate (*Figure seguenti*).



Stima preliminare

Tramite la cartografia “parametri linee segnalatrici” presente sul sito dell’Autorità di bacino del Po (<http://www.adbpo.it/>) si è individuato il valore dei parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per l’area in analisi

$$h_{T(t)} = a_T \cdot t^n$$

relativi ai tempi di ritorno $T=10,20,50,100,200$ e 500 anni.

Le curve sono state quindi rappresentate su scala logaritmica in *figura 1*.

Si sono quindi riportati i dati relativi all’evento in analisi (*tabella 2*) sullo stesso grafico, dal quale emerge un tempo di ritorno maggiore di 500 anni per tutte le durate.

Anno	1h	3h	6h	12h	24h
1935	115,0	225,0	381,0	534,4	534,4

Tabella 2 Valori di precipitazione relativi all’evento in analisi (Stazione Lavagnina C.le)

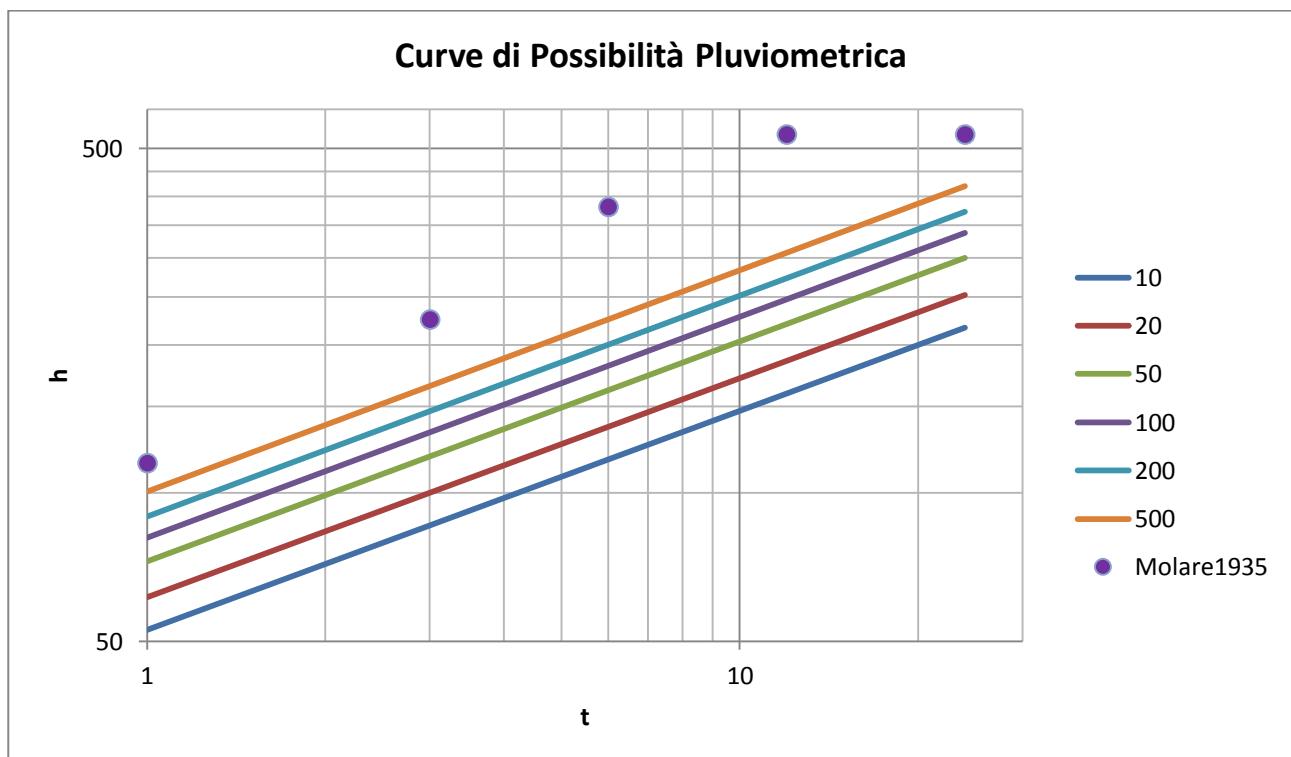


Figura 1 Curve di Possibilità Pluviometrica

Stima di dettaglio tramite distribuzione Gumbel

Si è scelto di utilizzare una distribuzione Gumbel al fine di determinare i tempi di ritorno dell’evento alle diverse durate critiche. Si è quindi costruita la curva di frequenza cumulata $F(x)$ in carta probabilistica di Gumbel utilizzando l’espressione:

$$F(x) = e^{-e^{\alpha \cdot (x - \varepsilon)}}$$

per le durate critiche: 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, includendo anche nella serie in analisi l’evento estremo oggetto di studio. Solitamente, quando si è interessati alla definizione del tempo di ritorno di un “nuovo” nubifragio, si procede con una prima stima dei parametri della distribuzione escludendo il valore estremo costituito dal nubifragio stesso (che viene inserito in un passaggio successivo solo nel caso in non passi il test del massimo valore). Nel caso studio però il valore estremo è uno dei primi della serie dei dati, e può essere considerato parte integrante della stessa.

I parametri α e ε sono stati stimati attraverso il metodo dei momenti (*tabella 3*).

Il procedimento è stato implementato su Matlab con l'utilizzo della funzione "gumbplot" che, data in ingresso la serie storica dei dati relativi a una determinata durata critica, restituisce la rappresentazione in carta probabilistica di Gumbel.

Durata (h)	Media	Cv	σ	α	ε
3	57	0,580	33,06	0,039	41,9074
6	79	0,667	52,693	0,0243	55,3245
12	107	0,685	73,295	0,0174	74,2779
24	132	0,576	76,032	0,0169	97,8964

Tabella 3 Dati relativi alla distribuzione delle serie

Si è quindi effettuato un test del massimo valore per verificare che il valore massimo X_N appartenga alla distribuzione dei massimi di Gumbel considerata $F(x)$.

La distribuzione del massimo di una variabile casuale di numerosità N è data da:

$$F_{X_N} = [F(x)]^N$$

Nel nostro caso la variabile $F(x)$ è una Gumbel, la distribuzione del massimo di un campione di N elementi estratti da come risultato la seguente formula analitica:

$$F_{X_N}(x) = \left[e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}} \right]^N = e^{-Ne^{-\alpha(x-\varepsilon)}}$$

Sostituendo:

$$\varepsilon' = \varepsilon + \frac{\ln N}{\alpha}$$

Si ottiene:

$$F_{X_N}(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon')}}$$

Che è ancora una Gumbel.

In carta probabilistica questo equivale a traslare le retta di Gumbel originaria di una quantità pari a $\frac{\ln N}{\alpha}$ lungo l'asse x tale da definire una regione di accettazione del dato.

Assumendo un livello di significatività α pari al 5% la condizione richiesta dal test a una coda è che:

$$X_n < X_{lim}$$

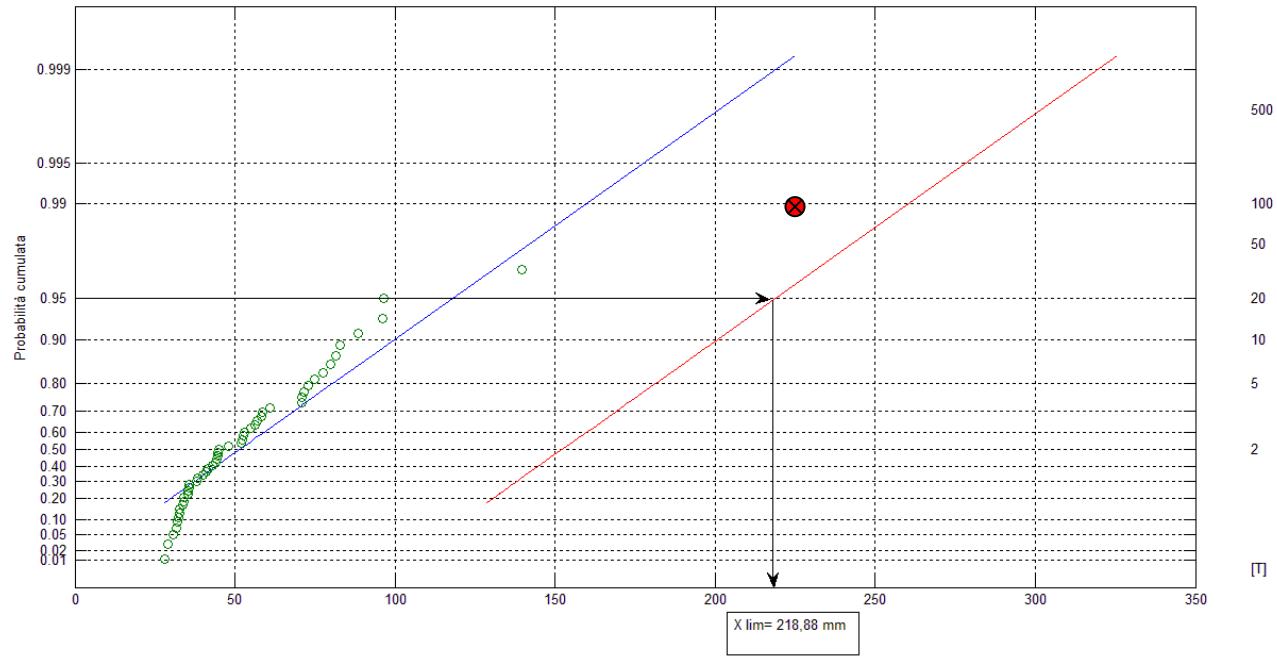
Dove:

$$x_{lim} = [F_{X_N}]^{-1}(1 - \alpha)$$

corrispondente al 95% della probabilità cumulata.

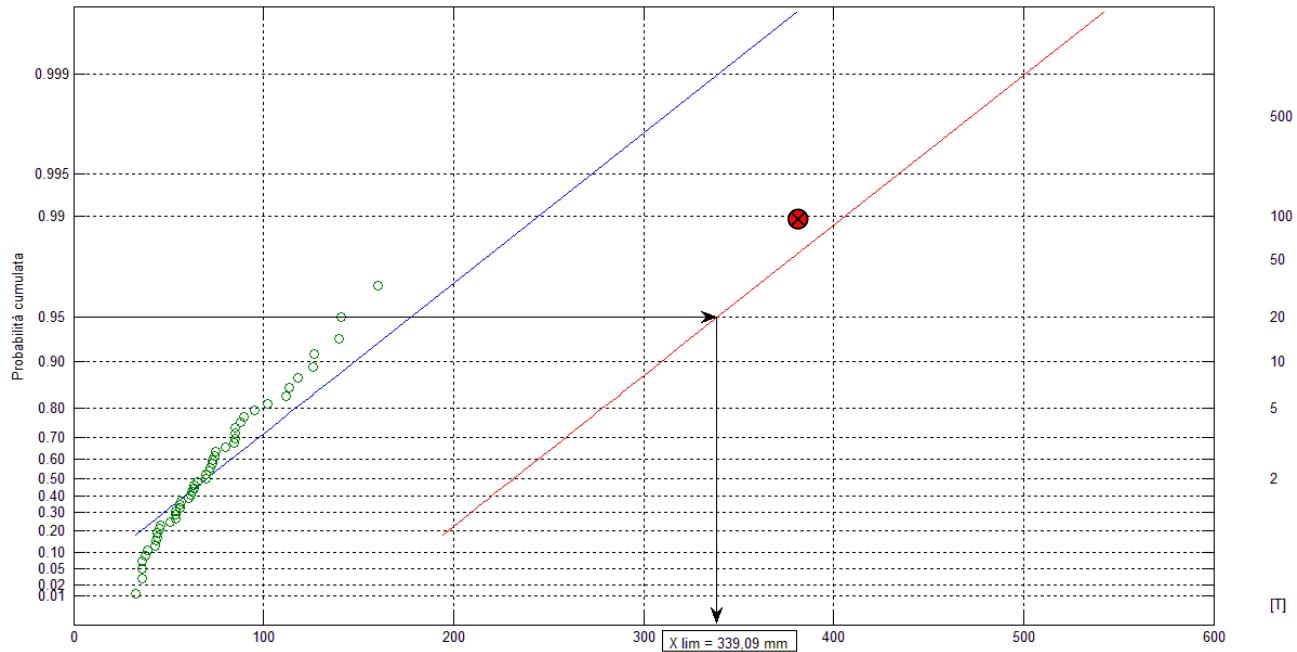
Si riportano i grafici relativi al test effettuato per le diverse durate critiche e l'esito degli stessi.
(In blu è rappresentata la Gumbel originale, in rosso quella traslata, i pallini verdi sono i dati sperimentali, la crocetta all'interno del pallino rosso rappresenta l'evento in analisi)

➤ Per $d=3\text{ h}$



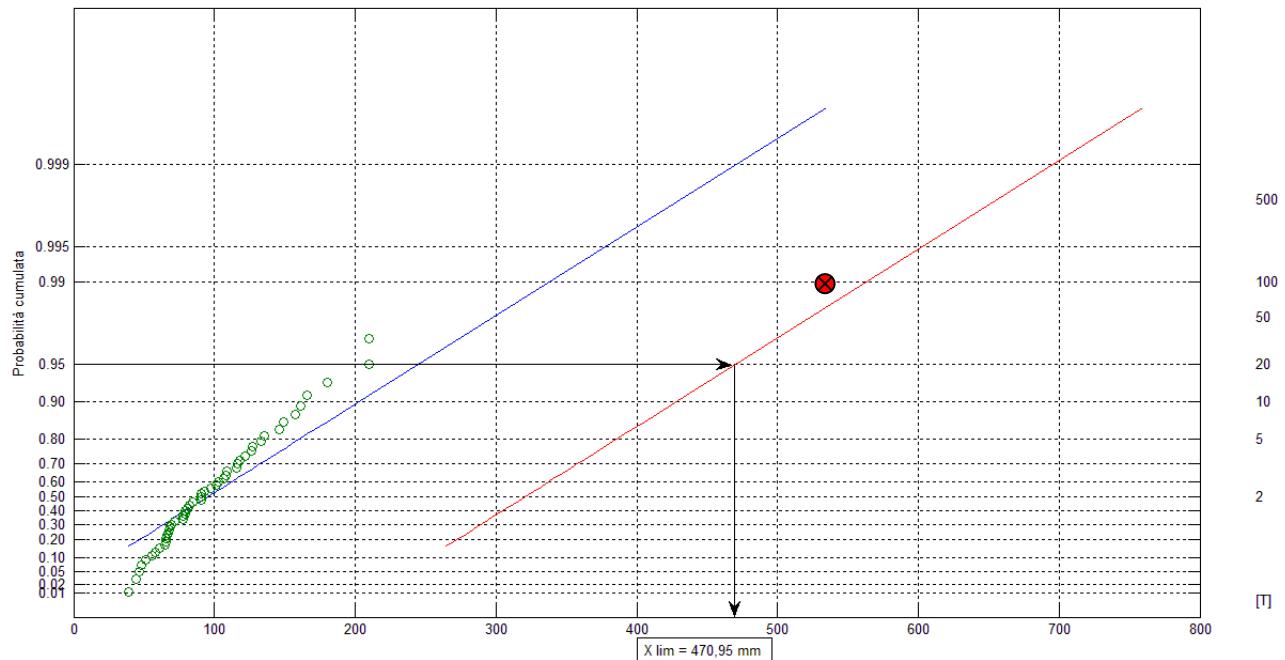
Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 218,88 \text{ mm}$: il test non risulta quindi superato e si rende necessario assumere una nuova distribuzione in grado di approssimare meglio il campione.

➤ Per $d=6\text{ h}$



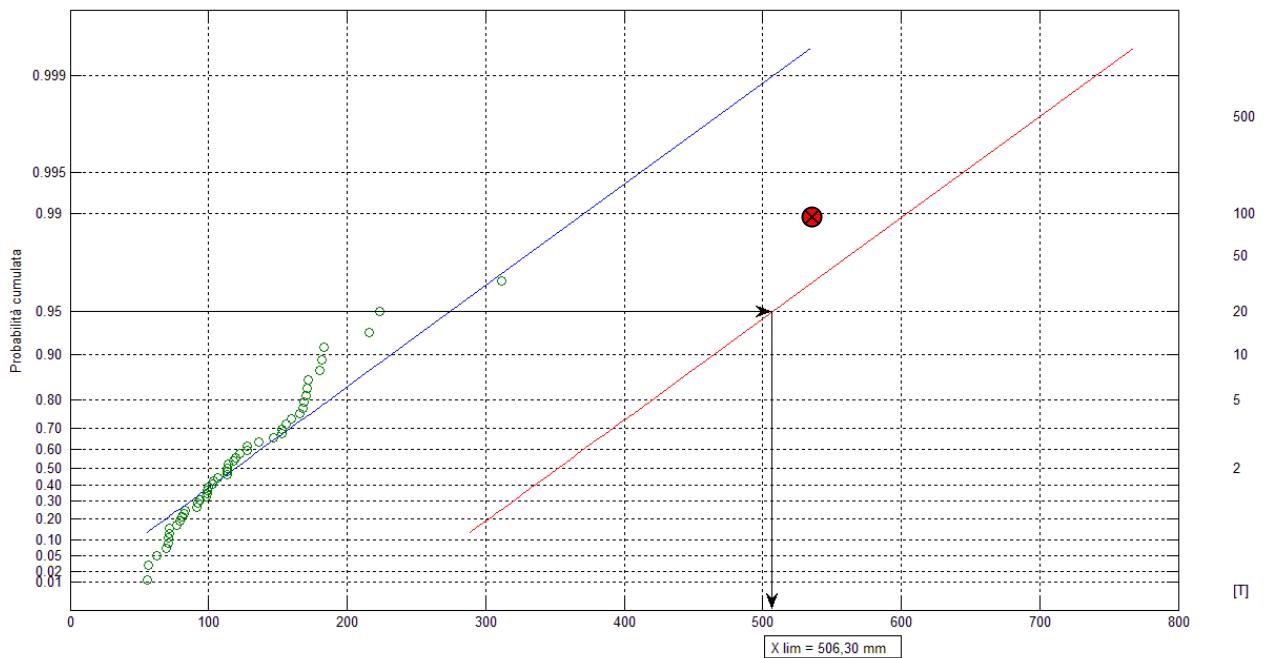
Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 339,09 \text{ mm}$: il test non risulta quindi superato e si rende necessario assumere una nuova distribuzione in grado di approssimare meglio il campione.

➤ Per $d=12\text{ h}$



Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 470,95 \text{ mm}$: il test non risulta quindi superato e si rende necessario assumere una nuova distribuzione in grado di approssimare meglio il campione.

➤ Per $d=24\text{ h}$



Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 435,19 \text{ mm}$: il test non risulta quindi superato e si rende necessario assumere una nuova distribuzione in grado di approssimare meglio il campione.

Stima di dettaglio tramite distribuzione GEV

Rivelatasi inadatta la distribuzione Gumbel si è ipotizzato l'utilizzo di una GEV:

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

con

$$y = -\theta_3^{-1} \log \left(1 - \theta_3 \left(\frac{x - \theta_1}{\theta_2} \right) \right)$$

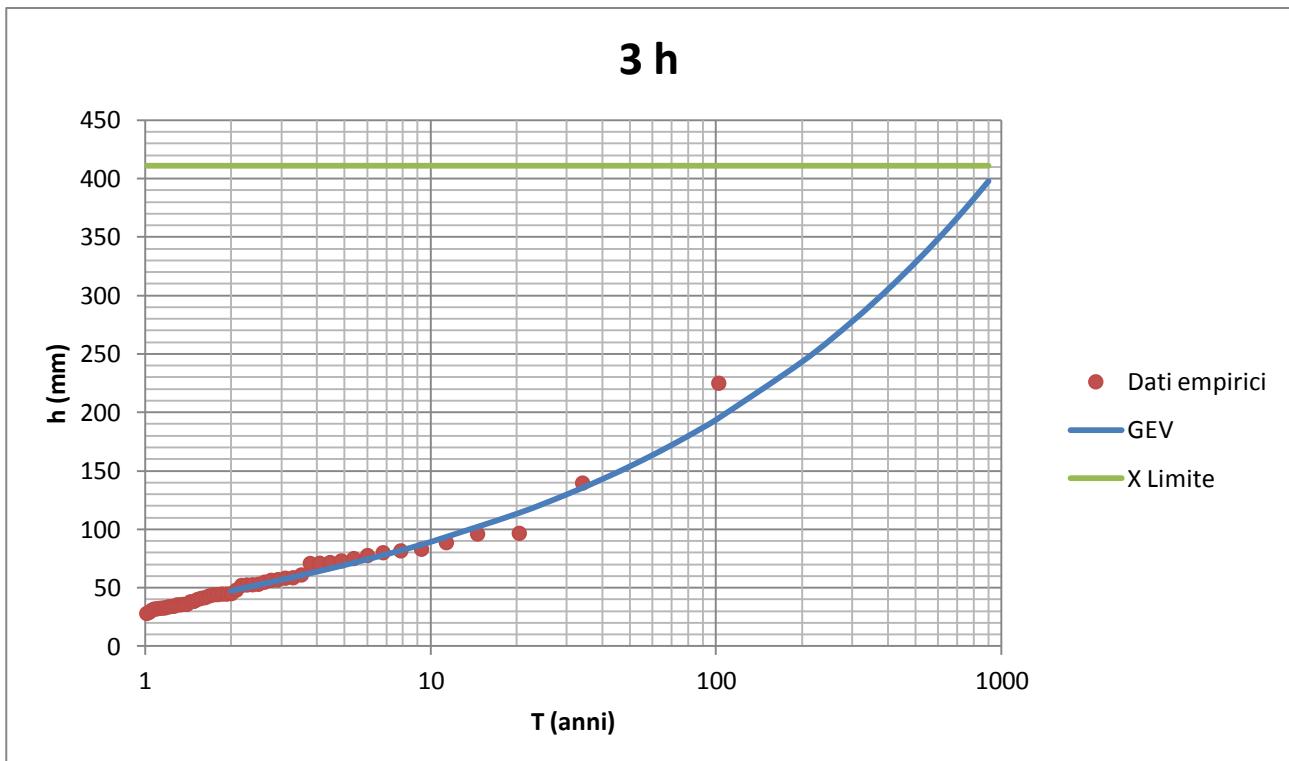
Si sono stimati i parametri della distribuzione, tramite il metodo degli L-Momenti. (*Tabella 4*).

d (h)	c	θ_1	θ_2	θ_3
3	-0.03444	27.04891	8.434161	-0.26716
6	-0.03985	56.83459	22.00432	-0.30845
12	-0.03949	76.87181	30.33547	-0.30572
24	-0.03011	99.00588	37.86131	-0.23393

Tabella 4 Parametri delle distribuzioni GEV relative alle diverse durate

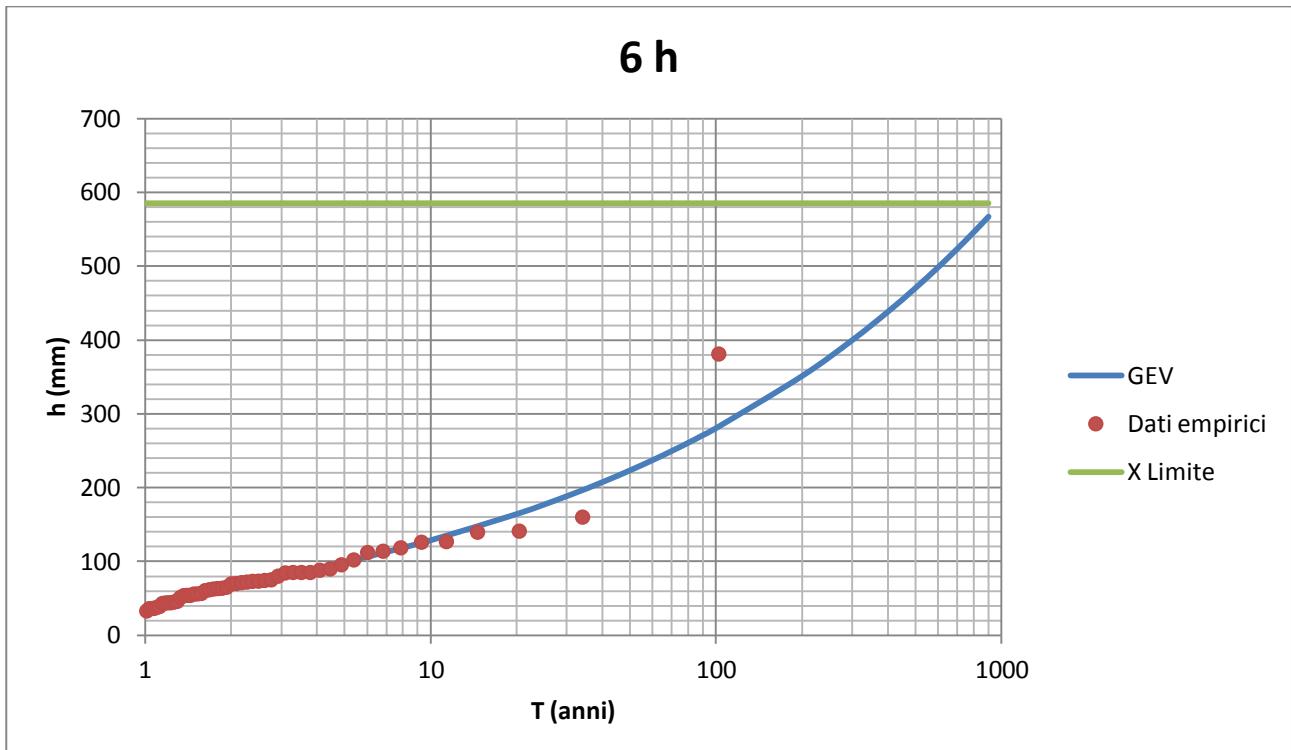
Si è quindi verificata l'appartenenza dei valori relativi al nubifragio alle serie dei massimi delle distribuzioni GEV corrispondenti tramite il test del massimo valore a una coda che, nel caso di distribuzione qualsiasi, è verificato se $[F(x_N)]^N < 1 - \alpha$, con α livello di significatività pari al 5% nel caso in analisi. Il procedimento è stato implementato per via grafica, definendo $X_{LIM} = [F_{X_N}]^{-1}(1 - \alpha)$ tale per cui, verificata la condizione $h_t < X_{LIM}$ la diseguaglianza precedentemente esposta risulta soddisfatta. Si riportano in seguito i risultati.

➤ Per $d=3 h$



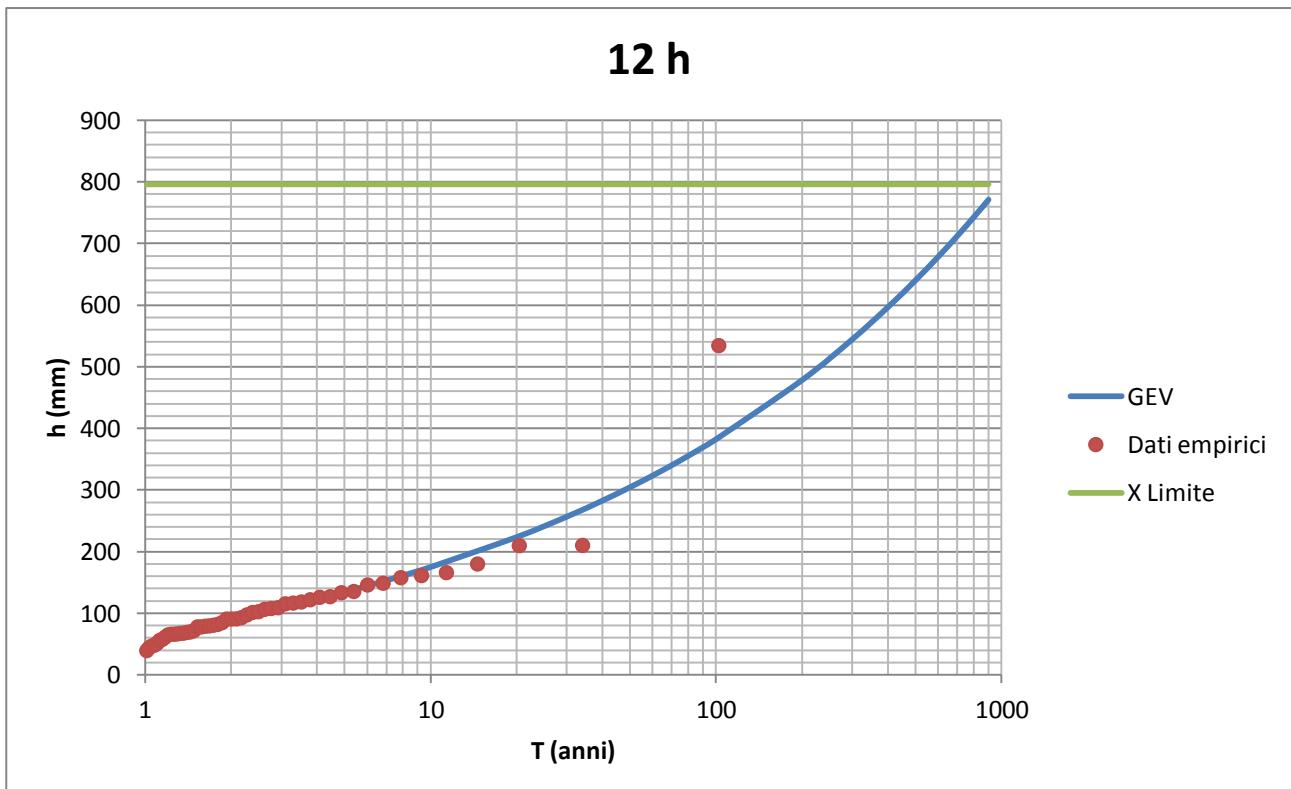
Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{LIM} = 411,17$ mm. Raffrontandolo con il valore di $h_3 = 225$ mm il test risulta superato.

➤ Per $d=6\text{ h}$



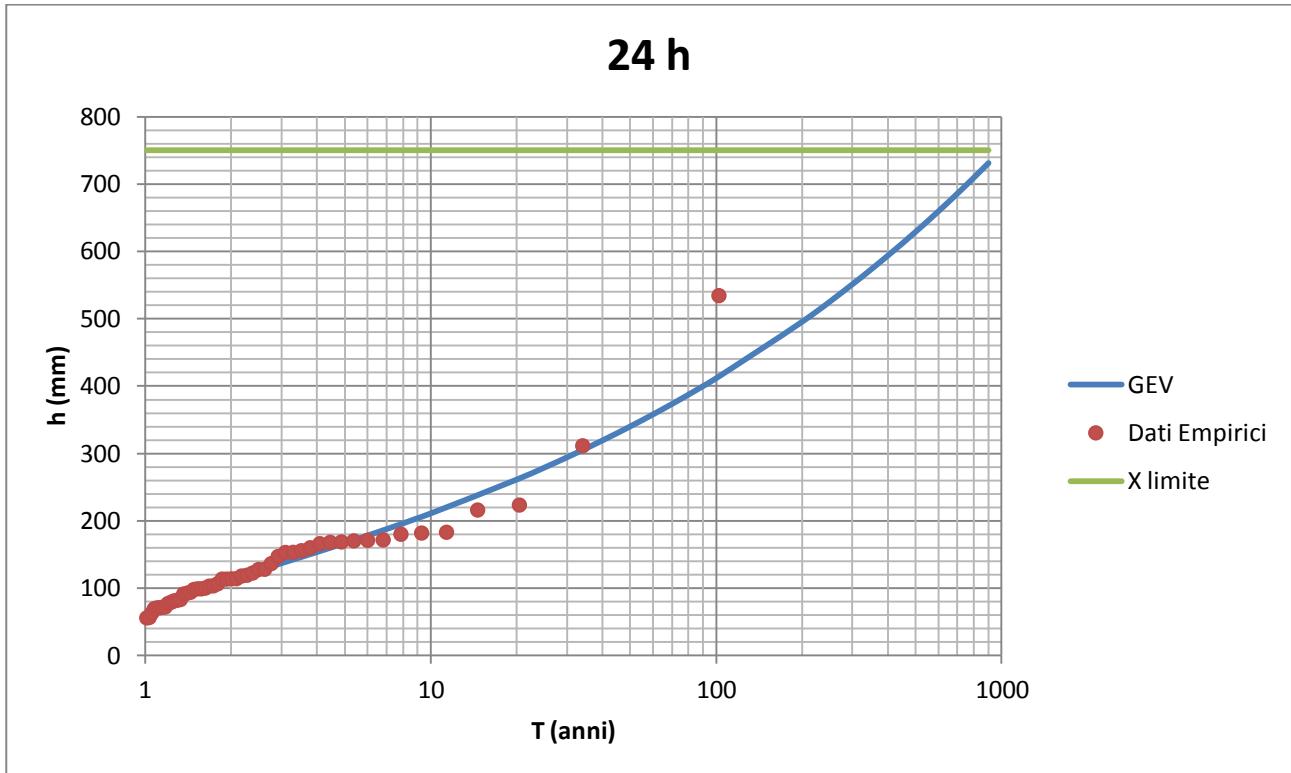
Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 585,17$ mm.
Raffrontandolo con il valore di $h_6 = 381$ mm il test risulta superato.

➤ Per $d=12\text{ h}$



Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 769,17$ mm.
Raffrontandolo con il valore di $h_{12} = 534,4$ mm il test risulta superato.

➤ Per $d=24\text{ h}$



Assumendo un livello di significatività pari al 5% si ottiene un valore di $X_{\text{LIM}} = 750,57 \text{ mm}$. Raffrontandolo con il valore di $h_{24} = 534,4 \text{ mm}$ il test risulta superato.

Per tutte le durate critiche il test risulta superato, si è quindi proceduto con il calcolo del tempo di ritorno delle intensità relative alle diverse durate critiche:

$$T = \frac{1}{1 - F(x_N)}$$

d (h)	3	6	12	24
T (anni)	157.5542	258.4198	282.3812	265.9568

Tabella 5 Stime dei tempi di ritorno

Bibliografia

CLAPS P. ET AL. – *Catalogo nazionale dei Nubifragi*, Politecnico di Torino

ARPA PIEMONTE – *Studi climatologici in Piemonte: Archivio precipitazioni e temperature*,
Torino, 1998

Sitografia

13 AGOSTO 1935: IL DISASTRO DI MOLARE <http://www.molare.net/>

ARPA PIEMONTE <http://www.arpa.piemonte.it/>

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO <http://www.adbpo.it/>