

**COMUNE di FOGGIA**

**Progetto definitivo  
per la realizzazione  
di un Parco Eolico  
progetto " Stella "**

COMMITTENTE

**DESE S.r.l.**

**PROGETTO  
DEFINITIVO**

COMUNE: **FOGGIA** LOCALITA': **"Stella - Vulgano"**

*Relazione Idrologica*

ELABORATO

**ID\_1**

Scala:

--

Data:

**20-07-2023**

Rev:

**01**

Codifica:

**DL/FG/PTO/EL\_DL1**

Progettazione:

**SISTEMI ENERGETICI**  
SpA

Via Mario Forcella, 14 - 71121 FOGGIA

Tecnico incaricato:



## Indice generale

1	Premessa.....	2
2	Inquadramento geografico del sito di interesse in relazione ai vincoli del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) .....	2
3	Analisi idrologica.....	3
3.1	Metodologia VaPi Puglia.....	5
3.2	Determinazione dell'altezza di pioggia .....	8

## 1 Premessa

La DESE s.r.l. intende realizzare un parco eolico e la presente relazione viene redatta ai fini della valutazione dell'impatto che potrebbe avere sul regime idrologico e idraulico dell'area interessata e delle eventuali problematiche che potrebbero riscontrarsi nell'esercizio delle attività connesse allo stesso impianto.

La zona oggetto d'indagine ricade nella provincia di Foggia. L'impianto sarà ubicato nel comune di San Severo (Fg) in località "Stella", su un'area che si trova in sinistra idraulica del Torrente Vulgano.



Fig. 1 – Inquadramento generale

Il progetto del Parco Eolico prevede l'installazione di sette aerogeneratori che saranno collegati elettricamente alla stazione Terna mediante cavidotti interrati. Per l'accesso agli aerogeneratori verranno realizzate nuove stradine dove non esistenti.

## **2 Inquadramento geografico del sito di interesse in relazione ai vincoli del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)**

Le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), in relazione alle condizioni idrauliche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, dettano norme per le aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10. In particolare:

- art. 6: Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali;
- art. 7: Aree ad alta pericolosità idraulica;
- art. 8: Aree a media pericolosità idraulica;
- art. 9: Aree a bassa pericolosità idraulica;
- art. 10: Fasce di pertinenza fluviale.

Le aree a diversa pericolosità idraulica (A.P., M.P., B.P.) risultano arealmente individuate nelle "Carte delle aree soggette a rischio idrogeologico" allegate al PAI, mentre le aree definite Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali (art. 6) e Fasce di pertinenza fluviale (art. 10), la loro ubicazione segue i seguenti criteri:

- quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al PAI e le condizioni morfologiche non ne consentono la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m;
- quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato al PAI, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata al punto precedente, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Il reticolo idrografico e le relative fasce di pertinenza non sono arealmente individuati nella cartografia in allegato al PAI, per cui è uso presso l'Autorità di Bacino della Puglia, intendere "reticolo idrografico" tutto quanto rappresentato come tale su cartografia IGM in scala 1:25000.

In considerazione della vetustà della cartografia IGM in ordine all'evoluzione morfologica dei siti, ad opera naturale ed antropica, con particolare riferimento agli interventi di sistemazione idraulica che hanno diffusamente interessato e modificato i territori in esame si è effettuata un'analisi preliminare cartografica volta a stabilire quale fosse l'attuale andamento planimetrico del reticolo idrografico, al fine di evidenziare, in rapporto agli avvenuti mutamenti, se nell'area vi fossero vincoli formali che avessero richiesto verifiche di compatibilità.

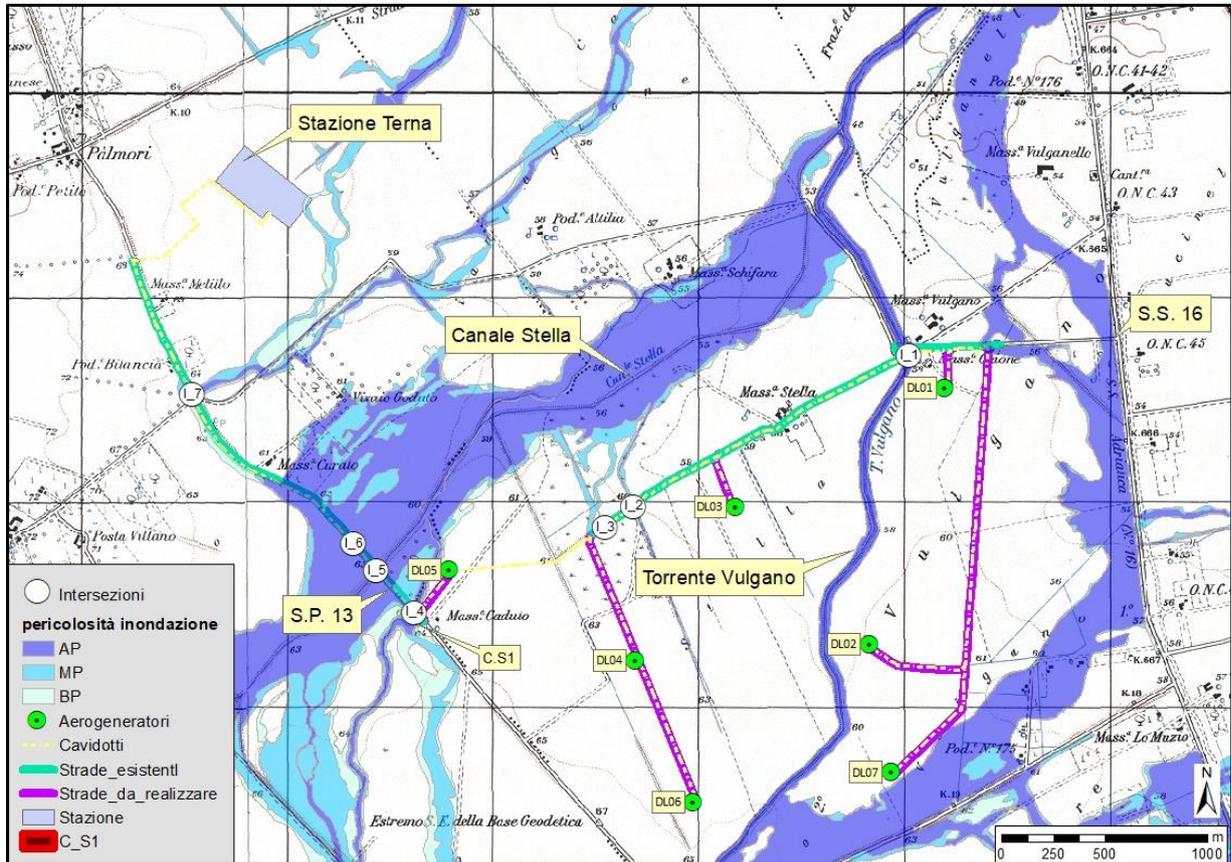


Fig. 2- Rappresentazione del parco eolico con rappresentazione della pericolosità idraulica su cartografia IGM

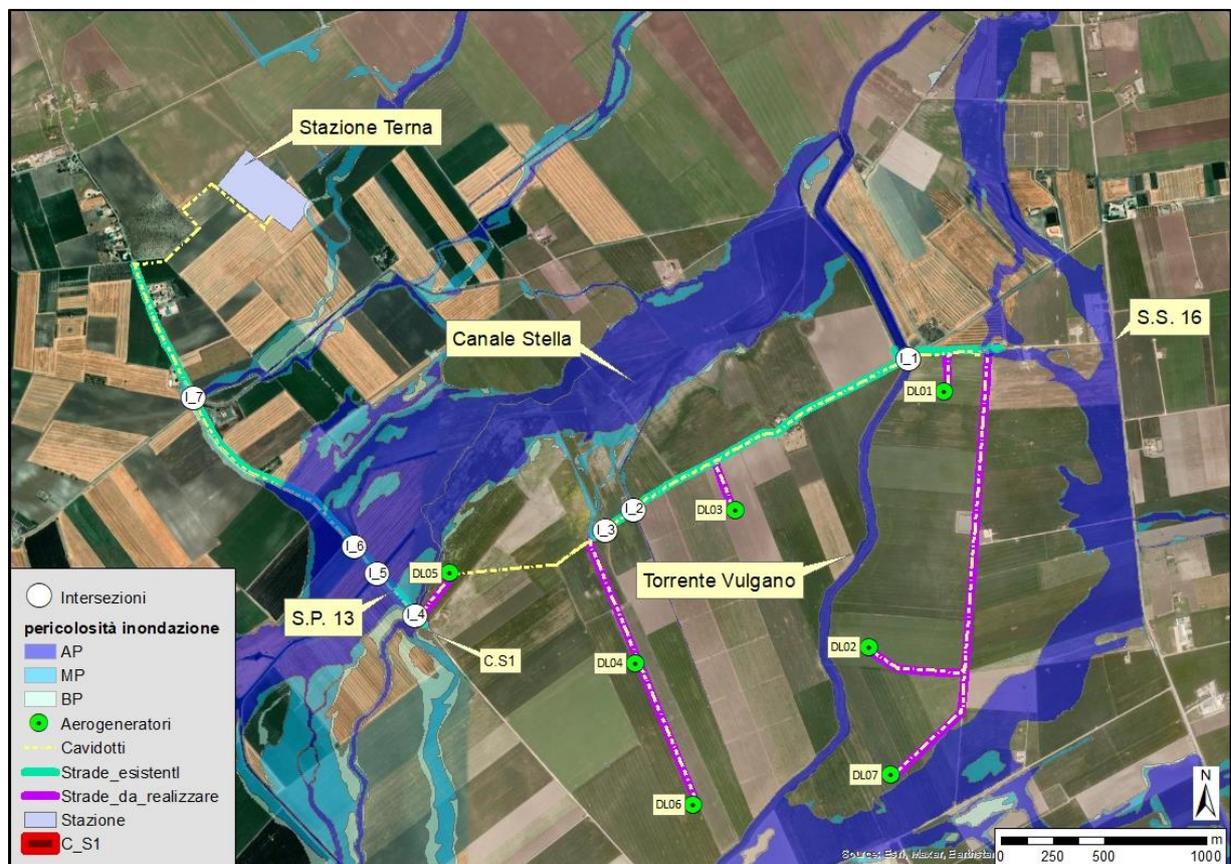


Fig. 3- Rappresentazione del parco eolico con rappresentazione della pericolosità idraulica su ortofoto

### 3 Analisi idrologica

#### 3.1 Metodologia VaPi Puglia

La metodologia propria del progetto VAPI effettua la regionalizzazione delle piogge su sei zone omogenee, in cui è stata suddivisa la Puglia, con formulazioni diverse per ognuna di esse;

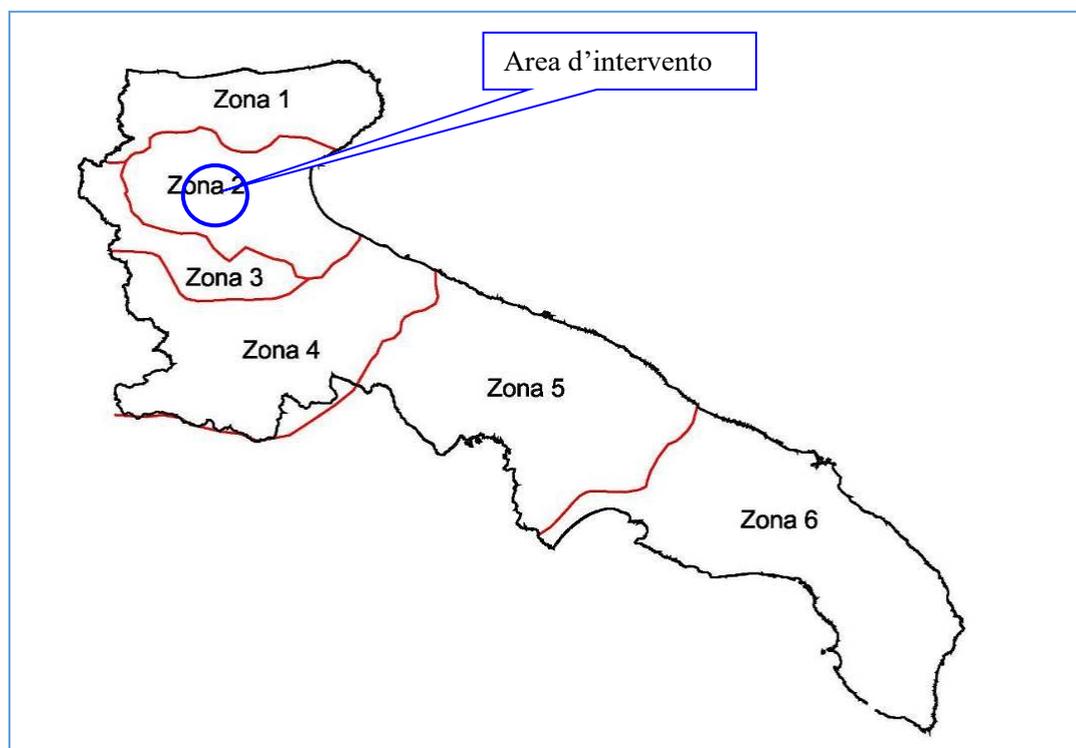


Fig. 4- Zone omogenee in cui è suddivisa la Puglia

Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (Rossi et al 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali. La TCEV (two components extreme value - legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente) ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Tale legge rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984).

Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e quella ordinaria, appartengano a popolazioni diverse ma tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano. Il processo individua una variabile  $X$  che rappresenta il massimo valore in una certa durata  $D$ , di una variabile casuale  $Y$  distribuita secondo la miscela di due esponenziali ( $Y1$  e  $Y2$ ) con funzione di probabilità cumulata ( $CDF$ ):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\theta_2}); Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e  $p$  indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze  $K$ , cioè il numero di superamenti della variabile  $Y$ , in una durata  $D$ , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[Kt]$$

in cui  $\Lambda$  rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che  $Y_1$  e  $Y_2$  siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\theta_1 = E[Y_1] \quad \theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:

$$F_{kt}(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-k/\theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità  $p_2$  che un certo valore della  $X$  provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda^* / \theta_2 \sum_j (-1)^j / j! \Lambda^{*j} \Gamma(j+1 / \theta_2)$$

nella quale  $\Gamma$  è la funzione speciale e:

$$\theta^* = \theta_2 / \theta_1, \quad \Lambda^* = \Lambda_2 / (\Lambda_1^{1/\theta^*})$$

Se si dispone di un campione  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  della variabile  $X$  (massimo annuale delle  $Y$ ) osservato in  $n$  anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza ( $ML$ ).

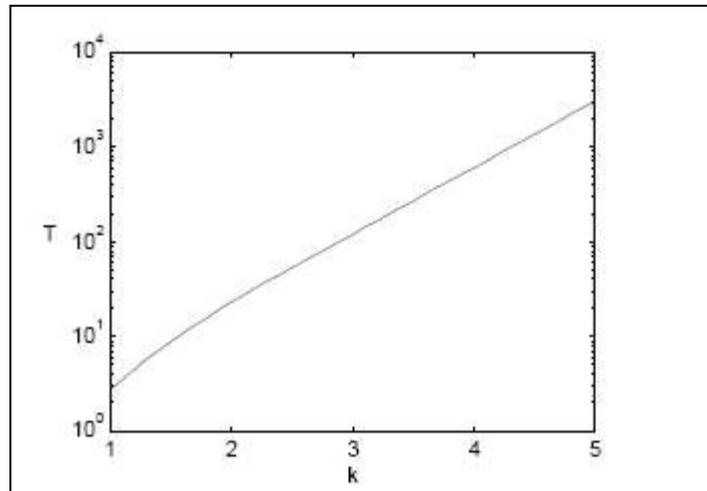
L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria ( $G$ ), quindi risultano costanti i due parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della  $X$  e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento. L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ ), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottoregioni omogenee al secondo livello.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV ( $CV$  e  $G$ ), è utile rappresentare la legge  $F(Xt)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $Xt$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(Xt)$  ed una quantità  $Kt/t$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t) \quad (a)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto (*a*) corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

È possibile rappresentare graficamente la funzione  $KT=KT(T)$  al variare del tempo di ritorno  $Tr$ ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di  $KT$  può essere ricavato direttamente in funzione di  $Tr$  attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. È utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per  $T < 40$  anni. La relazione è la seguente:

$$KT = a + b \ln T \quad (1)$$

in cui :

$$a = (\Theta \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta^* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$T_0$  è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri  $a$  e  $b$ , e i relativi valori  $\eta$  e  $T_0$ , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	T <sub>0</sub>	η
Puglia centro-merid.	0.0183	0.6219	0.8256	4.2673

Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche

in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione è stato possibile correlare il valore medio  $x_t$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{(C \cdot h + D + \log a - \log a) / \log 24} \quad (3)$$

dove:

$a$  è il valore medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $x_t$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g / x_{24}$  è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata  $t=24$  ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

$C$  e  $D$  sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

I valori delle stime dei parametri sono riportati nel prospetto seguente:

$\alpha$	$a$	$C$	$D$
0.89	33.7	0.0022	4.1223

*Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (3)*

L'area di studio ricade nell'area omogenea di pioggia denominata "zona 2", come è possibile notare dalla figura precedentemente prodotta.

La curva di possibilità pluviometrica di base (C.P.P.) utilizzata per le valutazioni idrologiche è la seguente:

$$\text{zona 2:} \quad x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

appare evidente che la C.P.P. media per la zona 2 dipende solo dalla durata dell'evento ( $t$ ) e non anche dalla quota ( $z$ ) sul livello del mare come si verifica per altre zone.

### 3.2 Determinazione dell'altezza di pioggia

L'analisi pluviometrica per determinare l'altezza di pioggia in funzione della durata viene condotta prendendo in considerazione diversi tempi di ritorno; in particolare si considerano i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

La Curva di Possibilità Pluviometrica (CPP) relativa alla zona omogenea 2, come detto in precedenza, è caratterizzata dalla seguente equazione:

$$x(t) = 22,23 t^{0,247}$$

dove

$x(t)$  = altezza delle precipitazioni;

$t$  = durata della precipitazione (ore).

Per quanto concerne il Fattore di Crescita  $K_T$ , che rappresenta uno dei coefficienti moltiplicativi funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto (espresso in anni), è possibile stimarlo attraverso la seguente equazione (applicabile alle zone 1, 2, 3 e 4):

$$K_T = 0,5648 + 0,415 \ln T$$

Di seguito si riportano i valori singolari tabellati dal rapporto sintetico.

	Tempo di Ritorno (anni)											
	2	5	10	20	25	30	40	50	100	200	500	1000
$K_T$	0.91	1.26	1.53	1.81	1.90	1.98	2.10	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

Le altezze di pioggia che si hanno per i vari tempi di durata e per i vari tempi di ritorno sono rappresentate nella seguente tabella e nella Fig. 5.

	Tr=30 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
a	44.0	61.4	69.8
n	0.25	0.25	0.25
t (h)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
0.33	33.4	46.5	52.9
0.66	39.7	55.3	62.9
1	44.0	61.4	69.8
2	52.3	73.0	83.0
3	57.9	80.8	91.9
4	62.3	86.8	98.7
5	65.8	91.8	104.4
6	68.9	96.0	109.2
7	71.6	99.8	113.5
8	74.0	103.2	117.4
9	76.2	106.3	120.9
10	78.3	109.1	124.1
11	80.2	111.7	127.1
12	81.9	114.2	129.9

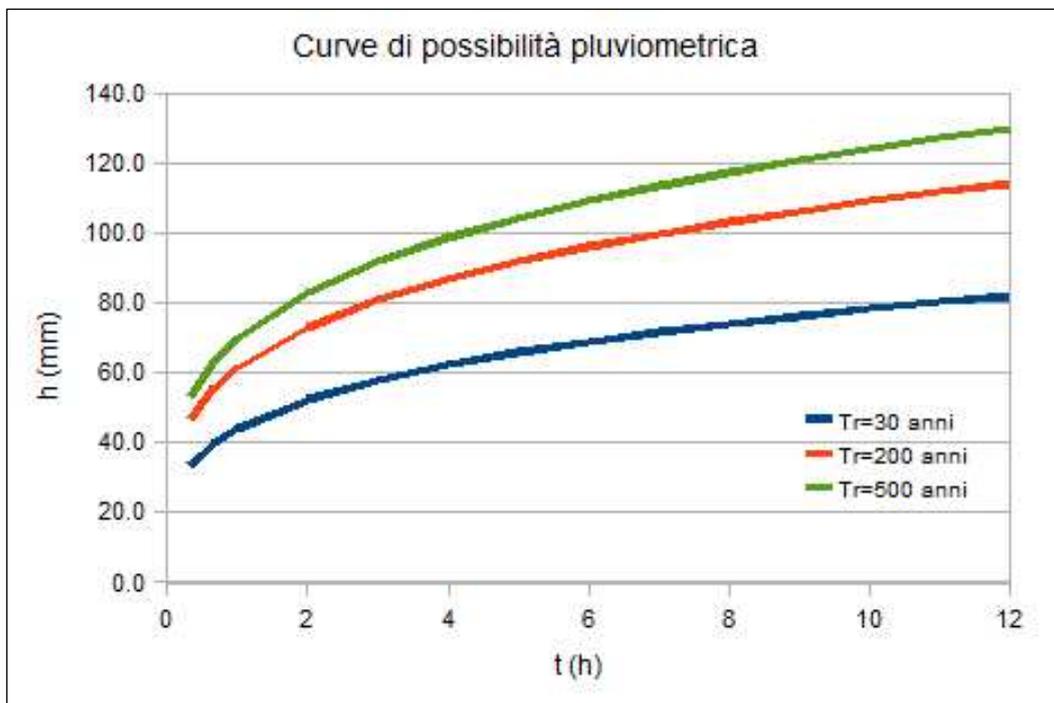


Fig. 5- Curve di possibilità pluviometrica per  $Tr = 30, 200, 500$  anni

La valutazione delle caratteristiche pluviometriche dell'evento tiene in considerazione, oltre al fattore  $K_T$ , il fattore di riduzione areale  $K_A$ :

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3})$$

che è funzione della superficie del bacino  $A$  (espressa in  $\text{km}^2$ ) e della durata della pioggia, espressa in ore. I coefficienti valgono:

$$c_1 = 0,0021; \quad c_2 = 0,53; \quad c_3 = 0,25.$$

Il tempo di pioggia da considerare per la valutazione dell'altezza critica è il *tempo di corrivazione*  $t_c$  che è, rispetto ad una determinata sezione di un corso d'acqua, il tempo necessario affinché una particella caduta sui punti più distanti della superficie scolante raggiunga la sezione di chiusura in analisi per la determinazione della portata massima probabilistica in funzione del tempo di ritorno considerato.