

REGIONE PUGLIA
COMUNE DI AVETRANA
PROVINCIA DI TARANTO

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA,
NONCHE' OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE, DI POTENZA
INSTALLATA DI 63 MW DENOMINATO "AVETRANA ENERGIA"**

OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN NEL COMUNE DI ERCHIE (BR)

PROGETTO DEFINITIVO

Codice STMG Tema: 201800410 - Identificativo AU Regione Puglia: PFQVY05

Tavola :

Titolo :

R.23

RELAZIONE IDROLOGICA

Cod. Identificativo elaborato :

PFQVY05_RelazioneIdrologica_23

Progetto:



Via San Lorenzo 155 - cap 72023 MESAGNE (BR)
P.IVA 02549880744 - REA BR-154453 - enerwind@pec.it



Via Milizia n.55 - 73100 LECCE (ITALY)
P.IVA 04258790759 - msc.innovativesolutions@pec.it



Via V.M. Stampacchia, 48
73100 - LECCE
stcprogetti@legalmail.it

Dott. Ing. Fabio Calcarella
Piazza Mazzini, 64 - 73100 - Lecce (LE)
tel. +39 0832 1594953 - fabio.calcarella@gmail.com

Dott. Geol. Valter D'Autilia
Via Polimeno, 53 - 73026 Melendugno (LE)
Tel. 328-2094706 - vdautilia@libero.it

Committente:

AVETRANA ENERGIA s.r.l.

Piazza del Grano n.3 - cap 39100 BOLZANO (BZ)
P.IVA 03050420219 - REA BZ 227626 - avetrana.energia@legalmail.it

SOCIETA' DEL GRUPPO



FRI-EL GREEN POWER S.p.A.
Piazza della Rotonda, 2 - 00186 Roma (RM) - Italia
Tel. +39 06 6880 4163 - Fax. +39 06 6821 2764
Email: info@fri-el.it - P. IVA 01533770218

Indagini Specialistiche :

Data	Revisione	Redatto	Approvato
Gennaio 2020	Prima Emissione	FC	MT

Data: Gennaio 2020

Scala : N.A.

File:

Controllato:

Formato:

A4

Ai sensi e per gli effetti degli art.9 e 99 della Legge n.633 del 22 aprile 1941 , ci riserviamo la proprietà intellettuale e materiale di questo elaborato e facciamo espresso divieto a chiunque di renderlo noto a terzi o di riprodurlo anche in parte, senza la nostra preventiva autorizzazione scritta.

INDICE

<u>1. PREMESSA</u>	2
<u>2. LINEAMENTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DELL'AREA D'INTERVENTO</u>	3
<u>3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO</u>	4
<u>4. DESCRIZIONE DEI LUOGHI E PERIMETRAZIONE DEI BACINI</u>	5
<u>5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE GENERALI</u>	6
5.1 <i>Precipitazioni</i>	6
<u>6. STUDIO IDROLOGICO</u>	7
6.1 <i>Procedure regionali di valutazione delle precipitazioni</i>	8
6.1.1 <i>Terzo livello di regionalizzazione</i>	11
6.2 <i>Analisi idrologica</i>	14
6.2.1 <i>Calcolo dell'altezza di pioggia efficace</i>	15
6.2.2 <i>Calcolo della linea segnalatrice di possibilità climatica</i>	19

1. PREMESSA

Il presente studio è finalizzato a definire la compatibilità idrologica relativamente al progetto di un *“impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nonché opere ed infrastrutture connesse di potenza complessiva pari a 63 Mw, denominato Avetrana Energia nel territorio di Avetrana (TA) – opere di connessione alla RTN nel comune di Erchie (BR)”*, proposto dalla Avetrana Energia srl con sede in P.zza del Grano n. 3 - Bolzano (BZ)

Il parco eolico di *Avetrana* sarà costituito da 15 aerogeneratori, con potenza unitaria pari a 4.2 MW, per potenza complessiva installata di 63,0 MW.

Il Parco Eolico propriamente detto (plinti di fondazione, piste di nuova realizzazione, cavidotti interrati fra gli aerogeneratori) interesserà un'area agricola ricadente nel Comune di Avetrana, nella parte sud-orientale della provincia di Taranto al confine con le province di Lecce e Brindisi, a 2,5 km circa a Nord-Est dell'abitato di Avetrana.

L'area presenta, da un punto di vista paesaggistico, una forte connotazione antropica, con intensa attività agricola, caratterizzata prevalentemente da vigneti e seminativi ed in misura minore da uliveti; le quote altimetriche, relativamente alle aree occupate dagli aerogeneratori, saranno comprese tra i 78 ed i 55 metri s.l.m.m; mentre raggiungeranno valori di circa 67 metri s.l.m.m in prossimità della sottostazione posta nel territorio comunale di Erchie (BR).

L'area interessata dell'opera progettuale evidenzia uno scarso reticolo idrografico superficiale, per lo più costituito da brevi corsi d'acqua che terminano in una zona depressa (bacino endoreico), all'interno di inghiottitoi e/o vore naturali. Pertanto tutta l'area interessata dal progetto, è caratterizzato dalla presenza di diversi bacini endoreici con locali avvallamenti di estensione più o meno ampia, luogo dell'eventuale accumulo delle acque piovane in caso di eventi piovosi di rilevante entità. (Fig. 1)

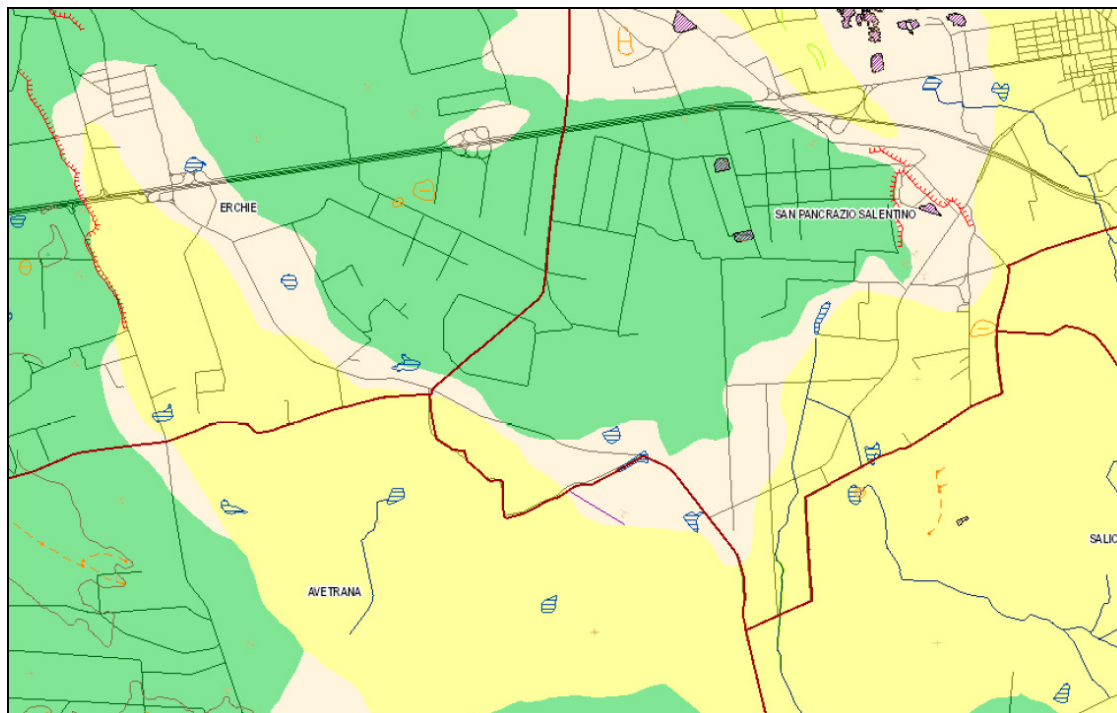


Figura 1– Carta idrogeomorfologica dell'area studiata (fonte AdB Puglia)

Per quanto attiene i bacini endoreici a cui questo studio si riferisce, l'Autorità di Bacino, ha provveduto all'individuazione delle aree più depresse (fig. 1) nelle quale potrebbe avvenire l'accumulo delle acque senza però definire l'impronta planimetrica dell'eventuale allagamento causato dall'accumulo delle acque meteoriche stesse nella zona più depressa per i diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni).

Allo scopo è stato condotto un dettagliato rilevamento di campagna, per un'area sufficiente a definire i caratteri geolitologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area interessata dall'intervento e a definirne la dinamica geomorfologica.

2. LINEAMENTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI DELL'AREA D'INTERVENTO

In generale, l'intera area interessata dalle opere progettuali, è ubicata all'interno di un'area prevalentemente sub-orizzontale, su cui affiorano diffusamente dei depositi quaternari

appartenenti alla Formazione dei *Depositi Marini Terrazzati*. Si tratta essenzialmente di depositi sabbioso-limosi a luoghi argillosi, di colore avana chiaro e/o brunastri.

La successione termina con un livello di rocce calcarenitiche appartenenti alla Formazione delle *Calcareniti di Gravina*; si tratta di calcareniti organogene a grana media e medio-grossolana, di colore biancastro a luoghi avana chiaro, con presenza di numerosi fossili.

Lo spessore dei depositi quaternari risulta variabile e normalmente compreso tra qualche metro in corrispondenza del contatto con il basamento carbonatico mesozoico, ad alcune decine di metri nella parte mediana dell'area di sedimentazione.

L'intera successione riposa sul basamento carbonatico mesozoico rappresentato da rocce calcareo-dolomitiche di colore bianco e/o grigio chiaro ben stratificati appartenenti alla Formazione dei *Calcari di Altamura*.

Il basamento carbonatico è stato dislocato da numerose faglie dirette, creando un'alternanza di rilievi strutturali (definiti "horst"), e di depressioni di origine tettonica (denominate "graben"), entrambi allungati in direzione NW-SE. L'area di progetto è compresa all'interno di una depressione delimitata sia a Nord che a Sud da propaggini mediamente più elevate delle *Murge Tarantine*.

I caratteri di permeabilità delle successioni presenti nell'area, possono permettere l'esistenza di una falda superficiale, posta al di sopra della falda profonda contenuta nel substrato calcareo cretaceo, permeabile per fratturazione e carsismo, con un elevato valore del coefficiente di permeabilità.

Attualmente, dai dati in possesso, in tutta l'area oggetto dell'intervento progettuale, non si evince la presenza di falde superficiali significative; la falda freatica che circola nel basamento mesozoico si attesta a circa 2,5 – 3,0 mt s.l.m.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO

L'area interessata dal progetto è situata in un contesto territoriale caratterizzato da una morfologia pressoché tabulare, con quote topografiche comprese tra i 50 ed gli 80 metri s.l.m.

Tale zona si configura, dal punto di vista strutturale, come una vasta depressione, di origine presumibilmente tettonica, semi-colmata da una successione di depositi calcarenitici e sabbioso-argillosi di età plio-pleistocenica.

L'area studiata, è caratterizzata da una morfologia sub tavolare pianeggiante, interrotta da

debole ondulazioni del terreno e da aree strutturalmente rialzate sede di affioramenti carbonatici mesozoici. Solo in alcuni casi sono presenti delle scarpate più accentuate, incise da piccoli solchi erosivi provocati dal ruscellamento delle acque meteoriche e che costituiscono dei naturali impluvi dove gli episodi di ruscellamento si verificano solo nei periodi particolarmente piovosi.

L'azione di disfacimento, disgregazione e trasporto delle acque ruscellanti o di infiltrazione, ha influenzato e continua ad influenzare lo sviluppo del carsismo nelle rocce carbonati del basamento mesozoico e subordinatamente favorisce i fenomeni paracarsici riscontrabili nei terreni più recenti.

E' evidente che sia la distribuzione areale, sia la ricorrenza verticale delle forme carsiche dipendono ulteriormente dalla successione dei cicli carsici, la cui evoluzione è collegata ai movimenti relativi tra il mare e la terraferma.

La zona più depressa è occupata dai depositi più recenti, rappresentati da una successione di limi e sabbie con livelli calcarenitici basali. Lo spessore di questi sedimenti risulta variabile e strettamente dipendente dalla morfologia del substrato calcareo mesozoico.

Dal punto di vista idrologico, l'intera area studiata, è caratterizzata dalla presenza discontinua di una rete idrografica superficiale (canali), che risultano molto spesso interrotti o privi della manutenzione necessaria a veicolare le acque di scorrimento superficiale in direzione dei recapiti finali.

Inoltre, l'assetto altimetrico del territorio da localmente origine a numerosi piccoli bacini endoreici che recapitano all'interno di strutture carsiche o avvallamenti morfologici, in cui lo smaltimento delle acque pluviali di ruscellamento superficiale avviene per infiltrazione nel suolo.

4. DESCRIZIONE DEI LUOGHI E PERIMETRAZIONE BACINI

Dall'analisi morfologica condotta sul tale porzione del territorio, sia su base cartografica che sulla base dei sopralluoghi condotti, si è riscontrata la presenza di uno scarso reticolo idrografico.

Tale parte del territorio, quindi, presenta un insieme di sistemi endoreici chiusi e indipendenti, i quali, interessati dalle precipitazioni, danno luogo ad eventuali accumuli superficiali di acqua nelle loro aree maggiormente depresse. Essi potrebbero entrare in comunicazione tra loro, e dare luogo a sistemi idrografici comunicanti, solo quando i

volumi affluiti a ciascuno di essi dovessero superare quelli che possono essere invasati e smaltiti dal suolo dalla rispettiva “*conca*” naturale.

Nell’area di progetto, relativamente all’ubicazione degli aereogeneratori, sono stati individuati una serie di bacini, la cui delimitazione è riportata in Allegato 1

5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE GENERALI

Gli aspetti climatici della Puglia, sono stati oggetto di numerosi ed approfonditi studi (Bissanti 1968, 1974). Secondo Bissanti, la stagione autunnale rappresenta il periodo più piovoso e perturbato di tutto l’anno. A questa caratteristica non corrisponde però un altrettanto incremento di piovosità, poiché le piogge tendono ad aumentare già dalla seconda metà di agosto, per gli occasionali temporali di fine estate.

In Puglia le maggiori precipitazioni avvengono sul Gargano e sul Salento leccese meridionale. I valori percentuali dell’autunno sono massimi nell’estremità SE del Salento leccese e diminuiscono verso NW, soprattutto col crescere dell’altitudine.

Il clima della Penisola salentina può essere definito di tipo “adriatico meridionale”, la classificazione di THORNTHWAITE (1948) vede il clima del Salento fra quelli contrassegnati dalla sigla Cs, tipicamente mediterraneo, caratterizzato da un inverno non eccessivamente rigido, con due massimi di precipitazione a novembre e marzo, un lungo periodo secco estivo ed escursioni medie annue di poco superiori ai 17° C.

Nell’ambito della penisola si possono individuare almeno due subregioni con caratteri abbastanza differenti: il versante ionico con temperature annue più elevate e precipitazioni più basse ed il versante adriatico che presenta caratteri esattamente opposti.

In riferimento ai caratteri climatici dell’area analizzata, sono state analizzate le precipitazioni sulla base dei dati del Servizio Idrografico di Stato relativi alla stazione pluviometrica di Avetrana (TA).

5.1 PRECIPITAZIONI

L’area indagata risulta abbastanza vicina alla stazione di rilevamento dei dati pluviometrici che si trova nel territorio di Avetrana. I dati considerati coprono un intervallo temporale compreso tra il 1967 ed il 1996.

Per ottenere una serie temporale completa, sono stati utilizzati per le registrazioni mancanti, i dati provenienti dalla Stazione pluviometrica di Mass.ia Monteruga (poco

distante), che presenta sostanzialmente le medesime caratteristiche meteo-climatiche.

Le osservazioni sono costituite dai valori massimi annuali delle altezze di pioggia in mm per durate di 1, 3, 6, 12, 24 e 48 ore. Inoltre vengono riportate le precipitazioni mensili per l'intervallo considerato.

Dall'analisi di questi dati, il mese più piovoso risulta essere Dicembre (con un valore medio pari a 79,5 mm), mentre il mese più asciutto è Giugno (con un valore pari a 22,30 mm) - Ved. Tab. A Allegato 2; il mese con il numero più elevato di giorni piovosi è Dicembre (circa 8,55 gg), quello con il più basso è Luglio (circa 2,05 gg) – Ved. Tab B Allegato 2; a tal riguardo è bene evidenziare che quest'ultimi dati sono riferiti ai giorni con una precipitazione pari o maggiore di 1 mm.

La precipitazione massima nell'arco delle 24 ore, riferito sempre al periodo 1967-96, è avvenuta nel 1996 con un'altezza pari a 198,2 mm; la precipitazione massima nell'arco delle 48 ore è avvenuta sempre nel 1996 con 201,2 mm; le precipitazioni massime di notevole intensità e breve durata, sempre nel periodo considerato, è avvenuta nel 1981 con un'altezza di 40,0 mm in 15 minuti. (Ved. Allegato 3)

6. STUDIO IDROLOGICO

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena che, per prefissati tempi di ritorno, interessano un bacino idrografico e, di conseguenza, le sue infrastrutture, centri abitati, elementi vulnerabili.

In Puglia, le stazioni di misura idrometriche sono in numero assai limitato, se confrontato con quelle di misura pluviometriche, inoltre ovvia risulta la loro assenza in zone, come quella in analisi, prive della presenza di un vero e proprio reticolo idrografico e quindi di sezioni di controllo nelle quali effettuare eventuali misurazioni; pertanto il calcolo della portata di piena deve essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Ai sensi del DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, *“ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno...dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDCI-CNR”*. Nel caso dei bacini idrografici oggetto di tale studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI (VALutazione

Plene), per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica, utilizzate per il calcolo della portata al colmo di piena.

Il primo step, per poter procedere con lo studio idrologico, è quello di individuare i bacini idrografici in riferimento al sistema idrografico esistente.

Come si è detto, il sistema idrografico dell'area di progetto, è costituito da una serie di conche endoreiche di dimensioni medio-piccole. Le depressioni prese in esame hanno portato alla definizione di tre macro bacini endoreici..

Nella tabella seguente si riportano alcune grandezze caratteristiche dei bacini endoreici individuati:

	A (Km²)	Z_{med} (m)
Bacino A	12.00	71.0
Bacino B	10.50	76.0
Bacino C	9.00	65.0

Tab. 1: caratteristiche geomorfologiche dei bacini scolanti oggetto di studio

6.1 PROCEDURE REGIONALI DI VALUTAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Nelle applicazioni idrologiche, come detto, si presenta spesso la necessità di stimare valori di una determinata grandezza, per esempio la precipitazione, in siti privi di stazioni di misura, oppure con dati misurati che si giudicano insufficienti per numero e qualità.

A ciò rispondono le procedure regionali, sia quelle classiche, sia quelle proposte con i più recenti studi inerenti l'elaborazione statistica di dati spaziali.

Questi ultimi tendono a definire modelli matematici finalizzati ad una interpretazione delle modalità con cui variano nello spazio le diverse grandezze idrologiche.

L'analisi regionale degli estremi idrologici massimi, può essere condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (*Rossi et al. 1984*) con regionalizzazione di tipo gerarchico (*Fiorentino et al. 1987*). In questa distribuzione i parametri fondamentali sono: Θ_1 , Λ_1 , Θ_2 , Λ_2 , che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio di osservazioni della variabile casuale Y provenienti dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria. Si ottiene:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1 \qquad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$$

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri Θ^* e Λ^* . Tali parametri devono essere stimati da un elevato numero di dati; questo comporta l'assunzione di una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, caratterizzate oltre che dalla conoscenza di Θ^* e Λ^* anche dalla conoscenza di Λ_1 , sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di sei zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

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, è utile rappresentare la legge $F(X_t)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata X_t come prodotto tra il suo valore medio $\mu(X_t)$ ed una quantità $K_{T,t}$, detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

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

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

La dipendenza del fattore di crescita con la durata si può ritenere trascurabile, infatti, calcolando sulle stazioni disponibili le medie pesate dei coefficienti di asimmetria, C_a , e dei coefficienti di variazione, C_v , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria. L'indipendenza dalla durata di $K_{t,T}$ (nel seguito indicato con K_T), autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

In base ai valori regionali dei parametri Θ^* , Λ e Λ_1 , si ottiene la curva di crescita per la zona della Puglia centro – meridionale riportata in fig. 2.

Il valore di K_T può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$KT = a + b \ln T$$

in cui :

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

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

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

$$C = 0.5772, \text{ (costante di Eulero),}$$

$$T_o = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right)$$

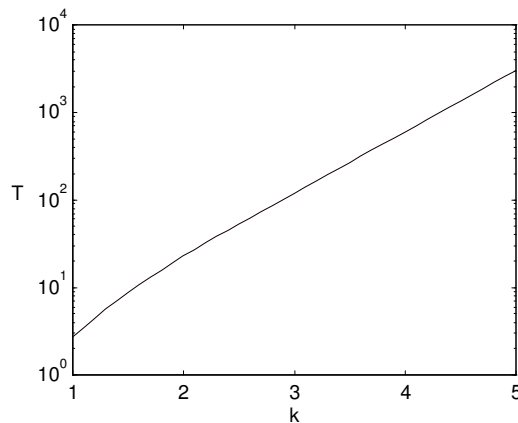


Fig 2: fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , e i relativi valori η e T_o , che consentono di determinare le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	To	η
Puglia centro-meridionale	0.1599	0.5166	-0.6631	4.1053

Tab. 2: Parametri dell'espressione asintotica

Va tuttavia osservato che l'uso di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per $T < 50$ anni e superiori al 5% per $T < 100$ anni.

Per semplificare la valutazione del fattore di crescita, nella tabella 3 sono riportati i valori di K_T relativi ai valori del periodo di ritorno adottati nella determinazione delle aree soggette a rischio di inondazione.

Anni	30	200	500
K_t	1.92	2.90	3.37

Tab. 3: Valori di K_T Puglia Centro-Meridionale

6.1.1 Terzo livello di regionalizzazione

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata 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, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

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

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_t) = a t^{(Ch+D+\log \alpha - \log a) / \log 24}$$

in cui α è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_1)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per la zona di interesse i valori dei parametri sono riportati in tabella 4.

Zona	a	a	C	D	N
6	"	33.7	0.0022	4.1223	-

Tab. 4: Parametri delle curve di 3° livello

Nella figura 3 si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee.

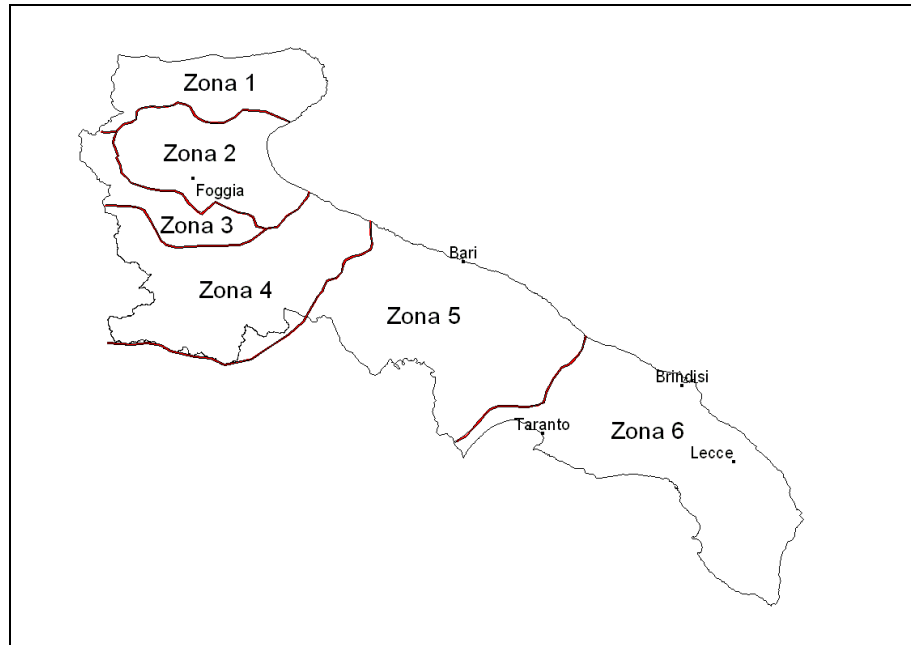


Fig. 3: Zone omogenee, 3° livello

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 6; pertanto, l'equazione da applicare è la seguente:

$$x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare; per questo studio si è utilizzata la quota relativa di ciascun bacino.

Ai valori così ottenuti vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita KT (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al fattore di riduzione areale KA (funzione della superficie del bacino espressa in Km^2 , e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore). La dimensione areale dei bacini in studio comporta che il relativo fattore di riduzione tenda all'unità; pertanto, a vantaggio di sicurezza, tale parametro non viene preso in considerazione nella valutazione della Curva di Possibilità Pluviometrica.

Si procede quindi al calcolo degli eventi critici di pioggia per tempi di ritorno di 30, 200, 500 anni.

Altezze lorde di pioggia – Bacino A					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	33,7	42,49	49,18	56,93	65,90
Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni					
z (m)	83				
Tr (anni)	30				
K _T (30)	1,92				
X(30) (mm)	64,7	81,58	94,42	109,30	126,53
Tr (anni)	200				
K _T (200)	2,9				
X(200) (mm)	97,73	123,22	142,62	165,10	191,11
Tr (anni)	500				
K _T (500)	3,37				
X(500) (mm)	113,57	143,19	165,74	191,85	222,08

Tab. 5 – Eventi critici di pioggia relativi al Bacino A

Altezze lorde di pioggia – Bacino B					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	33,7	42,88	49,92	58,11	67,66
Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni					
z (m)	95				
Tr (anni)	30				
K _T (30)	1,92				
X(30) (mm)	64,7	82,32	95,84	111,57	129,90
Tr (anni)	200				
K _T (200)	2,9				
X(200) (mm)	97,73	124,35	144,77	168,52	196,21
Tr (anni)	500				
K _T (500)	3,37				
X(500) (mm)	113,57	144,50	168,23	195,83	228,01

Tab. 6 – Eventi critici di pioggia relativi al Bacino B

Altezze lorde di pioggia – Bacino C					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	33,7	42,55	49,31	57,12	66,19
Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni					
z (m)	85				
Tr (anni)	30				
K _T (30)	1,92				
X(30) (mm)	64,7	81,69	94,67	109,67	127,08
Tr (anni)	200				
K _T (200)	2,9				
X(200) (mm)	97,73	123,39	142,99	165,65	191,95
Tr (anni)	500				
K _T (500)	3,37				
X(500) (mm)	113,56	143,39	166,17	192,49	223,06

Tab. 7 – *Eventi critici di pioggia relativi al Bacino C*

Dovendo stimare eventi con tempo di ritorno di 500 anni, si ritengono maggiormente attendibili le stime degli eventi critici di pioggia calcolate con il metodo regionale, per cui, le successive elaborazioni, saranno condotte utilizzando questi valori e riportati nella tabella precedente.

6.2 ANALISI IDROLOGICA

Le particolari condizioni morfologiche, la assenza di veri e propri reticoli, la presenza di sistemi endoreici chiusi e indipendenti individuati a seguito delle analisi morfologiche effettuate sulla base della cartografia disponibile, fanno sì che si focalizzi l'attenzione non sull'analisi della formazione dell'onda di piena critica dal punto di vista delle portate in gioco, ma piuttosto sulla determinazione dei volumi idrici che si possono accumulare nelle zone depresse.

Tale problematica viene affrontata interpretando il processo idrologico nel suo insieme, come descritto approfonditamente in seguito, ovvero interpretando la maniera in cui la precipitazione si trasforma in volume idrico che si infila nel terreno attraverso l'intera superficie del bacino e volume idrico che ruscella al suolo dando luogo a deflussi e accumuli superficiali, quindi rappresenta la risposta del bacino con le sue caratteristiche ad

una certa pioggia netta, che sia manifesta con determinate caratteristiche di intensità e durata.

Il modello idrologico utilizzato si basa su una parametrizzazione di tipo distribuito, che tiene conto della permeabilità dei suoli secondo la classificazione riportata in letteratura.

6.2.1 CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA EFFICACE

A questo punto, si deve procedere alla distinzione nelle acque di pioggia della componente che partecipa al deflusso e quella che invece risulta persa.

I fattori che incidono sono dati in primo luogo dal tipo di terreno, grado di saturazione, tipo e dimensioni della copertura vegetale, della pendenza e da altri fattori variabili.

Diversi sono i metodi utilizzati per la determinazione della pioggia efficace, uno di questi è Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN).

Quindi con riferimento ad un evento di durata d e con un tempo di ritorno Tr è possibile determinare il deflusso superficiale caratteristico del bacino scolante:

$$h_{netta}(d,Tr) = (X(d,Tr) - I_a)^2 / (X(d,Tr) - I_a) + S$$

dove:

$h_{netta}(d,Tr)$ in mm, è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento di durata d e tempo di ritorno Tr ;

$X(d,Tr)$ in mm, è il volume specifico di pioggia lorda relativo all'evento di durata d e tempo di ritorno Tr ;

I_a in mm, rappresenta il fattore iniziale di ritenzione;

S in mm, è la quantità massima di acqua assorbita dopo l'inizio del deflusso.

Il fattore iniziale di ritenzione (I_a), include tutte quelle perdite prima dell'inizio del deflusso e include l'acqua trattenuta in depressioni naturali, quella trattenuta dalla vegetazione, evaporazione e infiltrazioni.

Per cui nella pratica il valore di I_a risulta uguale a:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

dove S è correlato al tipo di suolo e alle sue caratteristiche di copertura per cui avremo:

$$S = 254 [100/CN - 1]$$

Il valore di CN è determinato attraverso diversi fattori; il più importante è la determinazione del tipo di suolo in riferimento alla permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi (Tab.8):

TIPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso superficiale
B	Bassa potenzialità di deflusso superficiale
C	Potenzialità di deflusso superficiale media
D	Potenzialità di deflusso superficiale molto alta

Tab 8: Categorie di suddivisione del suolo metodo S.C.S

Determinato il tipo di suolo, bisogna verificare le condizioni iniziali di imbibizione del terreno, attribuendo allo stesso una classe AMC (Antecedent Moisture Condition), in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 gg precedenti l'evento considerato:

- I** molto asciutto (< 50 mm)
- II** standard (50 ÷ 110 mm)
- III** molto umido (> 110 mm)

Considerando che il calcolo va effettuato per determinare le portate di piena, si utilizza il valore di CN corrispondente alla classe AMC tipo III legato a quella normale dalla relazione:

$$CN_{III} = CN_{II} / (0,43 + 0,0057 \cdot CN_{II})$$

Quindi in base alle condizioni di permeabilità ed alle coperture vegetali, il valore di CN, compreso tra 0 – 100, per alcuni tipi di coperture risulta (Tab. 9):

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini d'acqua	100	100	100	100

Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporaneamente associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tab 9: Valore del CN per zone umide in funzione del tipo di suolo e delle condizioni d'uso e copertura vegetale

In generale, ogni sottobacino scolante viene analizzato suddividendo l'intera superficie, in base al tipo e all'uso del suolo, in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro stesso; si ottengono così varie sub-aree isoparametriche la cui somma fornisce la superficie complessiva del sottobacino. Per ogni sottobacino viene ricavato poi un valore medio del parametro CN, ottenuto come media pesata dei valori singolari imposti sulle singole sub-aree:

$$CN = \sum p_i \cdot CN_i$$

Dove p_i è la percentuale dell'area del bacino caratterizzata da un valore del Curve Number pari a CN_i .

Con riferimento all'area in esame si utilizzano i seguenti valori:

- estensione del bacino A = 12,0 Km²
- estensione del bacino B = 10,5 Km²
- estensione del bacino C = 9,0 Km²
- classe idrologica = tipo "C"
- uso del suolo : di tipo "aree agricole con presenza di spazi naturali"
- $CN_{II} = 78$
- $CN_{III} = 89$
- $P = 1$

Utilizzando le formule precedenti si ottengono i seguenti risultati:

$$CN = 89 \quad S = 31,39 \text{ mm}$$

Di seguito si riportano i valori delle altezze efficaci di pioggia relative ad un evento di pioggia di durata 1-3-6-12-24 ore con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni applicati ai diversi bacini:

Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni – Bacino A					
d (ore)	1	3	6	12	24
Tr (anni)	30				
hnetta (30) (mm)	38,00	53,14	64,99	78,96	95,35
Tr (anni)	200				
hnetta (200) (mm)	68,08	92,19	110,82	132,61	157,99
Tr (anni)	500				
hnetta (500) (mm)	83,01	111,37	133,23	158,72	188,39

Tab. 10 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - Bacino A

Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni – Bacino B					
d (ore)	1	3	6	12	24
Tr (anni)	30				
hnetta (30) (mm)	38,00	53,82	66,31	81,11	98,58
Tr (anni)	200				
hnetta (200) (mm)	68,08	93,27	112,83	135,94	162,99
Tr (anni)	500				
hnetta (500) (mm)	83,01	112,64	135,65	162,62	194,23

Tab. 11 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - Bacino B

Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni – Bacino C					
d (ore)	1	3	6	12	24
Tr (anni)	30				
hnetta (30) (mm)	38,00	53,24	65,22	79,31	95,88
Tr (anni)	200				
hnetta (200) (mm)	68,08	92,35	111,18	133,14	158,82
Tr (anni)	500				
hnetta (500) (mm)	83,01	111,56	133,65	159,35	189,36

Tab. 12 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - Bacino C

6.2.2 CALCOLO DELLA LINEA SEGNALATRICE DI POSSIBILITA' CLIMATICA

Utilizzando i valori delle altezze di pioggia efficaci, si possono ora ricavare le *curve di possibilità pluviometrica* tramite l'equazione:

$$h_{netta} = a \cdot t^n$$

dove:

h = altezza della piogge in mm

t = durata corrispondente in ore

a espresso in mm/h^n ed n numero dimensionale minore di 1, coefficienti calcolati sugli eventi critici di pioggia netta.

Di seguito si riportano i valori di a e di n per i diversi tempi di ritorno relativi alle linee segnalatrici di possibilità climatica.

n	0,216767				
a (mm/h ⁿ)	38,00				
h_{netta} (30) (mm)	38,00	48,22	56,03	65,12	75,68
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 30 anni				$h_{netta}(t,30) = 38,00 \cdot t^{0,216767}$	
n	0,214356				
a (mm/h ⁿ)	68,08				
h_{netta} (200) (mm)	68,08	86,16	99,96	115,97	134,54
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni				$h_{netta}(t,200) = 68,08 \cdot t^{0,214356}$	
n	0,213599				
a (mm/h ⁿ)	83,01				
h_{netta} (500) (mm)	83,01	104,96	121,71	141,13	163,66
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni				$h_{netta}(t,500) = 83,01 \cdot t^{0,213599}$	

Tab. 13 – Linee segnalatrici di possibilità climatica

Si può ora ottenere la curva di possibilità climatica media su un'area A modificando i parametri a ed n ricavati per i singoli pluviografi dell'area:

La curva avrà quindi un'equazione:

$$h'_{netta}(Tr, t) = a' \cdot t^{n'}$$

con:

$$a' = f(a, A)$$

$$n' = f(n, A)$$

Quindi per ricavare i valori di a' e n' si utilizzano le formule di Marchetti (1964):

$$a' = a \cdot [1 - 0,06(A/100)^{0,4}]$$

$$n' = n + 0,003 \cdot (A/100)^{0,6}$$

con $A_A = 1200$ ha

con $A_B = 1050$ ha

con $A_C = 900$ ha

Si riportano i valori di a' e n' calcolati con i diversi tempi di ritorno e le equazioni delle linee di possibilità climatica ragguagliata all'area dei tre bacini.

n'	0,230090				
a' (mm/h ⁿ)	31,84				
h'_{netta} (30) (mm)	31,84	40,99	48,08	56,40	66,15
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni $h'_{\text{netta}}(t,30) = 31,84 \cdot t^{0,230090}$					
n'	0,227679				
a' (mm/h ⁿ)	57,04				
h'_{netta} (200) (mm)	57,04	73,25	85,77	100,43	117,60
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni $h'_{\text{netta}}(t,200) = 57,04 \cdot t^{0,227679}$					
n'	0,226923				
a' (mm/h ⁿ)	69,55				
h'_{netta} (500) (mm)	69,55	89,24	104,44	122,23	143,05
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni $h'_{\text{netta}}(t,500) = 69,55 \cdot t^{0,226923}$					

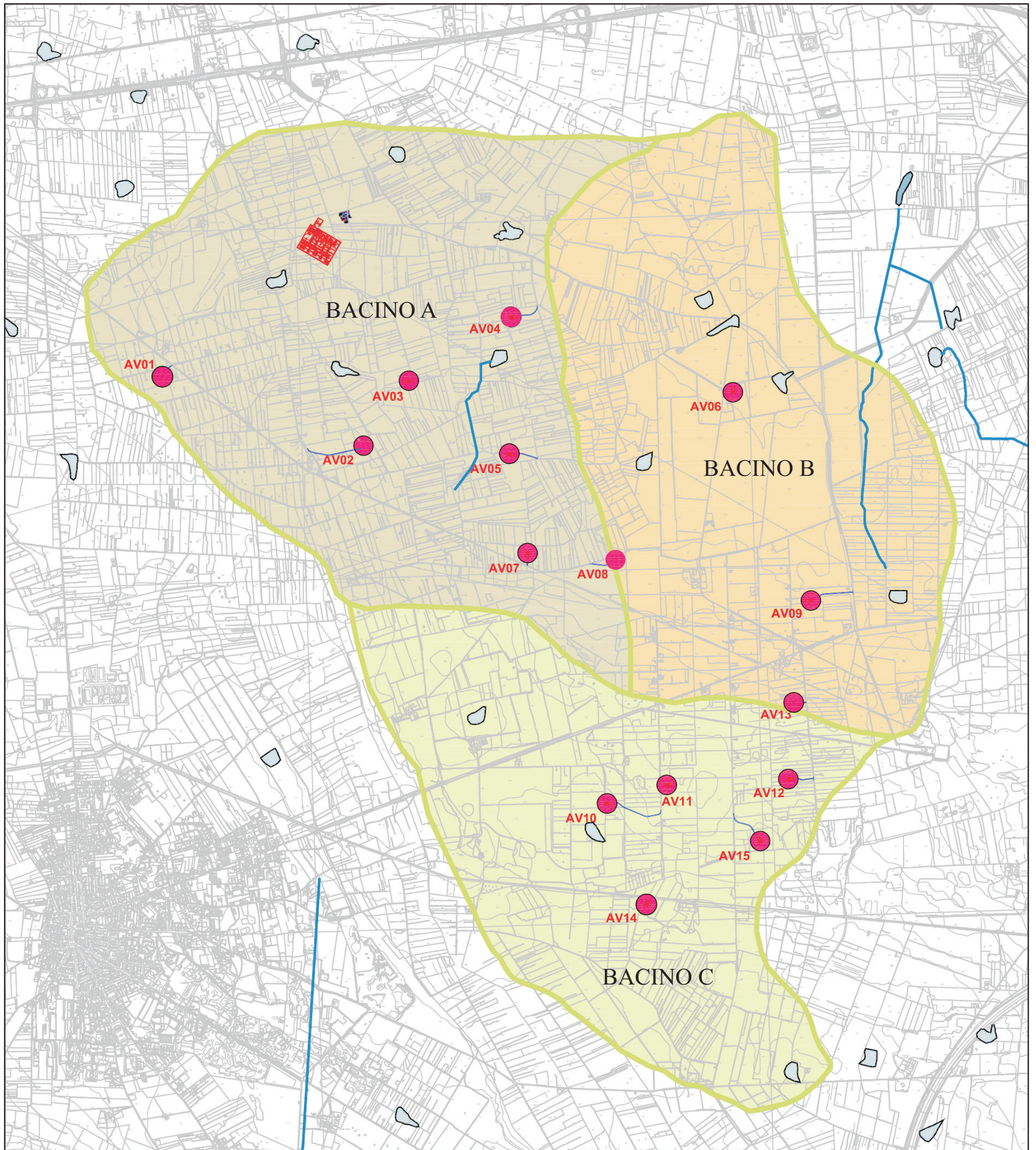
Tab. 14 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino A

n'	0,229065				
a' (mm/h ⁿ)	32,16				
h'_{netta} (30) (mm)	32,16	41,36	48,48	56,82	66,59
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni $h'_{\text{netta}}(t,30) = 32,16 \cdot t^{0,229065}$					
n'	0,226654				
a' (mm/h ⁿ)	57,61				
h'_{netta} (200) (mm)	57,61	73,89	86,47	101,18	118,39
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni $h'_{\text{netta}}(t,200) = 57,61 \cdot t^{0,226654}$					
n'	0,225897				
a' (mm/h ⁿ)	70,25				
h'_{netta} (500) (mm)	70,25	90,03	105,30	123,15	144,02
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni $h'_{\text{netta}}(t,500) = 70,25 \cdot t^{0,225897}$					







Tab. 15 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino B

n'	0,227978				
a' (mm/h ⁿ)	32,51				
h'netta (30) (mm)	32,51	41,76	48,91	57,28	67,09
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni $h'_{netta}(t,30) = 32,51 \cdot t^{0,227978}$					
n'	0,225567				
a' (mm/h ⁿ)	58,24				
h'netta (200) (mm)	58,24	74,62	87,24	102,01	119,27
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni $h'_{netta}(t,200) = 58,24 \cdot t^{0,225567}$					
n'	0,224810				
a' (mm/h ⁿ)	71,01				
h'netta (500) (mm)	71,01	90,90	106,23	124,14	145,08
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni $h'_{netta}(t,500) = 71,01 \cdot t^{0,224810}$					

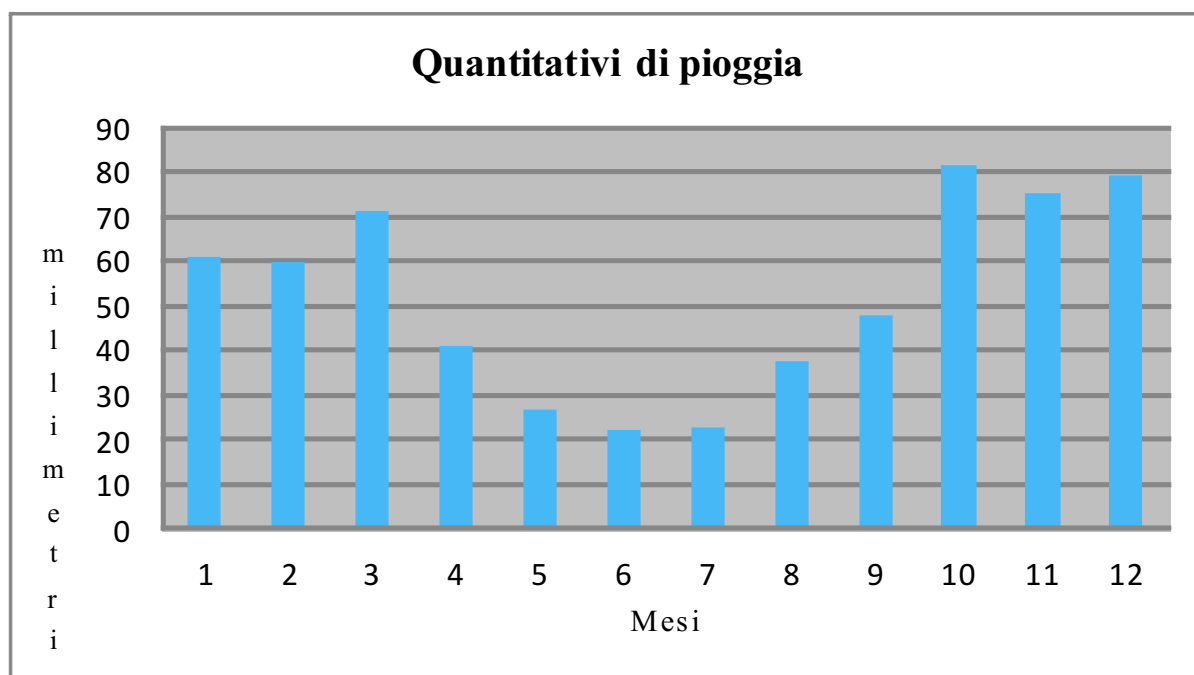
Tab. 16 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino C



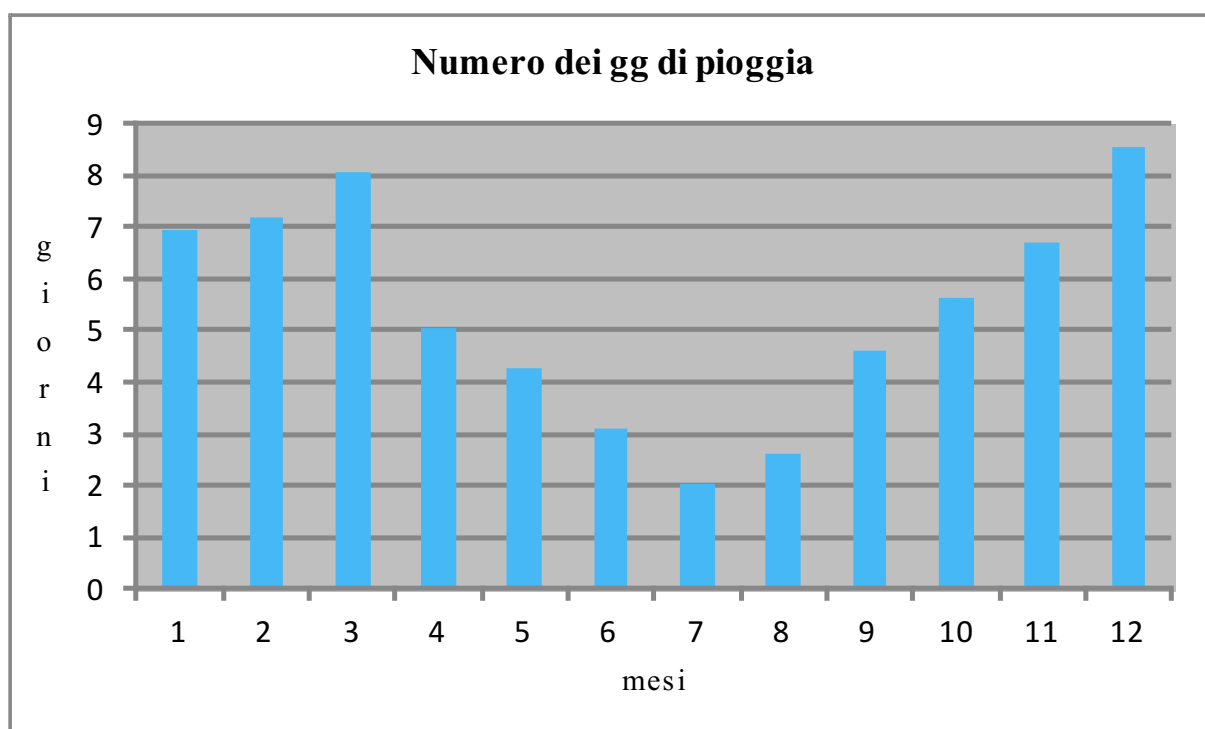
Legenda

- | | | | |
|--|--------------------|--|-------------------------------------|
|  | Bacino endoreico A |  AV | Ubicazione aereogeneratori |
|  | Bacino endoreico B |  | Reticolo rilevato |
|  | Bacino endoreico C |  | Recapito finale di bacino endoreico |

DIAGRAMMI PRECIPITAZIONI



Tab. A : Diagramma dei quantitativi di pioggia espressi in mm relativi alla stazione pluviometrica di Avetrana riferiti ad un intervallo temporale compreso tra il 1967 ed il 1996.



Tab. B : Diagramma dei gg di pioggia relativi alla stazione pluviometrica di Avetrana riferiti ad un intervallo temporale compreso tra il 1967 ed il 1996.

Anni	Massima intensità nell'intervallo di ore					Numero di giorni		Notevole intensità e breve durata		
	1	3	6	12	24	1	2	secondi	mm	I(mm/s)
1967	31,6	32,4	32,4	42,0	52,0	47,0	59,2	1800	26,0	0,014
1968	35,8	56,2	61,4	62,4	62,4	62,4	62,4	7200	53,0	0,007
1969						54,5	54,5			
1970	48,0	53,4	53,6	53,8	64,4	53,8	84,2	1800	35,0	0,019
1971						30,2	40,0	1800	24,4	0,013
1972	29,0	31,4	35,8	47,2	53,2	44,0	59,0	2400	28,8	0,012
1973	18,2	32,8	46,2	59,8	69,8	69,8	74,4	1200	16,2	0,013
1974	51,2	52,4	68,0	81,4	85,8	74,3	86,8	2100	32,8	0,015
1975	60,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,2	3000	57,0	0,019
1976	31,0	53,4	60,4	73,8	99,8	98,0	125,8	900	18,2	0,020
1977	37,0	38,0	40,6	41,2	46,6	40,0	50,0	1800	30,0	0,016
1978	26,0	30,0	32,6	38,4	56,4	34,6	53,6	2700	18,4	0,006
1979	30,0	49,6	55,4	56,0	56,0	55,4	87,0	900	13,0	0,014
1980	35,0	68,6	74,0	74,8	83,6	81,2	84,6	1200	24,8	0,020
1981	83,8	93,8	93,8	93,8	117,4	93,8	118,0	900	40,0	0,044
1982	23,4	23,4	43,4	56,0	76,2	55,6	82,8	900	21,4	0,023
1983	52,8	87,0	106,0	120,4	135,8	118,8	137,0	1800	51,0	0,028
1984	70,0	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	1800	35,0	0,019
1985	25,8	34,2	49,0	62,2	79,8			300	14,0	0,046
1986	48,0	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	1800	32,0	0,017
1987	28,0	39,8	50,4	94,8	97,0	95,2	97,0	300	12,2	0,040
1988	20,8	44,6	58,8	64,4	64,6	64,6	78,0	600	10,8	0,018
1989	38,0	47,8	47,8	47,8	66,8	48,2	73,8	300	11,2	0,037
1990	26,8	37,6	41,6	44,0	68,4	65,0	81,4			
1991	22,0	28,0	44,8	54,4	54,4	51,0	54,4	300	7,4	0,024
1992	23,6	28,8	43,6	58,0	70,4	70,0	72,6	300	8,4	0,028
1993	17,0	19,4	27,4	37,6	48,6	42,4	52,8	1800	16,0	0,008
1994	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	1800	40,0	0,022
1995	69,0	92,8	95,4	98,4	98,4	93,8	118,2	900	34,0	0,037
1996	47,4	93,0	150,0	197,8	198,2	198,0	201,2	900	22,0	0,024

Quadro riepilogativo delle precipitazioni massime avvenute negli intervalli considerati e precipitazioni di notevole intensità e breve durata riferite alla stazione pluviometrica di Avetrana

Equazione di possibilità pluviometrica (m = 5)

Tr =30 anni

t (ore)	1	3	6	12	24
x = log t	0,000	0,477	0,778	1,079	1,380
g = sommatoria x	3,714				
k= logt ²	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	1,917286	2,086562	2,138213	2,199359	2,215112
z = x * y	0	0,995499	1,66353	2,373108	3,056855
p = sommatoria z	8,088992				
q = sommatoria y	10,55653				
q * g	39,20696				
m*p = 5 *p	40,44496				
A = q*g - 5*p =	-1,238				
g ²	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g ² - 5r	-5,7112				
n = A/B	0,216767				
n * r	0,845606				
C = p-nr	7,243385				
loga = C/g	1,950292				
a	89,18				

$$h = 89,18 t^{0,2167}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

h = 89,18 mm

Equazione di possibilità pluviometrica (m = 5)

Tr = 200 anni

t (ore)	1	3	6	12	24
x = log t	0,000	0,477	0,778	1,079	1,380
g = sommatoria x	3,714				
k = log t ²	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	2,049677	2,225141	2,273811	2,335746	2,343457
z = x * y	0	1,061615	1,769025	2,52027	3,23397
p = sommatoria z	8,58488				
q = sommatoria y	11,22783				
q * g	41,70017				
m*p = 5 * p	42,9244				
A = q*g - 5*p =	-1,22423				
g ²	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g ² - 5r	-5,7112				
n = A/B	0,214356				
n * r	0,836203				
C = p-nr	7,748677				
loga = C/g	2,086343				
a	121,99				

$$h = 121,99 t^{0,2143}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

$$h = 121,99 \text{ mm}$$

Equazione di possibilità pluviometrica (m = 5)

Tr = 500 anni

t (ore)	1	3	6	12	24
x = log t	0,000	0,477	0,778	1,079	1,380
g = sommatoria x	3,714				
k = logt ²	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	2,10112	2,278505	2,326253	2,388433	2,393623
z = x * y	0	1,087075	1,809825	2,577119	3,3032
p = sommatoria z	8,777219				
q = sommatoria y	11,48793				
q * g	42,66619				
m*p = 5 * p	43,8861				
A = q*g - 5*p =	-1,21991				
g ²	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g ² - 5r	-5,7112				
n = A/B	0,213599				
n * r	0,833249				
C = p-nr	7,94397				
loga = C/g	2,138926				
a	137,69				

$$h = 137,69 t^{0,2135}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

$$h = 137,69 \text{ mm}$$