

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA  
POTENZA NOMINALE 34,5 MW

REGIONE PUGLIA  
PROVINCIA di BRINDISI  
COMUNE di BRINDISI  
Località: Santa Teresa, Specchione, Pozzella, Scolpito

PROGETTO DEFINITIVO  
Id AU 8G4G710

Tav.:

Titolo:

R23

RELAZIONE IDROLOGICA

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

N.A.

A4

8G4G710\_RelazioneIdrologica\_23

Progettazione:

Committente:

STC S.r.l.



Via V. M. STAMPACCHIA, 48 - 73100 Lecce  
Tel. +39 0832 1798355  
studiodicalcarella@gmail.com - fabio.calcarella@gnedil.com

Direttore Tecnico: Dott. Ing. Fabio CALCARELLA



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

TOZZIgreen

Via Brigata Ebraica, 50 - 48123 Mezzano (RA)  
Tel. +39 0544 525311 - Fax +39 0544 525319  
pec: tozzi.re@legalmail.it - www.tozziholding.com

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
31 luglio 2017	Prima emissione	VdA	FC	TOZZI GREEN S.p.a.

## INDICE

<b><u>1. PREMESSA</u></b> .....	2
<b><u>2. LINEAMENTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DELL'AREA D'INTERVENTO</u></b> .....	3
<b><u>3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO</u></b> .....	4
<b><u>4. PERIMETRAZIONE DEI BACINI</u></b> .....	4
<b><u>5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE GENERALI</u></b> .....	5
5.1 <i>Precipitazioni</i> .....	5
<b><u>6. STUDIO IDROLOGICO</u></b> .....	6
6.1 <i>Regolarizzazione di Gumbel</i> .....	7
6.2 <i>Metodo di regionalizzazione</i> .....	10
6.3 <i>Calcolo dell'altezza di pioggia efficace</i> .....	13
6.4 <i>Calcolo della linea segnalatrice di possibilità climatica</i> .....	17
6.5 <i>Calcolo delle portate di piena</i> .....	20
6.5 <i>Determinazione dell'andamento orario della portata di pioggia</i> .....	22

## 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 di potenza pari a 34.5 Mw nel territorio di Brindisi*” proposto dalla Tozzigreen S.p.a. con sede in via Brigata Ebraica, 50 – Mezzano (RA).

Il parco eolico di *Brindisi – Santa Teresa* sarà costituito da 10 aerogeneratori, tipo Vestas con potenza unitaria pari a 3.45 MW, per potenza complessiva installata di 34.5 MW. L’area di progetto sarà situata nel territorio comunale di Brindisi, a sud-ovest della frazione di Tutturano ad una distanza minima (aerogeneratore n. 10) di oltre 4 km dall’abitato della frazione stessa. Inoltre il Parco Eolico sarà ubicato a 4-5 km a sud della SE Terna denominata Brindisi Sud.

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 uliveti; le quote altimetriche saranno comprese tra gli 80 ed i 50 metri s.l.m.m.

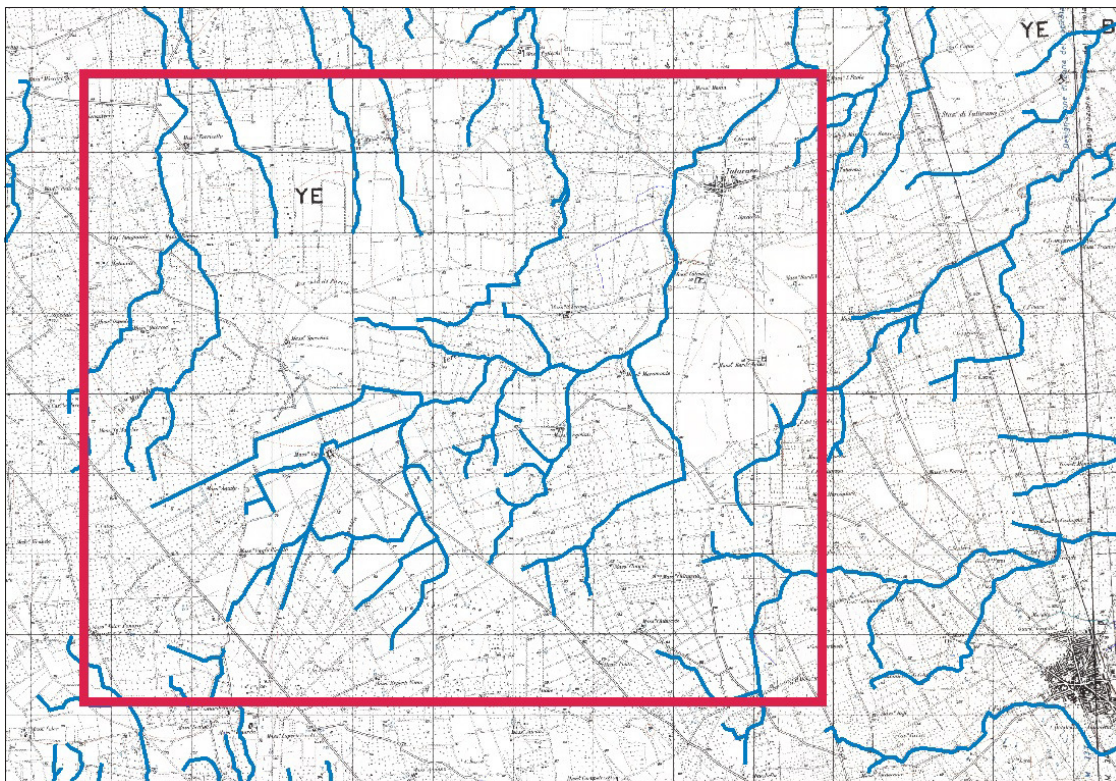


Figura 1– Carta idrogeomorfologica della Puglia (in rosso area di studio)

L'opera progettuale, nel suo sviluppo superficiale, pur non interessando direttamente nessuna delle aree delimitate dal PAI a rischio idrogeologico, va ad intersecare alcune porzioni del reticolo idrografico presente (Vedere Fig. 1), pertanto si è ritenuto necessario verificare gli effetti che gli interventi progettuali possono produrre sull'equilibrio idrogeologico dell'area interessata.

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.

Successivamente, seguendo le indicazioni riportate nella Relazione di Piano del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico redatto dall'Adb della Regione Puglia, sono state calcolate le portate massime, relative alla sezione di chiusura del bacino, per eventi critici di pioggia con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

## **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 verso il basso, 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 compreso nell'ordine di 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.

Nell'area oggetto degli interventi progettuali, è presente una falda superficiale, "Acquifero dell'area brindisina", con una superficie piezometrica che oscilla mediamente tra i 5-7 metri dal p.c.

### **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. 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.

### **4. PERIMETRAZIONE DEI BACINI**

Come già accennato nella premessa, lo sviluppo lineare dell'intervento, fa sì che venga interessata un vasta porzione di territorio con medesime caratteristiche morfologiche e idrogeologiche.

I bacini, sono stati delimitati attraverso un attento rilevamento sul terreno, tenendo conto delle naturali pendenze della superficie topografica, della presenza di edifici e/o altre opere di un certo rilievo, delle strade e di eventuali opere di regimentazione delle acque di pioggia. (Vedere All.1 – Delimitazione bacini idrografici)

Inoltre, per tutti i corsi d'acqua rilevati sulla Carta Idrogeomorfologica redatta dall'AdB Puglia e presenti sul PUG di Brindisi, è stata verificata l'effettiva presenza sul terreno, attraverso puntuali e meticolosi rilievi sul campo. Pertanto sulle cartografie

utilizzate per le verifiche idrauliche, sono presenti esclusivamente i corsi d'acqua rilevati sul terreno.

## **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 **San Pietro Vernotico** (BR).

### **5.1 PRECIPITAZIONI**

L'area indagata, pur risultando interamente compresa nei limiti del comune di Brindisi, risulta territorialmente vicina all'abitato di San Pietro Vernotico, dove è presente una stazione di raccolta di dati pluviometrici. 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 Brindisi (stazione più vicina al sito di progetto dopo quella di San Pietro Vernotico), 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 ore e quelle relative al numero di giorni (1 e 2 giorni). Inoltre vengono riportate le precipitazioni mensili per l'intervallo considerato.

Dall'analisi di questi dati, il mese più piovoso risulta essere Novembre (con un valore medio pari a 80,23 mm), mentre il mese più asciutto è Luglio (con un valore pari a 16,29 mm) - Ved. Tab. A Allegato 2; il mese con il numero più elevato di giorni piovosi è Dicembre (circa 8,84 gg), quello con il più basso è Luglio (circa 2,74 gg) – Ved. Tab B Allegato 2; a tal riguardo è bene evidenziare che i dati inseriti in Tab. B, 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 1970 con un'altezza pari a 211,6 mm; la precipitazione massima nell'arco delle 48 ore è avvenuta sempre nel 1970 con 211,6 mm; le precipitazioni massime di notevole intensità e breve durata, sempre nel periodo considerato, è avvenuta nel 1985 con un'altezza di 12,6 mm in 5 minuti. (Ved. Allegato 3)

## **6. STUDIO IDROLOGICO**

Per stimare le portate di piena riferite a dei bacini idrografici non monitorati e di non eccessive dimensioni, spesso si ricorre a dei metodi affidabili dal punto di vista scientifico e notevolmente semplificati per rendere più agevole il calcolo.

La portata, nella maggior parte dei casi, è originata dalle precipitazioni meteoriche, e più in generale dipenderà dalle caratteristiche molto variabili sia nel tempo che nello spazio, delle trasformazioni che l'acqua subisce durante il suo ciclo idrologico. Secondo tale ciclo, parte delle acque di precipitazione che interessano un dato bacino fluiscono nel sottosuolo per “*infiltrazione*” e vanno ad alimentare la falda, parte viene assorbita dalle piante e dagli organismi presenti sul suolo, parte ritorna in testa al ciclo, direttamente in forma di vapore

per i fenomeni diretti di evaporazione o evapotraspirazione delle piante, e la parte più cospicua va a formare il deflusso superficiale.

Le rilevazioni disponibili relative ai dati pluviometrici si riferiscono alla stazione pluviometrica di San Pietro Vernotico (BR), e prendono in considerazione eventi verificatisi in un intervallo temporale compreso tra il 1967 ed il 1996.

### **6.1 REGOLARIZZAZIONE DI GUMBEL**

L'elaborazione dei dati pluviometrici porta alla costruzione *dell'equazione di possibilità pluviometrica* per quel determinato periodo di ritorno. Per fare questo, e cioè valutare quale sia il periodo di tempo espresso in anni (tempo di ritorno  $T_r$ ) nel quale sia, mediamente, eguagliato o superato occorre procedere, disponendo di una serie di osservazioni sufficientemente estesa, con opportuni algoritmi statistici-probabilistici che consentano di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione disponibile.

Per quanto riguarda la legge teorica di distribuzione delle probabilità, trattandosi di eventi massimi, il modello che meglio interpreta i valori e che più adeguatamente descrive il fenomeno è quello doppio-esponenziale di **Gumbel**.

La distribuzione di probabilità asintotica di *Gumbel* (distribuzione doppia esponenziale) può scriversi:

$$P_{(h)} = e^{-e^{-\alpha(x - \beta)}}$$

dove:

$P_{(h)}$  = rappresenta la probabilità che l'evento  $h$  non venga superato

$\alpha$   $\beta$  = sono i parametri della legge di Gumbel

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$  dipendono dalla media e dallo scarto quadratico medio tramite la relazione:

$$\alpha = 1,28/s_{(h)} \qquad \beta = m_{(h)} - 0,45 \cdot s_{(h)}$$

dove  $m_{(h)}$  è il valore medio degli eventi considerati ed  $s_{(h)}$  lo scarto quadratico medio delle variabili in esame.

$$m_{(h)} = \sum_i h_i / N \quad \text{media delle } N \text{ osservazioni}$$



$$S_{(h)} = \sqrt{\sum_i [h_i - m_{(h)}]^2 / N - 1} \quad \text{scarto quadratico medio}$$

Ricordando che il tempo di ritorno è l'inverso della probabilità di superamento dell'evento  $1 - P$ , ossia  $T = 1 / (1 - P)$ , ed esprimendo la probabilità in funzione del tempo di ritorno  $T$  si perviene alla seguente equazione:

$$h = m_{(h)} - (1 / \alpha) \ln ( (- \ln ( T - 1 ) / T )$$

Analogamente al *metodo dei momenti*, per adattare la distribuzione al campione, si può utilizzare il *metodo dei minimi quadrati*.

In questo caso avremo che:

$$X_{(Tr)} = m_{(h)} + F \cdot s_{(h)}$$

dove:

$m_{(h)}$  = valore medio degli eventi considerati

$s_{(h)}$  = scarto quadratico medio delle variabili in esame

$F$  = fattore di frequenza

Il fattore di frequenza  $F$  è uguale a:

$$F = (Y_{(Tr)} - m_{(z)}) / s_{(z)}$$

con  $Y_{(Tr)}$  variabile ridotta, mentre  $m_{(z)}$  e  $s_{(z)}$  rappresentano la media e lo scarto quadratico medio della variabile ridotta, entrambe funzioni del numero  $n$  delle osservazioni.

Sostituendo si ha:

$$X_{(Tr)} = m_{(h)} - (s_{(h)} / s_{(z)}) \cdot m_{(z)} + (s_{(h)} / s_{(z)}) \cdot Y_{(Tr)}$$

dove la quantità  $m_{(h)} - (s_{(h)} / s_{(z)}) \cdot m_{(z)}$  rappresenta il valore con massima frequenza probabile ed è chiamato *moda*, mentre il rapporto  $(s_{(h)} / s_{(z)})$  viene generalmente indicato con  $a$ .

La funzione  $Y_{(Tr)}$  è legata alla  $T_r$  dalla relazione:

$$Y_{(Tr)} = - \ln ( - \ln ( ( T_r - 1 ) / T_r ) )$$

Nelle tabelle sottostanti si riportano l'elaborazione dei parametri sopra indicati per le differenti durate di pioggia, e per un tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni (vedere Allegati 4 - 5 - 6:

valori	1h	3h	6h	12h	24h
<b>m(h)</b>	32,293	46,180	54,580	63,047	74,773
<b>s(h)</b>	14,61	25,46	32,92	35,35	33,99
<b>m(z)</b>	0,5772	0,5772	0,5772	0,5772	0,5772
<b>s(z)</b>	1,283	1,283	1,283	1,283	1,283
<b>a = s(z) / s(h)</b>	0,087817	0,050393	0,038973	0,036294	0,037746
<b>b= m(z)/ a</b>	6,572792	11,45402	14,81015	15,90337	15,29153
<b>u= m(h) - b</b>	25,7202	34,7260	39,7698	47,1436	59,4815

Tab. 1

<b>Altezze lorde di pioggia relative alle serie orarie dei dati pluviometrici con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</b>					
	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>
Tr 30 - X(30) mm	64,25508	101,87846	126,59859	140,38167	149,13242
Tr 200 - X(200) mm	86,05051	139,86010	175,70918	193,11737	199,83924
Tr 500 - X(500) mm	96,48135	158,03731	199,21247	218,35556	224,10646

Tab. 2

Per verificare l'affidabilità della statistica è stato eseguito il test di Kolmogorov (Alleg. 7).

Il test si articola nei seguenti passaggi:

- ordinamento crescente dei dati pluviometrici per ogni durata considerata (1-3-6-12-24 ore);
- calcolo della frequenza cumulata, con  $n$  numero d'ordine del dato ed  $N$  numero di dati della serie considerata:

$$F(x) = \frac{n}{N + 1}$$

- calcolo della distribuzione di Gumbel per ogni dato pluviometrico:

$$P_{(h)} = e^{-e^{-\alpha(x - \beta)}}$$

- calcolo della quantità  $D_N = \max|F(x) - F_x(x)|$
- verifica che  $D_N \leq \frac{1,36}{\sqrt{N}}$  corrispondente ad un intervallo di confidenza del 95%.

Con un valore di  $D_N = 0,248$  il test di Kolmogorov risulta sempre verificato.

## 6.2 METODO DI REGIONALIZZAZIONE

Nel determinare le portate di piena, riducendo sia le incertezze legate alla presenza di eventi estremi molto rari, sia alla variabilità nei diversi punti del valore indice di piena, si adotta una metodologia nota con il termine di “*analisi regionale*”, che si avvale di modelli concettuali di formazione dei deflussi di piena a partire dalle precipitazioni intense che si verificano sul bacino.

L’analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene viene effettuata attraverso un metodo di analisi regionale di tipo gerarchico, così come indicato nel Cap. VI 3.1 della Relazione di Piano proposta dall’Autorità di Bacino della Puglia.

Tale procedura si basa nel considerare l’esistenza di zone geografiche sempre più ampie, omogenee nei confronti dei parametri statistici della distribuzione, man mano che il loro ordine aumenta.

La Regione Puglia è stata suddivisa in 6 regioni aventi caratteristiche pluviometriche differenti. (Fig. 2)

Per ognuna di esse è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica.

Lo studio condotto nell’area centro-meridionale della Puglia, ha permesso individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota s.l.m. per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione. Il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord- Barese-Murgia centrale, e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, in continuità con quanto visto nella Puglia Settentrionale.

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l’altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per il *Salento*, viene generalizzata nella forma:

$$X(d,z) = 33,7 \cdot d^{[(0,488+0,0022 \cdot z)/3,178]}$$

Questa relazione fornisce per le diverse durate di pioggia  $d$  il valore dell’altezza di pioggia  $X$  considerando anche il valore della quota assoluta  $z$  sul livello del mare.

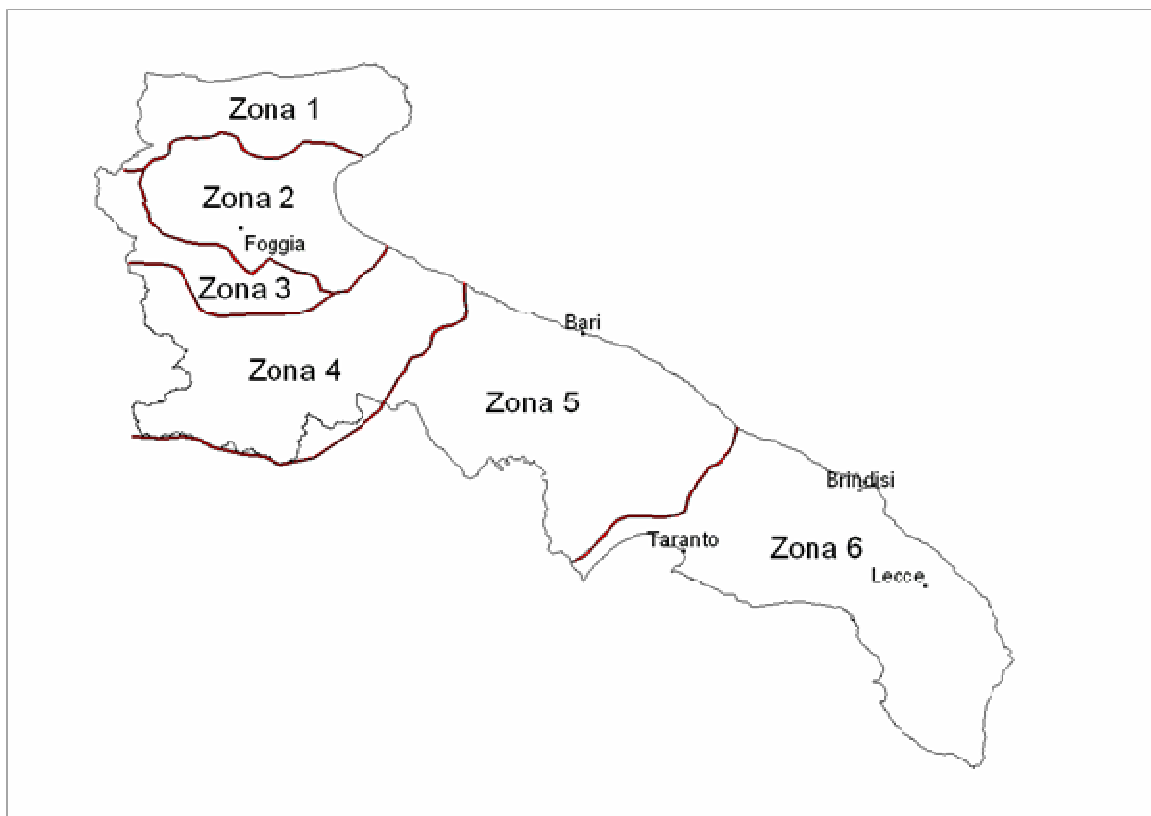


Fig. 2 – Zone omogenee

Ai valori così ottenuti, vanno applicati dei coefficienti moltiplicativi (in funzione di un determinato tempo di ritorno), indicati con  $K_T$ , che per la zona del Salento risulta uguale a:

$$K_T = 0,1599 + 0,5166 \cdot \ln Tr$$

Si assume come altezza  $z$  la quota massima sul livello del mare ricadente all'interno dei bacini d'interesse (Fig. 2).

Caratteristiche fisiografiche						
Bacino idrografico	S (Km <sup>2</sup> )	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (Km)	C (-)
<b>A</b>	27,4	81	67,2	53,5	8,6	0,80
<b>B</b>	1,1	66,7	62,4	58,2	2,1	0,80

Tab. 3 – Caratteristiche dei bacini individuati

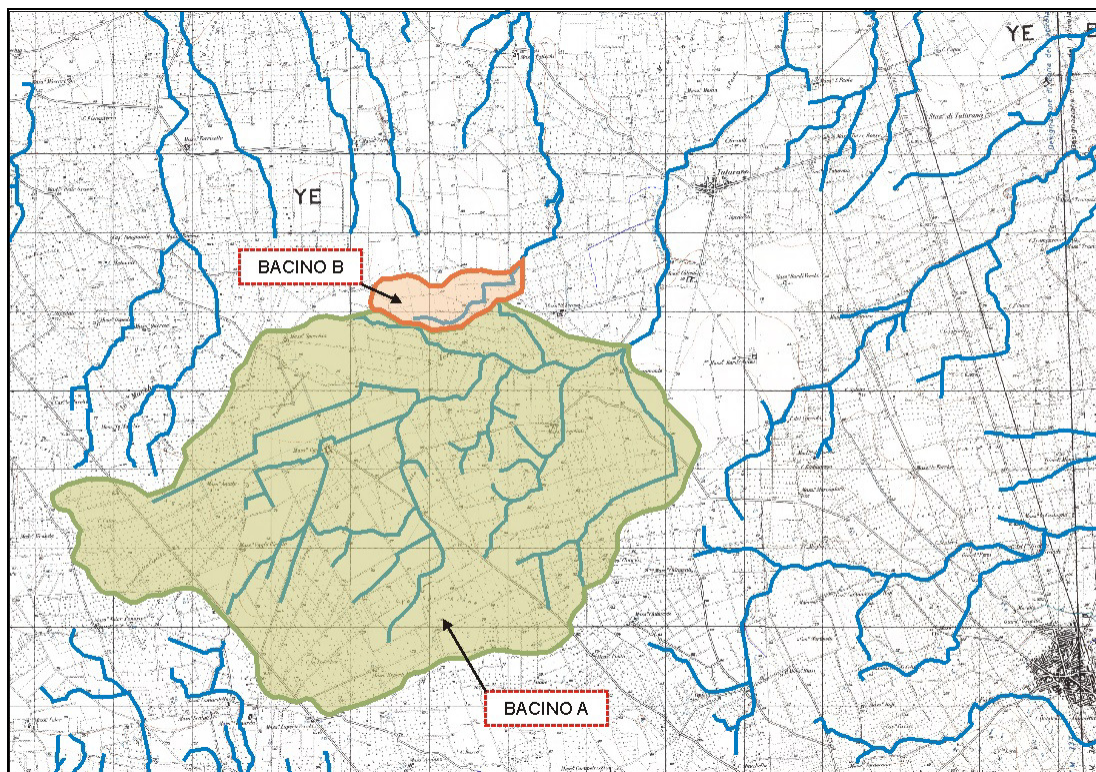


Figura 3 – Bacini idrografici (Bacino A e B) oggetto di studio su base IGM

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

<b>Altezze lorde di pioggia – Bacino A</b>					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	33,7	42,4	49,1	56,8	65,7
<b>Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</b>					
z (m)	81				
Tr (anni)	30				
$K_T(30)$	1,92				
X(30) (mm)	64,7	81,40	94,27	109,05	126,14
Tr (anni)	200				
$K_T(200)$	2,9				
X(200) (mm)	97,73	122,96	142,39	164,72	190,53
Tr (anni)	500				
$K_T(500)$	3,37				
X(500) (mm)	113,56	142,88	165,46	191,41	221,41

Tab. 4 – Eventi critici di pioggia relativi al **Bacino A**

<b>Altezze lorde di pioggia – Bacino B</b>					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	33,7	41,9	48,2	55,3	63,5
<b>Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</b>					
z (m)	66,7				
Tr (anni)	30				
K <sub>T</sub> (30)	1,92				
X(30) (mm)	64,7	80,45	92,54	106,17	121,92
Tr (anni)	200				
K <sub>T</sub> (200)	2,9				
X(200) (mm)	97,73	121,51	139,78	160,37	184,15
Tr (anni)	500				
K <sub>T</sub> (500)	3,37				
X(500) (mm)	113,56	141,20	162,43	186,36	213,99

Tab. 5 – Eventi critici di pioggia relativi al **Bacino B**

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.

### 6.3 CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA EFFICACE

A prescindere dal metodo utilizzato per il calcolo della piena di progetto, 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:

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

$X(\mathbf{d}, \mathbf{Tr})$  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.6):

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. 6: 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 come valori indicati in tabella. (Tab. 7)

<b>Tipo di copertura</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
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
Culture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Culture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Culture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Culture 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 7: 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 = 27,4 Km<sup>2</sup>
- estensione del bacino B = 1,1 Km<sup>2</sup>
- 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:

$$CN = 89 \qquad S = 31,4 \text{ mm}$$

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 (Tab. 8 e Tab. 9):

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				
h <sub>netta</sub> (30) (mm)	37,99	52,97	64,84	78,72	94,98
Tr (anni)	200				
h <sub>netta</sub> (200) (mm)	68,07	91,94	110,59	132,23	157,42
Tr (anni)	500				
h <sub>netta</sub> (500) (mm)	82,99	111,06	132,95	158,28	187,73

Tab. 8 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - **Bacino A**

<b>Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni – Bacino B</b>					
d (ore)	1	3	6	12	24
Tr (anni)	30				
h <sub>netta</sub> (30) (mm)	37,99	52,10	63,24	75,99	90,94
Tr (anni)	200				
h <sub>netta</sub> (200) (mm)	68,07	90,55	108,05	128,00	151,18
Tr (anni)	500				
h <sub>netta</sub> (500) (mm)	82,99	109,45	130,00	153,34	180,43

Tab. 9 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - **Bacino B**

#### 6.4 CALCOLO DELLA LINEA SEGNALETTRICE 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 con i grafici relativi alle linee segnalatrici di possibilità climatica.

n	0,26655				
a (mm/h <sup>n</sup> )	37,99				
h <sub>netta</sub> (30) (mm)	37,99	50,91	61,24	73,67	88,62
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 30 anni</b>				<b>h<sub>netta</sub>(t,30) = 37,99 • t<sup>0,26655</sup></b>	
n	0,26812				
a (mm/h <sup>n</sup> )	68,07				
h <sub>netta</sub> (200) (mm)	68,07	91,38	110,05	132,52	159,59
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni</b>				<b>h<sub>netta</sub>(t,200) = 68,07 • t<sup>0,26812</sup></b>	
n	0,26861				
a (mm/h <sup>n</sup> )	83,00				
h <sub>netta</sub> (500) (mm)	83,00	111,49	134,30	161,79	194,90
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni</b>				<b>h<sub>netta</sub>(t,500) = 83,00 • t<sup>0,26861</sup></b>	

Tab. 10 – Linee segnalatrici di possibilità climatica

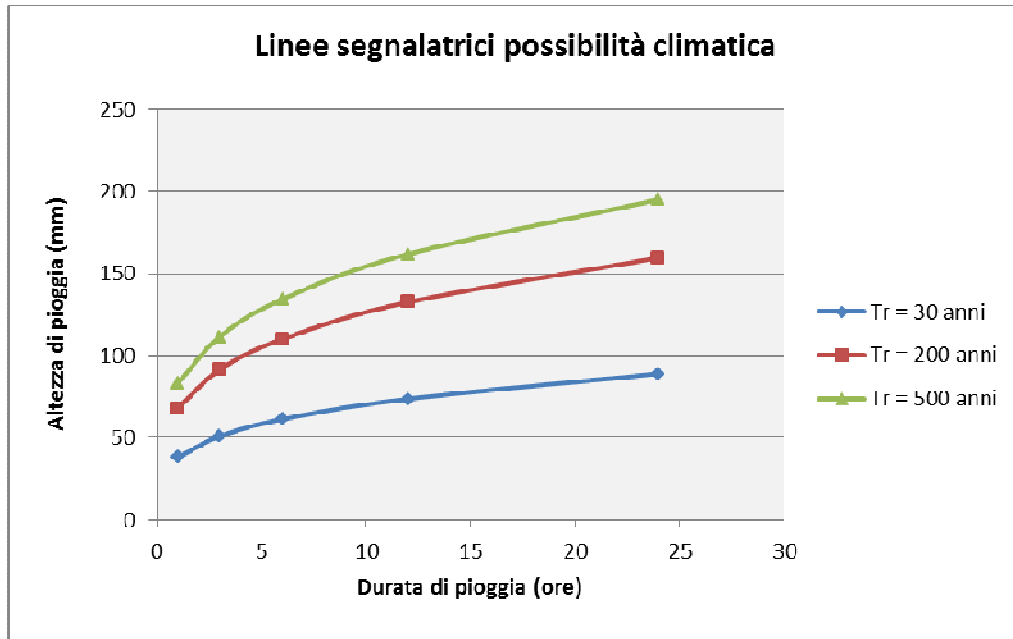


Fig. 4 – Linee segnalatrici di possibilità climatica

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  $A_A = 2740$  ha

con  $A_B = 110$  ha

Si riportano i valori di  $a'$  e  $n'$  calcolati con i diversi tempi di ritorno e le equazioni ed i grafici delle linee di possibilità climatica ragguagliata all'area del bacino.

n'	0,288416				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	29,42				
h'netta (30) (mm)	29,42	40,38	49,32	60,24	73,57
<b>Equazione della linea segnalatrice raggugliata all'area di bacino Tr = 30 anni</b>					<b><math>h'_{netta}(t,30) = 29,42 \cdot t^{0,288416}</math></b>
n'	0,28998				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	52,71				
h'netta (200) (mm)	52,71	72,48	88,62	108,35	132,47
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni</b>					<b><math>h'_{netta}(t,200) = 52,71 \cdot t^{0,28998}</math></b>
n'	0,29047				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	64,27				
h'netta (500) (mm)	64,27	88,42	108,15	132,27	161,77
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni</b>					<b><math>h'_{netta}(t,500) = 64,27 \cdot t^{0,29047}</math></b>

Tab. 11 – Linee segnalatrici di possibilità climatica raggugliate all'area del bacino – **Bacino A**

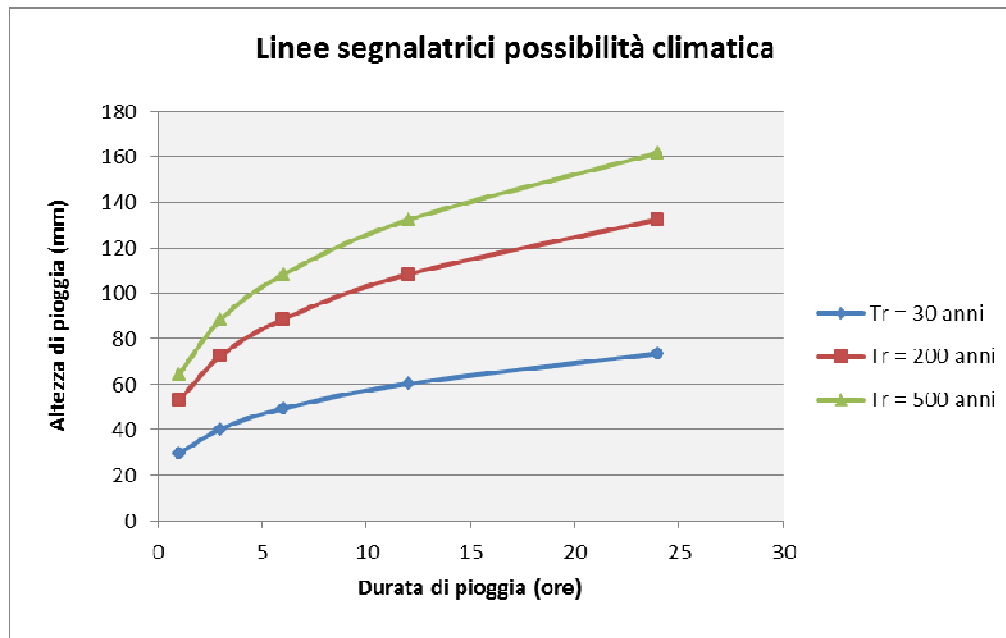


Fig. 5 – Linee segnalatrici di possibilità climatica riferite all'area del bacino – **Bacino A**

n'	0,269726				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	35,62				
h' <sub>netta</sub> (30) (mm)	35,62	47,90	57,75	69,63	83,94
<b>Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni</b>				<b><math>h'_{netta}(t,30) = 35,62 \cdot t^{0,269726}</math></b>	
n'	0,271296				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	63,82				
h' <sub>netta</sub> (200) (mm)	63,82	85,98	103,77	125,23	151,14
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni</b>				<b><math>h'_{netta}(t,200) = 63,82 \cdot t^{0,271296}</math></b>	
n'	0,271780				
a' (mm/h <sup>n</sup> )	77,83				
h' <sub>netta</sub> (500) (mm)	77,83	104,91	126,66	152,91	184,61
<b>Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni</b>				<b><math>h'_{netta}(t,500) = 77,83 \cdot t^{0,271780}</math></b>	

Tab. 12 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – **Bacino B**

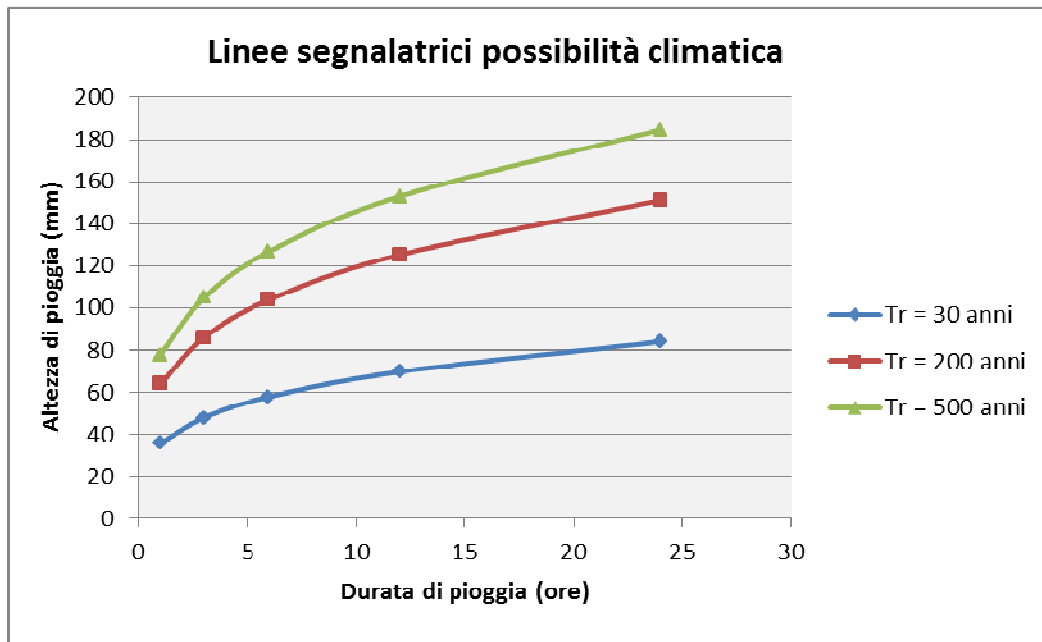


Fig. 6 – Linee segnalatrici di possibilità climatica riferite all'area del bacino – **Bacino B**

### 6.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Il valore massimo della portata,  $Q_{max}(Tr)$ , per un evento di pioggia di assegnato tempo di ritorno  $Tr$ , secondo il metodo della corrivazione, si ha per una durata dell'evento pari a  $t_c$ , detto tempo di corrivazione. Esso è definito come il tempo che impiega l'ultima particella d'acqua caduta sul bacino, nella sezione più lontana da quella di chiusura, a raggiungere

quest'ultima. Per il calcolo del tempo di corrivazione, in ore, è stata utilizzata la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$$

dove:

$A$  è l'area del bacino espressa in  $\text{km}^2$

$L$  è la lunghezza dell'asta pluviale maggiore in km

$H$  è la differenza, in metri, tra la quota media del bacino ( $H_m$ ) e la quota della sezione di chiusura del bacino ( $H_c$ ).

Quindi, si è passati alla determinazione dell'intensità di pioggia, espressa in m/s, per un evento di durata pari a  $t_c$  ed assegnato tempo di ritorno  $Tr$ :

$$i'_c(Tr) = a' * t_c^{n'-1}$$

Infine, è stata calcolata la portata massima, per differenti tempi di ritorno, espressa in  $\text{m}^3/\text{s}$ , utilizzando la seguente relazione:

$$Q_{\max}(Tr) = i'_c(Tr)A$$

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per i due differenti bacini:

	BACINO A	BACINO B
A ( $\text{km}^2$ )	27,4	1,1
L (km)	8,6	2,1
$H_m$ (m)	67,2	62,4
$H_c$ (m)	53,5	58,2
H (m)	13,7	4,2
$t_c$ (ore)	<b>11,42</b>	<b>4,47</b>
Tr = 30 anni		
$i'_c(30)$ (m/s)	$1,44 * 10^{-06}$	$3,31 * 10^{-06}$
<b><math>Q_{\max}(30)</math> (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>	<b>39,57</b>	<b>3,64</b>
Tr = 200 anni		
$i'_c(200)$ (m/s)	$2,59 * 10^{-06}$	$5,95 * 10^{-06}$
<b><math>Q_{\max}(200)</math> (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>	<b>71,15</b>	<b>6,54</b>
Tr = 500 anni		
$i'_c(500)$ (m/s)	$3,17 * 10^{-06}$	$7,26 * 10^{-06}$
<b><math>Q_{\max}(500)</math> (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>	<b>86,86</b>	<b>7,98</b>

**6.6 DETERMINAZIONE DELL'ANDAMENTO ORARIO DELLA PORTATA DI PIOGGIA**

Dalla combinazione del metodo di corrivazione con l'equazione della curva segnalatrice di possibilità climatica relativa ad un determinato tempo di ritorno si può calcolare il valore della portata  $Q$  per un evento di durata  $d$  nel seguente modo:

$$d \leq t_c \Rightarrow Q(Tr) = a' A \frac{d^{n'}}{t_c}$$

$$d \geq t_c \Rightarrow Q(Tr) = a' A d^{n'-1}$$

Tali espressioni presentano un massimo del valore della portata in corrispondenza di un evento di durata esattamente pari al tempo di corrivazione.

Di seguito si riportano i valori ed i grafici relativi all'andamento della portata nelle ventiquattro ore per eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i due differenti bacini:

**BACINO A**

d (ore)	0	1	3	6	11,42	12	24
<b>Q(30) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>19,58</b>	<b>26,91</b>	<b>32,86</b>	<b>39,57</b>	<b>38,19</b>	<b>23,32</b>
d (ore)	0	1	3	6	11,42	12	24
<b>Q(200) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>35,03</b>	<b>48,17</b>	<b>58,89</b>	<b>71,15</b>	<b>68,72</b>	<b>42,01</b>
d (ore)	0	1	3	6	11,42	12	24
<b>Q(500) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>42,70</b>	<b>58,76</b>	<b>71,86</b>	<b>86,86</b>	<b>83,89</b>	<b>51,30</b>

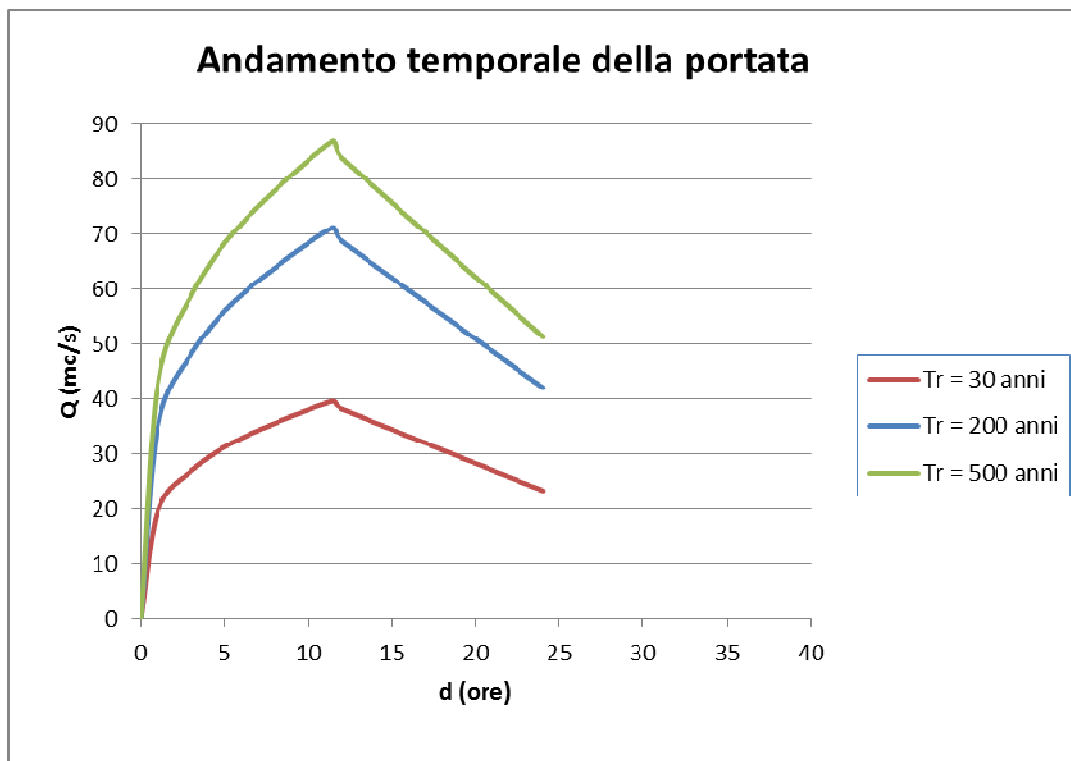


Fig. 7 – Idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno – **Bacino A**

**BACINO B**

d (ore)	0	1	3	4,47	6	12	24
<b>Q(30) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>2,43</b>	<b>3,37</b>	<b>3,64</b>	<b>3,08</b>	<b>1,89</b>	<b>1,16</b>
d (ore)	0	1	3	4,47	6	12	24
<b>Q(200) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>4,35</b>	<b>5,86</b>	<b>6,54</b>	<b>5,27</b>	<b>3,18</b>	<b>1,92</b>
d (ore)	0	1	3	4,47	6	12	24
<b>Q(500) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>0</b>	<b>5,31</b>	<b>7,16</b>	<b>7,98</b>	<b>6,44</b>	<b>3,89</b>	<b>2,34</b>



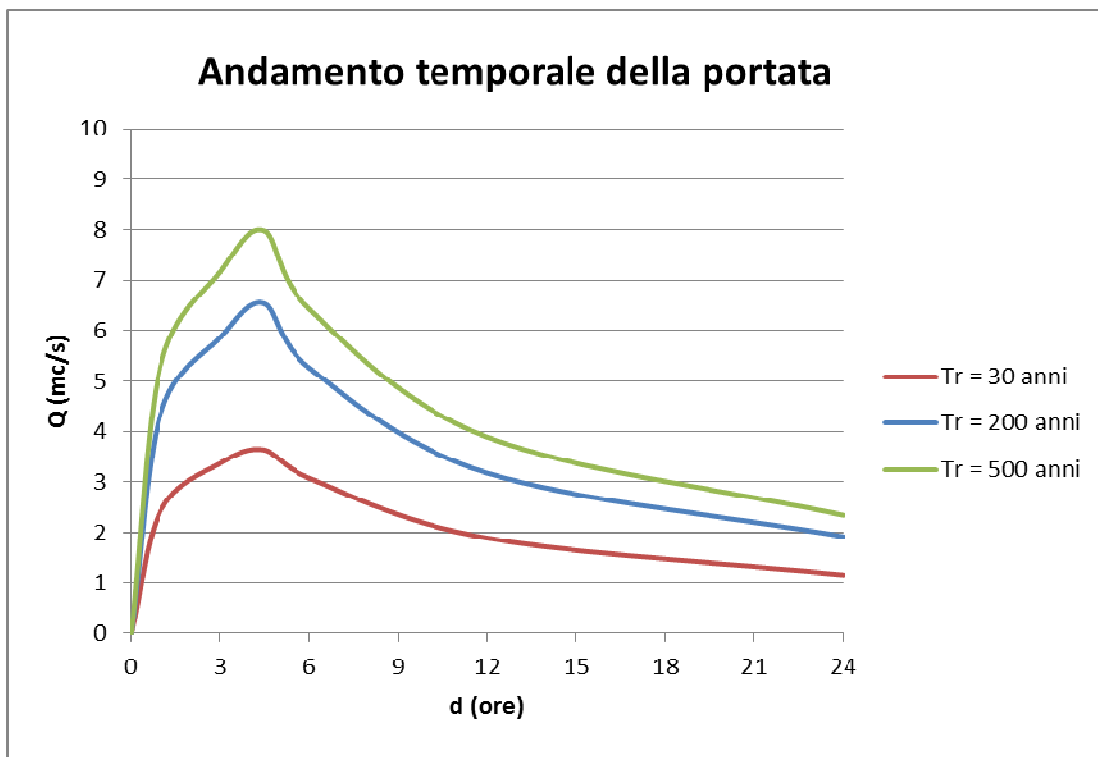
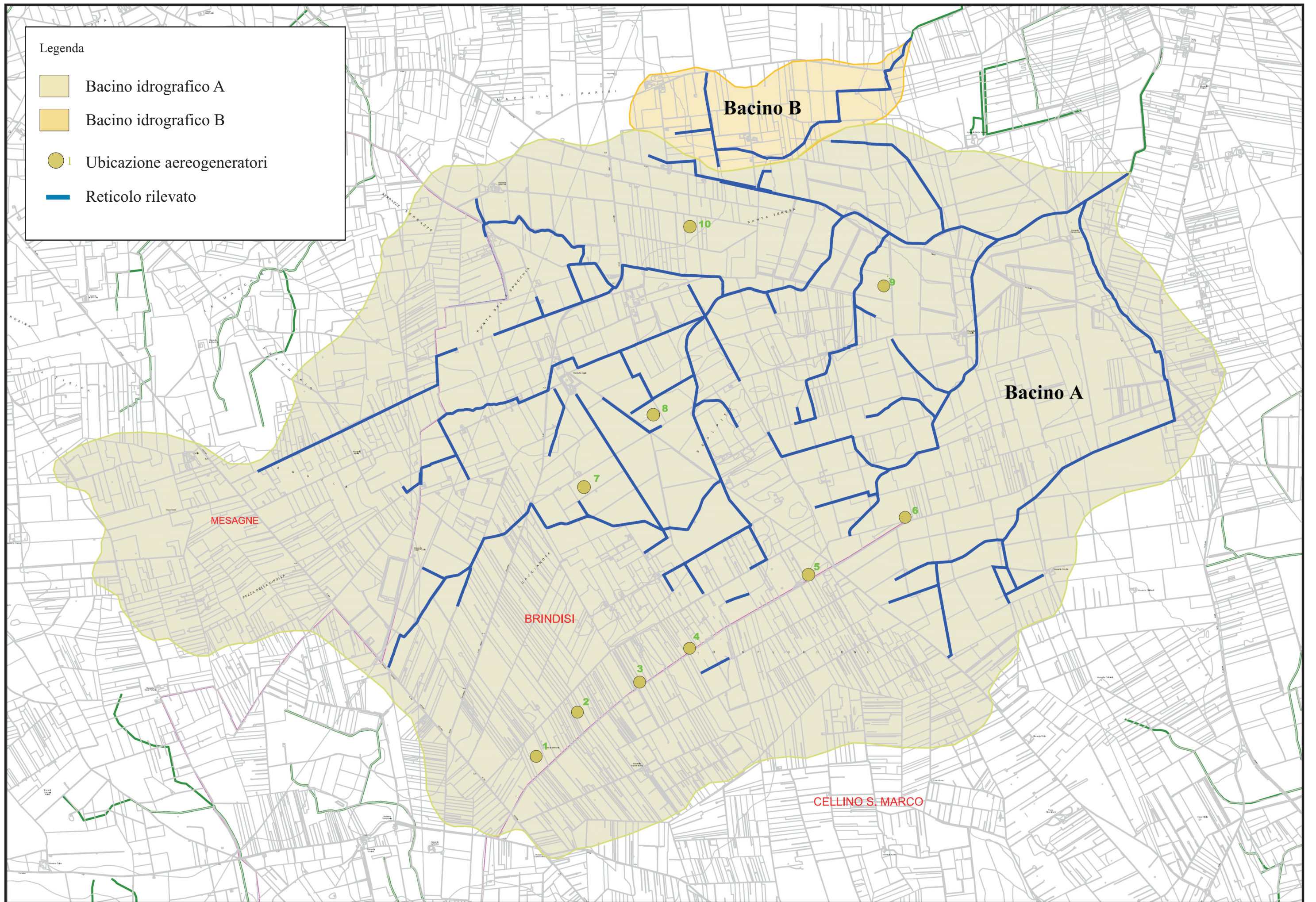
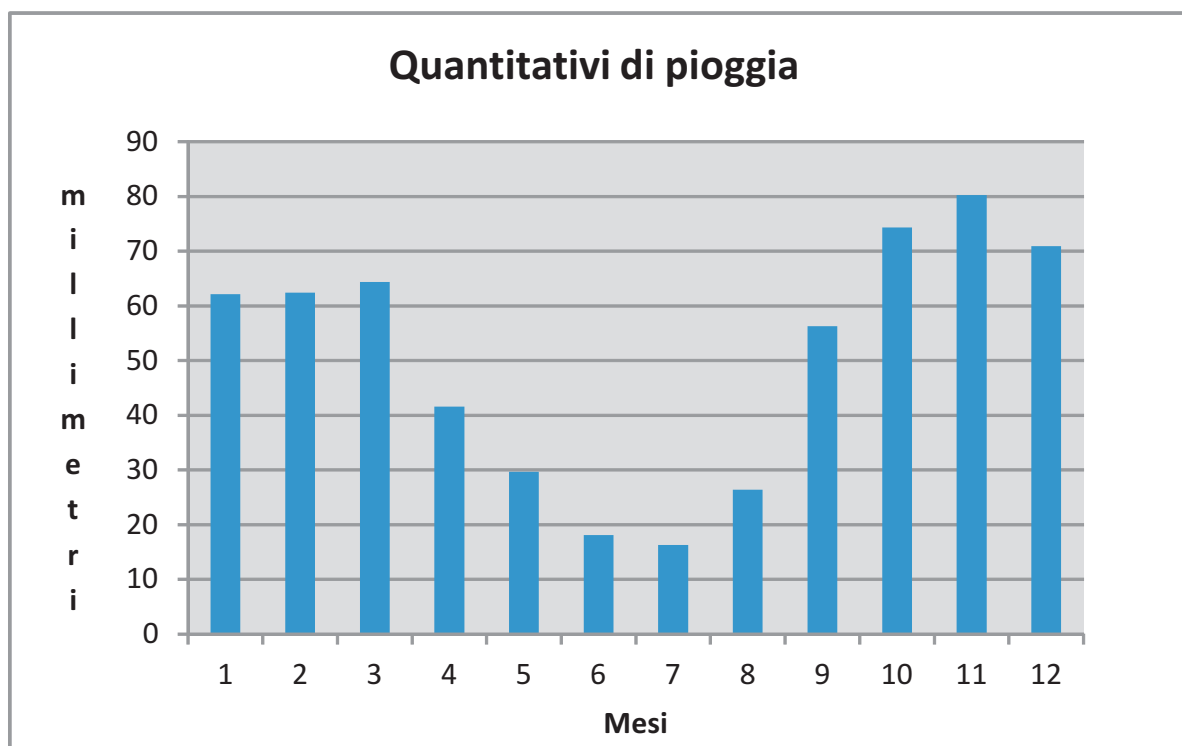


Fig. 8 – Idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno – **Bacino B**

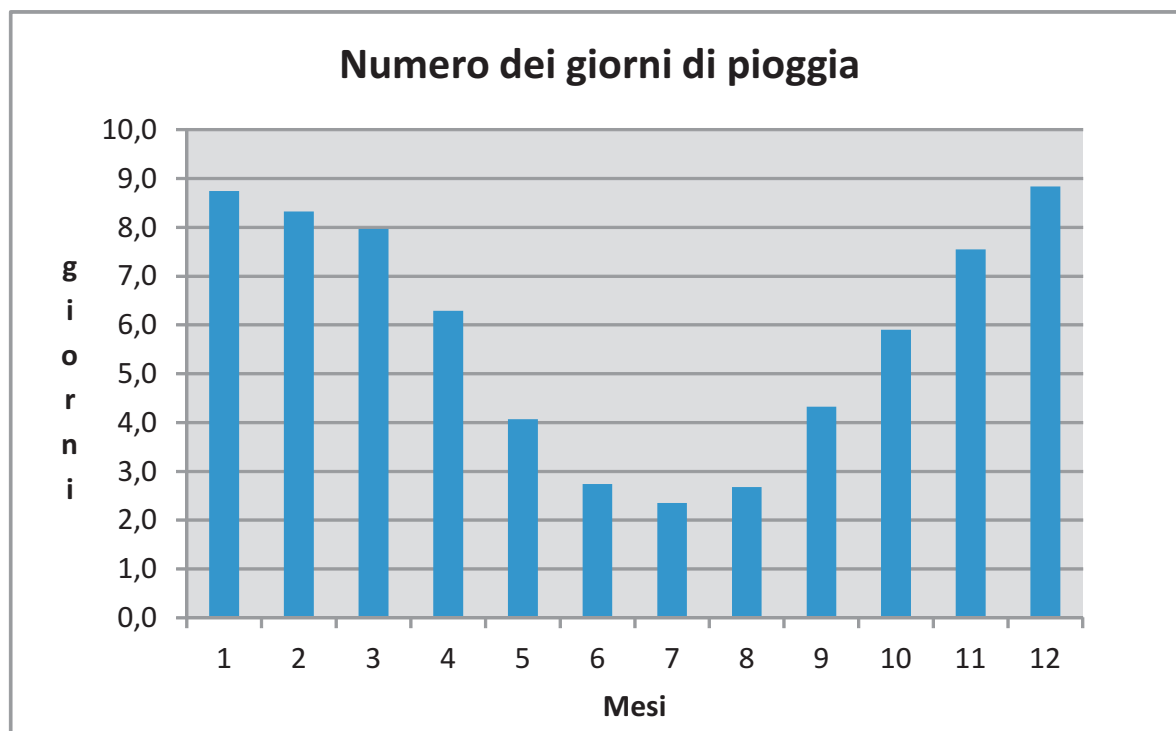
# ALLEGATI



## DIAGRAMMI PRECIPITAZIONI



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



**Tab. B** : Diagramma dei gg di pioggia relativi alla stazione pluviometrica di San Pietro Vernotico 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	38,0	48,4	66,4	73,6	73,6	72,8	73,6	7200	42,4	0,005
1968	23,2	23,8	30,0	30,6	40,0	40,0	51,0	1800	23,2	0,013
1969	35,6	56,4	73,4	97,0	107,4	105,4	116,0	600	11,0	0,018
1970	80,0	148,8	191,4	204,6	211,6	121,0	211,6	9000	148,4	0,016
1971	40,0	68,0	71,6	73,0	80,6	75,6	81,4	5400	56,0	0,010
1972	55,6	71,6	74,0	74,2	101,0	74,2	101,0	2100	43,4	0,021
1973	11,6	22,0	25,8	32,2	49,0	48,6	59,6	1200	11,6	0,009
1974	53,0	56,2	58,2	58,6	85,8	59,8	86,2	2400	49,8	0,020
1975	52,2	74,6	74,6	74,6	74,6	74,6	74,6	900	20,0	0,022
1976	37,6	45,4	53,8	77,6	100,8	97,4	116,8	1200	35,4	0,029
1977	41,4	53,0	56,8	56,8	56,8	56,8	56,8	1800	28,0	0,015
1978	21,2	33,4	34,4	40,0	53,0	52,8	57,6	900	21,2	0,023
1979	20,2	21,0	27,4	43,0	65,4	45,6	74,2	900	20,2	0,022
1980	33,8	70,0	80,8	82,4	83,4	83,4	85,4	1800	31,6	0,017
1981	36,8	42,8	42,8	42,8	70,8	46,0	75,4	1800	30,4	0,017
1982	26,4	26,6	28,4	38,6	59,4	46,6	63,2	1500	22,2	0,015
1983	33,6	38,4	38,4	60,0	80,6	60,0	80,6	1500	32,6	0,021
1984	17,2	32,4	32,4	34,4	59,6	32,4	59,8	1200	12,2	0,010
1985	40,0	47,6	50,8	62,8	65,8	60,0	69,2	300	12,6	0,042
1986	41,0	63,0	70,4	70,4	70,4	67,4	70,4	600	22,0	0,036
1987	28,4	45,2	62,2	86,8	91,0	89,6	91,0	900	10,0	0,011
1988	19,4	46,0	49,0	51,2	52,8	52,8	64,6	900	13,0	0,014
1989	28,8	28,8	28,8	32,2	34,4	34,2	36,4	420	11,0	0,026
1990	15,6	19,2	32,4	54,6	82,2	69,0	93,4	360	8,0	0,022
1991	23,6	26,8	30,6	39,8	39,8	36,2	43,2	600	13,0	0,021
1992	19,2	29,6	47,0	52,4	52,6	52,6	53,0	300	7,4	0,024
1993	18,6	25,6	29,6	42,0	54,2	38,6	55,8	300	7,2	0,024
1994	18,0	25,0	28,8	31,8	48,6	42,0	52,8	300	8,0	0,026
1995	30,8	39,6	41,0	41,0	65,0	43,4	79,2	900	25,0	0,027
1996	28,0	56,2	106,2	132,4	133,0	132,6	152,0	300	7,2	0,024

Quadro riepilogativo delle precipitazioni massime avvenute negli intervalli considerati e precipitazioni di notevole intensità e breve durata riferite alla stazione pluviometrica di San Pietro Vernotico (BR)

### 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 <sup>2</sup>	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	1,807907	2,008082	2,102429	2,14731	2,173572
z = x * y	0	0,958056	1,63569	2,316948	2,999529
p = sommatoria z	7,910223				
q = sommatoria y	10,2393				
q * g	38,02876				
m*p = 5 * p	39,55112				
A = q*g - 5*p =	-1,52235				
g <sup>2</sup>	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g <sup>2</sup> - 5r	-5,7112				
n = A/B	<b>0,266555</b>				
n * r	1,039832				
C = p-nr	6,870391				
loga = C/g	1,849863				
<b>a</b>	<b>64,25</b>				

$$h = 64,25 t^{0,266}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

h = 64,25 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= logt <sup>2</sup>	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	1,934753	2,145694	2,244794	2,285821	2,300681
z = x * y	0	1,023711	1,74645	2,466401	3,174939
p = sommatoria z	8,411501				
q = sommatoria y	10,91174				
q * g	40,52622				
m*p = 5 *p	42,05751				
A = q*g - 5*p =	-1,53129				
g <sup>2</sup>	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g <sup>2</sup> - 5r	-5,7112				
n = A/B	<b>0,26812</b>				
n * r	1,045937				
C = p-nr	7,365564				
loga = C/g	1,983189				
<b>a</b>	<b>86,05</b>				

$$h = 86,05 t^{0,268}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

h =86,05 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 <sup>2</sup>	0,000	0,228	0,605	1,164	1,904
r = sommatoria k	3,901				
y = log h	1,984443	2,19876	2,299317	2,339164	2,350454
z = x * y	0	1,049028	1,788868	2,523958	3,243627
p = sommatoria z	8,605482				
q = sommatoria y	11,17214				
q * g	41,49332				
m*p = 5 *p	43,02741				
A = q*g - 5*p =	-1,53409				
g <sup>2</sup>	13,7938				
m*r = 5*r	19,505				
B = g <sup>2</sup> - 5r	-5,7112				
n = A/B	<b>0,26861</b>				
n * r	1,047848				
C = p-nr	7,557633				
loga = C/g	2,034904				
<b>a</b>	<b>96,48</b>				

$$h = 96,48 t^{0,268}$$

per cui si ha:

per Tc = 1h

h =96,48 mm







