

AGROFOTOVOLTAICO TRE TORRI AGRICOLTURA 4.0

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA,
CON PANNELLI COLLOCATI IN ALTEZZA, DI POTENZA IN GENERAZIONE
PARI A 26,8643 MW E POTENZA IMMESSA IN RETE PARI A 25,82 MW,
DENOMINATO "AFV TRETORRI AGRICOLTURA 4.0"

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI
COMUNI di SAN PANCRAZIO SALENTINO ed ERCHIE
opere connesse nel COMUNE DI ERCHIE (Br) contrada "Tre Torri"
Località ubicazione impianto AFV: Masseria Tre Torri - Erchie (Br)

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU 3A3A5H1



Tav.:	Titolo:	
R21	RELAZIONE IDROLOGICA	
Scala:	Formato Stampa:	Codice Identificatore Elaborato
n.d.	A4	3A3A5H1_RelazioneIdrologica_21

Progettazione:	Committente:
ENERWIND s.r.l. Via San Lorenzo 155 - cap 72023 MESAGNE (BR) P.IVA 02549880744 - REA BR-154453 - enerwind@pec.it MSC innovative solutions s.r.l.s. Via Milizia n.55 - 73100 LECCE (ITALY) P.IVA 05030190754 - msc.innovativesolutions@pec.it Ing. Santo Masilla Responsabile progetto Ing. Fabio Calcarella Dott.Marcello De Donatis - Geologo	TRE TORRI ENERGIA s.r.l. Piazza del Grano n.3 - 39100 BOLZANO (BZ) p. iva 0305799214 - REA BZ 283988 tretorrienergia@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

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Luglio 2022	Prima emissione	M.S.C. S.r.l.s.	Santo Masilla	Tre Torri Energia S.r.l.

Sommario

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO	3
3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO	5
4. DESCRIZIONE DEI LUOGHI E PERIMETRAZIONE BACINI	6
5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE	6
5.1 Precipitazioni	7
6. STUDIO IDROLOGICO	8
6.1 Analisi statistica – Regolarizzazione di Gumbel	9
6.2 Verifica – Test di Kolmogorov	15
6.3 Progetto VA.PI. – Metodo di regionalizzazione	16
6.4 Confronto dei risultati	18
6.5 Calcolo dell’altezza di pioggia efficace.....	19
6.6 Calcolo delle portate di piena.....	23
6.6.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.....	23
6.6.2 Tempo di corrivazione.....	25
6.6.3 Calcolo delle portate di piena e relativo andamento.....	26
7. CONCLUSIONI	29
8. ALLEGATI	29

1. PREMESSA

Il presente documento, redatto secondo quanto prescritto dal comma 1 b) dell'art. 26 D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207, è stato condotto allo scopo di studiare la compatibilità idrologica del progetto di costruzione di un impianto AGROFOTOVOLTAICO con produzione di energia da fonte fotovoltaica di potenza pari a 25,82 MW associato a produzione agricola, da realizzarsi nel territorio dei Comuni di Erchie (BR) e San Pancrazio Salentino (BR), proposto dalla Tre Torri Energia S.r.l..

Il parco agrofotovoltaico di San Pancrazio Salentino sarà costituito da 40.096 moduli per una potenza complessiva installata di 26.864,82 MW.

Le parti dell'impianto interesseranno due aree agricole ricadenti nei Comuni di San Pancrazio Salentino e di Erchie, nella parte sud-orientale della provincia di Brindisi al confine con le province di Lecce e Taranto, a 11 km circa dalla costa ionica.

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 dall'impianto, saranno comprese tra i 64 ed i 59 metri s.l.m.m; mentre raggiungeranno valori di circa 66 metri s.l.m.m in prossimità della sottostazione posta nel territorio comunale di Erchie (BR).

L'area interessata dall'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)

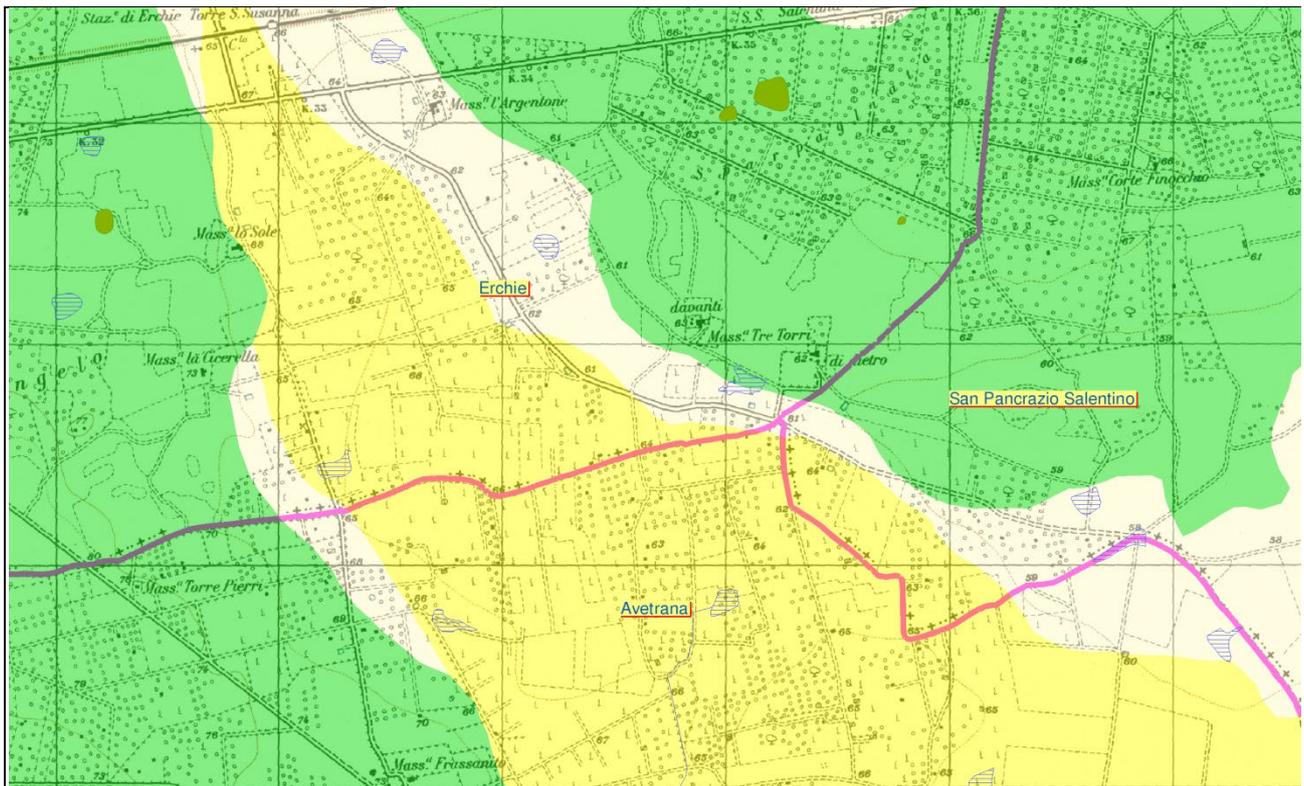


Figura 1 - Carta idrogeomorfologica dell'area (fonte AdB Puglia)

Riguardo 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. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO

L'area indagata rientra nel foglio 203 tavoletta Brindisi, della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

Essa è posizionata ad est di Mass.a Tre Torri di Dietro, ad una quota topografica variabile da 62.0 metri s.l.m. a circa 58.0 m, spostandosi in direzione suddest.

La morfologia dell'area è piuttosto pianeggiante, degradante leggermente verso sudest.

Da un punto di vista geologico, il rilievo ha evidenziato nell'area in esame l'esistenza in affioramento di una sola formazione.

Si tratta di una potente successione carbonatica di piattaforma costituita da strati e banchi di calcari e calcari dolomitici del Cretaceo superiore. Tale successione, che costituisce il deposito più antico dell'area, è riportata nella Cartografia Geologica Ufficiale (foglio 214) nell'unità informale dei "Calcari di Melissano". Per le analogie nei caratteri di litofacies e in accordo con la bibliografia geologica più recente (Ciaranfi et alii, 1988), tale formazione verrà indicata come Calcari di Altamura.

Il rilevamento di depositi bauxitici e clastici di origine continentale e di probabile età cretacea indicano che il basamento carbonatico è rimasto per un lungo periodo in emersione.

Il quadro geologico attuale è il risultato degli eventi tettonici che si sono succeduti a partire dal Cretaceo e che a più riprese hanno interessato l'intera Penisola Salentina.

Il basamento carbonatico del Cretaceo ha subito una tettonica distensiva che ha generato un sistema di faglie ad andamento prevalentemente NW-SE, le quali hanno dislocato i Calcari di Altamura dando luogo a strutture tipo Horst e Graben e delineando così dorsali, note con il nome di Serre, e depressioni tettoniche.

La presenza di terreni permeabili per porosità e per fessurazione e carsismo, fa sì che l'area d'intervento sia caratterizzata da un'unica falda acquifera denominata "falda profonda o carsica"

La sua alimentazione è data dalle acque meteoriche che, penetrando nel sottosuolo attraverso le numerose fratture dei calcarei, saturano la roccia e si raccolgono in un'unica falda, che galleggia in virtù della minore densità sull'acqua marina di intrusione continentale determinando, in tutta la Penisola Salentina e quindi anche nell'area in esame, un sistema regolato dalle leggi di equilibrio di liquidi a densità differente.

La falda carsica, che ha come livello di base l'orizzonte marino, ha nel complesso una forma lenticolare con massimi spessori nella parte centrale della Penisola.

Il livello della falda, che tende a zero in corrispondenza della costa sale verso l'interno assai lentamente con cadenti piezometriche modeste, generalmente inferiori al 1%. La superficie di contatto tra le acque di falda e le acque di mare raggiunge verso l'interno profondità di circa 40 volte i carichi piezometrici. Ciò in accordo con la legge di Ghyben-Henzberg, secondo cui:

$$h = 40 \times t$$

ove:

h, è lo spessore dell'acqua dolce;

t, è l'altezza della superficie piezometrica rispetto al l.m.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO

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 deboli 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

L'area interessata è stata oggetto di approfondita analisi morfologica, condotta sia sulla base cartografica che sulla scorta dei sopralluoghi in loco. Si è riscontrata presenza di uno scarso reticolo idrografico nell'area, del tutto assente nella porzione interessata dall'impianto in progetto, in corrispondenza di affioramenti calcarei.

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 sono stati individuati due bacini principali, la cui delimitazione è riportata in Allegato 1.

5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE

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); 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. Nella tabella seguente si riportano i dati rilevati:

Stazione pluviometrica di Avetrana											
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1967	31,6	32,4	32,4	42,0	52,0	1988	20,8	44,6	58,8	64,4	64,6
1968	35,8	56,2	61,4	62,4	62,4	1989	38,0	47,8	47,8	47,8	66,8
1969	---	---	---	---	---	1990	26,8	37,6	41,6	44	68,4
1970	48,0	53,4	53,6	53,8	64,4	1991	22,0	28,0	44,8	54,4	54,4
1971	---	---	---	---	---	1992	23,6	28,8	43,6	58,0	70,4
1972	29,0	31,4	35,8	47,2	53,2	1993	17,0	19,4	27,4	37,6	48,6
1973	18,2	32,8	46,2	59,8	69,8	1994	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
1974	51,2	52,4	68,0	81,4	85,8	1995	69,0	92,8	95,4	98,4	98,4
1975	60,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1996	47,4	93,0	150,0	197,8	198,2
1976	31,0	53,4	60,4	73,8	99,8						
1977	37,0	38,0	40,6	41,2	46,6						
1978	26,0	30,0	32,6	38,4	56,4	N	<i>28,0</i>	<i>28,0</i>	<i>28,0</i>	<i>28,0</i>	<i>28,0</i>
1979	30,0	49,6	55,4	56,0	56,0	Med	<i>38,7</i>	<i>53,7</i>	<i>62,5</i>	<i>71,3</i>	<i>80,1</i>
1980	35,0	68,6	74,0	74,8	83,6	Max	<i>83,8</i>	<i>123,8</i>	<i>150,0</i>	<i>197,8</i>	<i>198,2</i>
1981	83,8	93,8	93,8	93,8	117,4						
1982	23,4	23,4	43,4	56,0	76,2						
1983	52,8	87,0	106,0	120,4	135,8						
1984	70,0	123,8	123,8	123,8	123,8						
1985	25,8	34,2	49,0	62,2	79,8						
1986	48,0	57,6	57,6	57,6	57,6						
1987	28,0	39,8	50,4	94,8	97,0						

Tabella 2 – Dati precipitazioni stazione pluviometrica Avetrana periodo 1967-1996

6. STUDIO IDROLOGICO

Per stimare le portate di piena riferite a dei bacini idrografici 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.

Lo studio delle precipitazioni è stato condotto confrontando un'analisi statistica basata sulle serie storiche disponibili ed il metodo di regionalizzazione del progetto VA.PI. del Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrologiche.

6.1 Analisi statistica – Regolarizzazione di Gumbel

I dati relativi alle precipitazioni rilevate sono stati elaborati applicando una analisi statistica diretta delle massime altezze di pioggia, sviluppata nell'ipotesi di applicabilità della legge di Gumbel alla serie storica di dati di precipitazioni orarie, registrate nella stazione pluviometrica di riferimento. La distribuzione probabilistica dei valori delle altezze di pioggia viene rappresentata dalla formula:

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

dove i parametri ε ed α sono legati alla media η e allo scarto quadratico medio σ della x dalle relazioni:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma = \frac{\sigma}{1,28255} \qquad \varepsilon = \eta - 0,450 \sigma$$

Dall'elaborazione delle serie storiche si ottengono i seguenti parametri per la distribuzione:

Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	28	28	28	28	28
Valore medio	38,721	53,743	62,457	71,314	80,086
Dev. standard \square	17,3164	26,9657	29,6106	34,3185	33,1644
\square	0,08049	0,05282	0,05220	0,04919	0,04960
\square	31,05964	41,94045	50,11608	57,89277	66,85657

da cui si ricavano le seguenti espressioni di distribuzione:

Gumbel: 1 ora	$\Phi(x) = e^{-e^{-0,080(x-31,060)}}$
---------------	---------------------------------------

Gumbel: 3 ore	$\Phi(x) = e^{-e^{-0,053(x-41,940)}}$
Gumbel: 6 ore	$\Phi(x) = e^{-e^{-0,052(x-50,116)}}$
Gumbel: 12 ore	$\Phi(x) = e^{-e^{-0,049(x-57,893)}}$
Gumbel: 24 ore	$\Phi(x) = e^{-e^{-0,050(x-66,857)}}$

Di seguito le rappresentazioni grafiche delle distribuzioni di Gumbel:

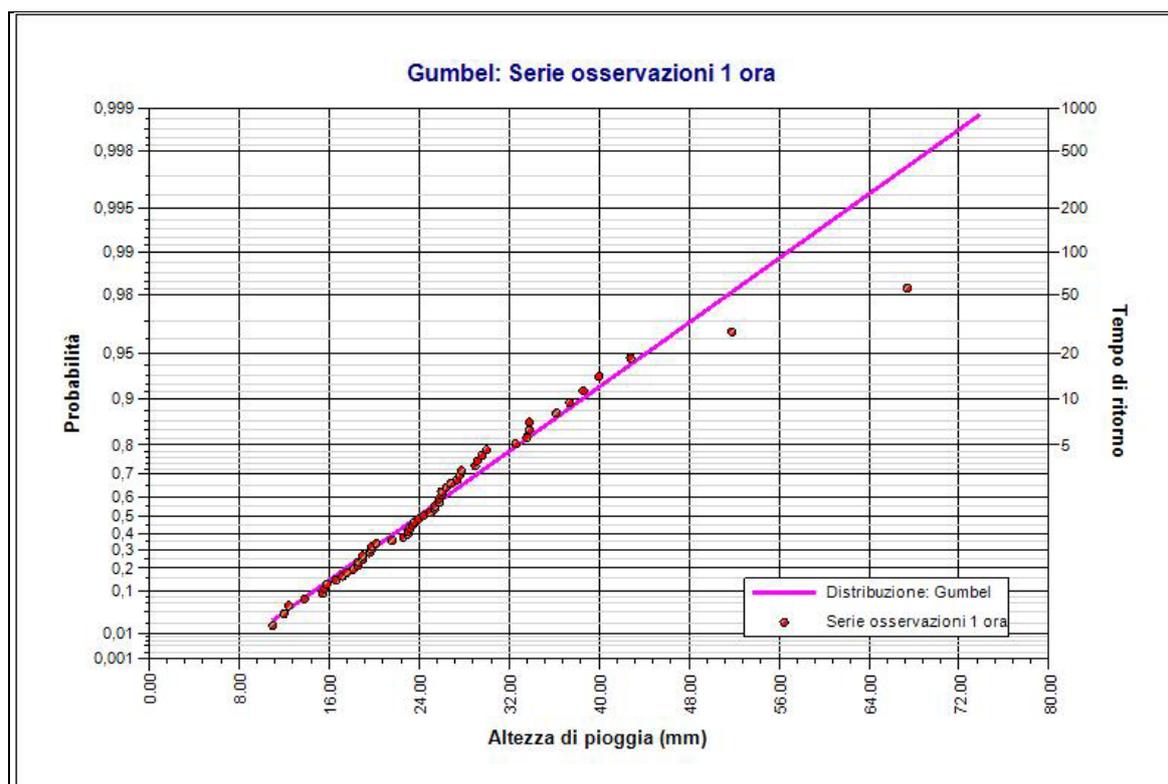


Fig. 2 - Elaborazione Gumbel. Durata 1 ora

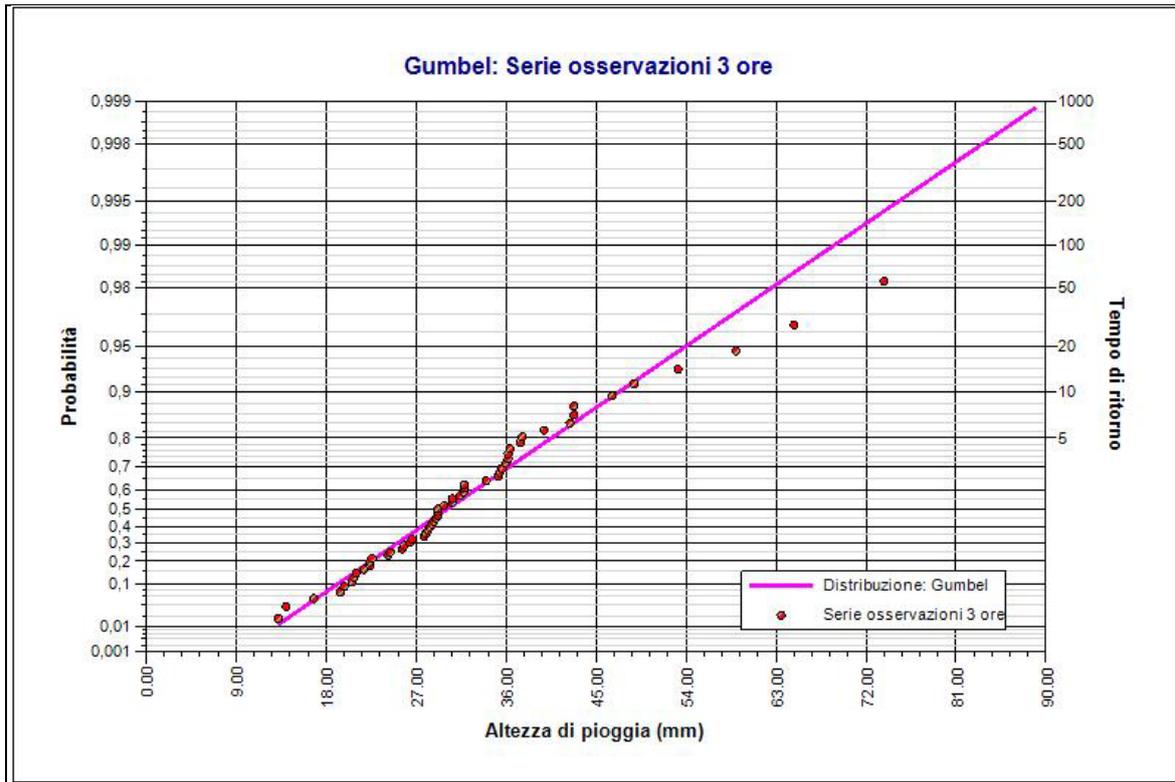


Fig. 3 - Elaborazione Gumbel. Durata 3 ore

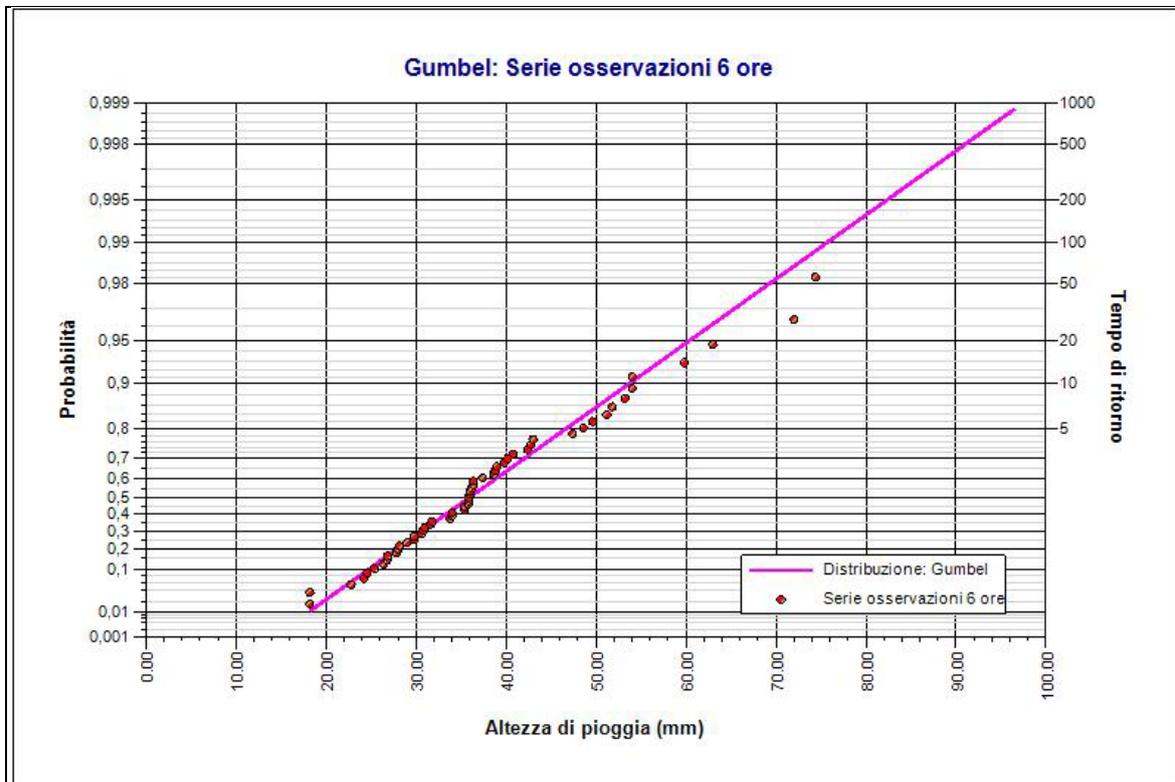


Fig. 4 - Elaborazione Gumbel. Durata 6 ore

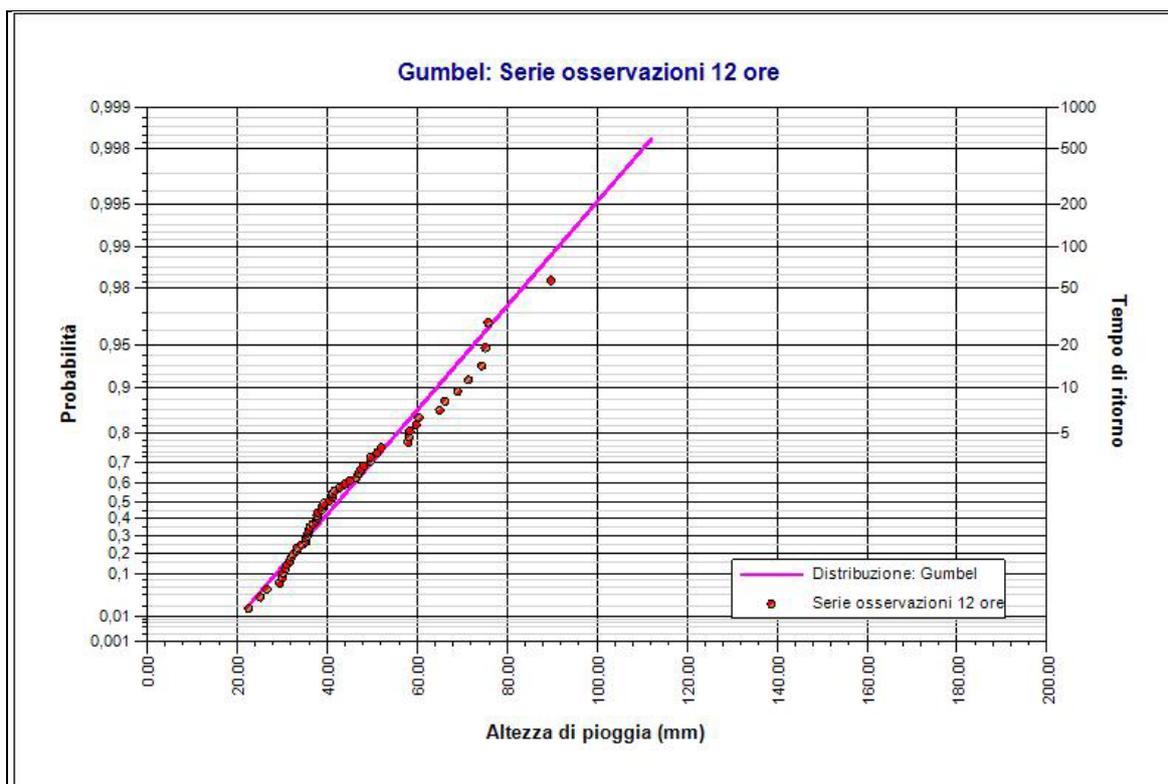


Fig. 5 - Elaborazione Gumbel. Durata 12 ore

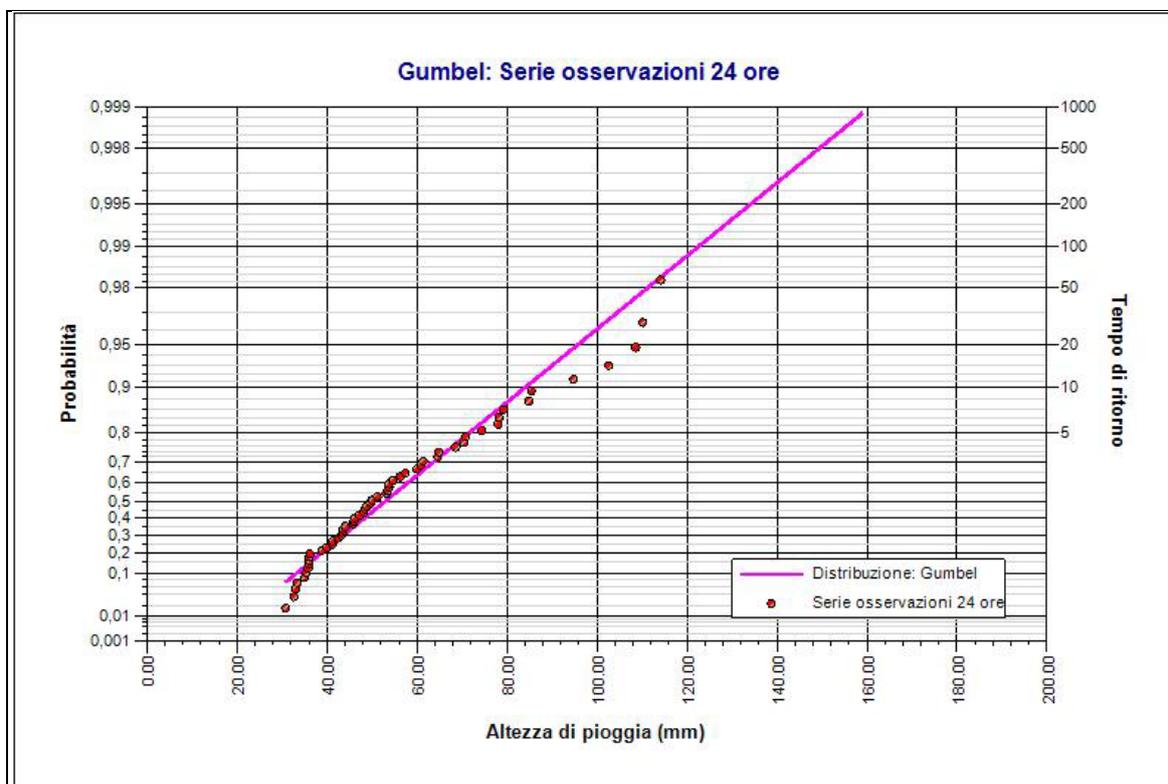


Fig. 6 - Elaborazione Gumbel. Durata 24 ore

Attraverso tale elaborazione, per ciascuna popolazione di dati pluviometrici, relativi ad un determinato tempo di pioggia (t), è stato possibile ricavare il rispettivo valore dell'altezza dell'evento meteorico con un Tempo di Ritorno (T), pari a quello prefissato.

Dati i valori di $H(t, T)$, con il metodo dei minimi quadrati, si sono determinati i valori dei coefficienti a ed n , che figurano nell'espressione $H(t, T) = a \times t^n$, tracciando su scala bilogarithmica, in ordinata i valori di $H(t, T)$, stimati tramite l'applicazione della legge di Gumbel, e in ascisse i valori del tempo, espresso in ore.

a e n sono due parametri, il cui valore dipende dalle caratteristiche pluviometriche della zona.

Con riferimento ai dati storici esaminati, si ottengono i seguenti risultati:

Tempo di ritorno 30 anni

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
78,95	0,187	0,918	$h(t)=78,95 t^{0,187}$

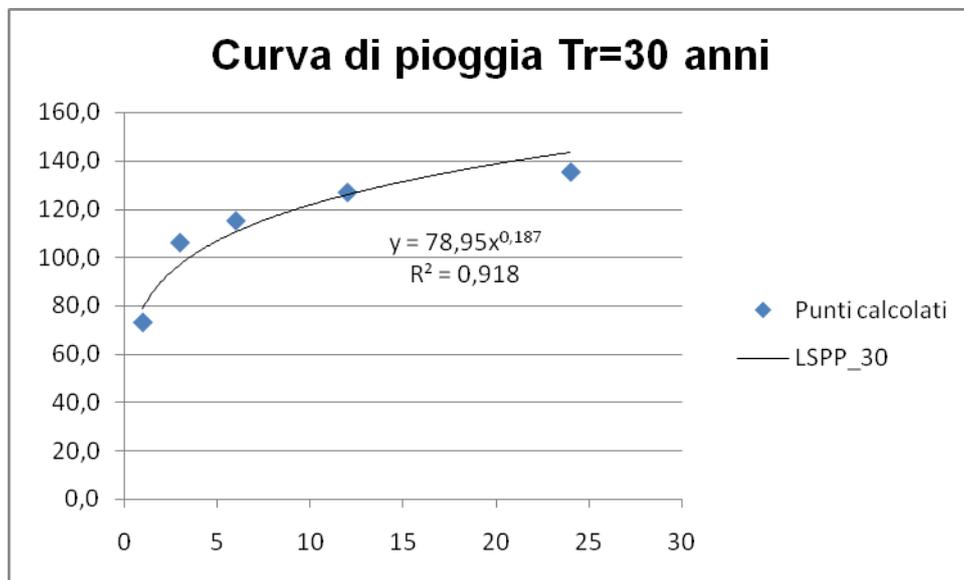


Fig. 7 - Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno di 30 anni

Tempo di ritorno 200 anni

Coefficienti curva			Espressione
a	N	correlazione (r)	
105,70	0,176	0,886	$h(t)=105,70 t^{0,176}$

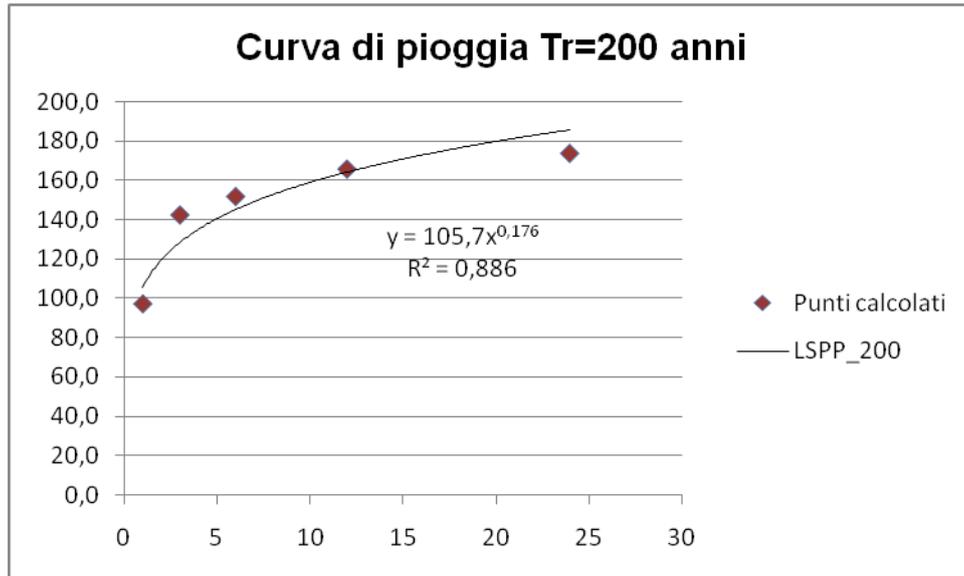


Fig. 8 - Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno di 200 anni

Tempo di ritorno 500 anni

Coefficienti curva			Espressione
a	N	correlazione (r)	
118,60	0,173	0,873	$h(t)=118,60 t^{0,173}$

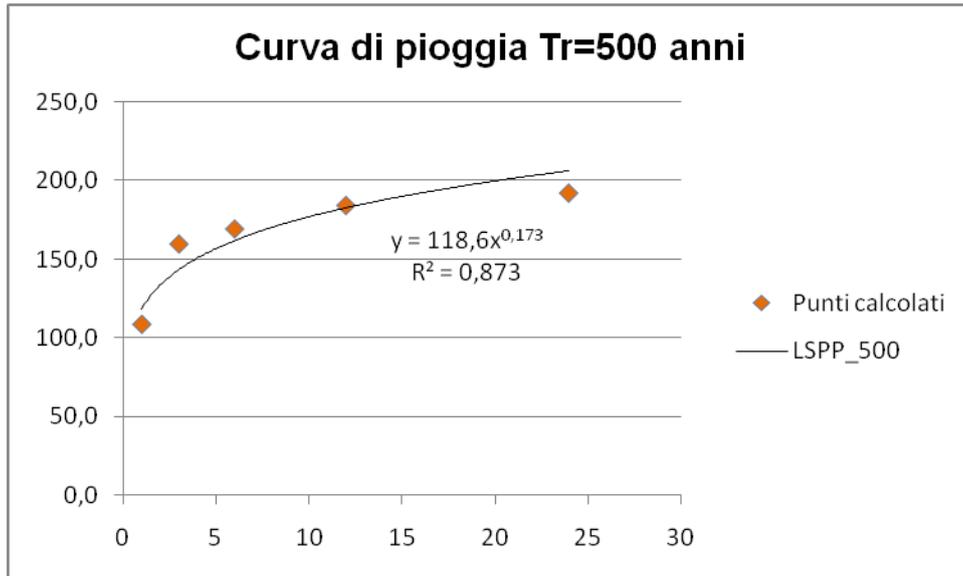


Fig. 9 - Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno di 500 anni

6.2 Verifica – Test di Kolmogorov

Per verificare l'affidabilità della statistica è stato eseguito il test di Kolmogorov (Allegato 2).

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:

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

- 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%.

Il test, riportato integralmente nelle tabelle allegate, risulta **sempre verificato**.

6.3 Progetto VA.PI. – 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. 10)

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.



Fig. 10 – Regione Puglia – zone omogenee

L'area oggetto di intervento ricade nell'ambito della zona pluviometrica omogenea "zona 5", per la quale la formula che esprime l'equazione della curva di possibilità pluviometrica è:

$$\text{Zona 6} \quad X(t, z) = 33,7 \times t^{\frac{(0,488+0,0022 z)}{3,178}}$$

che è funzione della sola quota media sul livello del mare (z) del bacino idrografico considerato.

Ai valori così ottenuti vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T , funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni. Il valore di K_T può essere calcolato attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995), che, per la Puglia Centro-Meridionale assume la forma:

$$K_T = 0,1599 + 0,5166 \times \ln T_r$$

Sono stati calcolati pertanto i valori di altezza di pioggia critica con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i 2 bacini sopra individuati:

Bacino 1		z = 65,0 m s.l.m.				
	t [ore]	1	3	6	12	24
	X(t,z) [mm]	33,70	41,91	48,10	55,20	63,34
Tr = 30 anni						
KT = 1,92	X(30) [mm]	64,60	80,35	92,20	105,81	121,42
Tr = 200 anni						
KT = 2,90	X(200) [mm]	97,63	121,43	139,34	159,90	183,50
Tr = 500 anni						
KT = 3,37	X(500) [mm]	113,58	141,27	162,11	186,03	213,48
<i>Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</i>						

Bacino 2		z = 60,0 m s.l.m.				
	t [ore]	1	3	6	12	24
	X(t,z) [mm]	33,70	41,76	47,80	54,72	62,65
Tr = 30 anni						
KT = 1,92	X(30) [mm]	64,60	80,04	91,63	104,90	120,09
Tr = 200 anni						
KT = 2,90	X(200) [mm]	97,63	120,97	138,48	158,53	181,49
Tr = 500 anni						
KT = 3,37	X(500) [mm]	113,58	140,73	161,11	184,44	211,14
<i>Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</i>						

6.4 Confronto dei risultati

I risultati ottenuti con i due metodi per le altezze critiche di pioggia nei tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni sono confrontati nelle tabelle 2.1, 2.2 e 2.3.

Tempo di ritorno 30 anni	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Gumbel	78,95	96,96	110,37	125,65	143,04
VAPI <i>Bacino 1</i>	64,60	80,35	92,20	105,81	121,42
VAPI <i>Bacino 2</i>	64,60	80,04	91,63	104,90	120,09

Tab. 2.1 – Confronto per altezze di pioggia massima (mm) prevista, con tempo di ritorno T = 30 anni

Tempo di ritorno 200 anni	Durate					
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
Gumbel	105,70	128,25	144,89	163,69	184,92	
VAPI	Bacino 1	97,63	121,43	139,34	159,90	183,50
	Bacino 2	97,63	120,97	138,48	158,53	181,49

Tab. 2.2 – Confronto per altezze di pioggia massima (mm) prevista, con tempo di ritorno $T = 200$ anni

Tempo di ritorno 500 anni	Durate					
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
Gumbel	118,60	143,43	161,70	182,30	205,52	
VAPI	Bacino 1	113,58	141,27	162,11	186,03	213,48
	Bacino 2	113,58	140,73	161,11	184,44	211,14

Tab. 2.3 – Confronto per altezze di pioggia massima (mm) prevista, con tempo di ritorno $T = 500$ anni

Allo scopo del presente studio, si opta per utilizzare i valori ricavati con il metodo di Gumbel, quasi sempre superiori e quindi a favore di sicurezza.

6.5 Calcolo dell'altezza di pioggia efficace

Individuate le altezze lorde di pioggia, si procede 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).

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- a) Determinazione delle piogge nette;
- b) Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

dove:

- R è il deflusso fino all'istante t (mm)
- P è la precipitazione fino all'istante t (mm)
- S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'}$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S'.

Con riferimento ad un evento di durata t e con un tempo di ritorno T_r , P corrisponde all'altezza di pioggia $X(t, T_r)$; considerando che un'aliquota di X si invasa nelle depressioni superficiali o si infiltra prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$h_{netta}(t, T_r) = \frac{(X(t, T_r) - I_a)^2}{X(t, T_r) - I_a + S}$$

dove:

- $h_{netta}(t, T_r)$ in mm, è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento di durata t e tempo di ritorno T_r ;
- $X(t, T_r)$ in mm, è il volume specifico di pioggia lorda relativo all'evento di durata t e tempo di ritorno T_r ;
- I_a in mm, rappresenta il fattore iniziale di ritenzione (*Initial abstraction*);
- 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:

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

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

$$S = 254 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

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. 3):

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. 3 – 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:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{(0,43 + 0,0057 \times CN_{II})}$$

Quindi in base alle condizioni di permeabilità ed alle coperture vegetali, il valore normale di CN (CN_{ii}), compreso tra 0 – 100, per alcuni tipi di coperture si ricava dai valori indicati in tabella 4.

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. 4 – Valore del CN per zone umide in funzione del tipo di suolo e di 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 i-esime sub-aree:

$$CN = \sum p_i \times CN_i$$

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

L'area in esame si può considerare in prima approssimazione omogenea e si utilizzano pertanto i seguenti valori:

- classe idrologica tipo "C"
- uso del suolo di tipo "Oliveti irrigui" / "Vigneti irrigui"
- CN_{ii} 88

- CN_{III} 94
- p = 1

Utilizzando le formule precedenti si ottengono i seguenti risultati:

$$CN = 94 \qquad S = 16,2 \text{ mm}$$

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 per entrambi i bacini saranno dunque:

Bacino 1/2	t [ore]					
		1	3	6	12	24
Tr = 30 anni	h _{netta} (30) [mm]	62,37	79,90	93,06	108,10	125,28
Tr = 200 anni	h _{netta} (200) [mm]	88,47	110,67	127,11	145,73	166,81
Tr = 500 anni	h _{netta} (500) [mm]	101,15	125,66	143,76	164,20	187,28

Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni

6.6 Calcolo delle portate di piena

6.6.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Utilizzando i valori delle altezze efficaci di pioggia si possono costruire le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP), che forniscono una relazione fra altezza [h] e durata [t] della pioggia per un assegnato tempo di ritorno, mediante la formula:

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

dove:

- h è l'altezza della pioggia in mm
- t è la durata corrispondente in ore
- a [mm/h] ed n sono coefficienti calcolati sugli eventi critici di pioggia netta.

Sarà così possibile stimare per ciascun bacino l'altezza di pioggia critica, per una durata pari al tempo di corrivazione t_c, e valutare la portata massima per i differenti tempi di ritorno Tr.

Le LSPP così ottenute sono state ragguagliate alla superficie di ogni bacino, nella formula

$$h'_{netta} = a' \times t^{n'}$$

Dove (Formule di Marchetti):

- A è la superficie del bacino in kmq
- $a' = F(a, A) = a \times 1 - 0,06 \times A^{0,4}$
- $n' = F(n, A) = n + 0,003 \times A^{0,6}$

Di seguito i risultati delle LSPP per ciascun bacino e per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

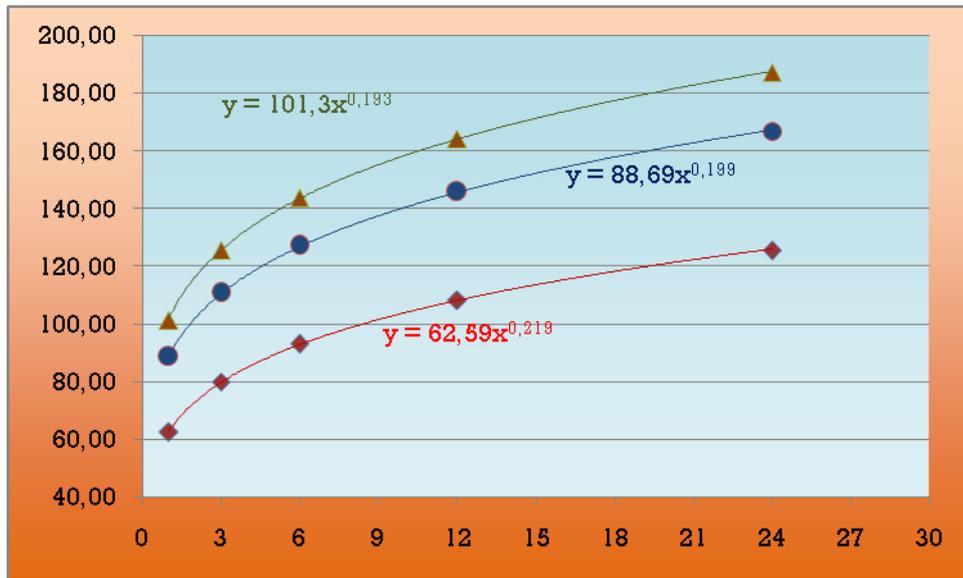


Fig. 11 – Bacini 1 e 2 --- LSPP $T_r=30 - 200 - 500$ anni

Bacino 1

Bacino 1	Sup = 10,90 kmq			
	a	n	a'	n'
Tr = 30 anni	62,59	0,219	52,83	0,232
Tr = 200 anni	88,69	0,199	74,85	0,212
Tr = 500 anni	101,30	0,193	85,50	0,206

Equazione delle LSPP ragguagliate per il Bacino 1:

$$T_r = 30 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 30) = 52,83 \times t^{0,232}$$

$$T_r = 200 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 200) = 74,85 \times t^{0,212}$$

$$T_r = 500 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 500) = 85,50 \times t^{0,206}$$

Bacino 2

Bacino 2	Sup = 7,05 kmq			
	a	n	a'	n'
Tr = 30 anni	62,59	0,219	54,39	0,229
Tr = 200 anni	88,69	0,199	77,07	0,209
Tr = 500 anni	101,30	0,193	88,02	0,203

Equazione delle LSPP ragguagliate per il Bacino 2:

$$T_r = 30 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 30) = 54,39 \times t^{0,229}$$

$$T_r = 200 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 200) = 77,07 \times t^{0,209}$$

$$T_r = 500 \text{ anni} \quad h'_{netta-1}(t, 500) = 88,02 \times t^{0,203}$$

6.6.2 Tempo di corrivazione

Il valore massimo della portata, $Q_{max}(T_r)$, per un evento di pioggia di assegnato tempo di ritorno T_r , 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 in kmq
- L è la lunghezza dell'asta principale in km
- H è la differenza di quota, in metri, tra la quota media del bacino (H_m) e la quota di chiusura del bacino (H_c).

In considerazione delle dimensioni dei bacini, si sceglie di utilizzare quest'ultima formula; come illustrato nella prima parte della relazione, l'assenza di reticolo rende problematica l'individuazione dell'asta principale e della quota H_c , per cui il valore di L è stato assegnato come distanza massima tra i limiti del bacino e le diverse aree di accumulo (conche), individuando quella della quale viene presa la quota. Si sono ottenuti i seguenti risultati:

Bacino 1

$$t_c = 9,98 \text{ h}$$

Bacino 2

$$t_c = 8,23 \text{ h}$$

6.6.3 Calcolo delle portate di piena e relativo andamento

Per i due bacini è stata dunque calcolata l'intensità di pioggia $i_c (T_r)$ (in m/s) per un evento di durata pari a t_c ed assegnato tempo di ritorno T_r , ed infine la portata massima in m^3/s , con le formule:

$$i_c(T_r) = a' \times t_c^{(n'-1)} \qquad Q_{max}(T_r) = \frac{i_c(T_r) \times A}{N_i}$$

Dove N_i è il numero di recapiti (conche) rilevati in ciascun bacino: $N_1 = 5$; $N_2 = 4$.

In tabella 5 si riassumono i risultati ottenuti.

		<i>Tr = 30 anni</i>		<i>Tr = 200 anni</i>		<i>Tr = 500 anni</i>	
		<i>ic (30)</i>	<i>Qmax (30)</i>	<i>ic (200)</i>	<i>Qmax (200)</i>	<i>ic (500)</i>	<i>Qmax (500)</i>
BACINI	1	2,50E-06	5,26 mc/s	3,39E-06	7,12 mc/s	3,82E-06	8,02 mc/s
	2	2,97E-06	5,24 mc/s	4,04E-06	7,12 mc/s	4,55E-06	8,03 mc/s

Tab. 5 – Intensità di pioggia e portate di piena

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:

$$d \leq t_c \qquad Q(T_r) = a' \times A \times \frac{d^{n'}}{t_c}$$

$$d \geq t_c \qquad Q(T_r) = a' \times A \times d^{(n'-1)}$$

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 quarantotto ore per eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i due bacini:

Bacino 1

d [ore]	0	1	3	6	9,98	12	24	48
Q(30) [mc/s]	0,00	15,44	19,91	23,38	26,30	22,83	13,40	7,87
Q(200) [mc/s]	0,00	21,88	27,60	31,96	35,59	30,78	17,82	10,32
Q(500) [mc/s]	0,00	24,99	31,32	36,11	40,10	34,63	19,97	11,51

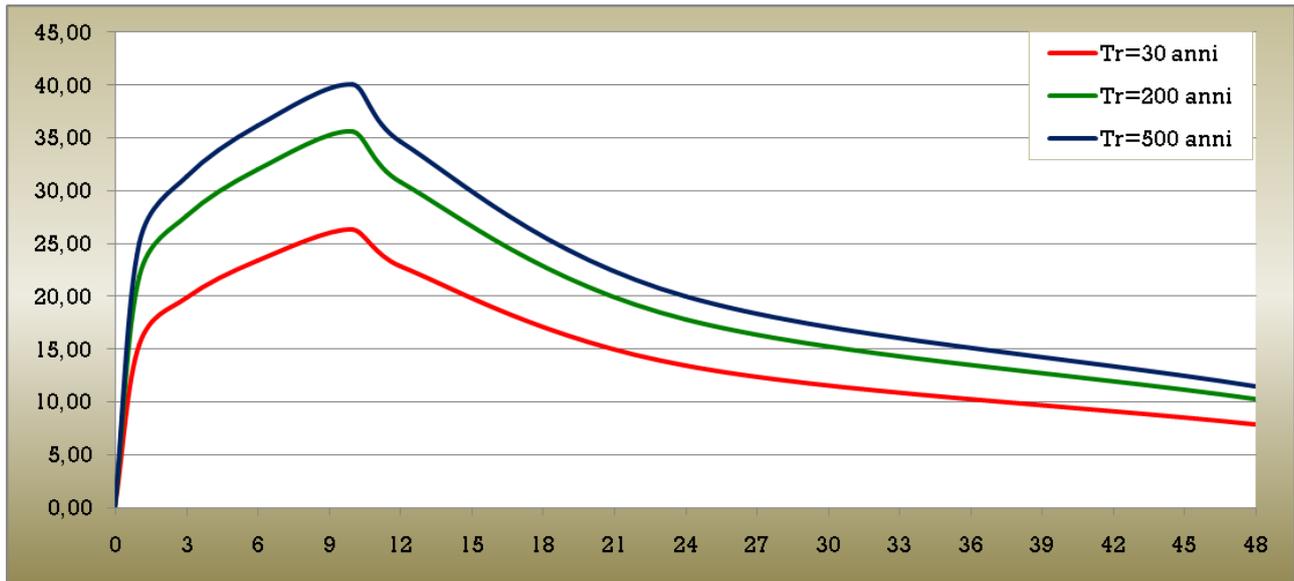


Fig. 12-1 – Bacino 1 - Idrogrammi di piena per diversi tempi di ritorno

Bacino 2

d [ore]	0	1	3	6	8,23	12	24	48
Q(30) [mc/s]	0,00	12,94	16,64	19,50	20,96	15,67	9,18	5,38
Q(200) [mc/s]	0,00	18,34	23,06	26,65	28,47	21,12	12,21	7,05
Q(500) [mc/s]	0,00	20,95	26,17	30,12	32,11	23,77	13,68	7,87

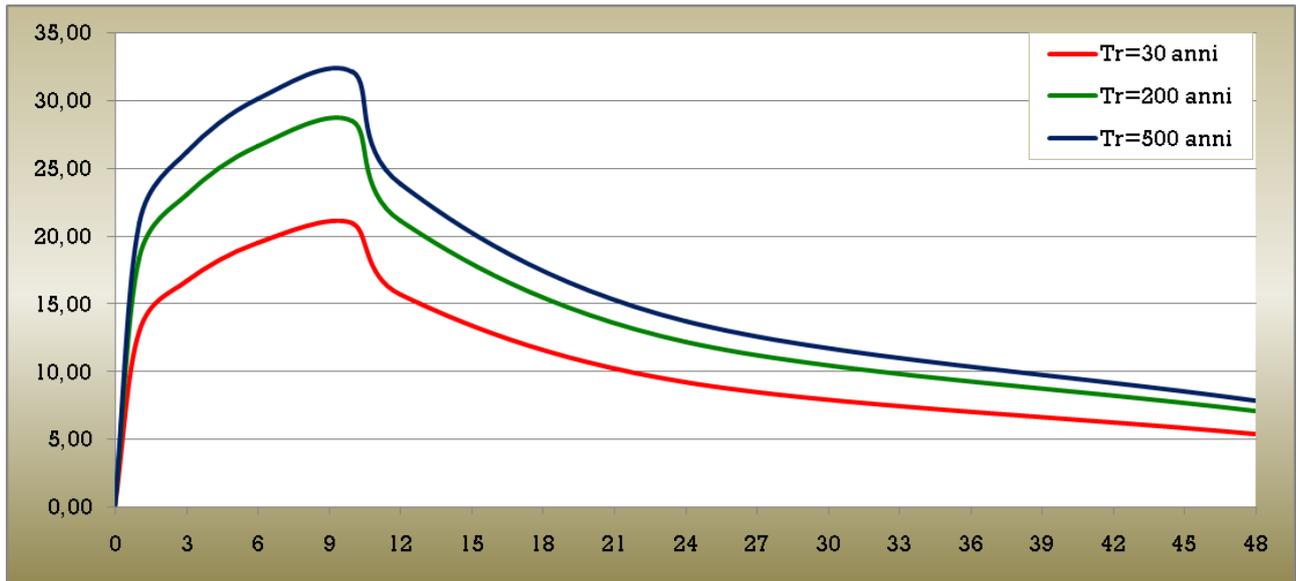


Fig. 12-2 – Bacino 2 - Idrogrammi di piena per diversi tempi di ritorno

TEST DI KOLMOGOROV - PIOGGE DI DURATA PARI A 3 ORE

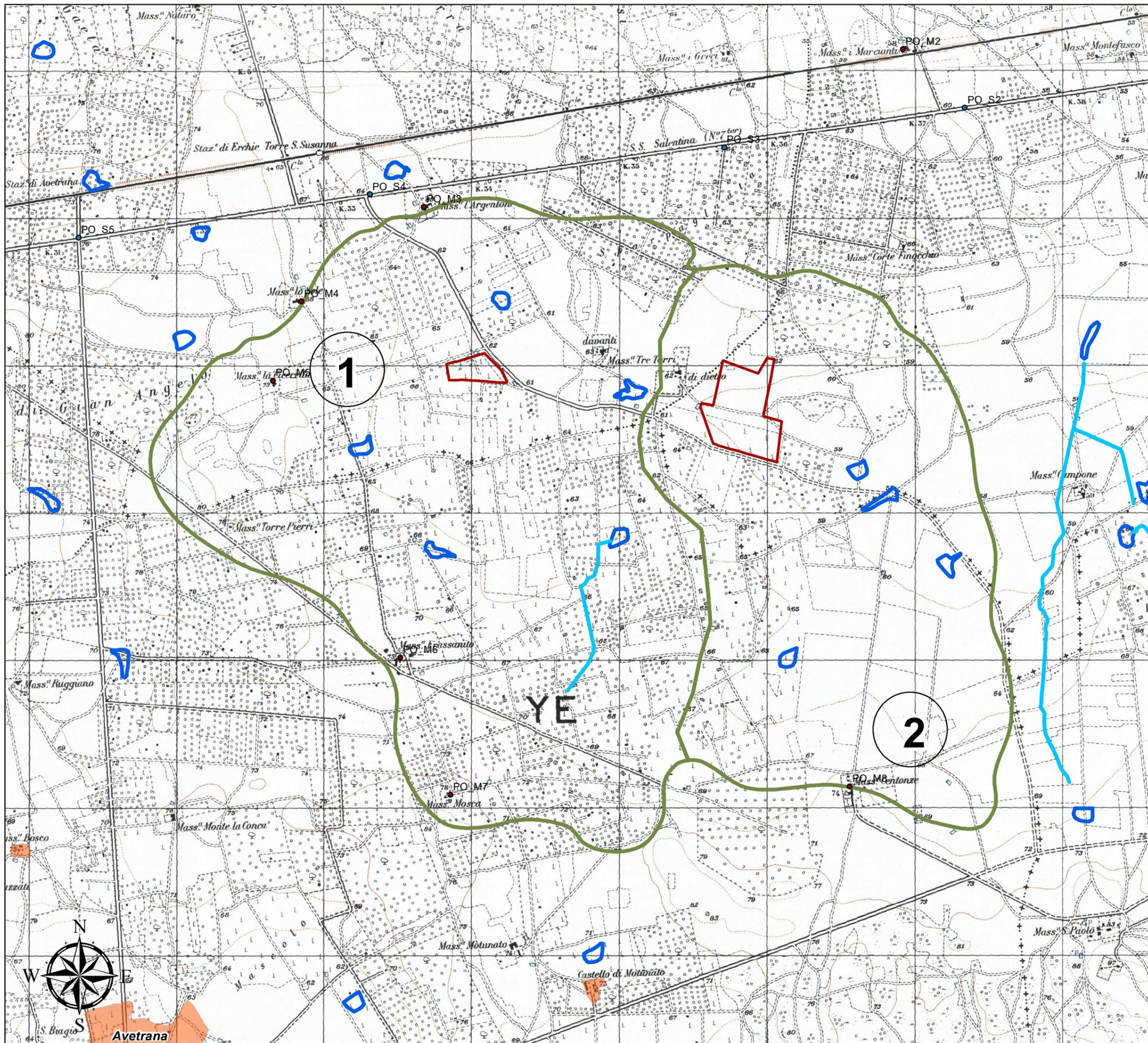
N. ordine	X = 3 ore	Freq cumulata F(X)	F _x (X)	Dn= F(X)-F _x (X)
1	19,4	0,034	0,037	0,002
2	23,4	0,069	0,069	0,000
3	28,0	0,103	0,123	0,020
4	28,8	0,138	0,134	0,003
5	30,0	0,172	0,152	0,020
6	31,4	0,207	0,174	0,033
7	32,4	0,241	0,191	0,051
8	32,8	0,276	0,197	0,079
9	34,2	0,310	0,222	0,089
10	37,6	0,345	0,284	0,061
11	38,0	0,379	0,292	0,088
12	39,8	0,414	0,326	0,088
13	44,6	0,448	0,420	0,029
14	47,8	0,483	0,480	0,002
15	49,6	0,517	0,514	0,004
16	52,4	0,552	0,563	0,011
17	53,4	0,586	0,580	0,006
18	53,4	0,621	0,580	0,041
19	55,0	0,655	0,606	0,049
20	56,2	0,690	0,625	0,064

N. ordine	X = 3 ore	Freq cumulata F(X)	F _x (X)	Dn= F(X)-F _x (X)
21	57,6	0,724	0,647	0,078
22	68,6	0,759	0,784	0,025
23	87,0	0,793	0,912	0,119
24	92,8	0,828	0,935	0,107
25	93,0	0,862	0,935	0,073
26	93,8	0,897	0,938	0,041
27	100,0	0,931	0,955	0,024
28	123,8	0,966	0,987	0,022

VERIFICA			
Dn max =	0,119		
Ic 95 =	0,257	(Intervallo confidenza 95%)	
			POSITIVA

Allegato 1 Legenda

-  Bacini
-  Area impianto
-  Reticolo
-  Conche
-  Centri abitati



7. CONCLUSIONI

L'impianto fotovoltaico in progetto sarà realizzato in due aree nei comuni di San Pancrazio Salentino e Erchie, distanti tra loro circa 1,35 km. La zona è caratterizzata da morfologia pianeggiante, con piccole variazioni di quota; di conseguenza si rileva 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,

Lo studio preliminare ha permesso di individuare due bacini all'interno dei quali ricadono le due aree dell'impianto, e che sono caratterizzati dalla presenza di diversi bacini endoreici con locali avvallamenti di estensione più o meno ampia.

La analisi idrologica dei due bacini ha portato al calcolo delle curve di portata previste per ciascuno dei principali recettori così individuati. I valori ottenuti, fortemente legati agli elevati tempi di corrivazione, tipici di aree pianeggianti, stante la distanza tra le opere in progetto ed i recettori stessi, consentono di escludere ogni possibile interferenza tra il progetto e l'idrologia del territorio.

8. ALLEGATI

1. Tavola di individuazione dei bacini
2. Test di Kolmogorov