

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE
"ASCOLI SATRIANO MASSERIA SAN POTITO" - POTENZA NOMINALE IMPIANTO FOTOVOLTAICO 47,5 MVA
POTENZA NOMINALE SISTEMA DI ACCUMULO ENERGIA 90 MVA

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di FOGGIA
COMUNE di ASCOLI SATRIANO
Località: Masseria San Potito

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU 82BKAH2

Tav.:

Titolo:

R21

Relazione Idrologica

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

82BKAH2_RelazioneIdrologica_21

Progettazione:

Committente:

DOTT. ING. Fabio CALCARELLA

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fablo.calcarella@gmail.com - fablo.calcarella@ingpec.eu
P. IVA 04433020759

Whysol-E Sviluppo S.r.l.

Via Meravigli, 3 - 20123 - MILANO
Tel: +39 02 359605
Info@whysol.it - whysol-e.sviluppo@legalmail.it
P. IVA 10692360968

Dott. Geol. Valter D'Autilia

Via Polimeno, 53 - 73026 Melendugno (LE)
Tel. 328-2094706 - vdautilia@libero.it



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Aprile 2020	Prima emissione	STC S.r.l.	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. LINEAMENTI GEOLOGICI DELL'AREA D'INTERVENTO	4
3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO.....	5
4. PERIMETRAZIONE DEI BACINI.....	7
5. CONSIDERAZIONI CLIMATICHE GENERALI	7
5.1 PRECIPITAZIONI.....	8
6. STUDIO IDROLOGICO	9
6.1 REGOLARIZZAZIONE DI GUMBEL.....	9
6.2 METODO DI REGIONALIZZAZIONE.....	12
6.3 CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA EFFICACE	15
6.4 CALCOLO DELLA LINEA SEGNALATRICE DI POSSIBILITA' CLIMATICA	19
6.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	22
7 RIFERIMENTI E CONCLUSIONI.....	23

1. PREMESSA

Il presente studio è finalizzato a definire la compatibilità idrologica relativamente al progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fotovoltaico di potenza nominale pari a 47.500,00 kW. Inoltre è prevista l'installazione, nell'area di impianto, di un Sistema di Accumulo (SdA) di potenza nominale pari a 90 MVA costituito da un sistema di batterie al litio. L'Impianto sarà installato nel territorio di Ascoli Satriano (FG)". Il Cavidotto MT a 30 kV per il collegamento alla SSE, interesserà i Comuni di Ascoli Satriano (FG) e di Deliceto (FG). La SSE in progetto denominata "*Renoir*", sarà ubicata nel Comune di Deliceto (FG) e collegata alla Stazione Terna "*Deliceto*" tramite la esistente SSE "*Elce*".

La Società proponente è la *Whysol-E Sviluppo S.r.l.*

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da 109.200 moduli fotovoltaici da 435 Wp ognuno, montati su strutture ad inseguitori monoassiali.

La connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale sarà realizzata in corrispondenza del nodo rappresentato dalla Stazione Elettrica TERNA "*Deliceto*".

L'area presenta, da un punto di vista paesaggistico, una forte connotazione antropica, con intensa attività agricola, caratterizzata prevalentemente da seminativi; le quote altimetriche saranno comprese tra i 320 ed i 200 metri s.l.m.m.

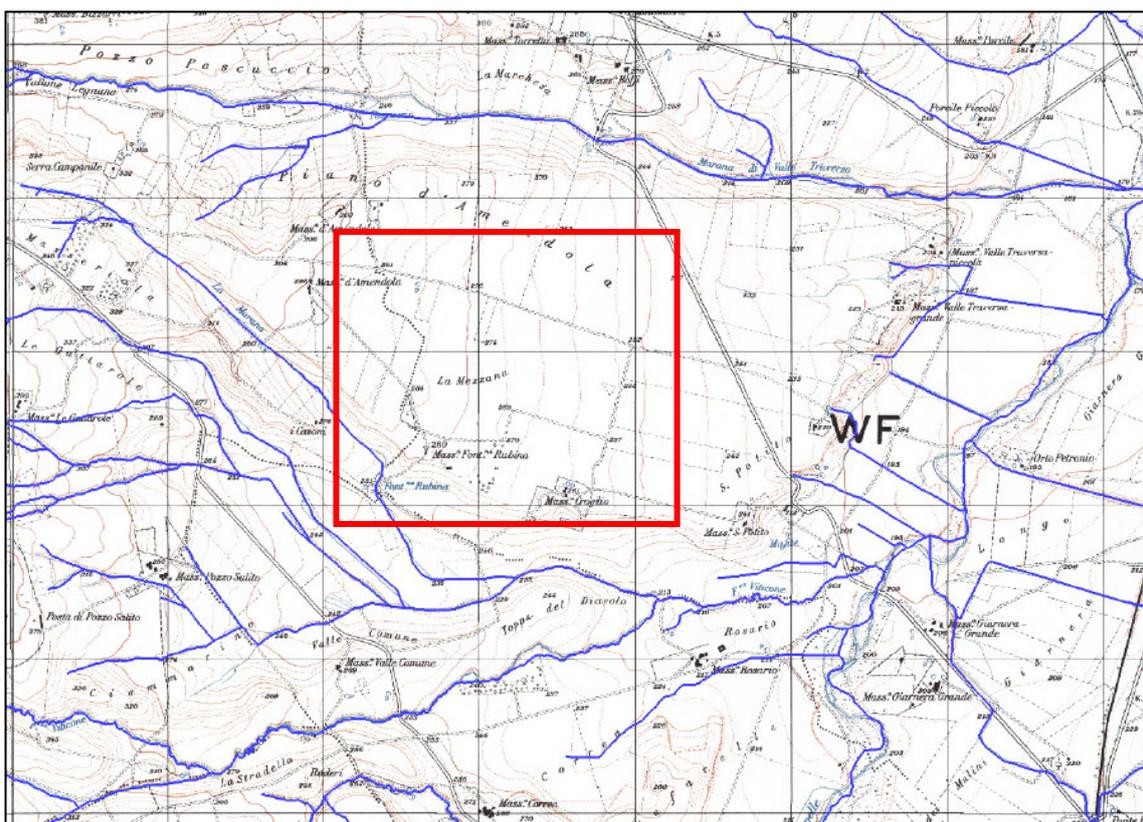


Figura 1– Carta idrogeomorfologica della Puglia (in rosso area di studio)

Dall'analisi della Carta IGM in scala 1:25.000, che costituisce il riferimento cartografico ufficiale del PAI (Figura 1), si denota anche la presenza di diversi reticoli minori afferenti al reticolo principale formato dal “*Torrente Carapelle*”. La loro presenza è segnalata anche nell’ambito della nuova Carta Idrogeomorfologica del territorio pugliese, redatta dall’AdB Puglia.

Tutte le opere di progetto (impianto fotovoltaico e cavidotto fino alla Stazione Enel Terna), sono ubicate ad un distanza maggiore di 150 mt dal reticolo idrografico presente, pertanto in condizioni di sicurezza idraulica.

Non sono presenti intersezioni e/o parallelismi del cavidotto con il reticolo idrografico presente.

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 DELL'AREA D'INTERVENTO

Per effetto della pregressa evoluzione paleogeografica, l'area del Tavoliere è caratterizzata dalla presenza di un basamento geologico regionale, costituito da formazioni carbonatiche di età mesozoica, dislocato tettonicamente a rilevante profondità nel sottosuolo e sormontato da una potente coltre di depositi marini di avanfossa di età plio-pleistocenica e da un complesso di depositi marini e continentali terrazzati di età tardo quaternaria.

I depositi di origine prettamente marina riferibili al sistema deposizionale dell'Avanfossa Bradanica ("*Calcarenite di Gravina*", "*Argille Subappennine*") affiorano nelle zone più interne, situate alle pendici dei rilievi del Subappennino Dauno. Nella zone del Tavoliere comprese tra i rilievi pre-appenninici e il promontorio del Gargano, detti depositi non affiorano ma si rinvergono comunque nel sottosuolo a profondità variabili in funzione delle condizioni di dislocamento tettonico del basamento.

Infatti, nella fascia centro-orientale del Tavoliere, topograficamente più depressa, affiorano con continuità i depositi terrazzati tardo quaternari, costituiti da numerosi corpi stratigrafici (sintemi e sub-sintemi) di genesi sia marina che continentale, raggruppati nel "Supersistema del Tavoliere di Puglia". I sintemi più antichi sono sovente suddivisi in sub-sintemi che distinguono i depositi marini dai sovrastanti depositi continentali. I sintemi più recenti sono invece costituiti essenzialmente da successioni continentali.

I depositi terrazzati di origine marina sono generalmente costituiti da facies di mare sottile e/o di ambiente transizionale con ben marcato trend regressivo. I depositi continentali sono invece costituiti prevalentemente da facies di piana alluvionale, rappresentati da un'alternanza di corpi lenticolari costituiti da sedimenti ghiaiosi, sabbiosi e limoso-argillosi, che si incrociano e anastomizzano di frequente.

I depositi continentali poggiano su superfici d'erosione intagliate sui depositi terrazzati più antichi (sia continentali che marini), che, a loro volta, poggiano in erosione sulle Argille Subappennine.

Nello specifico, l'area di progetto si dispone su una conoide alluvionale costituita da conglomerati poco selezionati a luoghi ben cementati con clasti provenienti dalle Unità

della Catena Appenninica (arenarie, calcari marnosi, e calcari silicei), di dimensioni medio piccole (normalmente compresi tra i 2-8 cm), discretamente arrotondati.

3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Ascoli Satriano, si colloca ai margini nordorientali del Preappennino Dauno, dove i rilievi sono formati di materiale prevalentemente flyscioide e raggiungono quote dell'ordine di 600 m s.l.m.

La morfologia è tipica della fascia medio-alta della Pianura di Capitanata, che si va a raccordare ai rilievi dei Monti Dauni, caratterizzata in direzione NE da grandi spianate inclinate verso il mare, interrotte da valli ampie e da modeste alture, con quote che oscillano tra 300 e 250 m s.l.m.

La zona è percorsa da due importanti corsi d'acqua: il Torrente Carapelle e il Fiume Ofanto, dai rispettivi affluenti e da una serie di tributari minori aventi deflussi prevalentemente stagionali.

Affiorano terreni, per la maggior parte costituiti di materiale a prevalente componente ciottolosa, subordinatamente sabbiosa, poggianti su sedimenti argillosi di base (talora affioranti), disposti costantemente in modesti altopiani, dolcemente inclinati verso oriente. Nel settore nord-ovest, rispetto all'abitato di Ascoli Satriano, l'area è solcata dal Carapelle avente, direzione di deflusso all'incirca SO-NE e da una serie di corsi d'acqua secondari, tributari di sinistra e destra del suddetto torrente, normalmente attivi solo nella stagione piovosa.

Il sistema idrografico locale evidenzia una maturità piuttosto spinta con andamento meandriforme dei principali corsi d'acqua. Il profilo topografico del terreno è generalmente interrotto da solchi erosivi, più o meno profondi, a forma di "V", con valli molto ampie, dai fianchi bassi, poco inclinati, solitamente pronunciate, dove affiorano terreni molto cementati.

Procedendo da nord verso sud, l'aspetto morfologico generale evidenzia il graduale passaggio da uno scenario sub-pianeggiante, interrotto da rare alture appena accennate, a un paesaggio di medio-bassa collina, caratteristico dei luoghi con litologia facilmente erodibile, con forme prevalentemente dolci, talvolta con sagome brusche in corrispondenza degli affioramenti conglomeratici. Nel settore in esame i modesti rialzi sono interessati dagli affluenti di sinistra del T. Carapelle (Marana di Valle Traversa, Fosso Viticone)

I processi evolutivi dei versanti sono, essenzialmente, dovuti all'azione modellatrice dei suddetti corsi d'acqua secondari, dove affiorano formazioni costituite principalmente di depositi di ciottolame, sabbie e sabbie argillose, argille e argille marnose, ma anche di sedimenti sabbioso-argillosi dei terrazzi di fondovalle e delle alluvioni recenti. Si evidenziano, talora, ripe di erosione fluviale, orli di terrazzo alluvionale e cigli di sponde fluviali. Le basse pendenze dei terreni, a volte con profilo sub-orizzontale, non implicano particolari situazioni d'instabilità.

Tra la zona di progetto e l'abitato di Ascoli Satriano l'area è solcata dal torrente Carapelle, avente direzione di deflusso verso NNE, e da una serie di corsi d'acqua secondari, tributari di sinistra del suddetto torrente, normalmente attivi solo nella stagione piovosa. I fondovalle dei corsi d'acqua sono ricoperti di depositi d'alveo attuali e recenti dell'Olocene, prevalentemente costituiti di limi argillosi, inframmezzati a sabbie e ghiaie, maggiormente sviluppati sia arealmente, sia in profondità lungo l'Ofanto, piuttosto limitati nei letti dei canali e dei torrenti.

L'andamento della superficie topografica è interrotto dalle incisioni vallive, allungate in direzione SO-NE, che solcano la pianura, drenando le acque superficiali provenienti dall'Appennino. L'assetto morfologico principale è caratterizzato soprattutto dalla presenza di affioramenti di natura sedimentaria, d'origine marina e continentale depositatisi in ambienti diversi.

Il substrato è costituito da una potente successione calcareo-dolomitica su cui poggia l'argilla, con ripetute, irregolari alternanze di livelli sabbiosi e ghiaiosi. Sopra questi depositi plio-pleistocenici sono presenti sedimenti marini e alluvioni terrazzate del Pleistocene-Olocene. Fuorché l'Ofanto, che evidenzia un regime a carattere perenne, i suddetti corsi d'acqua hanno carattere torrentizio e le portate assumono un valore indicativo solo a seguito di precipitazioni particolarmente abbondanti e prolungate. Si tratta in generale d'incisioni non molto approfondite, solitamente povere d'acqua, che hanno esercitato una debole attività erosiva consentendo al paesaggio di conservare abbastanza integra la successione dei terrazzi marini.

Solitamente con le prime forti precipitazioni autunnali non si vengono a determinare deflussi idrici di particolare rilievo, tanto che gli alvei restano privi d'acqua, persino fino a dicembre. Nei periodi piovosi invernali, anche se per breve durata, si possono determinare inaspettate piene con portate e coefficienti di deflusso alquanto elevati, quando i terreni dei

bacini imbriferi sono portati a saturazione dalle precipitazioni liquide e solide.

4. PERIMETRAZIONE DEI BACINI

I bacini, sono stati delimitati attraverso un attento rilevamento sul terreno, tenendo conto delle naturali pendenze della superficie topografica. (Vedere All.1 – Delimitazione bacini idrografici)

Inoltre, per tutti i corsi d'acqua rilevati sulla Carta Idrogeomorfologica redatta dall'AdB Puglia, 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

Il clima della regione pugliese varia in relazione alla posizione geografica e alle quote sul livello medio marino delle sue zone. nel complesso si tratta di un clima mediterraneo caratterizzato da estati abbastanza calde e poco piovose ed inverni non eccessivamente freddi e mediamente piovosi, con abbondanza di precipitazioni durante la stagione autunnale.

Le temperature medie sono di circa 15°C-16°C, con valori medi più elevati nell'area ionico-salentina e più basse nel Sub-Appennino dauno e Gargano.

Le estati sono abbastanza calde, con temperature medie estive comprese fra i 25°C ed i 30°C e punte di oltre 40°C nelle giornate più calde. Sul versante ionico, durante il periodo estivo, si possono raggiungere temperature particolarmente elevate, anche superiori a 30°C-35°C per lungo tempo. Gli inverni sono relativamente temperati e la temperatura scende di rado sotto lo 0°C, tranne alle quote più alte del Sub-Appennino dauno e del Gargano. Nella maggior parte della regione la temperatura media invernale non è inferiore a 5°C.

Il valore medio annuo delle precipitazioni è estremamente variabile. Le aree più piovose sono il Gargano, il Sub-Appennino dauno e il Salento sud orientale, ove i valori medi di precipitazione sono superiori a 800 mm/anno. Valori di precipitazione annua in media inferiori a 500 mm/anno si registrano nell'area tarantina e nel Tavoliere. nella restante

porzione del territorio le precipitazioni medie annue sono generalmente comprese fra 500 e 700 mm anno.

Le precipitazioni sono in gran parte concentrate nel periodo autunnale (novembre–dicembre) e invernale, mentre le estati sono relativamente secche, con precipitazioni nulle anche per lunghi intervalli di tempo o venti di pioggia intensa molto concentrati, ma di breve durata, specialmente nell’area salentina. questo clima fa sì che alla ricarica degli acquiferi contribuiscano significativamente solo le precipitazioni del tardo periodo autunnale e quelle invernali. Le precipitazioni del primo autunno e quelle estive, infatti, contribuiscono a ricostituire il contenuto d’acqua negli strati più superficiali. quelle estive, inoltre, vanno perse in modo significativo anche per evapotraspirazione.

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 **Ascoli Satriano** (FG).

5.1 PRECIPITAZIONI

L’area indagata, risulta territorialmente compresa nel territorio di Ascoli Satriano, dove è presente una stazione di raccolta di dati pluviometrici. I dati considerati coprono un intervallo temporale compreso tra il 1970 ed il 2013.

Le osservazioni sono costituite dai valori massimi annuali delle altezze di pioggia in mm per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore. 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 73,8 mm), mentre il mese più asciutto è Luglio (con un valore pari a 28,8 mm); il mese con il numero più elevato di giorni piovosi è Dicembre (circa 9,0 gg), quello con il più basso è Luglio (circa 3,3 gg) ; a tal riguardo è bene evidenziare che i dati inseriti, 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 1970-2013, è avvenuta nel 1983 con un’altezza pari a 109,8 mm; le precipitazioni massime di notevole intensità e breve durata, sempre nel periodo considerato, è avvenuta nel 2003 con un’altezza di 11,2 mm in 5 minuti. (Ved. Allegato 2)

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 Ascoli Satriano (FG), e prendono in considerazione eventi verificatisi in un intervallo temporale compreso tra il 1970 ed il 2013.

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:

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

dove:

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

α β = sono i parametri della legge di Gumbel

I parametri α e β 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 $m(h) - (s(h) / s(z)) \cdot Y_{(Tr)}$ 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:

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

Nella 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:

valori	1h	3h	6h	12h	24h
m(h)	26,046	32,580	39,234	46,086	58,446
s(h)	11,916	12,621	14,536	16,585	19,069
m(z)	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
s(z)	1,145	1,145	1,145	1,145	1,145
a = s(z) / s(h)	0,096089	0,090722	0,07877	0,069038	0,060045
b= m(z)/ a	5,619773	5,952262	6,855406	7,821747	8,99324
u= m(h) - b	20,4262	26,6277	32,3786	38,2643	49,4528

Tab. 1

Altezze lorde di pioggia relative alle serie orarie dei dati pluviometrici con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni					
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Tr 30 - X(30) mm	55,65	63,93	75,34	87,28	105,81
Tr 200 - X(200) mm	75,54	85,00	99,61	114,98	137,65
Tr 500 - X(500) mm	85,09	95,12	111,27	128,27	152,94

Tab. 2

Per verificare l'affidabilità della statistica è stato eseguito il test di Kolmogorov.

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 $D_N \frac{1,36}{\sqrt{N}}$ corrispondente ad un intervallo di confidenza del 95%.

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.

L’intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta diviso, al primo e secondo livello, in due sottozone, la prima comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno, il Gargano e l’Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la penisola salentina.

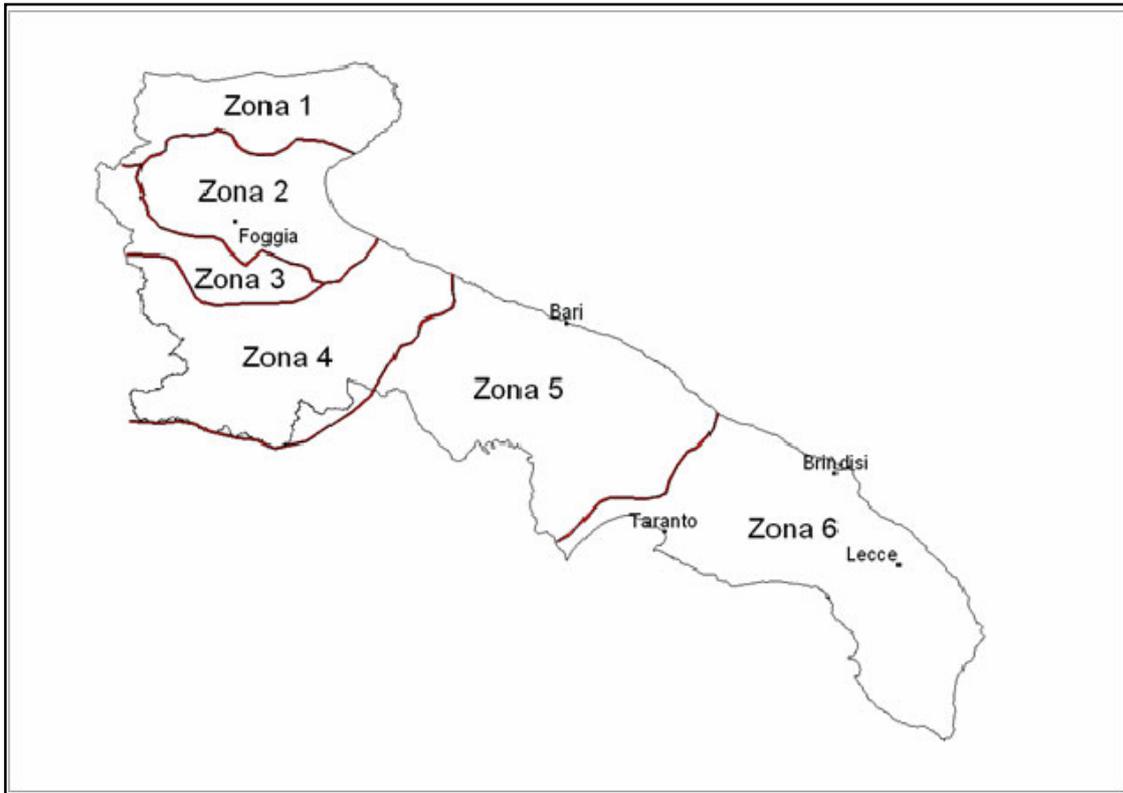


Fig. 2 – Zone omogenee

L'analisi del terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione, oltre alle quattro zone omogenee in Claps et al. (1994), di altre due zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

In definitiva, dal punto di vista dell'approccio pluviometrico, il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia è stato suddiviso in 6 aree omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica (Fig. 2)

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per la Zona 4, viene generalizzata nella forma:

$$X(d,z) = 24,70 \cdot d^{0,256}$$

Questa relazione fornisce per le diverse durate di pioggia d il valore dell'altezza di pioggia X , senza considerare il valore della quota assoluta z sul livello del mare.

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 considerata (Zona 4) risulta uguale a:

$$K_T = 0,5648 + 0,415 \cdot \ln Tr$$

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei bacini d'interesse (Tab. 3 – Fig. 3).

Caratteristiche fisiografiche						
Bacino idrografico	S (Km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (Km)	C (-)
A	2,6	510	370	230	4,5	0,80
B	1,1	280	247,5	215	2,1	0,80
C	3,0	300	250	200	4,6	0,80
D	2,9	320	250	180	5,7	0,80

Tab. 3 – Caratteristiche dei bacini individuati

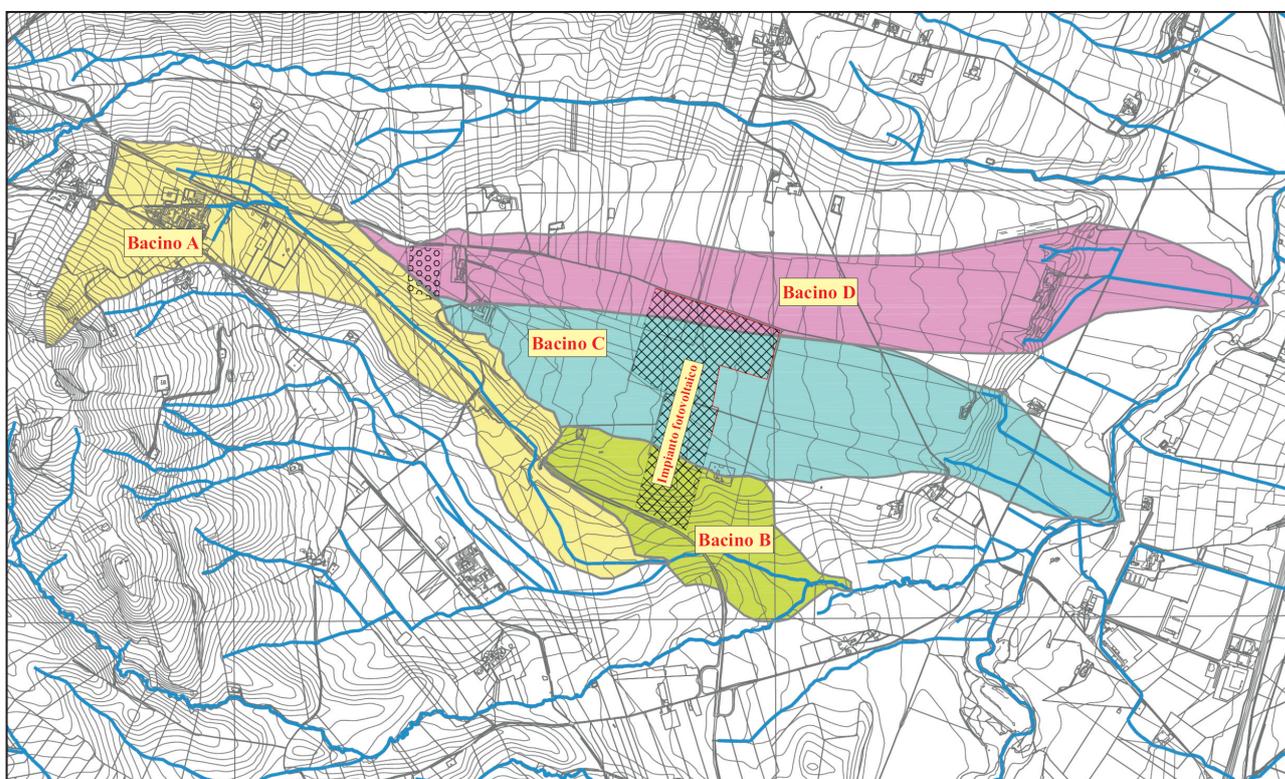


Figura 3 – Bacini idrografici (Bacino A – B – C - D) oggetto di studio su base CTR

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

Altezze lorde di pioggia – Bacini A – B – C - D					
d (ore)	1	3	6	12	24
X(d,z) (mm)	24,70	32,72	39,07	46,66	55,72
Altezze lorde di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni					
Tr (anni)	30				
K _T (30)	1,92				
X(30) (mm)	47,42	62,82	75,01	89,58	106,98
Tr (anni)	200				
K _T (200)	2,90				
X(200) (mm)	71,63	94,88	113,30	135,31	161,58
Tr (anni)	500				
K _T (500)	3,37				
X(500) (mm)	83,24	110,26	131,66	157,24	187,77

Tab. 4 – Eventi critici di pioggia relativi ai **Bacino A – B – C – D**

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:

$h_{netta}(d,Tr)$ 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. 5):

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.5: 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. 6)

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 <u>minori irrigui</u>	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 6: 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 = 2,6 Km²
- estensione del bacino B = 1,1 Km²
- estensione del bacino C = 3,0 Km²
- estensione del bacino D = 2,9 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:

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

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 (Tab.7):

Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con T_r di 30, 200 e 500 anni – Bacini A-B-C-D					
d (ore)	1	3	6	12	24
T_r (anni)	30				
h_{netta} (30) (mm)	23,33	36,35	47,18	60,50	76,77
T_r (anni)	200				
h_{netta} (200) (mm)	44,14	65,42	82,75	103,78	129,18
T_r (anni)	500				
h_{netta} (500) (mm)	54,66	79,87	100,27	124,97	154,72

Tab. 7 – Altezze efficaci di pioggia per i diversi tempi di ritorno - Bacini A – B – C – D

6.4 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 piovge 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	0,3748				
a (mm/h ⁿ)	23,73				
h_{netta} (30) (mm)	23,73	35,81	46,44	60,22	78,09
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica $T_r = 30$ anni				$h_{netta}(t,30) = 23,73 \cdot t^{0,3748}$	
n	0,3379				
a (mm/h ⁿ)	44,67				
h_{netta} (200) (mm)	44,67	64,75	81,83	103,43	130,73
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica $T_r = 200$ anni				$h_{netta}(t,200) = 44,67 \cdot t^{0,3379}$	
n	0,3274				
a (mm/h ⁿ)	55,24				
h_{netta} (500) (mm)	55,24	79,15	99,31	124,62	156,36
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica $T_r = 500$ anni				$h_{netta}(t,500) = 55,24 \cdot t^{0,3274}$	

Tab. 8 – Linee segnalatrici di possibilità climatica relativa ai bacini considerati

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 $A_A = 260$ ha

con $A_B = 110$ ha

con $A_C = 300$ ha

con $A_D = 290$ 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 dei diversi bacini:

n'	0,3801				
a' (mm/h ⁿ)	21,64				
$h'_{netta}(30)$ (mm)	21,64	32,85	42,76	55,65	72,42
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino $Tr = 30$ anni				$h'_{netta}(t,30) = 21,64 \cdot t^{0,3801}$	
n'	0,3432				
a' (mm/h ⁿ)	40,79				
$h'_{netta}(200)$ (mm)	40,79	59,47	75,44	95,70	121,40
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica $Tr = 200$ anni				$h'_{netta}(t,200) = 40,79 \cdot t^{0,3432}$	
n'	0,3327				
a' (mm/h ⁿ)	50,38				
$h'_{netta}(500)$ (mm)	50,38	72,61	91,44	115,16	145,03
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica $Tr = 500$ anni				$h'_{netta}(t,500) = 50,38 \cdot t^{0,3327}$	

Tab. 9 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino

A

n'	0,3779				
a' (mm/h ⁿ)	22,25				
h'netta (30) (mm)	22,25	33,70	43,79	56,90	73,94
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni				$h'_{netta}(t,30) = 22,25 \cdot t^{0,3779}$	
n'	0,3410				
a' (mm/h ⁿ)	41,88				
h'netta (200) (mm)	41,88	60,91	77,15	97,72	123,78
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni				$h'_{netta}(t,200) = 41,88 \cdot t^{0,3410}$	
n'	0,3305				
a' (mm/h ⁿ)	51,79				
h'netta (500) (mm)	51,79	74,46	93,63	117,73	148,05
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni				$h'_{netta}(t,500) = 51,79 \cdot t^{0,3305}$	

Tab. 10 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino B

n'	0,3806				
a' (mm/h ⁿ)	21,52				
h'netta (30) (mm)	21,52	32,69	42,56	55,41	72,13
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni				$h'_{netta}(t,30) = 21,52 \cdot t^{0,3806}$	
n'	0,3437				
a' (mm/h ⁿ)	40,51				
h'netta (200) (mm)	40,51	59,09	74,99	95,16	120,76
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni				$h'_{netta}(t,200) = 40,51 \cdot t^{0,3437}$	
n'	0,3332				
a' (mm/h ⁿ)	50,09				
h'netta (500) (mm)	50,09	72,23	90,99	114,64	144,42
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni				$h'_{netta}(t,500) = 50,09 \cdot t^{0,3332}$	

Tab. 11 – Linee segnalatrici di possibilità climatica ragguagliate all'area del bacino – Bacino C

n'	0,3804				
a' (mm/h ⁿ)	21,55				
h'netta (30) (mm)	21,55	32,73	42,60	55,46	72,19
Equazione della linea segnalatrice ragguagliata all'area di bacino Tr = 30 anni				$h'_{netta}(t,30) = 21,55 \cdot t^{0,3804}$	
n'	0,3436				
a' (mm/h ⁿ)	40,57				
h'netta (200) (mm)	40,57	59,17	75,09	95,28	120,90
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 200 anni				$h'_{netta}(t,200) = 40,57 \cdot t^{0,3436}$	
n'	0,3331				
a' (mm/h ⁿ)	50,16				
h'netta (500) (mm)	50,16	72,32	91,11	114,77	144,57
Equazione della linea segnalatrice di possibilità climatica Tr = 500 anni				$h'_{netta}(t,500) = 50,16 \cdot t^{0,3331}$	

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

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 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 m^3/s , utilizzando la seguente relazione:

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

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

	BACINO A	BACINO B	BACINO C	BACINO D
A (km ²)	2,6	1,1	3,0	2,9
L (km)	4,4	2,1	4,6	5,7
H _m (m)	370	247,5	250	250
H _c (m)	230	215	200	180
H (m)	140	32,5	50	70
<i>t_e</i> (ore)	1.37	1.32	2,44	2.29
Tr = 30 anni				
<i>i'c</i> (30) (m/s)	3,08 *10 ⁻⁰⁷	3,18 *10 ⁻⁰⁷	2,15 *10 ⁻⁰⁷	2,24 *10 ⁻⁰⁷
Q_{max}(30) (m³/s)	0,80	0,35	0,65	0,65
Tr = 200 anni				
<i>i'c</i> (200) (m/s)	4,24*10 ⁻⁰⁷	4,37*10 ⁻⁰⁷	2,90*10 ⁻⁰⁷	3,03*10 ⁻⁰⁷
Q_{max}(200) (m³/s)	1,10	0,48	0,87	0,88
Tr = 500 anni				
<i>i'c</i> (500) (m/s)	4,80*10 ⁻⁰⁸	4,93*10 ⁻⁰⁷	3,26*10 ⁻⁰⁷	3,40*10 ⁻⁰⁷
Q_{max}(500) (m³/s)	1,20	0,54	0,98	0,99

7 RIFERIMENTI e CONCLUSIONI

Dal calcolo delle Portate di Piena sopra riportate, si evince che l'Impianto che anche nelle condizioni peggiori di piena l'esondazione delle acque non potrà raggiungere l'area dove è prevista la realizzazione dell'Impianto.

In conclusione, dai dati rilevati e da quanto espresso precedentemente, le opere di progetto sono compatibili con le condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area.

Il tecnico

dott. geol. Valter D'AUTILIA

Valter D'Autilia

