

IMPIANTO AGRI-NATURALISTICO-VOLTAICO (ANaV) CERIGNOLA SAN GIOVANNI IN FONTE

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNE di CERIGNOLA

Progetto per la realizzazione dell'impianto (ANaV)
per la produzione di energia elettrica da fonte solare della
potenza complessiva di 99,42 MW, sito nel comune di Cerignola,
località "San Giovanni in Fonte" e relative opere di connessione
nei comuni di Stornarella, Orta Nova e Stornara (FG)

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato:

Titolo:

Rel. 14

Relazione Idrologica

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

Y1CRT40_RelazioneIdrologica_14

Progettazione:

Committente:



Università degli Studi di Firenze
Dr. Enrico Palchetti
Piazzale delle Cascine, 18 - 50121 Firenze
Centralino +39 055 2755800
enrico.palchetti@unifi.it - dagri@pec.unifi.it



TOZZIgreen

TOZZI GREEN S.p.a.
Via Brigata Ebraica, 50 - 48123 Mezzano (RA)
Tel 0544 525311 Fax 0544 525319
info@tozzigreen.com - tozzi.re@legalmail.it
www.tozzigreen.com

ALIA

ALIA SOCIETA' SEMPLICE
Prof. Arch. Giovanni Campeol
Piazza delle Istituzioni, 22 - 31100 Treviso
Tel. 0422 235343
alia@aliavalutazioni.it - aliasocieta@pec.it

Industrial service S.r.l.
Via Aliano, 25 - 71042 Bolzano (BZ) - Italia
Tel. 0885 542 07 74
info@industrial-service.it



Studio Tecnico Calcarella
Dott. ing. Fabio Calcarella
Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu

Consulenza Scientifica:

Politecnico di Bari
Dip. Meccanica Matematica e Management
Prof. Ing. Riccardo Amirante
via Orabona 4 - 70126 Bari
amirante@poliba.it



SE.ARCH. S.r.l.

SE.ARCH - S.r.l.
Dott. Stefano Di Stefano
Via del Vigneto, 21 - 39100 Bolzano (BZ) - Italia
serviziarcheologia@pec.it

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2021	Prima emissione	STC	FC	Tozzi Green

Sommario

1	Dati relativi all'intervento proposto.....	2
1.1	Premessa.....	2
1.2	Tipologia dell'opera.....	3
1.3	Inquadramento.....	6
2	Inquadramento geologico ed idrogeologico del territorio	9
3	Considerazioni climatiche generali.....	11
4	Compatibilità del sito alle NTC del PAI (Puglia)	12
5	Compatibilità del sito con il reticolo individuato nella pianificazione territoriale	12
6	Studio Idrologico.....	19
6.1	Analisi statistica – Regolarizzazione di Gumbel.....	21
6.2	Verifica – Test di Kolmogorov.....	35
6.3	Progetto VA.PI. – Metodo della regionalizzazione	35
6.4	Confronto dei risultati.....	40
6.5	Calcolo delle altezze di pioggia efficace.....	40
6.6	Calcolo delle portate di piena	45
6.6.1	Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.....	45
6.6.2	Tempo di corrivazione	47
6.6.3	Calcolo delle portate di piena e relativo andamento	47
7.	CONCLUSIONI.....	49

1 **Dati relativi all'intervento proposto**

1.1 **Premessa**

Il presente documento, ha lo scopo di studiare la compatibilità idrologica del progetto di costruzione di un impianto agrovoltaiico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica, della potenza complessiva di 99,42 MW, da realizzarsi nel comune di Cerignola, in località "San Giovanni in Fonte", con relative opere di connessione alla RTN, nei Comuni di Stornarella, Orta Nova e Stornara (FG).

Il sistema integrato **ANaV** si caratterizza per diversi aspetti innovativi ed unici:

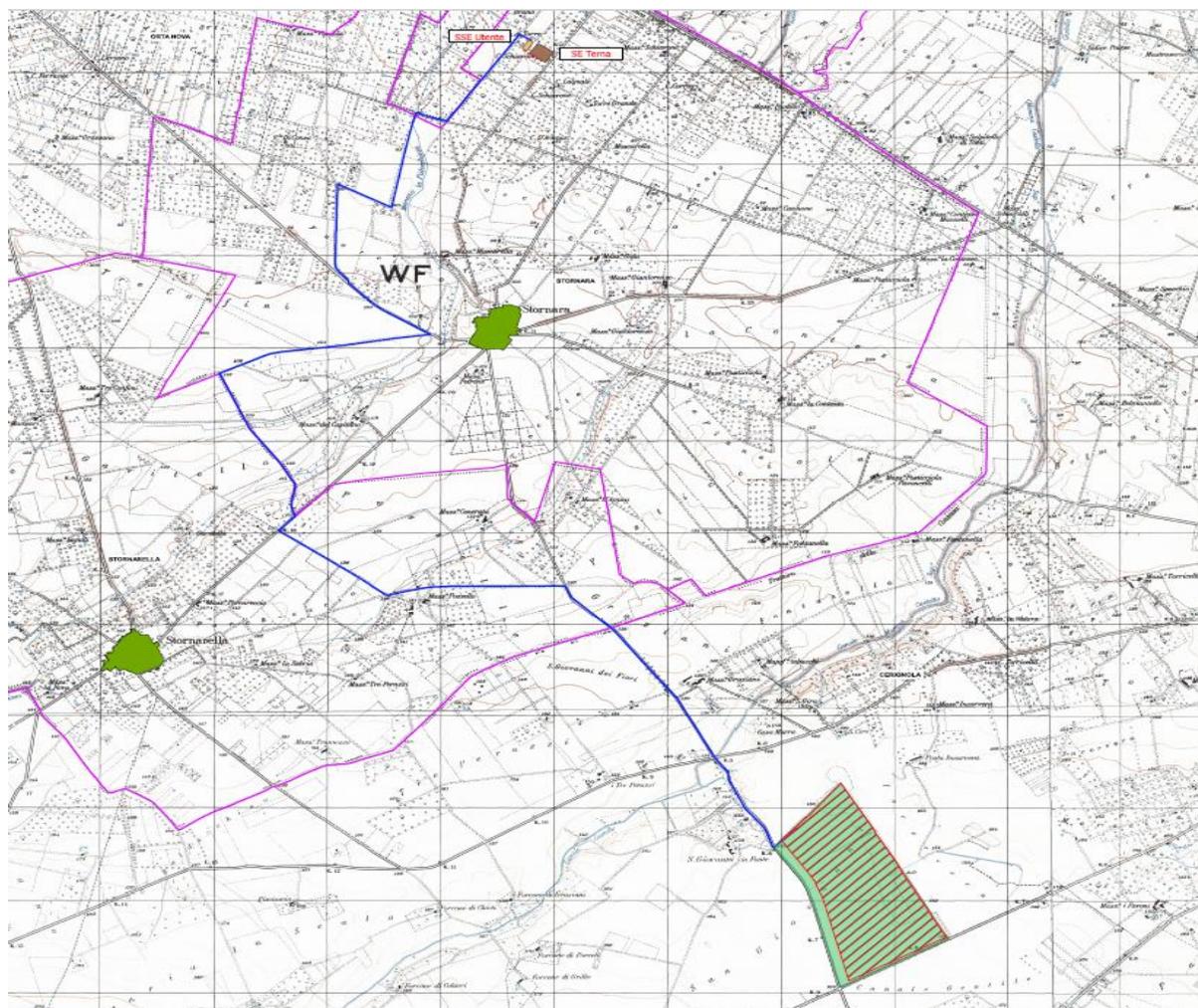
1. **Tecnologici:** l'impiego di pannelli fotovoltaici, opportunamente sollevati da terra e distanziati tra loro, del tipo a Tracker mono-assiali ad inseguimento, che consente di disporre di fasce costantemente libere dall'ingombro dei pannelli (indipendentemente dalla posizione in oscillazione) larghe più di 9 metri; in tal modo viene massimizzato il suolo a disposizione delle colture agricole che vengono effettuate sia nell'interfila sia, parzialmente, sotto i pannelli stessi;
2. **Agronomici:** l'adozione di colture agricole scelte in sintonia con gli ordinamenti colturali della zona senza perturbare il mercato locale, incluso quello del lavoro e l'impianto di frutteti, vigneti e oliveti nelle fasce marginali del sito di progetto;
3. **Naturalistici:** il preservare alcune zone dalle interferenze antropiche al fine di favorire l'insediamento dell'entomofauna e microfauna tipiche dell'habitat naturale (Habitat 62: Formazioni erbose secche semi naturali e facies coperte da cespugli - 6220*: Percorsi sub-steppici di graminacee e piante annue dei Thero-Brachypodietea). In tal modo si contribuisce all'incremento del livello di biodiversità vegetale ed animale della zona;
4. **Culturali e paesaggistici:** la valorizzazione della fascia di rispetto del tratturello Stornara-Montemilone quale segno territoriale adiacente al progetto a valenza paesaggistica, con lo scopo di recepire ed enfatizzare gli obiettivi di **salvaguardia della continuità**, della **fruibilità del percorso** e della **leggibilità del tracciato** indicati dalle Linee Guida per la formazione del Documento Regionale di Valorizzazione della rete dei tratturi, dal Progetto Pilota del PPTR per il Recupero e valorizzazione del tratturo Pescasseroli-Candela e dalle norme del PPTR; inoltre, lo studio delle fasce perimetrali del progetto al fine di un migliore inserimento paesaggistico dello stesso, anche attraverso il recupero e il potenziamento dell'*habitat 6220 (Prati aridi mediterranei)*, tipico dei percorsi tratturali e presente nell'intorno dell'area di progetto.

5. **Integrativi:** l'inserimento all'interno del sistema colturale di aree dedicate alla coltivazione di specie erbacee mellifere per l'allevamento di api (*Apis mellifera*) ospitate in arnie poste sotto i pannelli fotovoltaici per una accessoria produzione di miele (Miele-Solare); si incrementa così il livello di biodiversità vegetale della zona;
6. **Monitoraggio:** l'adozione di un intenso e continuativo monitoraggio del sistema agricolo e naturalistico in fase di esercizio dell'impianto ANaV, mediante una prolungata campagna di raccolta dati per la valutazione del mantenimento degli originali livelli di fertilità, biodiversità vegetale ed animale della zona. Si valorizza il territorio con la creazione di un'area di studio/dimostrativa unica in Italia.

1.2 Tipologia dell'opera

Come detto, l'iniziativa in esame riguarda la costruzione e l'esercizio di un impianto Agri-Naturalistico-Voltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare fotovoltaica della potenza complessiva di 99,42 MW, sito nel Comune di Cerignola (FG) in località "San Giovanni in Fonte" e relative opere di connessione nei comuni di Stornarella, Orta Nova e Stornara, denominato "Impianto Agri-Naturalistico-Voltaico San Giovanni in Fonte" (di seguito anche "Impianto ANaV").

La società proponente l'intervento in oggetto è la Tozzi Green S.p.a., con sede in Via Brigata Ebraica, 50 – 48123 – Mezzano (RA).



Il sistema agri-naturalistico-voltaico previsto, in continuità con la destinazione d'uso attuale dei luoghi e le tradizioni colturali del territorio, consente un corretto inserimento dell'iniziativa nel contesto territoriale, salvaguardando la produzione agricola e, contestualmente, agendo positivamente sul contesto botanico-vegetazionale e faunistico dell'area.

Un sistema integrato basato sulla combinazione della tecnologia fotovoltaica e dell'agricoltura necessita di alcuni accorgimenti tanto per la parte impiantistica di produzione dell'energia quanto per la parte agricola e la gestione di entrambe le attività. Sono stati accuratamente analizzati, pertanto, tutti gli aspetti tecnici e le varie procedure operative nella gestione del suolo e delle colture (vista la presenza delle strutture di sostegno dei trackers), nonché gli effetti dei pannelli fotovoltaici sulle condizioni microclimatiche e sulla coltivazione delle colture. Contestualmente si sono valutate le caratteristiche che i trackers devono avere per essere congeniali all'attività agricola che si svolge sulla stessa area.

Infatti, i trackers per posizione, struttura, altezza dell'asse di rotazione da terra devono consentire il passaggio delle macchine agricole convenzionali per svolgere le normali operazioni di lavorazione del terreno e raccolta dei prodotti agricoli.

La produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile è affidata alla realizzazione di un impianto agrovoltaiico con moduli su inseguitori monoassiali per una potenza complessiva di 99,42 MWp, opportunamente sollevati da terra e posizionati in modo da essere congeniali all'attività agricola che si svolge sulla stessa area.

I moduli fotovoltaici (bifacciali di potenza nominale unitaria pari a 605 Wp e 615 Wp), hanno dimensione di 1.3 x 2.2 m e spessore di 4 cm circa e sono montati a coppie in orizzontale rispetto all'asse principale dell'inseguitore. Su ciascun inseguitore mono assiale saranno montati 28 moduli.

L'impianto sarà quindi costituito dall'area di installazione dei moduli fotovoltaici e dei gruppi di conversione/trasformazione dell'energia prodotta dagli stessi moduli. L'energia elettrica prodotta a 550 V in c.c. dai generatori fotovoltaici (moduli) viene prima raccolta in dei Quadri di Parallelo Stringhe posizionati in campo in prossimità delle strutture di sostegno dei moduli e quindi convogliata presso i gruppi di conversione/trasformazione (Shelter), all'interno dei quali avviene dapprima la conversione della corrente da c.c. a c.a. (per mezzo di un inverter centralizzato da 6.228 kVA) e successivamente l'innalzamento di tensione da 0,55 kV a 30 kV (per mezzo di un trasformatore MT/BT). Da qui, l'energia sarà trasportata verso una Cabina di Raccolta, ubicata anch'essa all'interno delle aree di impianto.

Da ciascun Shelter quindi, partirà una linea in Media Tensione verso la Cabina di Raccolta (CdR), originando così un collegamento di tipo a "stella". Dalla Cabina di Raccolta l'energia sarà convogliata in una Sottostazione Elettrica Utente 30/150 kV (di nuova realizzazione), da ubicarsi nel Comune di Stornara, in prossimità della futura Stazione Elettrica DI Smistamento Terna 150 KV di Stornara (già autorizzata e di prossima realizzazione). Il collegamento alla Sottostazione Elettrica Utente, avverrà tramite una linea elettrica interrata a 30 kV avente lunghezza di circa 15,5 km. Il collegamento alla futura SE Terna invece, avverrà tramite linea aerea collegata da un lato allo Stallo di consegna Terna e dall'altro allo Stallo AT Utente, comprensivo di un sistema di Sbarra AT a 150 kV che consentirà la connessione di altri Utenti Produttori, e quindi la condivisione del punto di cessione dell'energia prodotta secondo quanto previsto nella **Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG)** rilasciata da Terna al Produttore.

La Sottostazione da realizzare è ubicata nel foglio n.4 particella 26 del N.C.T. del Comune di Stornara (FG).

1.3 Inquadramento

Il progetto dell'impianto ANaV interessa un unico lotto ubicato ad una distanza minima di circa 6 km a Sud-Ovest dell'abitato di Cerignola (FG), e a circa 5 km a Sud-Est degli abitati di Stornara e Stornarella.

Le aree di impianto sono pressoché pianeggianti ed hanno altezza sul livello del mare compresa tra 151 e 166 m circa, attualmente investite a seminativo, e sono ricomprese all'interno del quadrilatero delimitato dalle strade:

- SS16 a Nord-Est;
- SP 88 a Nord;
- SP 83 a Ovest;
- SP95 a Sud.

In particolare, la Strada Provinciale SP95, è adiacente ai confini dell'iniziativa ANaV, ma da questa, in ottemperanza a quanto stabilita dal Codice della Strada, con la recinzione dell'impianto agrovoltaiico ci si è mantenuti ad una distanza minima di 30 m. Ugualmente la SP 83 è adiacente al confine ovest dell'iniziativa ANaV. Da questa, la recinzione che delimita l'impianto agrovoltaiico, è prevista alla distanza di 100 m, poiché la stessa SP è riportata nelle perimetrazioni del PPTR Puglia, come "Tratturello Stornara-Montemilone"



Fig. 1 - Inquadramento generale su Ortofoto, in verde le aree di impianto ANaV, in blu il cavidotto a 30 kV, in arancio la Sottostazione elettrica Utente



Fig. 2 - Inquadramento su Ortofoto (in rosso le aree di impianto)

È previsto che la centrale fotovoltaica venga allacciata alla rete di Distribuzione tramite una Sottostazione Elettrica Utente (150/30 kV) di trasformazione e consegna, da realizzare contestualmente, a sua volta è collegata alla futura Stazione Elettrica Terna 150 KV che verrà realizzata nel Comune di Stornara (FG).

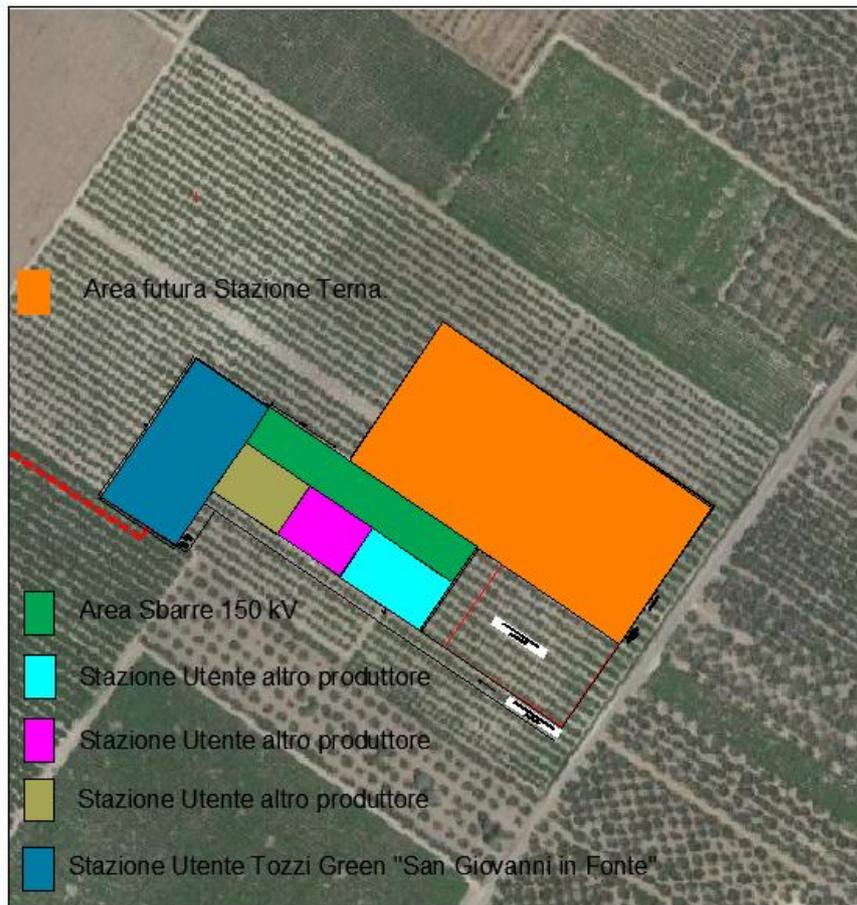


Fig. 3 - Inquadramento SSE di progetto e SE Terna

2 Inquadramento geologico ed idrogeologico del territorio

L'area in esame viene riportata nel foglio 175 di Cerignola della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, ed è posizionata ad una quota topografica compresa tra 155 e 160 metri s.l.m.; la SE sorgerà su un'area sita a 82.0 metri s.l.m.

L'area oggetto di studio ricade nella Piana del Tavoliere di Capitanata, la più vasta piana alluvionale dell'Italia meridionale, presenta una morfologia sub-pianeggiante, dolcemente degradante verso est, verso la costa.

Nell'area sono distinguibili zone nelle quali l'azione modellatrice delle forze esogene ha risentito delle diverse situazioni geologiche. La morfologia è caratterizzata da vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da ampie valli con fianchi alquanto ripidi.

Da un punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da un'idrografia superficiale ben sviluppata, scorre in direzione sud-ovest nord-est il torrente Cervaro. Esistono inoltre altri canali di scolo di natura antropica.

Nell'immediato intorno dell'area oggetto di studio affiorano dei sedimenti plio-quadernari che rappresentano la chiusura dell'avanfossa appenninica, compresa tra la Daunia ed il promontorio del Gargano; specificatamente nel territorio interessato dall'intervento affiorano dei sedimenti olocenici: si tratta di depositi alluvionali terrazzati, costituiti da ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose.

Da un punto di vista stratigrafico i rilievi di superficie hanno permesso di riconoscere una sola formazione che interessa tutto il territorio di Foggia; si tratta di formazioni continentali quadernarie, formate in prevalenza da sedimenti sabbioso-argillosi, subordinatamente ciottolosi. Frequentemente presentano terre nere ed incrostazioni calcaree. Tali alluvioni terrazzate trovano una spiegazione nella presenza dei torrenti principali: il Candelabro, il Cervaro ed il Carapelle.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea si possono distinguere tre diversi tipi di acque: freatiche, artesiane e carsiche.

I caratteri idrogeologici dipendono dalle caratteristiche di permeabilità dei terreni presenti in profondità.

Significativamente minore, rispetto alle rocce calcareo-dolomitiche, è il grado di permeabilità delle sabbie e dei depositi alluvionali, permeabili principalmente per porosità interstiziale.

I terreni sciolti quadernari e i depositi della piana alluvionale (alternanze di sabbie limose e limi con ciottoli) risultano scarsamente permeabili in quanto terreni a granulometria fine e bene assortita.

A causa della natura comunque permeabile dei terreni affioranti, una certa aliquota delle precipitazioni si infiltra nel sottosuolo e va ad alimentare le falde idriche sotterranee. Nell'area del bacino possono individuarsi due acquiferi: un acquifero inferiore, localizzato in corrispondenza delle rocce carbonatiche mesozoiche, che si ricollega al vasto acquifero del Gargano, e un acquifero superiore

di limitata estensione, localizzato in corrispondenza dei corpi sabbiosi e dei depositi della piana Alluvionale.

La falda superficiale che circola nei depositi sabbioso-ghiaiosi quaternari ha potenzialità estremamente variabili da zona a zona, anche in base alle modalità del ravvenamento che avviene prevalentemente dove sono presenti in affioramento materiali sabbioso-ghiaiosi.

Il basamento di questo acquifero superficiale è rappresentato dalla formazione impermeabile argillosa di base.

La morfologia della superficie piezometrica che nel territorio risulta fortemente condizionata da quella del substrato impermeabile.

L'alimentazione è esclusivamente locale, avviene tramite le precipitazioni meteoriche e non si può escludere che nei periodi di abbondanti precipitazioni possa raggiungere il piano campagna, provocando così fenomeni di allagamenti e ristagno in superficie.

Non è stata rilevata alcuna falda che possa interferire con le opere fondali dell'impianto da realizzare.

3 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.

Il Tavoliere delle Puglie è interessato da un tipico clima mediterraneo, con inverno mite, in quanto le temperature scendono sotto lo zero solo occasionalmente, e con estate calda e seccata. L'andamento delle precipitazioni durante l'anno, evidenzia una concentrazione di eventi piovosi durante la stagione autunno-invernale; durante il periodo primaverile cade una discreta quantità di pioggia, mentre scarse risultano le precipitazioni durante la stagione estiva; le precipitazioni medie annue risultano intorno a 500 mm di pioggia. Grazie alle temperature minime invernali che si attestano sopra lo zero, in questo areale è possibile praticare un'orticoltura intensiva anche nei mesi invernali; è possibile inoltre la coltivazione delle drupacee molto sensibili alle gelate tardive. I venti dominanti sono quelli provenienti da nord; durante il periodo estivo possono prevalere il maestrale da nord-ovest, la tramontana da nord ed infine il grecale proveniente da nord-est.

4 Compatibilità del sito alle NTC del PAI (Puglia)

Le opere in esame (impianto agrovoltico, cavidotto di collegamento alla Sottostazione Elettrica e Sottostazione Elettrica) inoltre non interferiscono con esso in nessun modo, risultando quindi compatibili alle NTC del Piano di Assetto Idrogeologico del PAI – Puglia, Artt. 6 e 10, poiché rimangono ben al di fuori delle fasce di pertinenza fluviale (75 m in destra e sinistra dell'asta fluviale). Solo il cavidotto di collegamento interseca in alcuni punti le aste fluviali, ma sempre in corrispondenza di strade esistenti. Tutte le altre opere, Impianto Agrovoltico e Sottostazione, hanno distanze ben maggiori.

5 Compatibilità del sito con il reticolo individuato nella pianificazione territoriale Corsi d'acqua PPTR (D.Lgs 42/04 art 142 c)

Il PPTR individua un corso d'acqua (Canale Castello), che, nel punto più vicino all'area di impianto, scorre a circa 1 km a Nord.

Inoltre si rileva una differenza di quota notevole tra il letto del corso d'acqua e l'area di impianto, circa 20 m, che garantisce franco di sicurezza anche nel caso di eventi con tempi di ritorno superiori a 500 anni.



Fig. 4 - Area di impianto (in rosso) e fascia di rispetto del Canale Castello (in azzurro)

Il percorso del cavidotto MT di connessione presenta 3 punti di attraversamento con corsi d'acqua. In tutti i casi la posa è interrata al di sotto di strada esistente e l'attraversamento verrà eseguito con Perforazione Orizzontale Guidata (TOC), mantenendo un franco adeguato al di sotto del letto di scorrimento del corso d'acqua o, in alternativa, all'interno di tubazioni fisse da posizionare sulle sponde dei ponti stradali.

Il tragitto del cavidotto MT interseca anche in altri punti la sola fascia di rispetto di corsi d'acqua, ma la modalità di posa è sempre interrata su strada esistente.



Fig. 5 - Interferenze del cavidotto MT (in arancio)

Carta Idrogeomorfologica dell'AdB Puglia

Il reticolo esistente è stato cartografato dall'Autorità di Bacino della regione Puglia nella Carta Idrogeomorfologica aggiornata al 21/02/2017.

La carta individua il corso d'acqua citato (Canale Castello) e, in prossimità della località San Giovanni in Fonte, una breve diramazione che risulta poco più vicina all'area di impianto e da cui presumibilmente trae origine la località. Le caratteristiche morfologiche dell'area compresa tra tale diramazione e l'area di impianto sono evidenti nello stralcio seguente, nel quale l'area di impianto è sempre riportata in rosso ed il reticolo della Carta Idrogeomorfologica in blu:

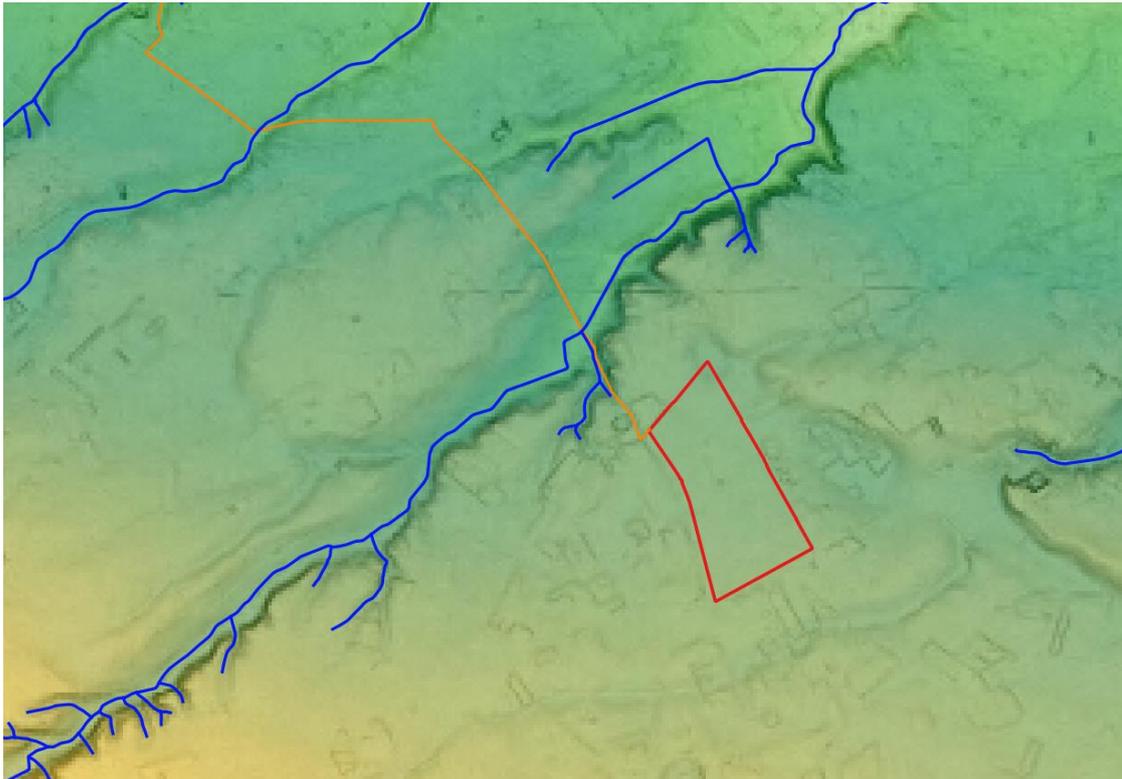


Fig. 6 - Reticolo carta idrogeomorfologica con individuazione della diramazione più prossima all'area di impianto

La direzione di scorrimento della diramazione risulta opposta rispetto alla posizione dell'area di impianto, che comunque dista oltre 500 m. Inoltre si rileva una differenza di quota di circa 10 m.

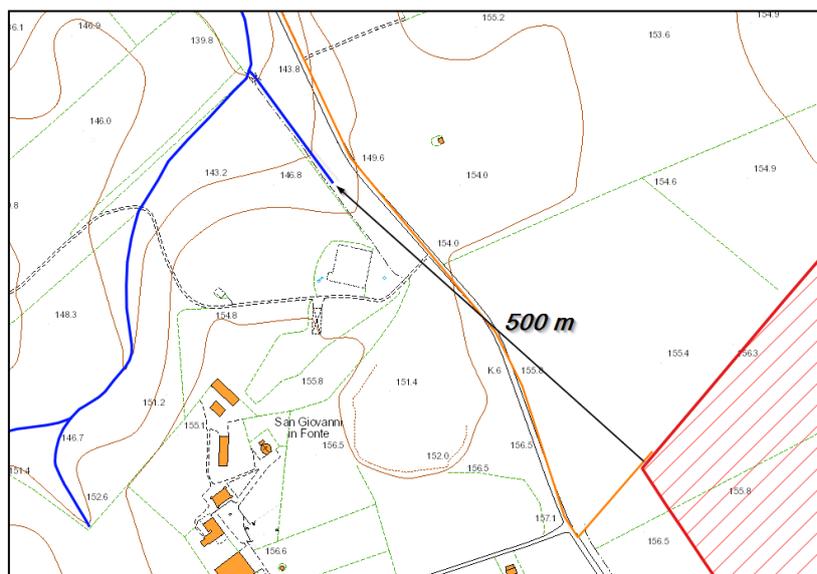


Fig. 7 - Distanza tra area di impianto e punto più vicino del reticolo

Piano di Assetto Idrogeologico dell'AdB Puglia

Il PAI individua le aree a bassa, media ed alta pericolosità di inondazione. Come rilevabile dalla tavoletta, tali perimetrazioni non interessano in alcun modo l'area di impianto, né tantomeno il percorso del cavidotto.

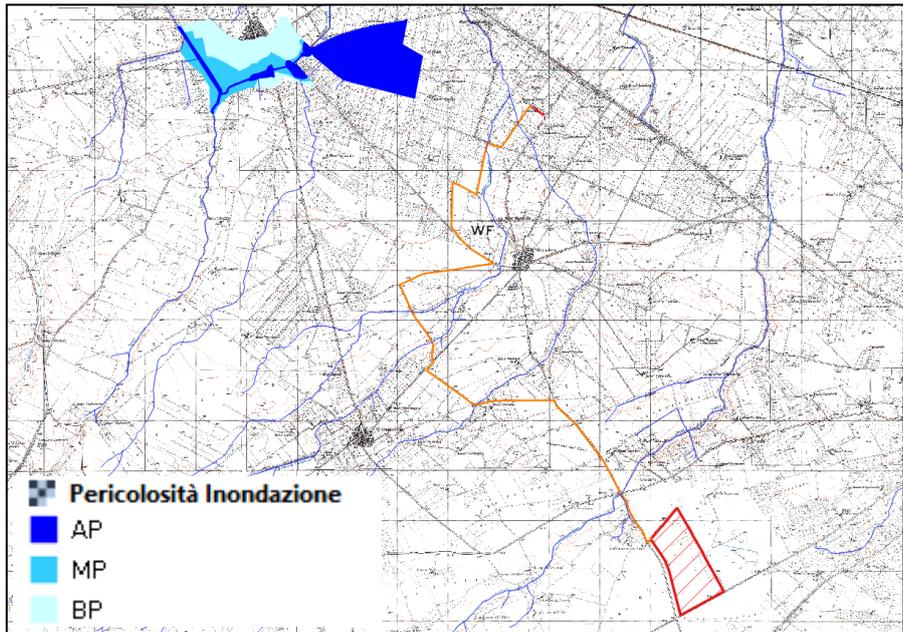


Fig. 8 - Distanza tra area di impianto e punto più vicino del reticolo

Cartografia IGM 1:25.000 e confronto con stato di fatto

Nella cartografia 1:25.000 dell'IGM sono riportati i corsi d'acqua rilevati all'epoca della redazione. L'area di impianto sembrerebbe interessata da alcuni piccoli tratti di canale, che, per dimensioni e caratteristiche sembrerebbero essere semplici canali di raccolta acque ai margini di singoli lotti di terreno.

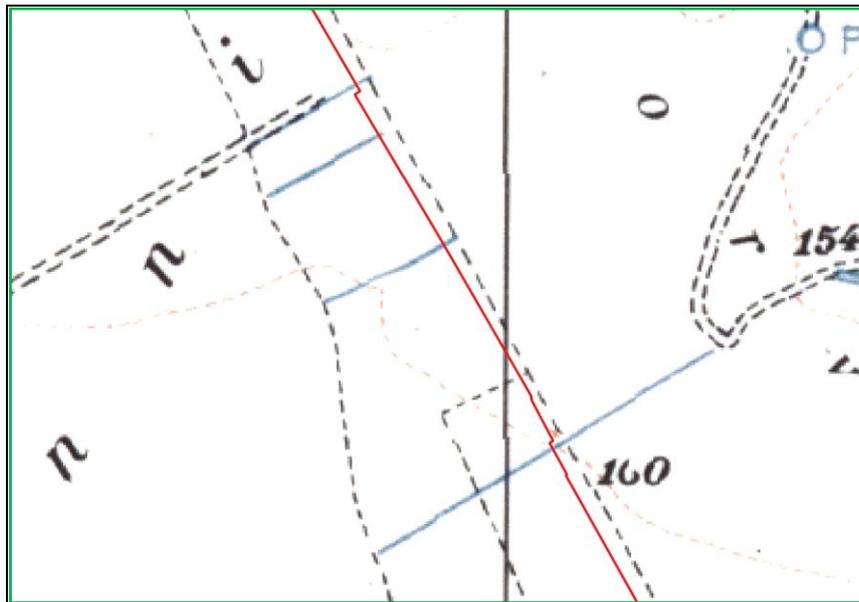
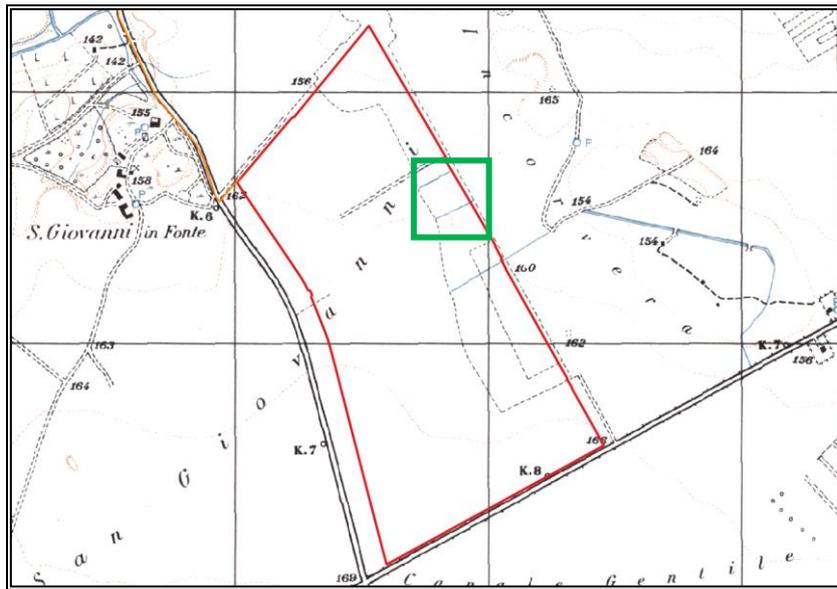


Fig. 9, 10 - Canali riportati nella cartografia IGM 1:25.000

Il confronto con lo stato di fatto, riportato nella sovrapposizione con l'ortofoto e nell'ortofoto semplice, per maggiore chiarezza, evidenzia quanto segue:

- L'area è totalmente interessata da coltivazioni che ne hanno certamente uniformato la morfologia;
- Non sono infatti rilevabili i segni dei canali riportati nella cartografia IGM, così come non risulta esistente neanche la strada interpodereale che si trova nella parte alta a sinistra dell'immagine;

- Si rileva, nell'angolo in basso a sinistra dell'immagine, la presenza di una vasca di raccolta dell'acqua piovana, che viene riutilizzata a scopo irriguo; non si rileva la presenza di canali di dimensioni significative che affluiscano nella vasca.



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.

La curva di possibilità pluviometrica è stata calcolata considerando che i dati delle piogge, della durata di un'ora e superiori (1, 3, 6, 12, 24 ore), della stazione pluviometrica di *Orta Nova (FG)*, situata a circa 6 km a ovest della SSE in progetto.

La scelta è stata determinata anche perché, oltre alla vicinanza e all'orografia, questa stazione pluviometrica presenta un numero di misurazioni sufficientemente completo su base storica.

Sono state considerate le altezze massime di pioggia registrate dal 1980 al 2013 per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore. Il numero di osservazioni totale è pari a 31. (**Tab. 1**)

	REGIONE PUGLIA SEZIONE PROTEZIONE CIVILE <i>Centro Funzionale Decentrato</i>	
CERIGNOLA		
latitudine 41° 15' 48,39" N		longitudine 15° 54' 18,10" E

n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1	10.4	15.2	17.0	22.0	27.4
2	20.0	29.0	38.0	41.0	43.2
3	21.0	28.6	38.6	73.6	86.0
4	16.4	21.2	21.4	27.6	34.0
5	19.8	21.6	28.4	44.4	53.8
6	38.0	46.2	57.2	70.0	70.0
7	14.8	21.8	25.2	44.6	50.0
8	23.8	30.8	42.2	53.0	59.4
9	29.4	42.2	43.4	43.4	63.4
10	21.2	33.0	41.6	49.4	60.0
11	19.0	24.2	25.4	32.8	49.0
12	14.0	27.6	37.0	62.6	65.6
13	19.6	34.8	41.0	45.2	48.4
14	16.2	17.2	20.8	24.6	30.0
15	62.2	70.2	71.4	71.4	71.4
16	15.2	21.4	26.6	32.6	35.6
17	13.0	13.0	24.0	34.0	45.8
18	32.6	17.0	25.4	35.4	42.4
19	23.4	40.2	40.4	43.2	43.4
20	25.4	32.8	38.0	48.2	48.6
21	37.8	28.0	34.6	41.2	47.2
22	12.2	39.4	39.8	42.2	46.0

n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
23	24.8	18.0	29.8	44.8	57.0
24	18.0	29.4	29.6	30.2	40.6
25	22.6	18.2	18.2	26.6	42.6
26	20.6	25.0	27.8	49.6	72.0
27	16.2	40.4	53.4	53.6	58.0
28	28.2	17.4	19.6	29.8	39.8
29	41.8	34.6	58.0	67.2	83.4
30	11.6	52.6	55.6	62.4	72.8
31	-	19.6	23.8	38.4	52.8

Tab. 1 - Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di Cerignola (FG)

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.

L'insieme dei valori x assunti da una generica grandezza idrologica può essere considerato una variabile casuale X la cui popolazione è costituita dall'insieme di tutti i valori che la x ha assunto per il passato o potrà assumere in futuro.

La serie statistica costituita dagli n valori $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ assunti dalla x in una determinata stazione di misura, può essere considerato come un campione di dimensione n tratto a caso dalla popolazione della X .

Ci si propone di risalire dalla composizione nota del campione a quella incognita della popolazione, tenendo però bene in conto che, per difetto di campionatura, la composizione del primo può scostarsi, più o meno, da quella della seconda.

All'interno di una generica variabile casuale Z , definita variabile originaria, si considera un campione di dimensione k di osservazioni tratte a caso dalla popolazione della z e si assume come variabile il massimo valore $x=z_k$ assunto da z fra le osservazioni del campione.

Posto che dalla popolazione della z possono pensarsi tratti infiniti campioni di dimensione k e posto che z_k assume di volta in volta valori diversi, alla distribuzione della variabile originaria z si può associare quella del valore massimo in un campione di dimensione k .

Ciò premesso, la funzione di ripartizione $\Phi(x)$ del massimo valore $x=z_k$, raggiunto dalla variabile originaria z in un campione di dimensione k , misura la probabilità che x risulti inferiore o al più eguale a un assegnato valore.

Se fosse nota la funzione di ripartizione $\Phi(z)$ della z , $\Phi(x)$, in base al quinto assioma del calcolo delle probabilità, sarebbe definito a mezzo della relazione:

$$\Phi(x = z_k) = [\Phi(z)]^k$$

se le k osservazioni che costituiscono il campione sono indipendenti una dall'altra.

In effetti la $\Phi(z)$ raramente è nota. Quando però si considerino campioni di grande dimensione, sicché i valori massimi z_k risultano spostati nel campo dei valori più grandi della x , ai fini applicativi è sufficiente conoscere l'andamento della $\Phi(z)$ in prossimità dei valori massimi e dedurre da questo l'andamento assunto dalla $\Phi(x)$ per diversi valori di k , in particolare esaminando se essa tende a una forma asintotica al crescere di k all'infinito.

Nel campo dell'idrologia la $\Phi(z)$ risulta generalmente di tipo esponenziale.

Sia ε il valore di z che ci si deve attendere che venga superato una volta su k (estremo atteso), per cui:

$$k[1 - \Phi(z = \varepsilon)] = 1$$

considerando il parametro $\alpha = k\Phi(z = \varepsilon)$ che misura la rapidità con cui ε varia al variare di k (intensità di funzione) e sviluppando in serie di Taylor la funzione $\Phi(z)$ in prossimità di ε si può dimostrare che per grandi valori di z , quale che sia $\Phi(z)$, risulta:

$$\Phi(z) = 1 - \frac{1}{k} e^{-\alpha(x-\varepsilon)}$$

$$\Phi(x) = \left[1 - \frac{1}{k} \cdot e^{-\alpha(x-\varepsilon)} \right]^k$$

che tende, per k tendente ad infinito, alla funzione asintotica:

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

che viene perciò definita legge asintotica del massimo valore, o legge doppio esponenziale o legge di **Gumbel**.

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

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

Dati Elaborazione

- **Stazione di misura:** Cerignola
- **Distribuzione probabilistica:** Gumbel
- **Metodo di stima dei parametri:** Massima verosimiglianza
- **Elaborazioni presenti:** 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)
- **Elaborazioni valide:** 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Stima parametri

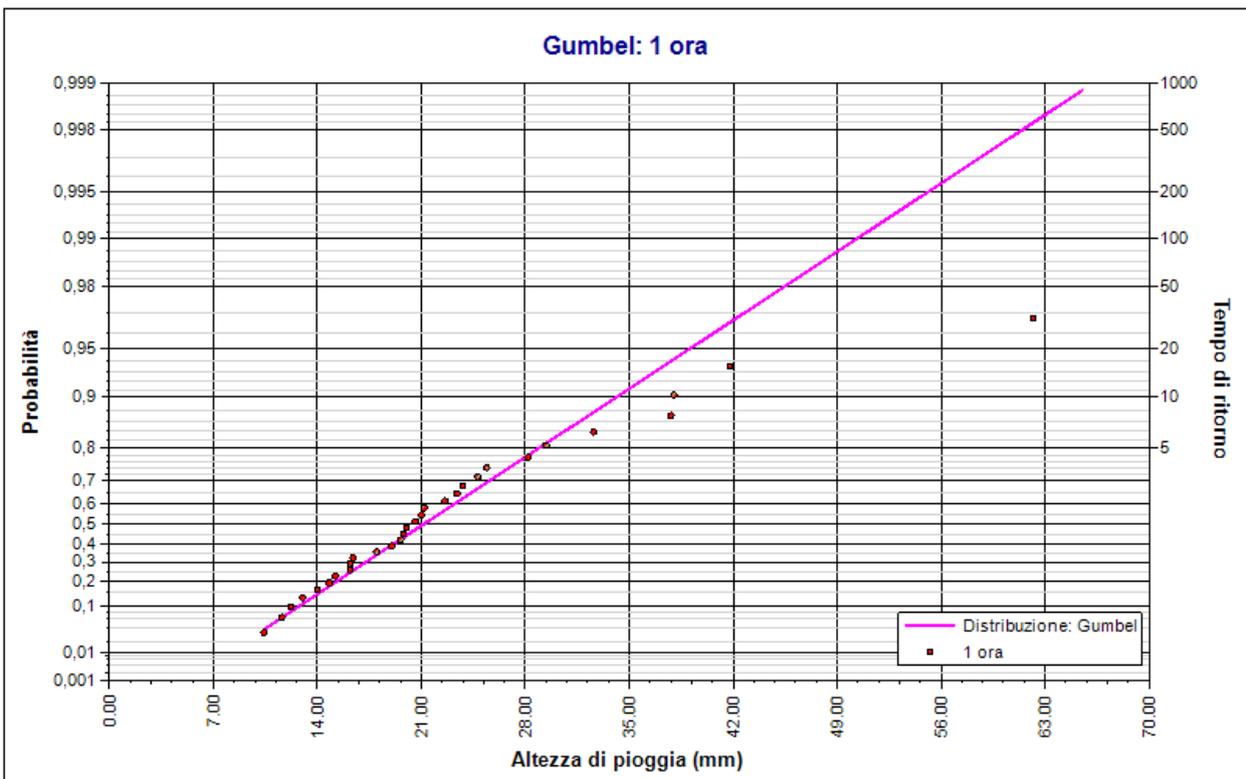
Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	30	31	31	31	31
Valore medio	22.97	29.37	35.26	44.68	52.89
Dev. standard	10.89	12.44	13.39	14.23	14.81
Alfa	0.1448	0.1135	0.0987	0.0858	0.0807
Epsilon	18.579	24.011	29.227	38.039	45.962

Espressioni delle CDF della distribuzione

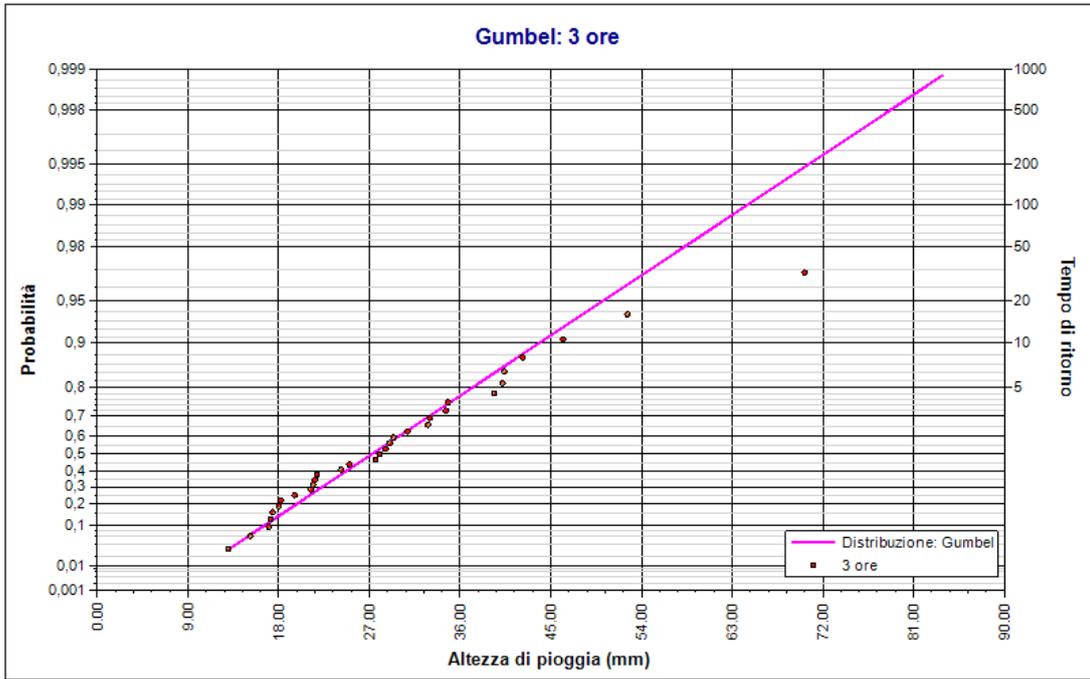
Gumbel: 1 ora	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,145 (x - 18,579) \right) \right]$
Gumbel: 3 ore	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,114 (x - 24,011) \right) \right]$
Gumbel: 6 ore	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,099 (x - 29,227) \right) \right]$
Gumbel: 12 ore	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,086 (x - 38,039) \right) \right]$
Gumbel: 24 ore	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,081 (x - 45,962) \right) \right]$

Frattili distribuzioni probabilistiche

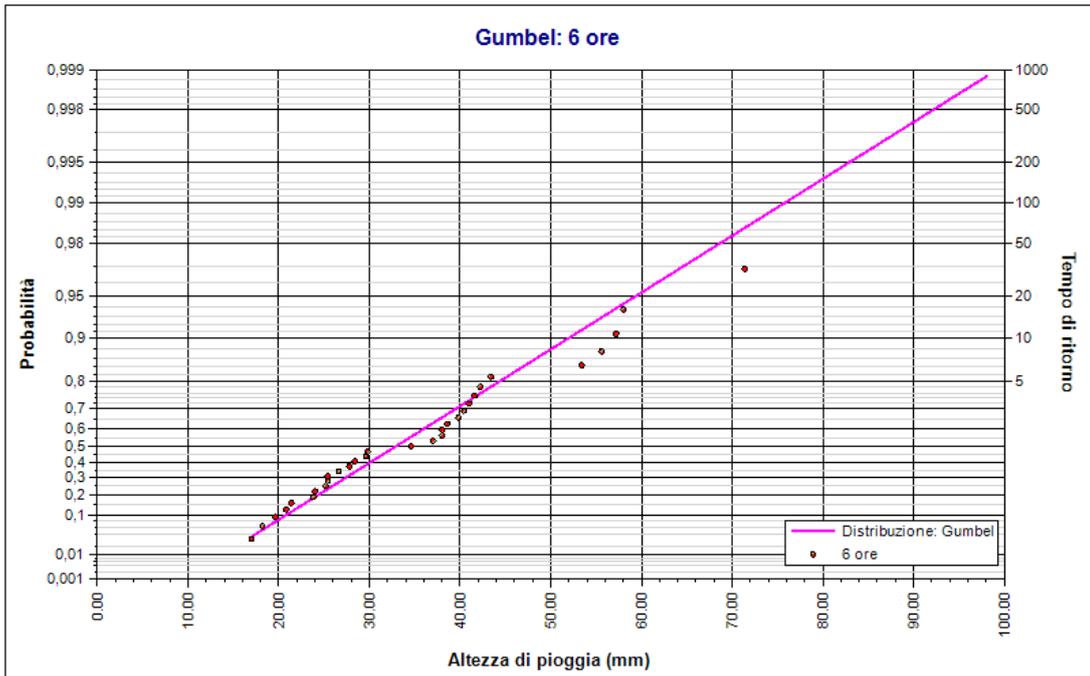
Tempi di ritorno	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	21.11	27.24	32.94	42.31	50.50
5 anni	28.94	37.22	44.43	55.52	64.54
10 anni	34.12	43.83	52.03	64.26	73.83
20 anni	39.09	50.17	59.33	72.65	82.75
50 anni	45.53	58.38	68.77	83.50	94.29
100 anni	50.35	64.53	75.84	91.64	102.94
200 anni	55.16	70.66	82.89	99.74	111.55
500 anni	61.50	78.74	92.19	110.43	122.92
1000 anni	66.29	84.85	99.22	118.52	131.51



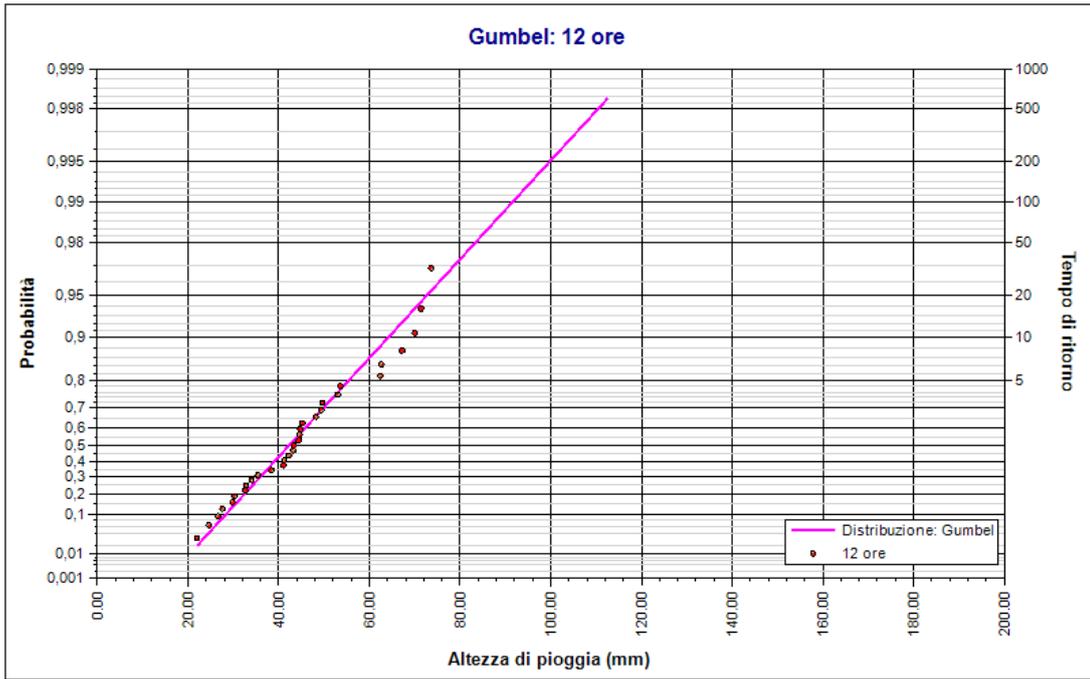
Elaborazione Gumbel - Durata 1 ora



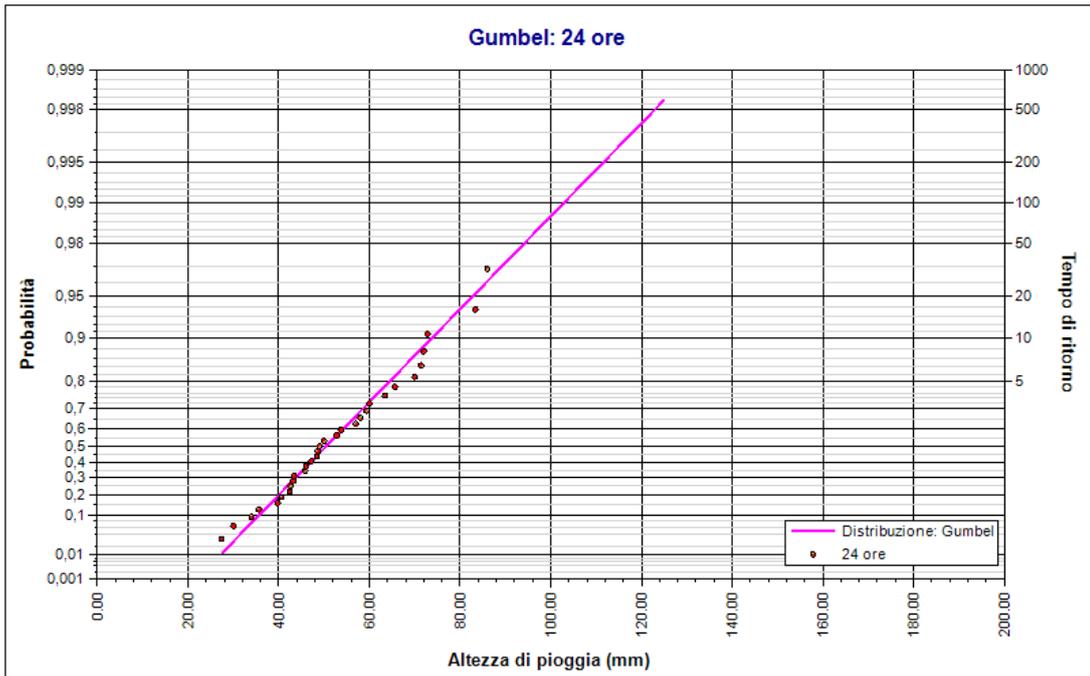
Elaborazione Gumbel - Durata 3 ore



Elaborazione Gumbel - Durata 6 ore



Elaborazione Gumbel - Durata 12 ore



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:

Tr 30 anni

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione Gumbel

Tempo di ritorno: 30.000 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

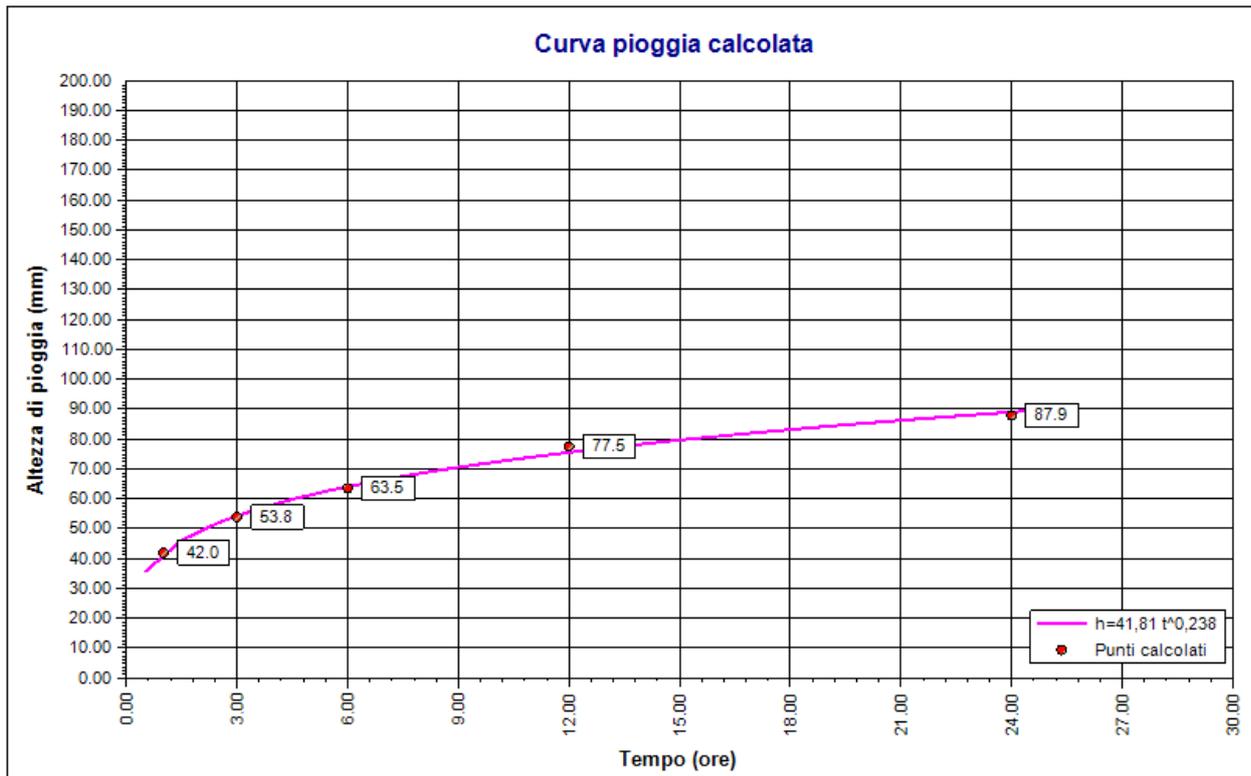
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	41.955
2	3.000	180	53.821
3	6.000	360	63.523
4	12.000	720	77.470
5	24.000	1440	87.878

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
41.81	0.24	1.00	$h(t) = 41,81 t^{0,238}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	41.810	9	70.498	17	82.008
2	49.302	10	72.287	18	83.130
3	54.292	11	73.944	19	84.205
4	58.135	12	75.489	20	85.239
5	61.303	13	76.940	21	86.233
6	64.019	14	78.308	22	87.192
7	66.409	15	79.603	23	88.119
8	68.551	16	80.834	24	89.015



Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno 30 anni

Tr 200 anni

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione Gumbel

Tempo di ritorno: 200.000 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

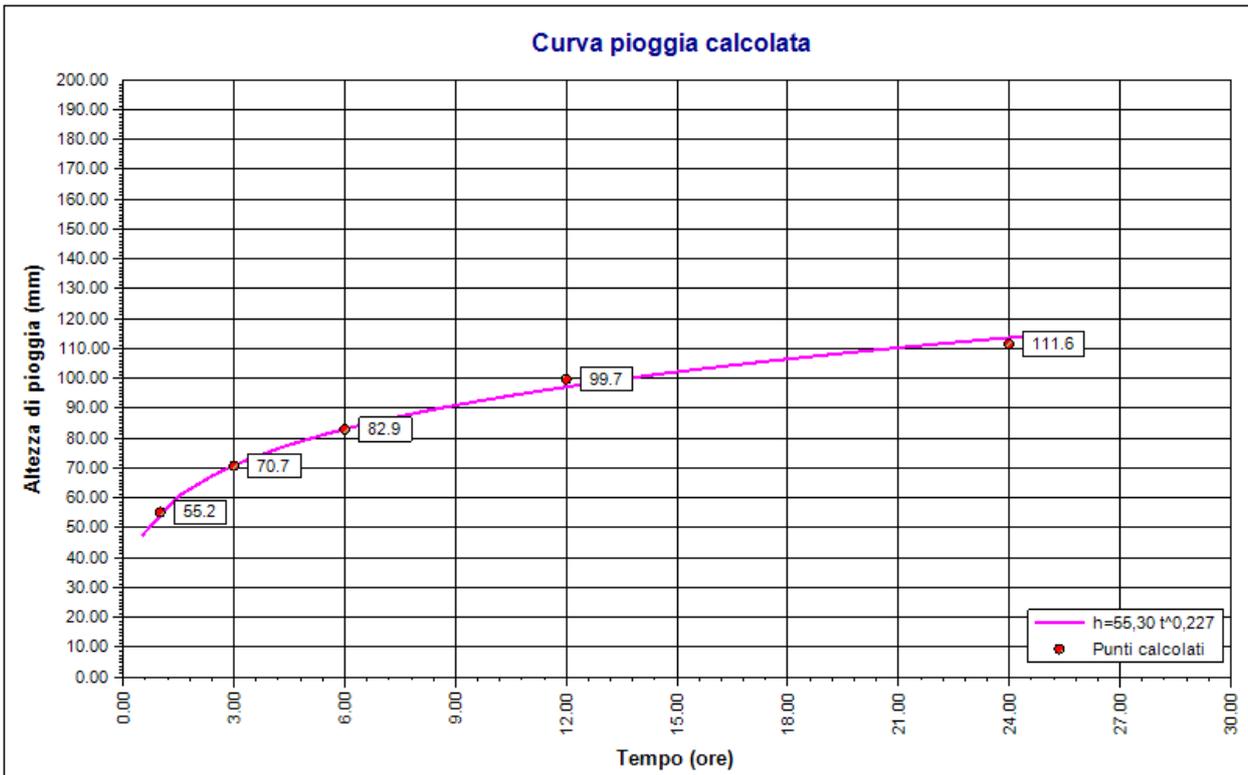
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	55.158
2	3.000	180	70.658
3	6.000	360	82.894
4	12.000	720	99.741
5	24.000	1440	111.554

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
55.30	0.23	1.00	$h(t) = 55,3 t^{0,227}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	55.302	9	90.996	17	105.106
2	64.710	10	93.196	18	106.477
3	70.938	11	95.231	19	107.790
4	75.718	12	97.128	20	109.050
5	79.646	13	98.906	21	110.263
6	83.006	14	100.581	22	111.432
7	85.958	15	102.166	23	112.560
8	88.599	16	103.672	24	113.651



Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno 200 anni

Tr 500 anni

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione Gumbel

Tempo di ritorno: 500.000 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

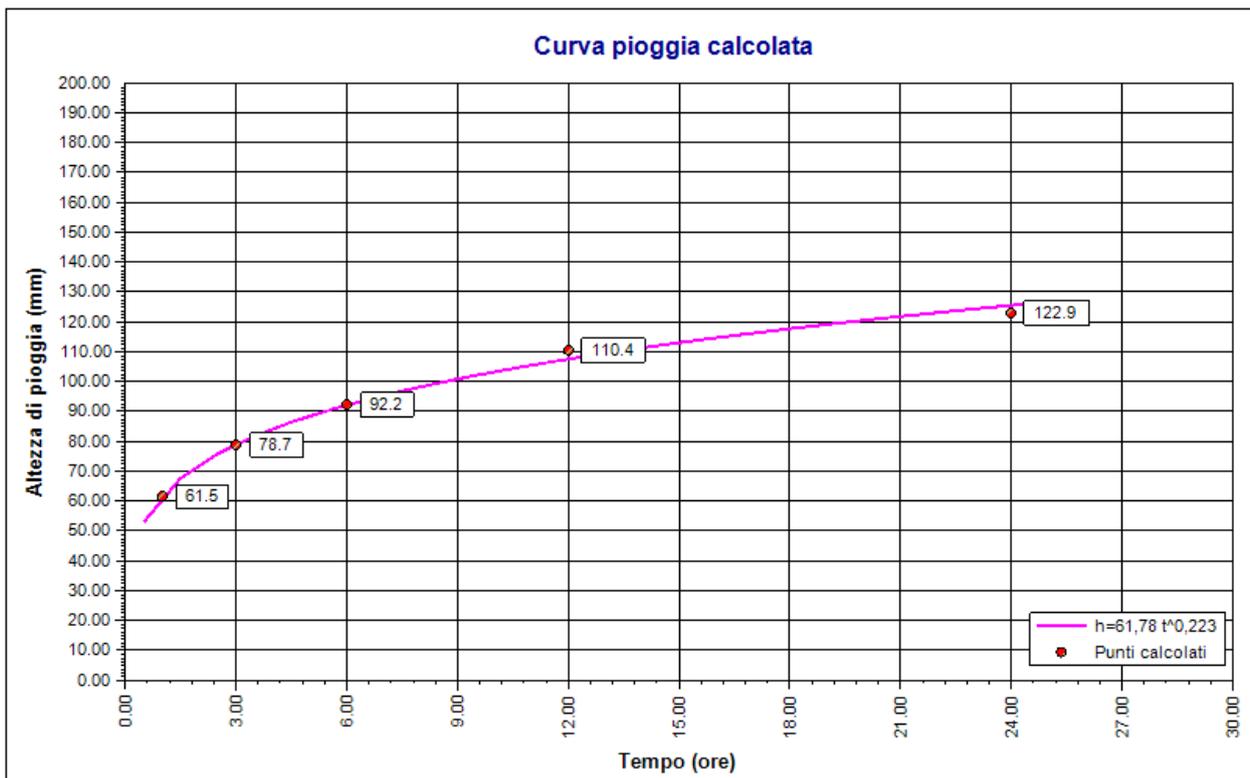
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	61.497
2	3.000	180	78.742
3	6.000	360	92.195
4	12.000	720	110.435
5	24.000	1440	122.921

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
61.78	0.22	1.00	$h(t) = 61,8 t^{0,223}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	61.783	9	100.834	17	116.195
2	72.108	10	103.231	18	117.685
3	78.930	11	105.448	19	119.112
4	84.158	12	107.513	20	120.482
5	88.450	13	109.449	21	121.799
6	92.119	14	111.272	22	123.069
7	95.340	15	112.997	23	124.295
8	98.221	16	114.635	24	125.480



Curva pioggia calcolata per tempo di ritorno 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:

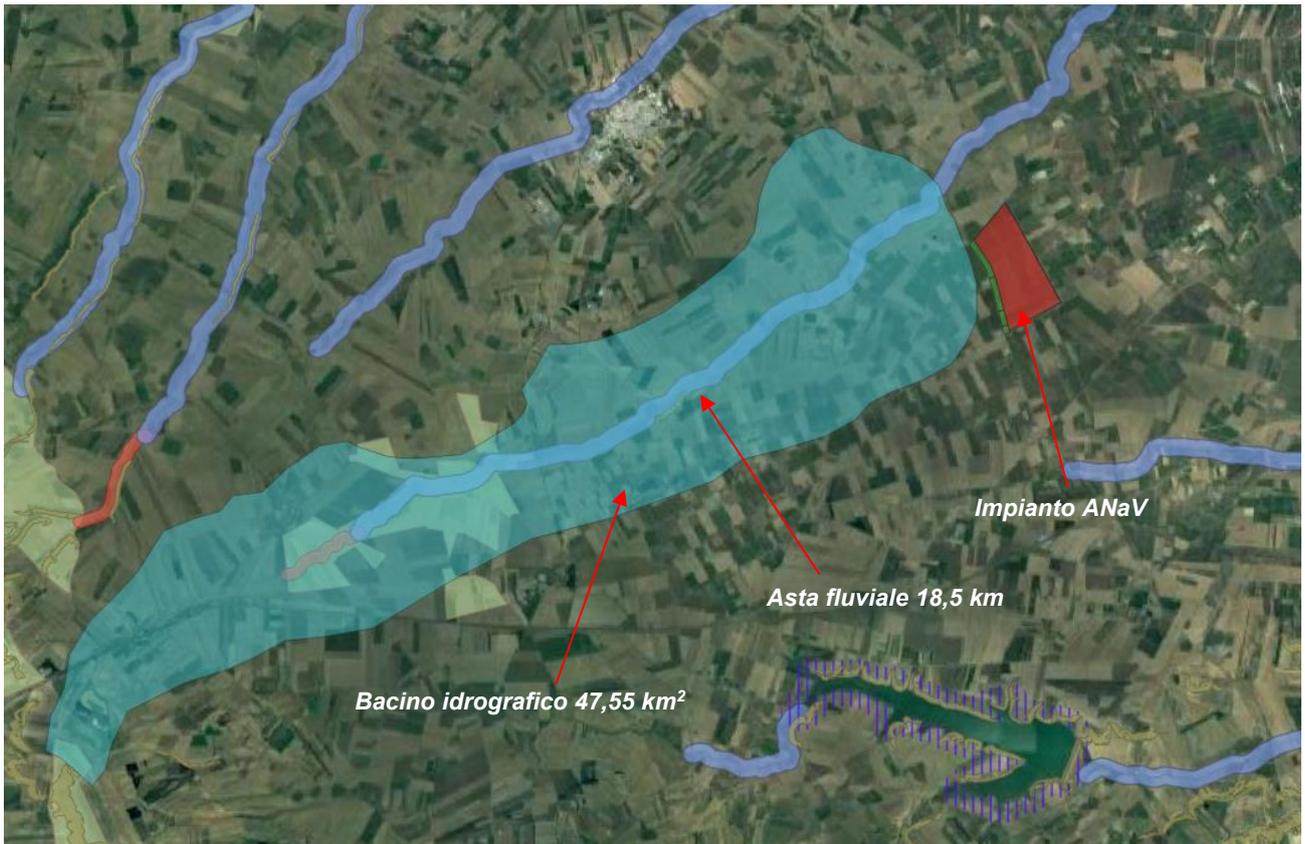
$$D_N \leq \frac{1,36}{\sqrt{N}}$$

corrispondente ad un intervallo di confidenza del 95%.

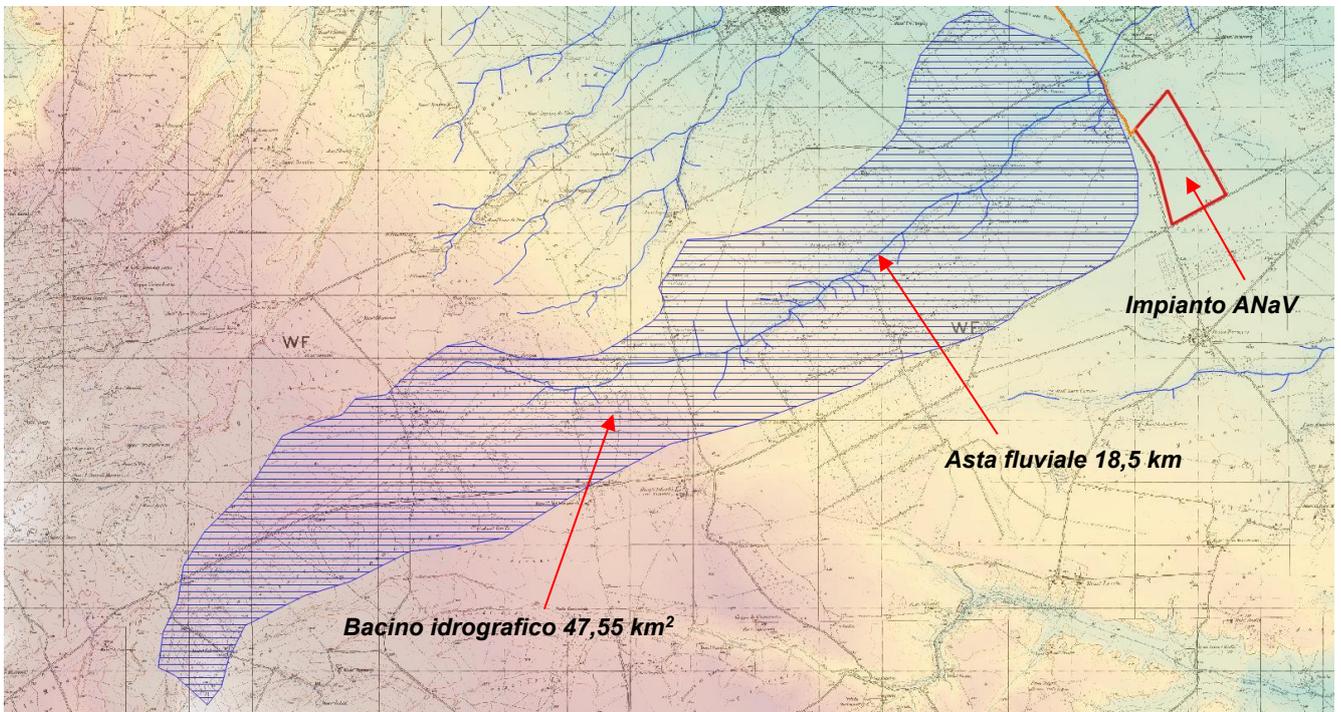
Il test, riportato integralmente nelle tabelle allegate, risulta **sempre verificato**.

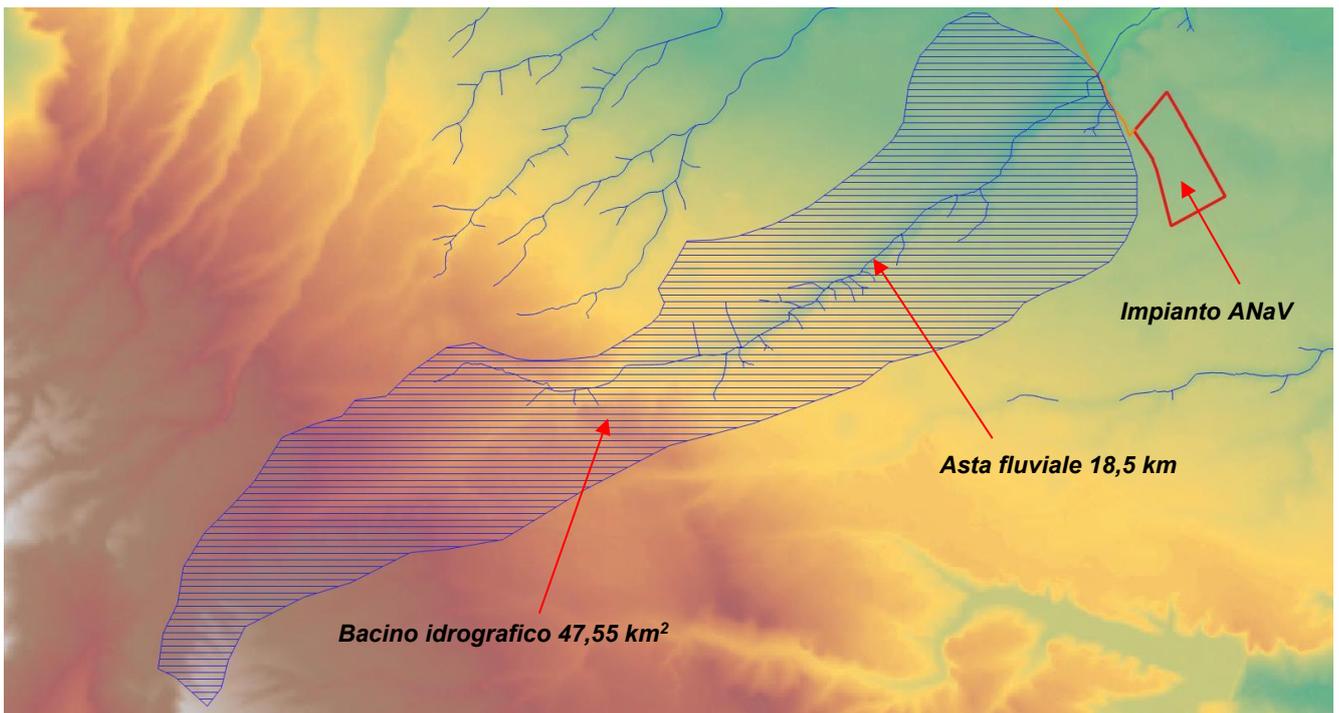
6.3 Progetto VA.PI. – Metodo della regionalizzazione

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 considerato (V. immagine).



Bacino idrografico su ortofoto





Bacino idrografico su DTM

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. 11)

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

Lo studio condotto nell'area settentrionale 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.



Fig. 11 – Regione Puglia – zone omogenee

L'area oggetto di intervento ricade nell'ambito della zona pluviometrica omogenea "zona 3", per la quale la formula che esprime l'equazione della curva di possibilità pluviometrica è:

$$\text{Zona 3} \quad X(t, z) = 25,325 \times t^{\frac{(0,0696+0,00531 z)}{3,178}}$$

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 in generale è calcolato con l'espressione:

$$K_T = a + b \times \ln T_r$$

in cui:

$$a = (\Theta \cdot \ln \Lambda^* + \ln \Lambda 1) / \eta; \quad b = \Theta^* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda 1 + C - T_0$$

$C = 0,5772$ (costante di Eulero).

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \cdot \lambda^i}{i!} \cdot \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right)$$

per la Puglia Settentrionale tali variabili assumono i valori:

Zona omogenea	a	b	To	η
Puglia Settentrionale	0.565	0.415	0.6631	4.1053

da cui:

$$K_T = 0,565 + 0,415 \times \ln T_r$$

Sono stati calcolati pertanto i valori di altezza di pioggia critica con tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni per il bacino individuato si ha:

Bacino					z = 207,0 m s.l.m.	
	t [ore]	1	3	6	12	24
	X(t,z) [mm]	33,70	46,69	57,36	70,47	86,57
Tr = 30 anni						
KT = 1,98	X(30) [mm]	66,61	92,29	113,38	139,28	171,10
Tr = 200 anni						
KT = 2,76	X(200) [mm]	93,14	129,05	158,54	194,76	239,25
Tr = 500 anni						
KT = 3,14	X(500) [mm]	105,95	146,81	180,35	221,55	272,17
<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 di cui sotto:

Tempo di ritorno 30 anni	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Gumbel	41,81	54,29	64,02	75,49	89,02
VAPI <i>Bacino</i>	66,61	92,29	113,38	139,28	171,10

Tempo di ritorno 200 anni	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Gumbel	55,30	70,94	83,01	97,13	113,65
VAPI <i>Bacino</i>	93,14	129,05	158,54	194,76	239,25

Tempo di ritorno 500 anni	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Gumbel	61,79	78,93	92,12	107,51	125,48
VAPI <i>Bacino</i>	105,95	146,81	180,35	221,55	272,17

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

6.5 Calcolo delle altezze 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:

- Determinazione delle piogge nette;
- 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 "Aree agricole con presenza di spazi naturali" | |
| • CN_{II} | | 78 |
| • CN_{III} | | 89 |
| • $p =$ | | 1 |

Utilizzando le formule precedenti si ottengono i seguenti risultati:

$$CN = 89 \qquad S = 31,24 \text{ mm}$$

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 il bacino individuato saranno dunque:

Bacino	t [ore]	1	3	6	12	24
		Tr = 30 anni	h _{netta} (30) [mm]	39,77	63,12	82,94
Tr = 200 anni	h _{netta} (200) [mm]	63,91	97,90	126,37	161,71	205,46
Tr = 500 anni	h _{netta} (500) [mm]	75,92	115,00	147,62	188,02	237,97
<i>Altezze efficaci di pioggia relative ad eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni</i>						

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 corrvazione t_c , e valutare la portata massima per i differenti tempi di ritorno Tr .

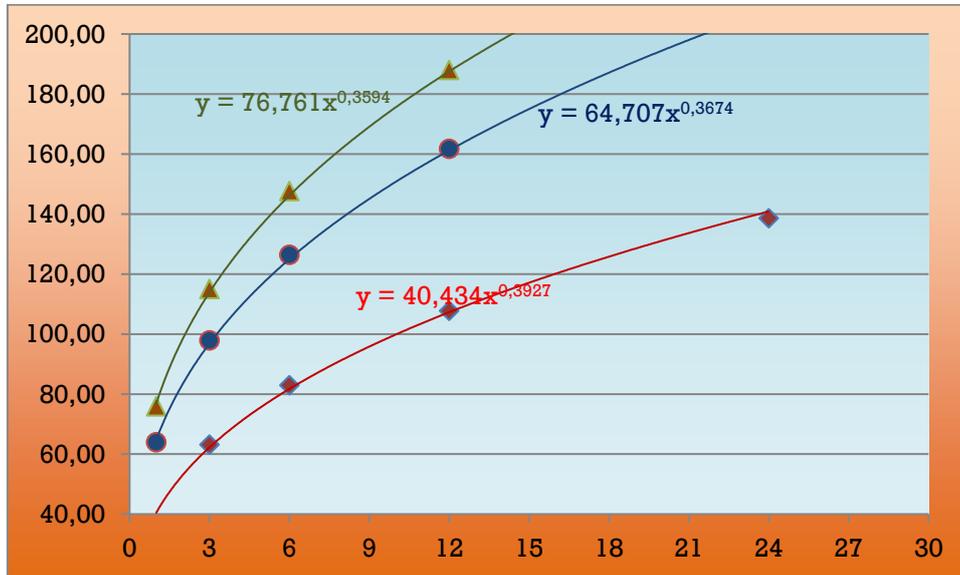
Le LSPP così ottenute sono state ragguagliate alla superficie di ogni bacino, nella formula

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

Dove (Formule di Marchetti):

- A è la superficie del bacino in km^2
- $a' = F(a, A) = a \times 1 - 0,06 \times A^{0,4}$
- $n' = F(n, A) = n + 0,003 \times A^{0,6}$

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



Bacino			Sup = 47,55 kmq	
	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a'</i>	<i>n'</i>
Tr = 30 anni	41,81	0,240	30,05	0,270
Tr = 200 anni	55,30	0,230	39,75	0,260
Tr = 500 anni	61,78	0,220	44,41	0,250

BACINO	t [ore]					
		1	3	6	12	24
Tr = 30 anni	hnetta(30) [mm]	39,77	63,12	82,94	107,73	138,59
Tr = 200 anni	hnetta(200) [mm]	63,91	97,90	126,37	161,71	205,46
Tr = 500 anni	hnetta(500) [mm]	75,92	115,00	147,62	188,02	237,97

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. Il tempo di corrivazione calcolato quindi assume il valore di:

$$t_c = 5,70 \text{ h}$$

6.6.3 Calcolo delle portate di piena e relativo andamento

Per il bacino in questione 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:

$$i_c(T_r) = a' \times t_c^{(n'-1)}$$

$$Q_{\max}(T_r) = \frac{i_c(T_r) \times A}{N_i}$$

Dove N_i è il numero di recapiti (conche) rilevati nel bacino: $N = 1$.

Nella tabella che segue 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		2,34E-06	24,61 mc/s	3,05E-06	31,98 mc/s	3,34E-06	35,12 mc/s

Tab. 5 – Intensità di pioggia e portate di piena

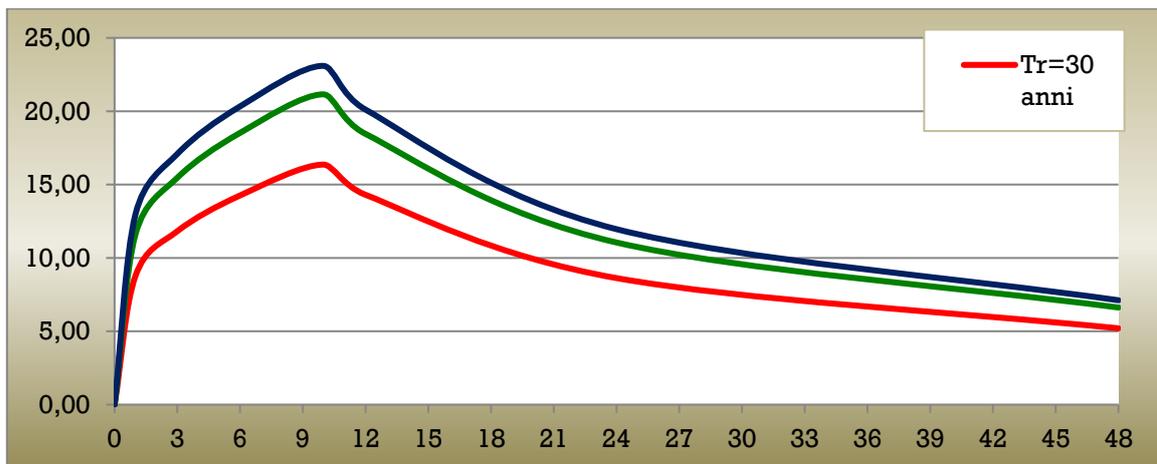
Dalla combinazione del metodo di corrivazione con l'equazione della curva segnalatrice di possibilità climatica relativa ad un determinato tempo di ritorno si può calcolare il valore della portata Q per un evento di durata d nel seguente modo:

$$\begin{aligned}
 d \leq t_c & \quad Q(T_r) = a' \times A \times \frac{d^{n'}}{t_c} \\
 d \geq t_c & \quad Q(T_r) = a' \times A \times d^{(n'-1)}
 \end{aligned}$$

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:

d [ore]	0	1	3	6	9,98	12	24	48
Q(30) [mc/s]	0,00	8,78	11,82	14,26	16,36	14,30	8,63	5,20
Q(200) [mc/s]	0,00	11,62	15,47	18,52	21,15	18,45	11,05	6,62
Q(500) [mc/s]	0,00	12,98	17,09	20,33	23,09	20,11	11,96	7,11



7. CONCLUSIONI

L'impianto agrovoltaico in progetto sarà realizzato nel Comune di Cerignola (FG). La zona è caratterizzata da una morfologia pressoché pianeggiante con lievi ondulazioni.

Viste le considerazioni a carattere generale riportate nei § 5 e 6 e visto lo studio Idrologico sopra riportato, si ritiene di escludere ogni possibile interferenza tra il progetto e l'idrologia del territorio.