

BELENOS S.r.l.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA DI CIRCA 60,032 MWp IN AGRO DI ORTA NOVA (FG) LOCALITA' "LA FICORA" E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE IN AGRO DI CERIGNOLA (FG)



Via degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Tommaso MANCINI
ing. Antonio CRISAFULLI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Stefania DE CARO
ing. Ilaria PIERRI
arch. Angela LA RICCIA
dott. pianif. terr. Antonio SANTANDREA

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO



ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
36		RELAZIONE IDROLOGICA	19049	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC19049D-36		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC19049D-36.doc	13 + copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	20/04/22	Emissione	Di Nunno	Miglionico	Pomponio
01					
02					
03					
04					
05					
06					

INDICE

1. PREMESSA.....	2
1.1 Inquadramento dell'impianto agrovoltaico.....	3
1.2 Inquadramento della sottostazione elettrica di trasformazione e consegna.....	4
1.3 Inquadramento del cavidotto.....	5
2. STUDIO IDROLOGICO.....	7
2.1 Procedure regionali di valutazione della precipitazione.....	7
2.2 Terzo livello di regionalizzazione.....	9
2.3 Analisi idrologica.....	11
3. CONCLUSIONI.....	13

1. PREMESSA

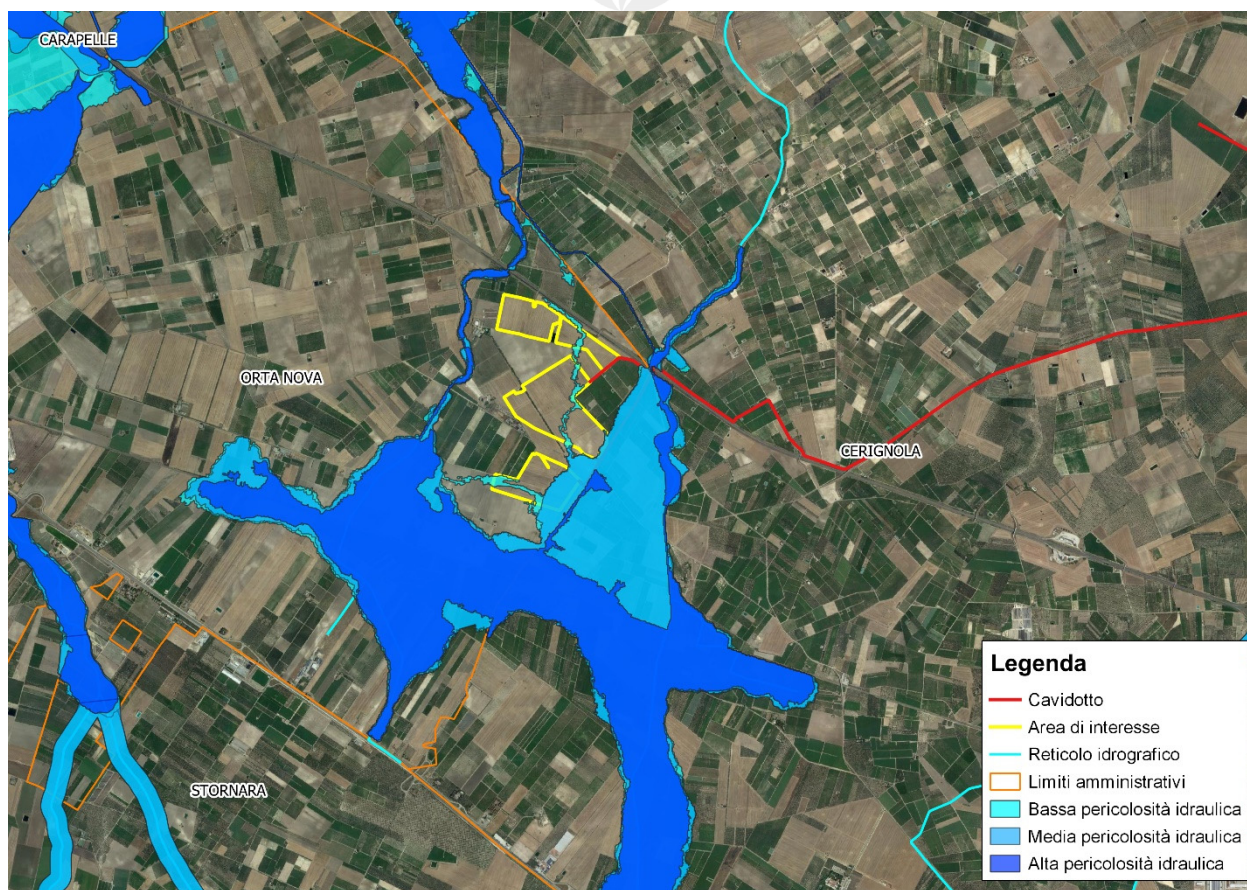
La presente relazione idrologica è relativa al progetto di realizzazione di un impianto agrovoltaiico di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di 60,032 MWp in agro di Orta Nova (FG) in Località "La Ficora" e delle relative opere connesse in agro di Cerignola (FG). La relazione idrologica è redatta in conformità ai criteri dettati dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia, istituita con L. R. n. 19 del 9 dicembre 2002, la quale ha approvato il Piano di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), di cui alla Legge 183/89, il 30 novembre 2005.

In essa viene condotto lo studio idrologico dell'area di interesse necessario a definire le portate di piena transitanti nei canali, per un tempo di ritorno di 200 anni.

Nella Figura è riportato un inquadramento territoriale dell'area di interesse del presente studio. Si evidenzia come, dal confronto con le fasce di pericolosità idraulica definite nei "PIANI STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO RISCHIO IDRAULICO - Misure di salvaguardia collegate alla adozione dei progetti di variante predisposti in attuazione degli aggiornamenti dei PAI alle nuove mappe del PGRA di cui alla delibera Cip n.1 del 20/12/2019", l'area di interesse non interseca la zona definita come alta pericolosità idraulica.

Tuttavia la stessa area interseca la zona definita come media pericolosità idraulica. Pertanto il presente studio idrologico-idraulico è volto a:

- Definire le portate di piena per tempo di ritorno 200 anni;
- Definire le aree di esondazione e, sulla base di queste ultime, valutare la portata esondata e dimensionare una canalizzazione che raccoglie le acque nell'area a monte (ad est) dell'area di interesse allontanandole da quest'ultima.



1.1 Inquadramento dell'impianto agrovoltaico

Il suolo sul quale sarà realizzato l'impianto fotovoltaico ricopre una superficie di circa 97 ettari. Esso ricade nei fogli 1:25000 delle cartografie dell'Istituto Geografico Militare (IGM Vecchia Ed.) n. 164 II SO "Stazione di Orta Nova" e n. 175 I NO "Orta Nova", ed è catastalmente individuato alle particelle 17, 237, 194, 222, 195, 240, 232, 251, 63, 250, 15, 283, 132, 133, 326, 138, 137, 134, 267, 268 del foglio 34; e particelle 227, 12, 11, 100, 624, 101, 77, 541, 540 del foglio 35; tutte del Comune di Orta Nova (FG).

È ubicato a nord-est del centro abitato, a circa 9 km da esso, ed è compreso tra la Strada Statale 16 e l'Autostrada A14. Si compone di quattro aree di diverse dimensioni e conformazioni.

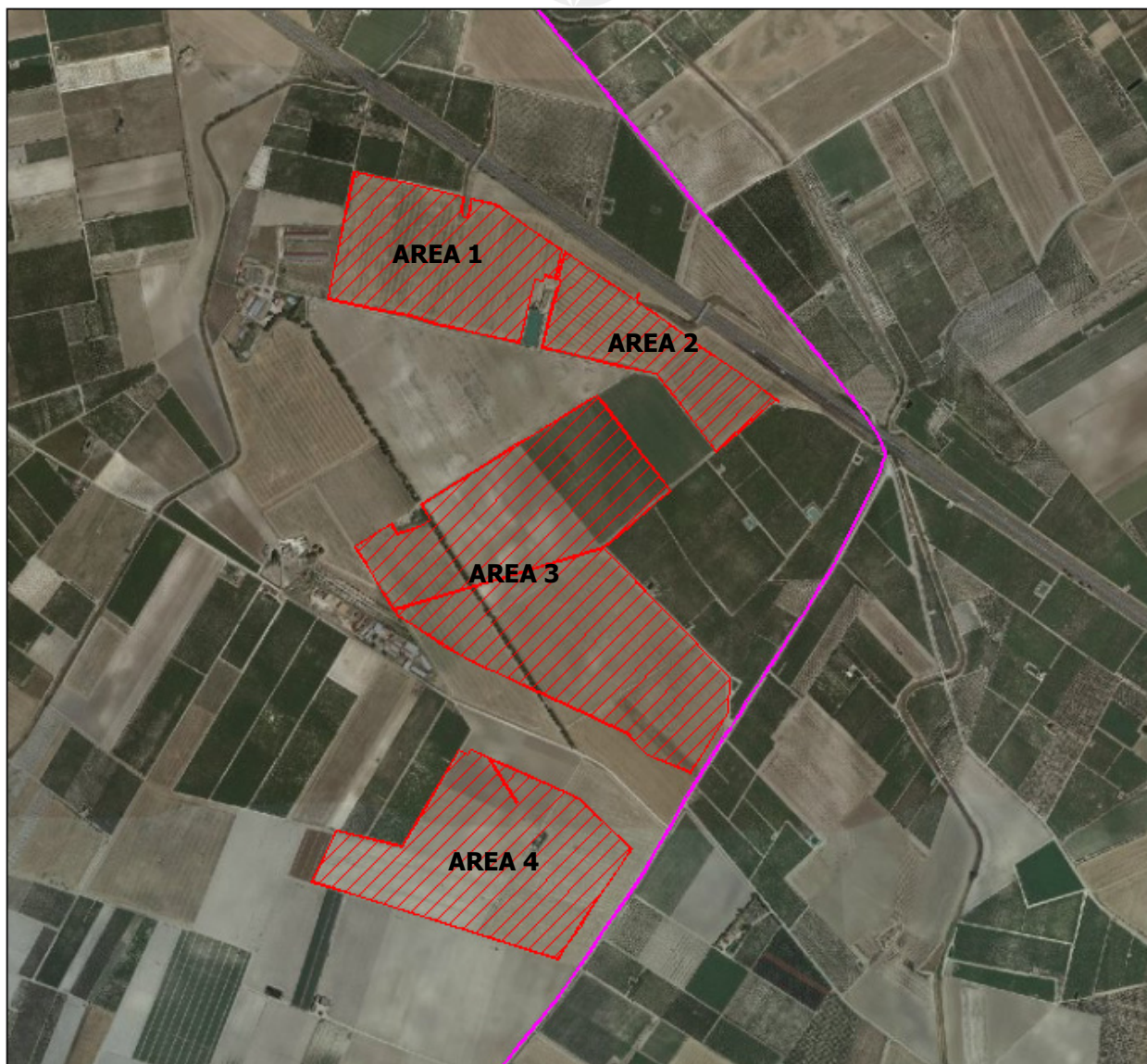


Figura 1: Inquadramento su ortofoto delle aree occupate dal futuro impianto fotovoltaico

1.2 Inquadramento della sottostazione elettrica di trasformazione e consegna

Ai fini del collegamento dell'impianto fotovoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN, il progetto prevede la realizzazione di una Sottostazione Elettrica (SSE) MT/AT, da collegare alla SE così come indicato nella STMG.

Il suolo sul quale sarà realizzata la SSE è individuato catastalmente alla particella 178 e 179 del foglio 91 del Comune di Cerignola (FG).

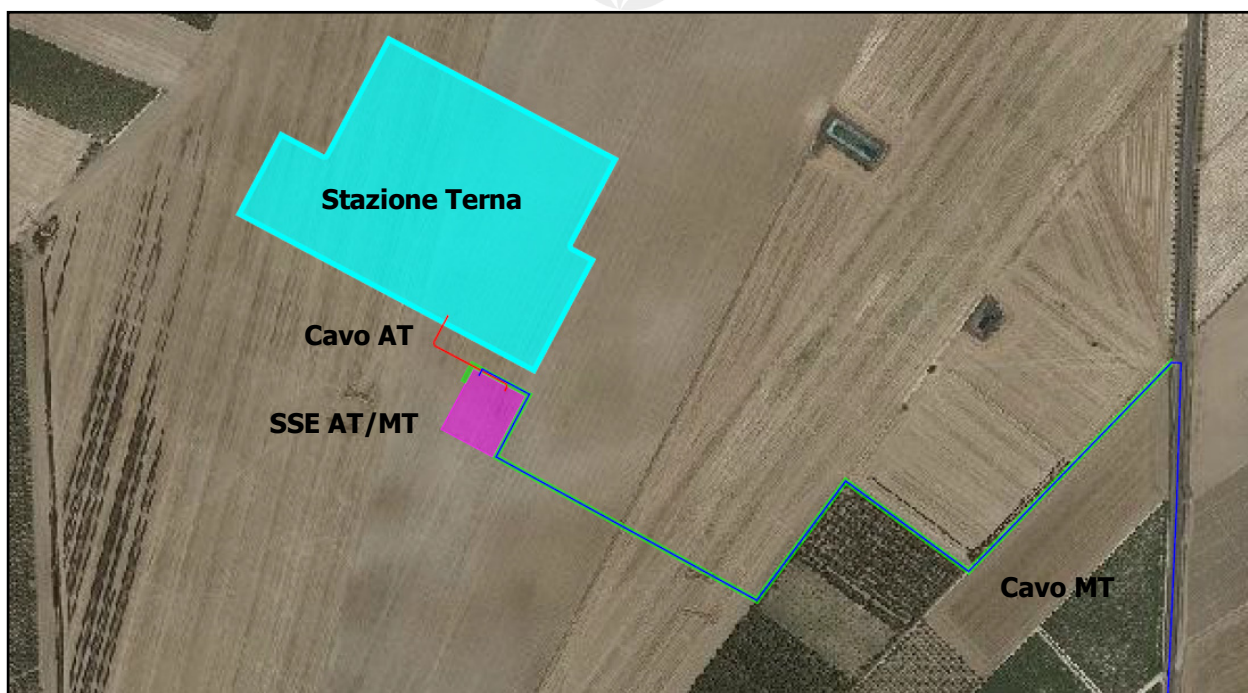


Figura 2: Inquadramento su ortofoto dell'area occupata dalla Sottostazione Elettrica AT/MT

1.3 Inquadramento del cavidotto

Il cavidotto di collegamento tra l'impianto fotovoltaico e la sottostazione elettrica si estenderà, per circa 1 km nel territorio di Orta Nova, e per circa 11 km nel territorio di Cerignola.

L'elettrodotta attraverserà sia suoli di proprietà privata, che viabilità pubblica provinciale.

Lungo il suo percorso interferirà con le proprietà di alcuni enti e amministrazioni e in particolare con:

- l'autostrada A14 TA-BO, di proprietà del gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A.;
- un reticolo idrografico;
- la Strada Provinciale 69, di proprietà della Provincia di Foggia.

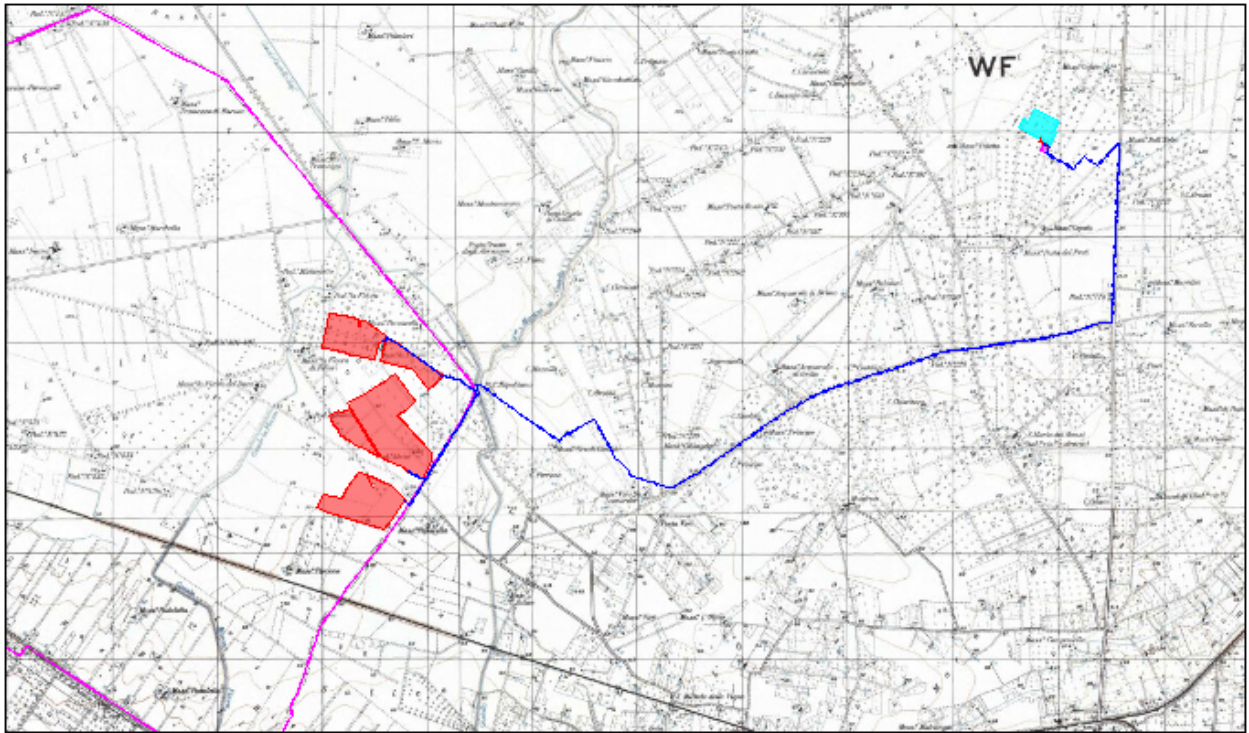


Figura 3: Inquadramento su IGM del cavidotto di vettoriamento (in blu nell'immagine su riportata)



2. STUDIO IDROLOGICO

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

In tutta la Puglia centro-meridionale le stazioni di misura sono pluviometriche e non idrometriche, pertanto il calcolo della portata di piena deve essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Ai sensi del DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, *"ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno...dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDICI-CNR"*. Nel caso dei bacini idrografici del territorio di Massafra utilizzati per lo studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI (VALutazione PIene), per la determinazione delle altezze critiche di precipitazione e delle curve di possibilità pluviometrica, utilizzate per il calcolo della portata al colmo di piena.

2.1 Procedure regionali di valutazione della precipitazione

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

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

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

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

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

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

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri Θ e Λ^* . Tali parametri devono essere stimati da un elevato numero di dati; questo comporta l'assunzione di

una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, caratterizzate oltre che dalla conoscenza di Θ^* e Λ^* anche dalla conoscenza di Λ_1 , sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di sei zone e delle rispettive curve di possibilità climatica. L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV, è utile rappresentare la legge $F(X_t)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata X_t come prodotto tra il suo valore medio $\mu(X_t)$ ed una quantità $K_{T,t}$, detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

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

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

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

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

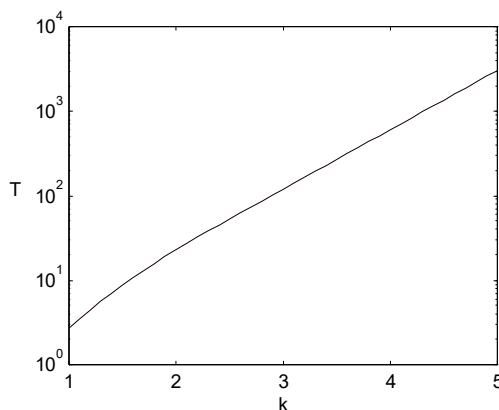


Figura 4: Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

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

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

in cui :

$$a = (\Theta \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta ; \quad b = \Theta_* / \eta$$

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

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

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

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

Zona omogenea	a	b	T_o	η
Puglia settentrionale	0.5648	0.415	-0.5531	4.1053

Tabella 1: Parametri dell'espressione asintotica

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

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

anni	30	200	500
K _t	1.98	2.76	3.14

Tabella 2: Valori di K_T Puglia Settentrionale

2.2 Terzo livello di regionalizzazione

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

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

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

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

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

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

Zona	a	C	D	N
2	22.23	0.247	-	-

Tabella 3: Parametri delle curve di 3° livello

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

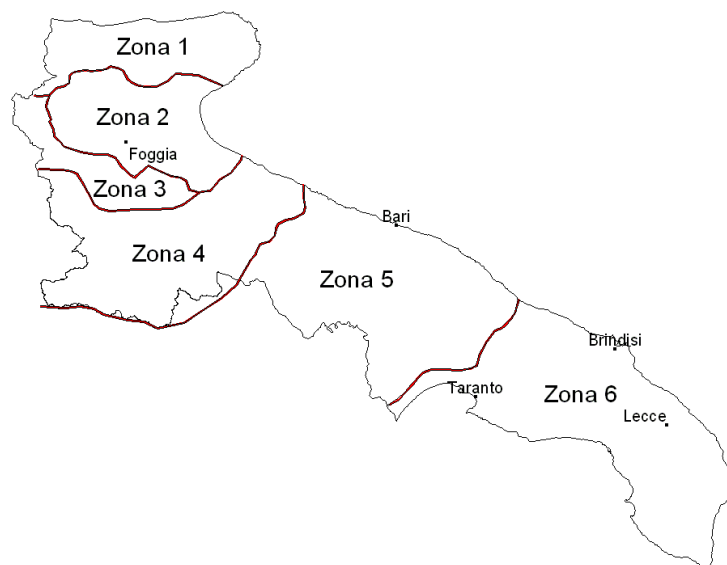


Figura 5: Zone omogenee, 3° livello

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 2; pertanto, l'equazione da applicare è la seguente:

$$x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare. Ai valori così ottenuti vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al fattore di riduzione areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in Km^2 , e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore). La dimensione areale dei bacini in studio comporta che il relativo fattore di riduzione tenda all'unità; pertanto, a vantaggio di sicurezza, tale parametro non viene preso in considerazione nella valutazione della Curva di Possibilità Pluviometrica.



2.3 Analisi idrologica

Per il calcolo delle portate al colmo di piena con tempo di ritorno 200 anni si procede dapprima al calcolo dell'altezza di pioggia in funzione del tempo di ritorno h_T , considerando come durata di pioggia il tempo di corrivazione dei bacini idrografici di seguito descritti. Il calcolo della portata al colmo di piena avviene secondo la Formula Razionale:

$$m(Q_{200}) = (C \cdot K_a \cdot h_{200} \cdot A) / (3.6 \cdot t_c)$$

dove:

- $m(Q_{200})$ = portata con tempo di ritorno 200 anni (m^3/s)
- C^* = coefficiente di deflusso = 0.4 per terreni coltivati e mediamente permeabili
- K_a = coefficiente di riduzione areale = 1
- h_{200} = altezza massima di pioggia con $t_r = 200$ anni = $41.304 \times t_c^{0.2592}$
- A = area del bacino (km^2)
- t_c = il tempo di corrivazione del bacino (ore).

Per la stima del tempo di corrivazione si sono utilizzate le seguenti relazioni:

1. Giandotti (utilizzata maggiormente per bacini di grandi dimensioni):

$$t_c = [(4 \cdot A^{0.5}) + (1.5 \cdot L)] / [0.8 \cdot (H_m - h_0)^{0.5}]$$

2. Pezzoli (utilizzata maggiormente per bacini di piccole dimensioni):

$$t_c = 0.055 \cdot (L / i_a^{0.5})$$

con

A = area del bacino (km^2)

L = lunghezza dell'asta principale (km)

H_m = altitudine media del Bacino (m)

h_0 = altitudine della sezione di chiusura del Bacino (m)

i_a = pendenza media dell'asta

Per la modellazione idraulica di ciascun bacino si è considerato il tempo di corrivazione che comporta la maggiore portata al colmo di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Di seguito si riporta, in forma tabellare, il calcolo della portata avente tempo di ritorno 200 anni. Il bacino è stato individuato sul Modello Digitale del Terreno (DTM) messo a disposizione dalla Regione Puglia ed avente celle di dimensioni 8 m x 8 m.

		Bacino
	A (km ²)	113.14
	L (km)	31.43
	H _m (m)	230
	i _a	0.012
t _c (ore)	Giandotti	8.27
	Pezzoli	15.98
h ₂₀₀ (mm)	Giandotti	106.07
	Pezzoli	125.83
m(Q ₂₀₀) (m ³ /s)	Giandotti	161.33
	Pezzoli	99.01
max [m(Q₂₀₀) (m³/s)]		161.33

Tabella 4: Calcolo della portata avente tempo di ritorno 200 anni

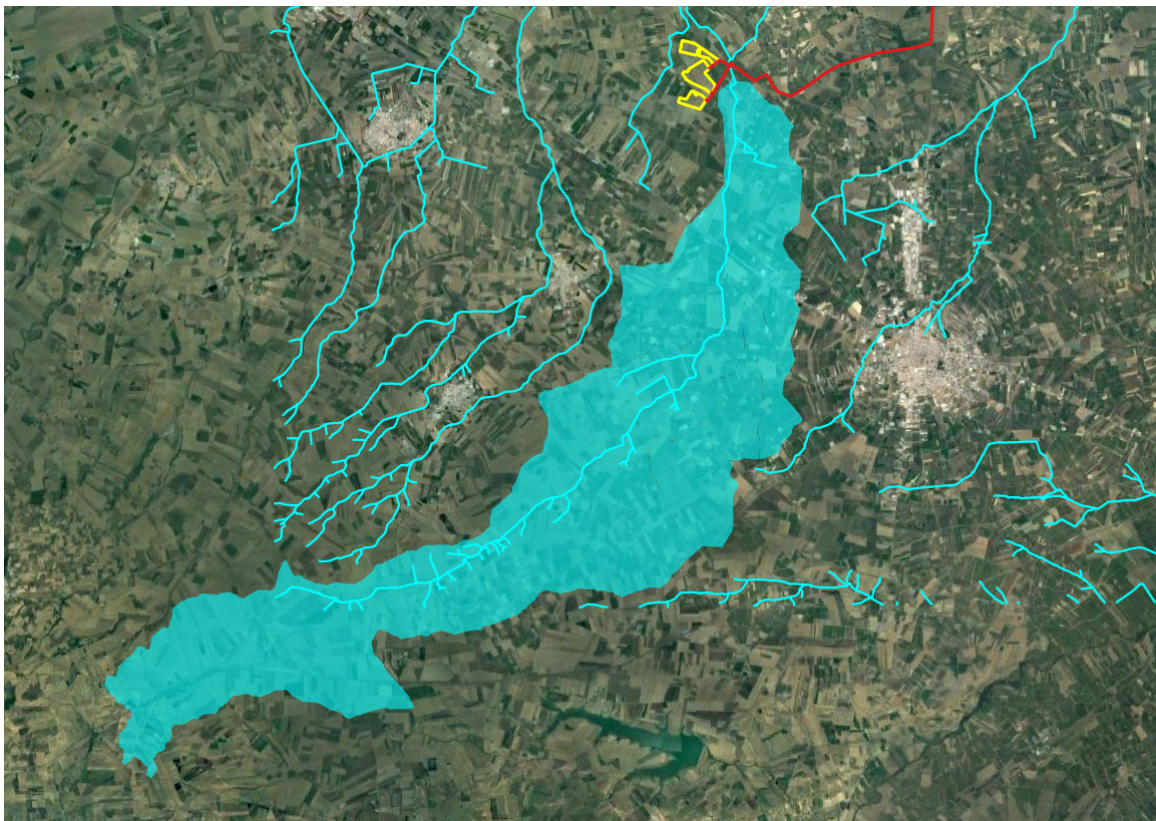


Figura 6: Bacino idrografico.

3. CONCLUSIONI

Sulla base delle portate di piena transitanti nei canali, per un tempo di ritorno di 200 anni, definite nel presente studio idrologico sono state seguite dalle modellazioni e valutazioni idrauliche dei rami di rete idrografica potenzialmente soggette a criticità, ed il tutto è stato svolto in condizioni di moto stazionario. Per lo svolgimento della modellazione idraulica è stato utilizzato il software HEC- RAS River Analysis System.

Si evidenzia che la portata determinata, pari a 161.33 m³/s è in linea e leggermente superiore a quella indicata nel PGRA, per media pericolosità idraulica in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino idrografico investigato, pari a 156.9 m³/s.

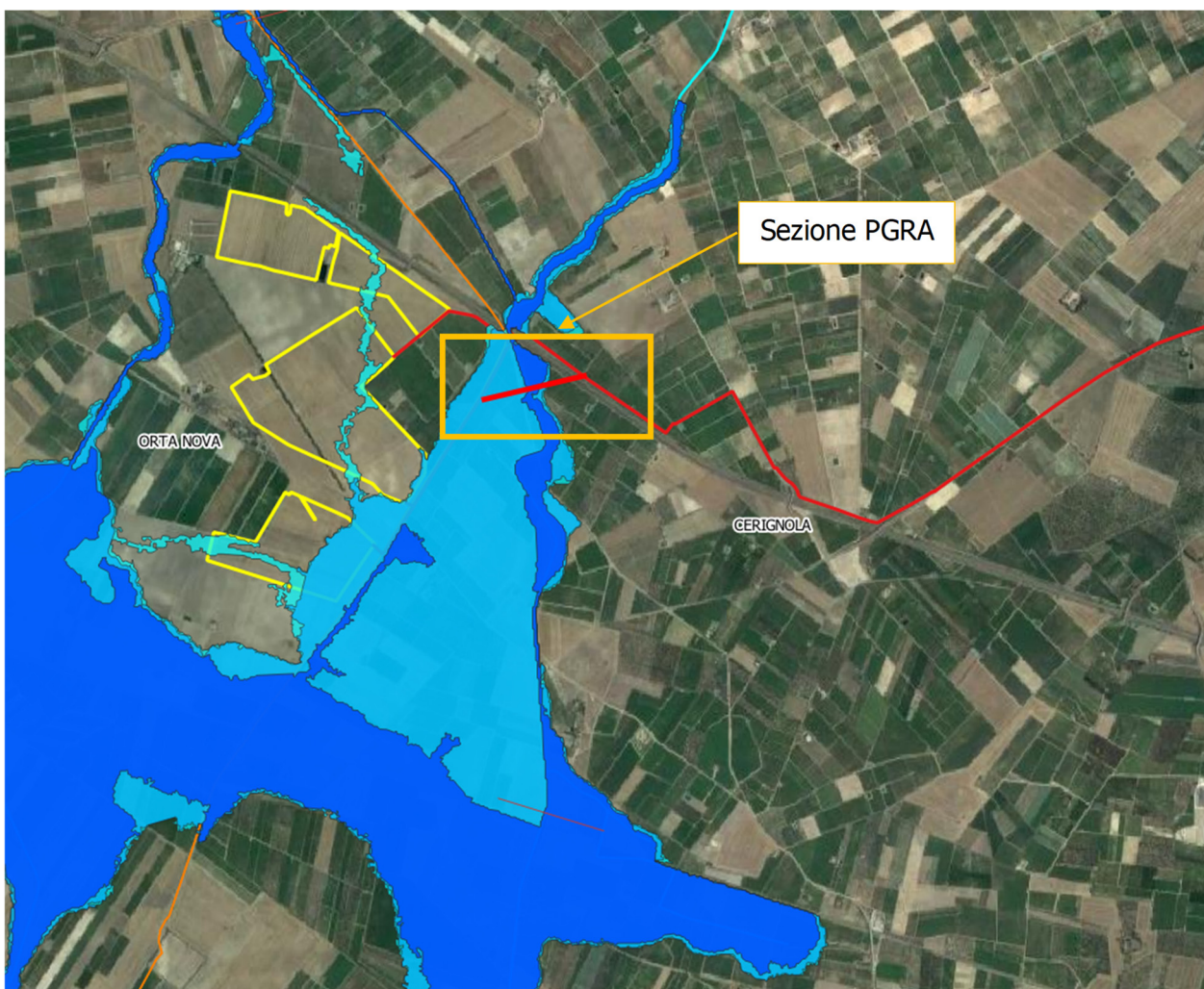


Figura 7: Indicazione della sezione fornita dal PGRA

Il modello ha permesso di definire le aree di esondazione e, sulla base di queste ultime, valutare la portata esondata e dimensionare una canalizzazione che raccoglie le acque nell'area a monte (ad est) dell'area di interesse allontanandole da quest'ultima.

I risultati dello studio idraulico sono descritti nell'elaborato DC19049D-37.*****