

**Parco eolico “SCOLPITO”**  
**Comune di Comune di Brindisi (BR)**

***ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA***  
***E MODELLAZIONE IDRAULICA***

Ing. Alberto Voltolina

## INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Individuazione dell'area di progetto	4
1.2	Cartografia disponibile	5
2	ANALISI TOPOGRAFICA	9
3	ANALISI IDROLOGICA	11
3.1	Caratteristiche morfologiche di bacino	11
3.2	Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per Tr 30,200 e 500 anni	12
3.3	Determinazione degli idrogrammi di piena per Tr 30,200 e 500 anni con il metodo dell'idrogramma unitario SCS-CN	22
3.3.1	La determinazione della pioggia netta con il metodo SCS-CN	22
3.3.2	Il calcolo dell'idrogramma di piena con il metodo SCS - CN	26
4	ANALISI IDRAULICA	29
4.1	Modellazione numerica bidimensionale	29
4.2	Schema di modellazione bidimensionale: scenari di calcolo	32
4.3	Mesh di calcolo	32
4.4	Condizioni al contorno	33
4.5	Coefficienti di Manning	34
4.6	Risultati della modellazione	35
5	CONCLUSIONI	38

## 1 INTRODUZIONE

La presente verifica di compatibilità è redatta secondo le indicazioni ricevute dall'Autorità di Bacino, come chiarimento, in merito alla nota dell'ente del 03/04/2024. L'ente concedente ha richiesto una analisi del tratto interessato dall'inserimento dei manufatti in progetto, a fondo fisso, e una verifica delle aree allagabili con Tr200 anni.

Si riporta uno stralcio a seguire: *"la realizzazione degli interventi consentiti è subordinata alla redazione di uno specifico "Studio di compatibilità idrologica ed idraulica", realizzato con portate per tempi di ritorno pari a 200 anni, che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle delle aree interessate e dimostri l'esistenza di adeguate condizioni di sicurezza idraulica, per le opere previste, come definite ali' art. 36 delle richiamate .T.A. del P.A.I."*

L'analisi verrà condotta in due parti: la prima relativa allo studio idrologico del bacino afferente alla sezione di chiusura delle opere interessate e relativo calcolo degli idrogrammi di piena.

La seconda parte riguarderà l'analisi modellistica bidimensionale per la determinazione delle aree allagabili così come indicato dall'Ente.

### **1.1 Individuazione dell'area di progetto**

L'area di progetto è situata circa 12 Km a Sud-Ovest rispetto alla città di Brindisi: i più vicini comuni sono Tutturano, situato 4 km a Nord-Ovest, San Donaci, a circa 7 Km a Sud, e Mesagne, 8.5 Km a Nord-Ovest rispetto al parco eolico.



**Figura 1 Ortofoto con posizionamento dell'impianto**

L'opera prevista nel progetto è un parco eolico costituito da 5 aerogeneratori disposti come indicato in figura. Il corso d'acqua esistente è segnato con un tratto azzurro. Si riporta un'ortofoto dell'area oggetto della presente. La zona di intervento si trova a circa 78 m s.l.m.m. tra il comune di Mesagne a ovest e a est di Tutturano. L'area è caratterizzata nella sua interezza da terreni ad uso agricolo.

## 1.2 Cartografia disponibile

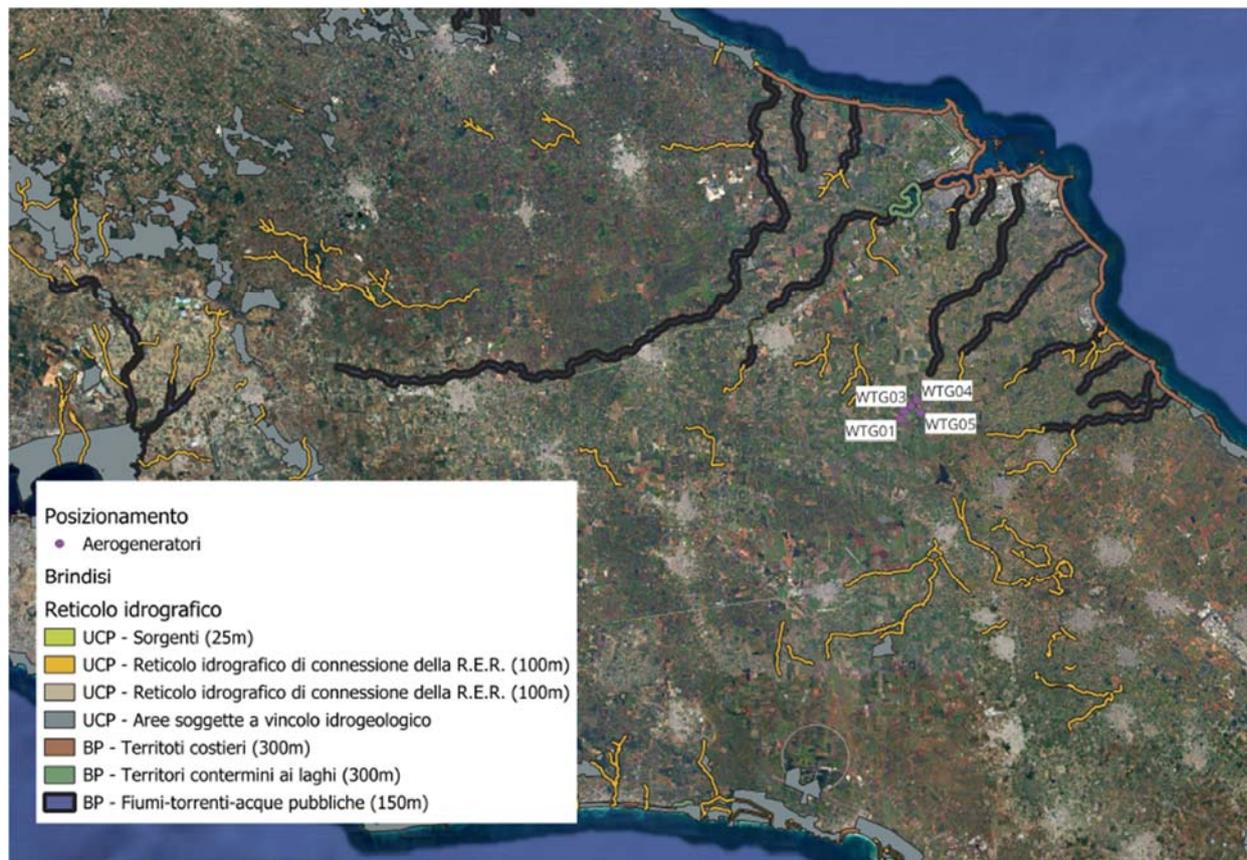


**Figura 2: Posizionamento manufatti**

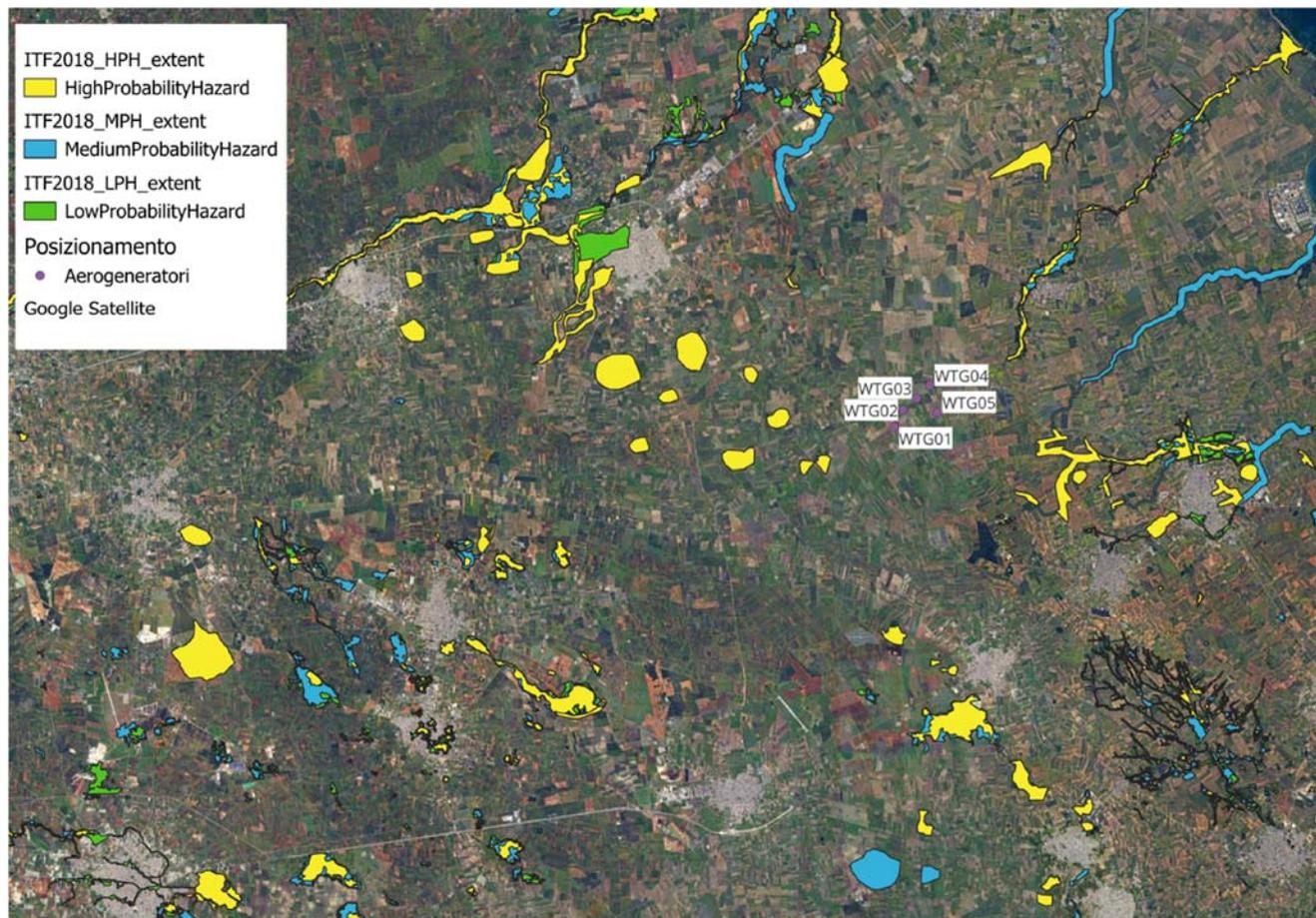
La cartografia disponibile per l'analisi dell'area è la seguente:

1. Foglio 495 "Mesagne" della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia
2. DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Puglia ([www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it))
3. Ortofoto e materiale cartografico [Google Earth]





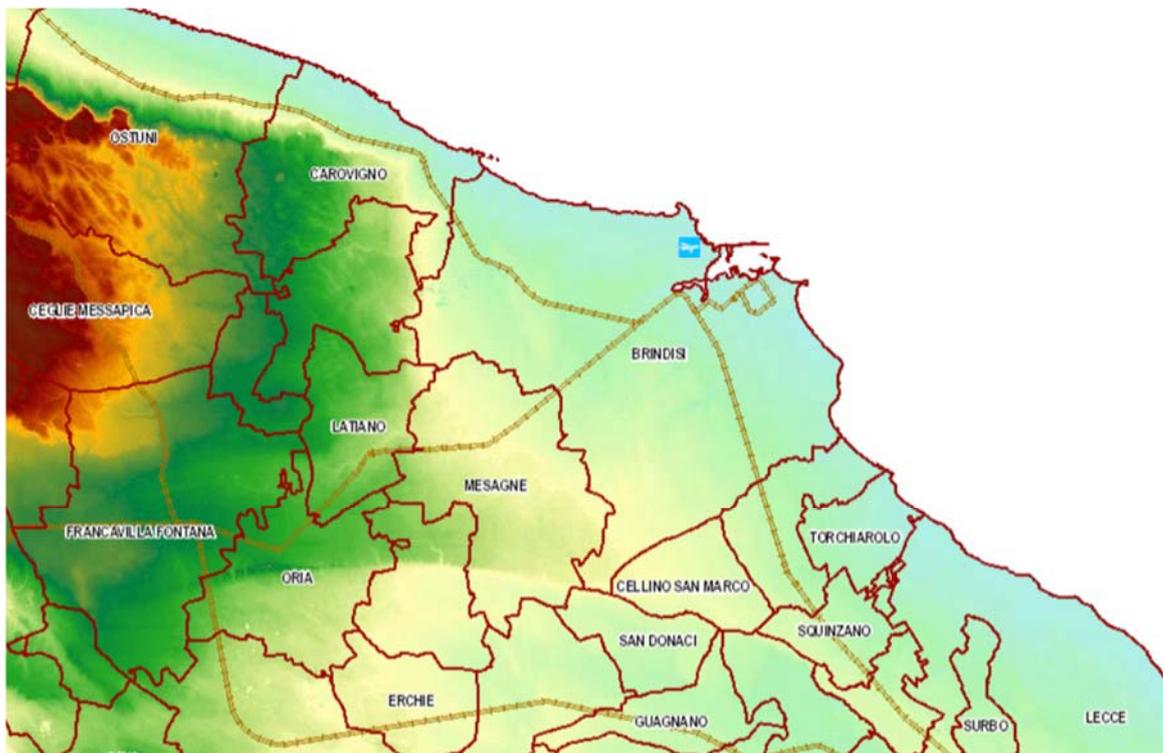
**Figura 4: Estratto della Sistema delle Tutele shp Regione Puglia Reticolo Idrografico.**



**Figura 5: Estratto PAI shp Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale.**

## 2 ANALISI TOPOGRAFICA

L'analisi topografica dell'area è stata condotta utilizzando il materiale cartografico disponibile sul portale SIT della Regione Puglia. Le tavolette utilizzate riguardano il quadro 495 –" Mesagne", in cui tutto il bacino risulta contenuto. Si riporta uno stralcio del DTM globale, il DTM di dettaglio utilizzato per le simulazioni idrauliche è stato ottenuto da uno stralcio mediante software QGIS.

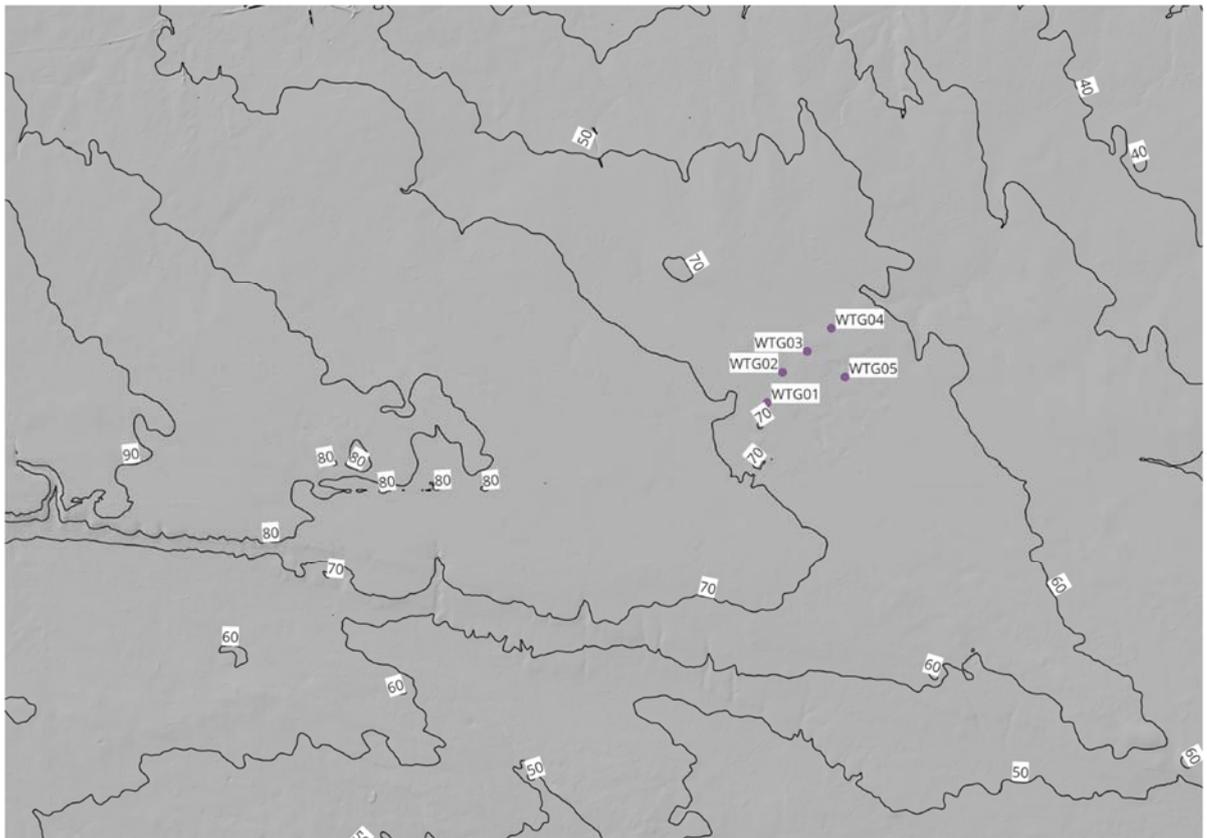


**Figura 6: Estratto DTM da portale SIT Regione Puglia Zona di Brindisi.**

L'altimetria della zona è compresa tra 80 e 60 m s.l.m.m. e ricomprende tutto il bacino afferente al corso d'acqua. Nella figura a seguire è riportato l'andamento del terreno su DTM, le isoipse sono a 10 m di intervallo, vengono anche rappresentati gli aerogeneratori. I DTM sono in coordinate WGS 84 /UTM Zona 33 N tale sistema verrà utilizzato per tutte le elaborazioni.

Il Modello Digitale Terreno (DTM) è realizzato secondo lo standard definito nel documento Prescrizioni tecniche per la produzione di Modelli Digitali del Ter-

reno, prodotto dall'apposito gruppo di lavoro nominato dall'Intesa Stato-Regioni-Enti Locali sui Sistemi Informativi Territoriali. Il DTM è conforme al livello 3. Italian Open Data License (IODL 2.0).



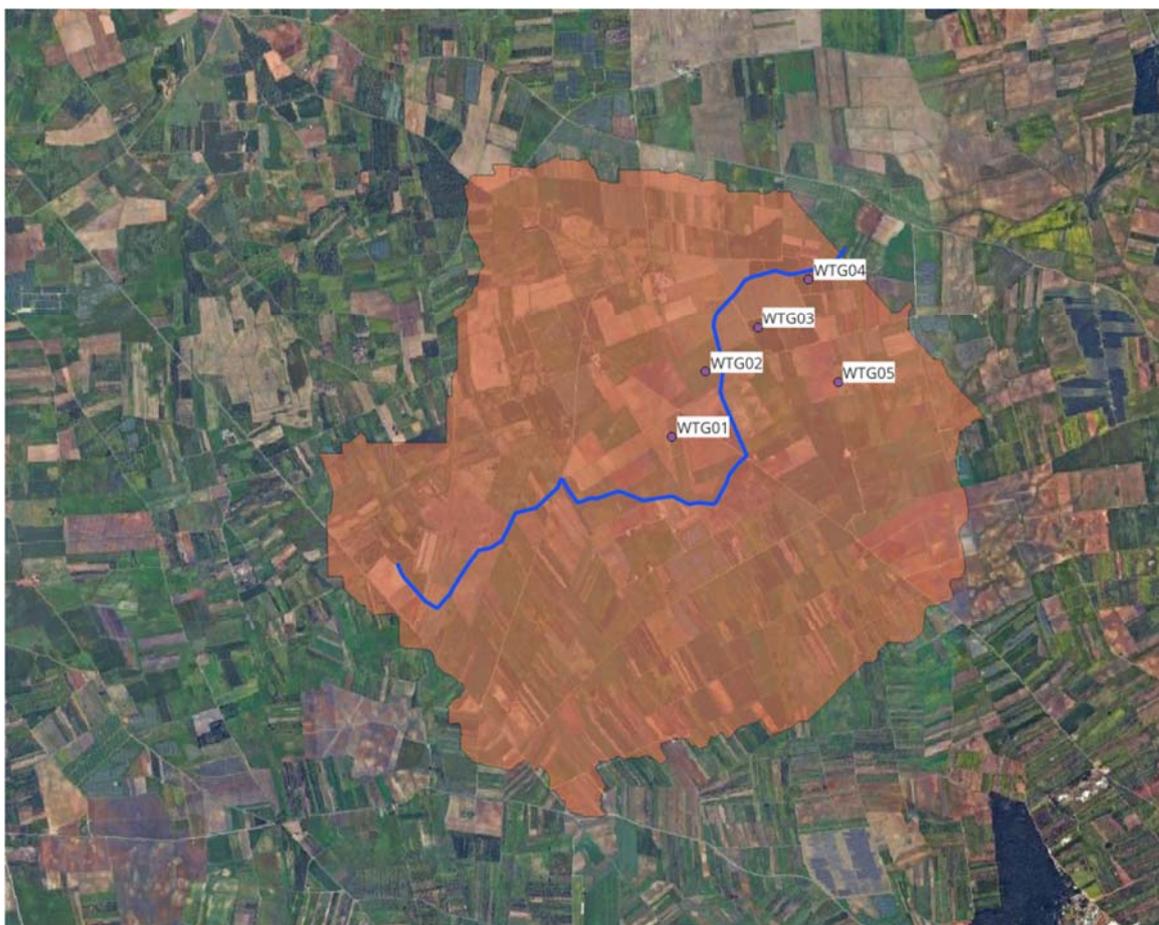
**Figura 7: Estratto isoipse e posizionamento aerogeneratori.**

### 3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica viene condotta in due fasi: la prima per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica, la seconda per la determinazione degli idrogrammi di piena afferenti al bacino di calcolo.

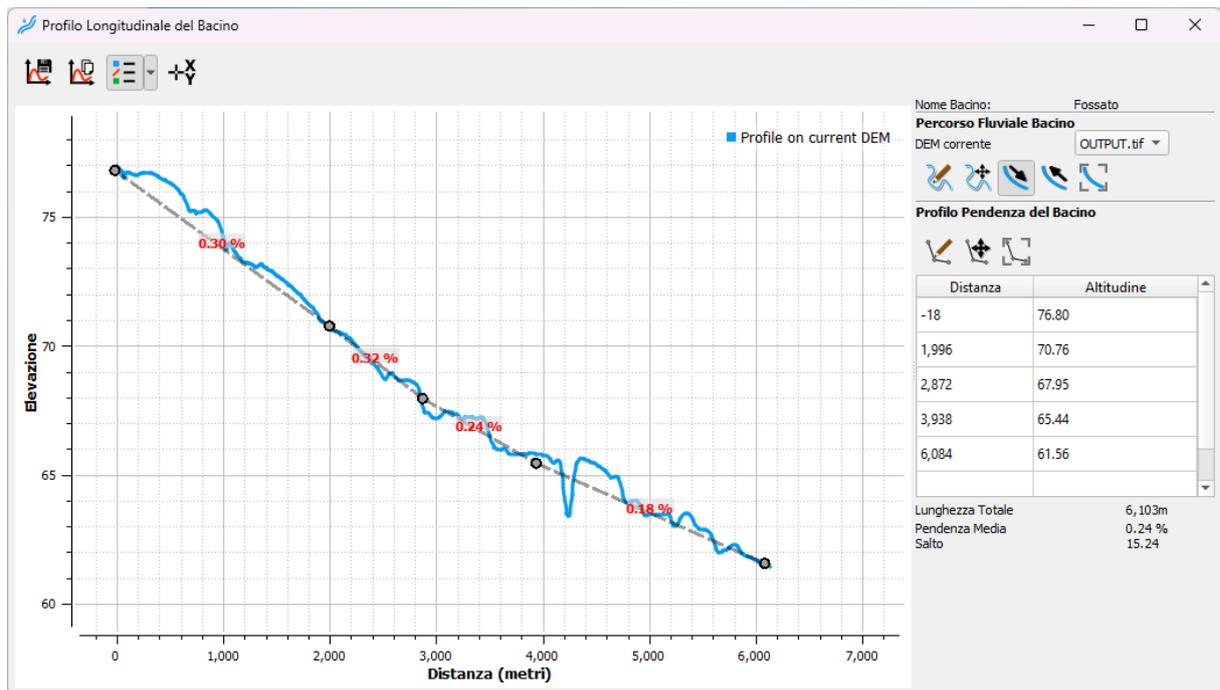
#### **3.1 Caratteristiche morfologiche di bacino**

Per prima cosa viene analizzata l'asta del corso d'acqua e determinato il bacino afferente che genera la piena oggetto di studio. Il software utilizzato per la determinazione dei bacini è Lekan



**Figura 8: Estensione bacino su ortofoto.**

Le caratteristiche morfometriche del bacino sono riportate nella figura seguente.



**Figura 9: Caratteristiche morfometriche bacino e asta fluviale.**

La pendenza media è di circa 0.25%, l'asta principale di lunghezza circa 6km e l'altitudine varia da un massimo di 77.80 m slmm a 61.50 m slmm. Il bacino complessivamente si estende per un'area di circa 15.62 km<sup>2</sup>

### ***3.2 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per Tr 30,200 e 500 anni***

La valutazione della massima precipitazione al variare del tempo di ritorno è stata svolta rifacendosi alla metodologia proposta dal Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale". Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV con regionalizzazione di tipo gerarchico.

Per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si è fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate. L'utilizzo della TCEV ha consentito di ricostruire

un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, mediante il quale è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni in cui risulta costante anche il coefficiente di variazione (secondo livello di regionalizzazione).

Il valore  $P_{d,T}$  del massimo annuale di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per una prefissata durata, viene espresso come prodotto tra il suo valore medio  $X_t$  ed una quantità  $K_T$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$ , definito dal rapporto:

$$K_T = P_{d,T}/X_t$$

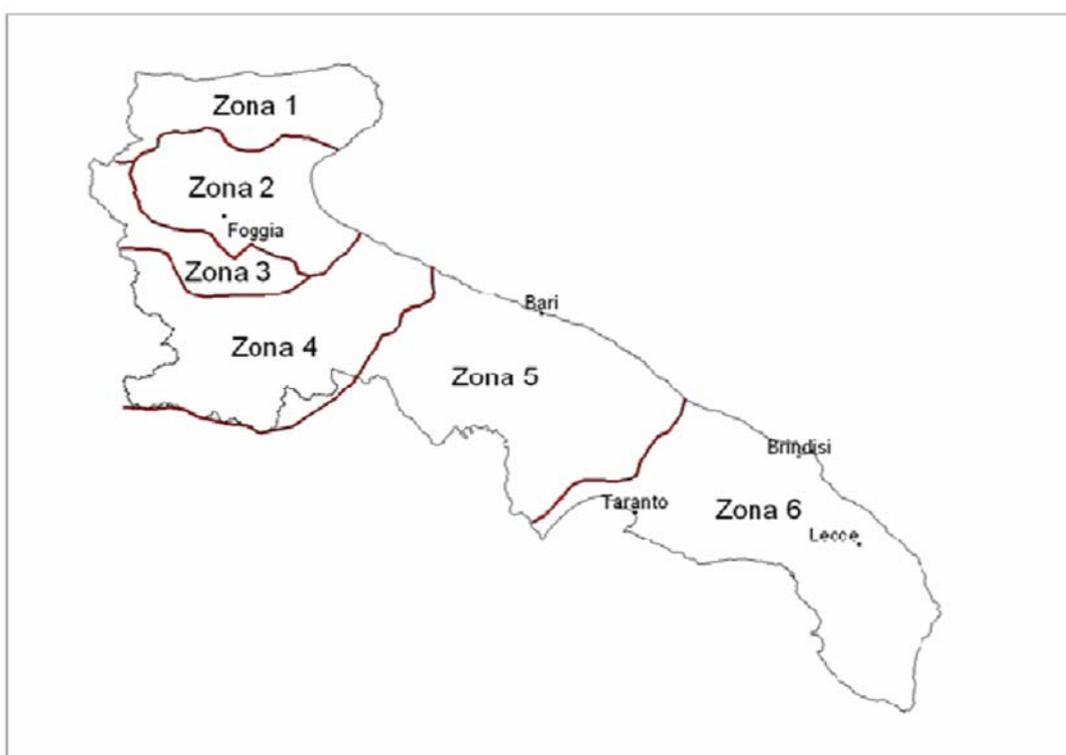
La curva di distribuzione di probabilità data dal precedente rapporto corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della TCEV legati al coefficiente di asimmetria e al coefficiente di variazione. Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea, previamente identificata al secondo livello di regionalizzazione, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno  $T$  ed il fattore di crescita  $K_T$ , ritenendo trascurabile la sua variabilità con la durata. Con il terzo livello di regionalizzazione viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione delle serie storiche in relazione a fattori locali; in particolare si ricercano eventuali legami esistenti tra i valori medi dei massimi annuali delle piogge di diversa durata ed i parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località, consentendo in definitiva di proporre la stima dei valori medi dei massimi annuali di precipitazione anche in siti sprovvisti di stazioni di misura o con serie storica di lunghezza ridotta. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $X_t$  dei massimi annuali

della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$X_t = at^n$$

essendo "a" ed "n" i parametri caratteristici della curva di probabilità pluviometrica, variabili da sito a sito.

Le curve regionalizzate sono disposte per 6 zone per cui la zona di Brindisi ricade in zona 6.



**Figura 10: Zone omogenee per il calcolo delle curve.**

La curva specifica della zona oggetto di studio è la seguente:

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

La curva omogenea dove: X è la precipitazione, d la durata e z la quota assoluta della zona considerata.

Importante notare che la curva poi viene moltiplicata per dei fattori correttivi  $K_T$  che sono dipendenti dal tempo di ritorno dell'evento considerato. In altre parole:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 \times \ln(\text{Tr})$$

In questo modo è possibile moltiplicare i valori di altezza di pioggia ottenuti per il coefficiente specifico ottenendo la curva di possibilità pluviometrica per l'evento considerato.

Si è ottenuto pertanto considerando gli eventi specifici: Tr 30, Tr 200 e Tr 500:

**Tabella 1: Calcolo dei parametri  $K_T$ .**

Tr	$K_T$
30	1.916959
200	2.897011
500	3.370367

I parametri verranno utilizzati poi per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica, per prima cosa si calcola con la formula precedentemente illustrata il valore in mm di pioggia lorda, inserendo:

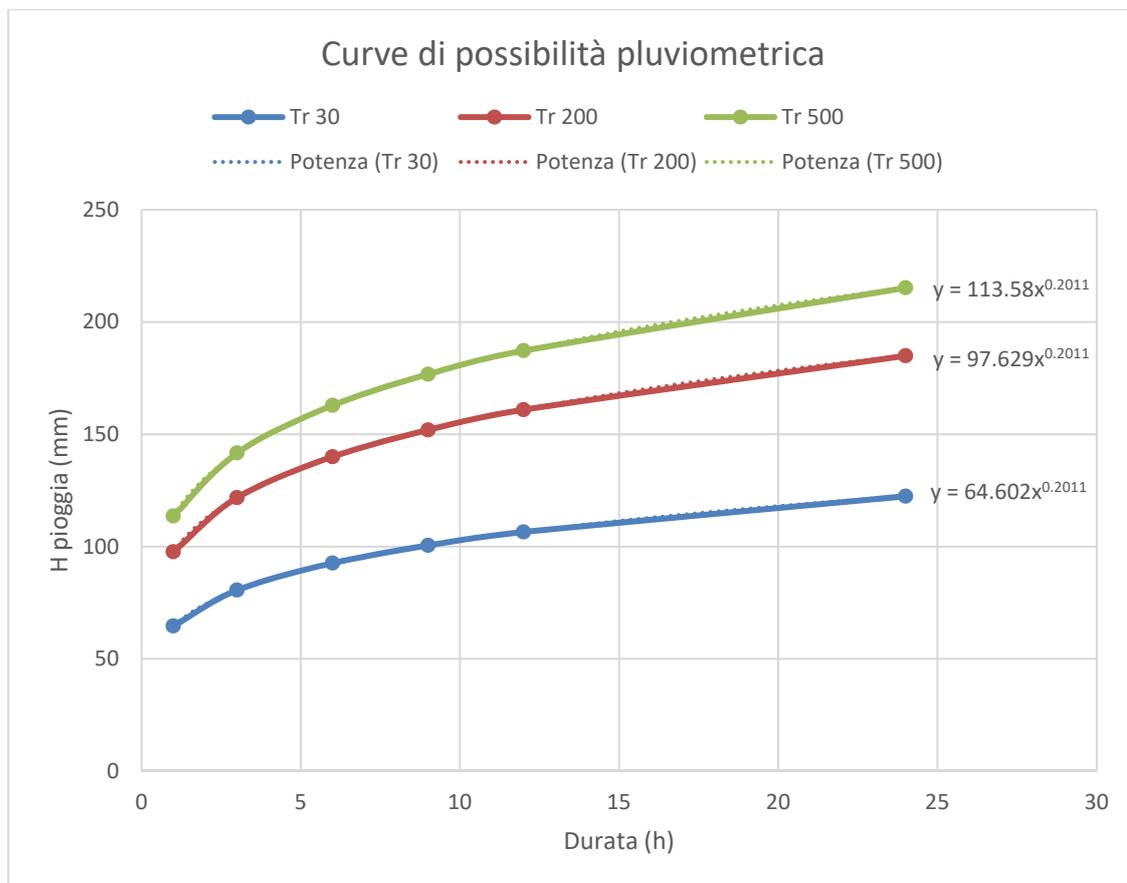
- d = durata dell'evento in ore;
- z = altimetria media del bacino in quota assoluta (68.66 m slmm)

Si ottiene pertanto la seguente tabella di calcolo:

**Tabella 2: Altezze di pioggia calcolate per ciascun tempo di ritorno.**

d (durata ore)	H pioggia mm	H Tr 30 mm	H tr 200 mm	H tr 500 mm
1	33.7	64.6015	97.62926233	113.5814
3	42.03126	80.57218	121.7650121	141.6608
6	48.3176	92.62285	139.9766191	162.848
9	52.42216	100.4911	151.8675633	176.6819
12	55.54416	106.4758	160.9120186	187.2042
24	63.85154	122.4008	184.9785906	215.2031

Per ottenere le curve di possibilità pluviometrica è sufficiente inserire in un grafico i valori ottenuti per ciascun tempo di ritorno analizzato, i risultati sono illustrati nel grafico a seguire.



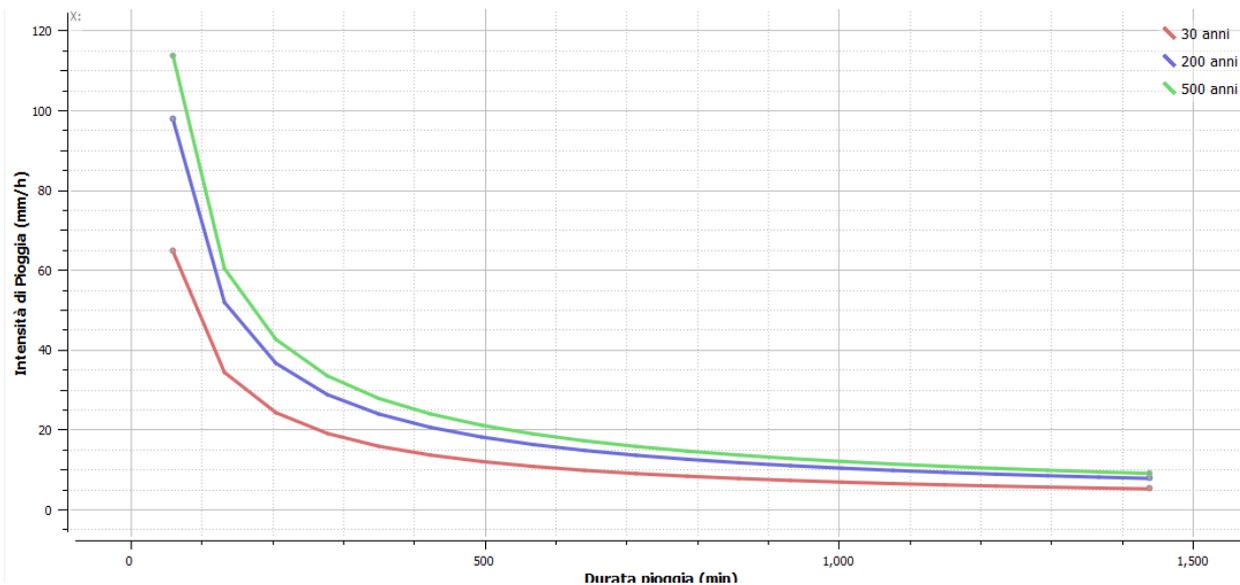
**Figura 11: Equazioni di possibilità pluviometrica per Tr 30,200 e 500 anni.**

La determinazione dei parametri a,n si ottiene semplicemente graficando la linea esponenziale che collega i punti notevoli di calcolo. Le curve ottenute danno come parametri i seguenti valori.

**Tabella 3: parametri a,n per ciascun tempo di ritorno.**

a,n Tr 30	64.602	0.2023
a,n Tr 200	97.629	0.2023
a,n Tr 500	113.58	0.2023

Si riportano pertanto le curve di intensità di pioggia restituite con i dati ottenuti fino ad ora.



**Figura 12: Curve intensità di pioggia lorda per Tr 30,200 e 500 anni.**

Si riportano infine gli ietogrammi di piena calcolati con il metodo Chicago.

Il tempo di corrivazione per la determinazione degli ietogrammi (evento massimo) è stato determinato con la formula di Passini e di Ventura; i calcoli restituiscono un t di corrivazione di circa 9,90 h. Gli ietogrammi sono calcolati su un evento critico di 9 ore in ottemperanza ai risultati ottenuti.

Lekan
?
×

Formula Tempo di Concentrazione

---

Giandotti 
$$\frac{0.24 \times \sqrt{A} + 0.09 \times L}{0.8 \times \sqrt{H_m}}$$

---

Johnstone 
$$27.738 \times \frac{\sqrt{L/1000}}{i^{0.25}}$$

---

Kirpich 
$$0.0195 \times \frac{L^{0.77}}{i^{-0.385}}$$

Passini 
$$6.48 \times \frac{(A \times L)^{0.33}}{10^9 \times \sqrt{i}}$$

Vente Chow 
$$9.612 \times \left(\frac{L}{1000}\right)^{0.64} \times i^{-0.32}$$

Ventura 
$$0.24 \times \sqrt{\frac{A \times L}{1000 \times H}}$$

L: percorso più lungo (m)  
A : area bacino (m<sup>2</sup>)  
i : pendenza media (m/m)  
H : Salto di quota (m)  
Hm : elevazione media relativa (rispetto alla sezione di chiusuta) (m)  
Tutti i risultati in minuti

**Figura 13: Formule per il calcolo del tempo di corrivazione.**

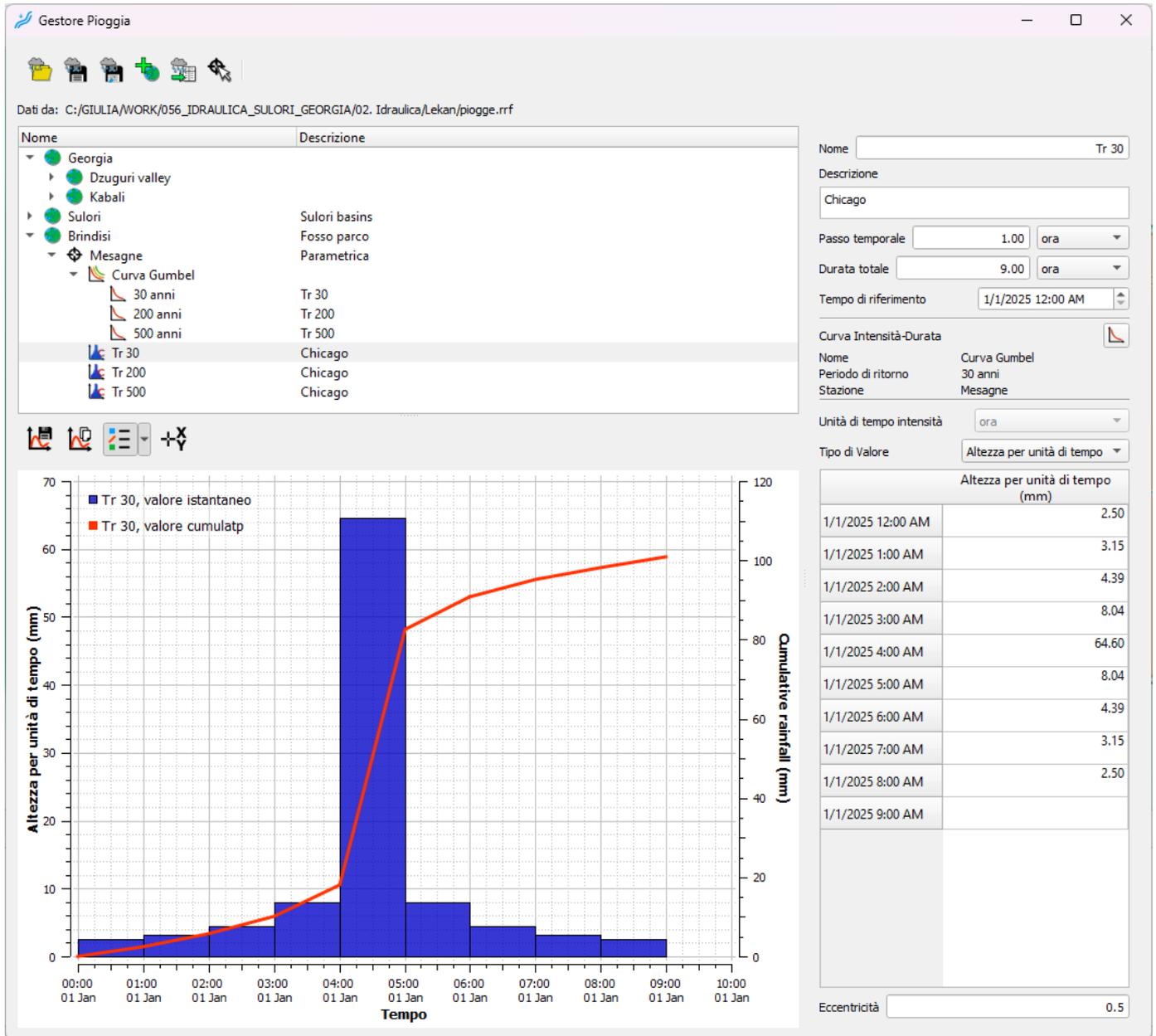


Figura 14: Ietogramma per Tr 30.

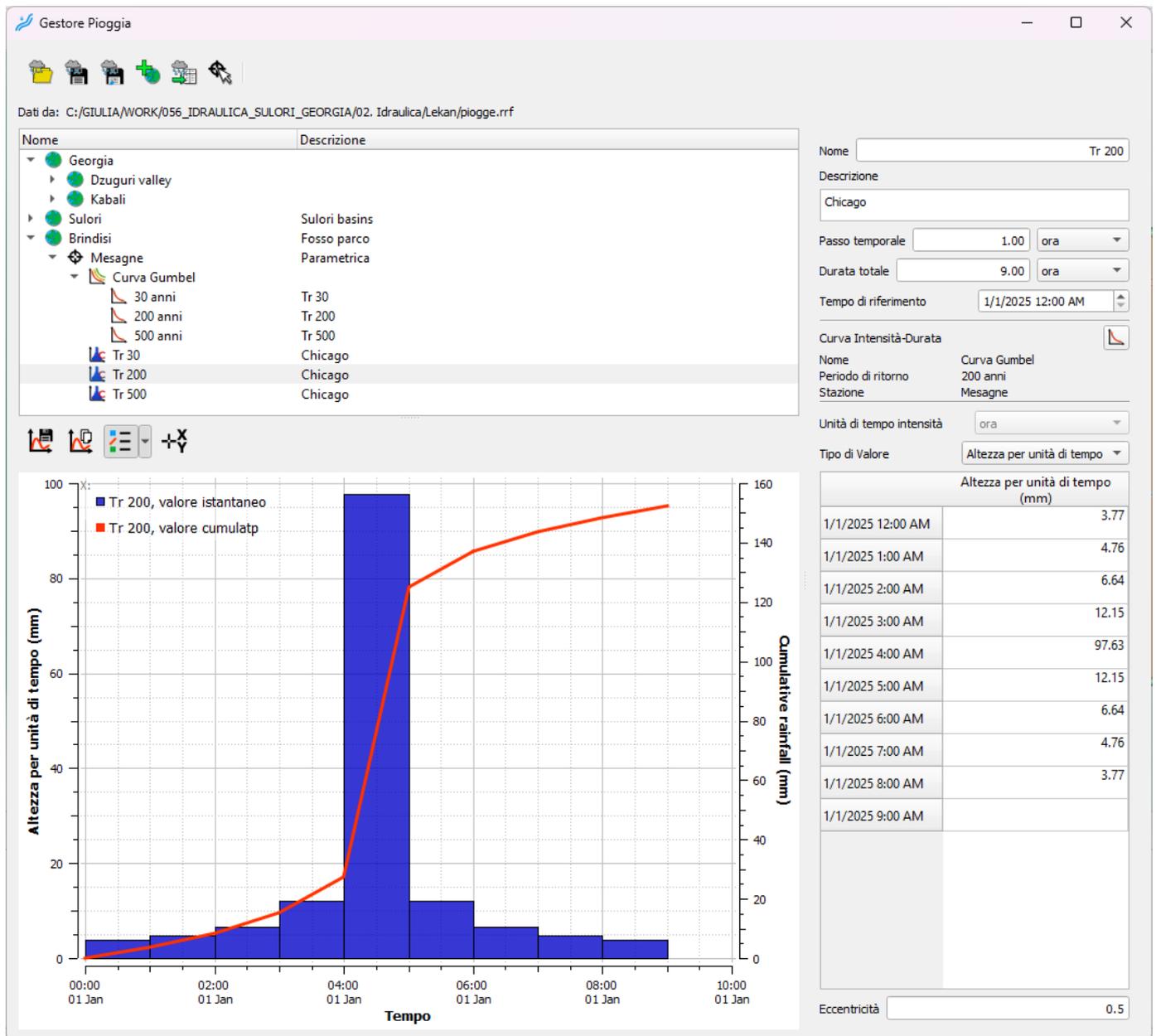
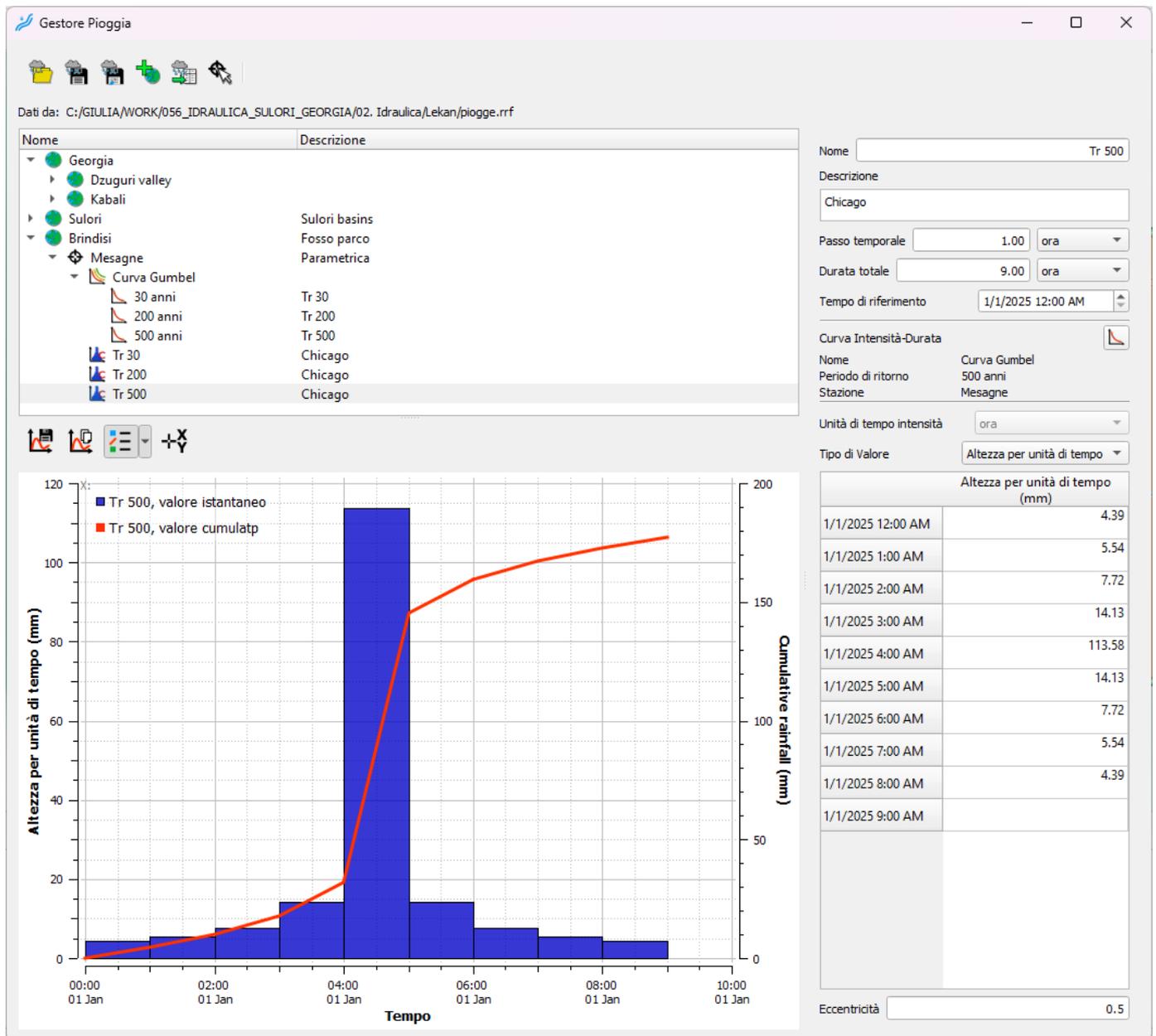


Figura 15: Ietogramma per Tr 200.



**Figura 16: Ietogramma per Tr 500.**

### **3.3 Determinazione degli idrogrammi di piena per Tr 30,200 e 500 anni con il metodo dell'idrogramma unitario SCS-CN**

#### *3.3.1 La determinazione della pioggia netta con il metodo SCS-CN*

Per la determinazione dello scenario di allagamento con l'evento di pioggia bi-centenaria sulle 24 h, si è usato, per il calcolo della pioggia efficace, il metodo SCS-CN. Si tratta di un approccio, proposto dall'SCS (Soil Conservation Service), per il calcolo della precipitazione efficace (deflusso superficiale) sulla base di una data precipitazione totale. Esso si basa sull'equazione di continuità, espressa nella seguente forma:

$$R = P - S$$

dove:

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

Tale equazione viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm), pari a quella che c'è fra il ruscellamento superficiale R e la pioggia totale P:

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

Assumendo dunque la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'} \text{ [mm]}$$

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

Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infiltra prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S'} \text{ [mm]}$$

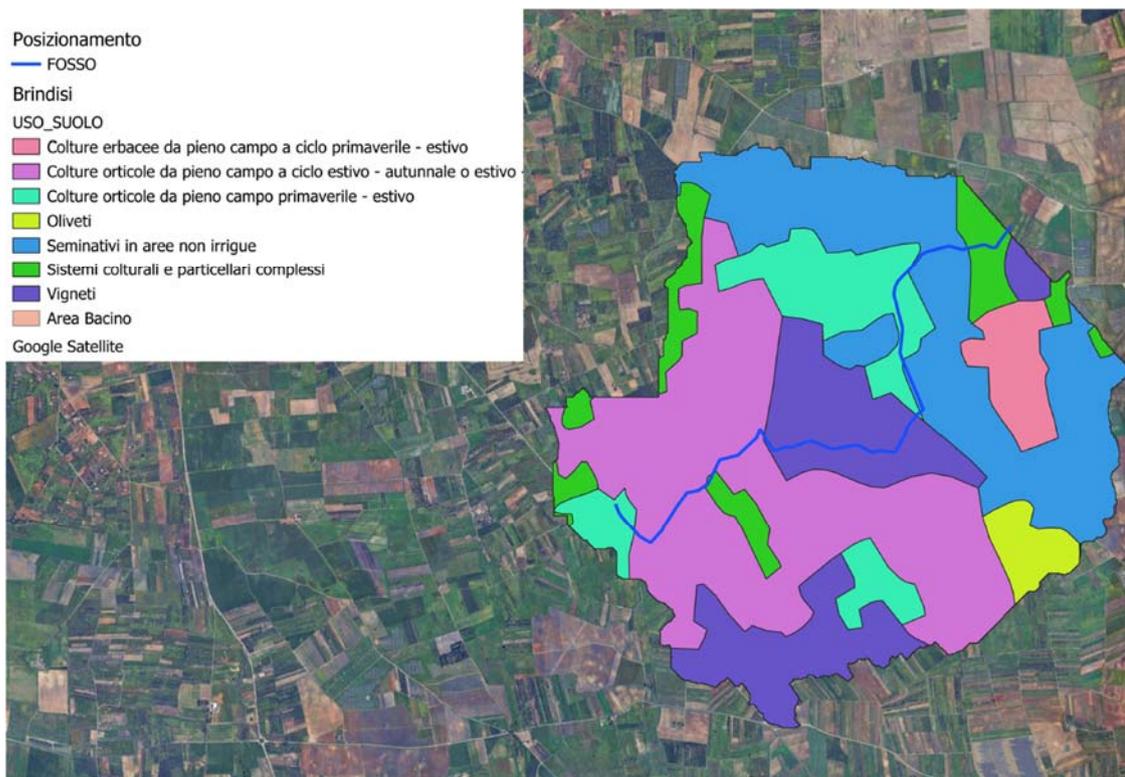
Essendo  $I_a$  (mm) la perdita iniziale (Initial abstraction), che viene assunta generalmente assunta pari a:

$$I_a = 0.2S'$$

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione  $S'$  (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

Dove CN (Curve Number) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità. Per la determinazione del CN per la zona di studio si sono utilizzate le tabelle standard e confrontate con l'uso del suolo (Corinne 1999 – Scaricato dal portale SIT Regione Puglia). Si riporta dunque un estratto dell'uso del suolo



**Figura 17: Uso del suolo (Portale Regione Puglia - SIT).**

Avendo dunque la mappa del curve number, è facilmente calcolabile, per ogni zona in esame, il corrispondente deflusso superficiale.

Cautelativamente, per ogni gruppo idrologico individuato si sono considerati i valori dei CN più alti suggeriti dalle tabelle in letteratura, in modo da generare una pioggia netta, e dunque una portata di picco, a favore di sicurezza per la successiva analisi modellistica.

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,

- 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

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. Per la zona oggetto di studio si sceglie di utilizzare un CNII pari a 78, che corrisponde ad una classe di deflusso C, tale valore poi verrà massimizzato utilizzando la formula relativa al CNIII e si otterrà:

- CNIII = 89

**Tabella 4: Parametri CN per tipo di uso del suolo.**

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	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 perma-	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

In base ai valori scelti per la determinazione della pioggia lorda, si procede dunque per la determinazione della pioggia netta e dunque degli idrogrammi di portata.

### 3.3.2 Il calcolo dell'idrogramma di piena con il metodo SCS - CN

Il calcolo dell'idrogramma di progetto è stato eseguito a partire dallo ietogramma di riferimento (triangolare, con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 5h) secondo il metodo dell'idrogramma unitario SCS – CN.

Tale metodo definisce un idrogramma unitario la cui forma è predeterminata e dipende da un fattore di picco, che correla la portata massima e il tempo di raggiungimento dello stesso secondo la relazione:

$$Q_p = \frac{P_f A}{232 T_p}$$

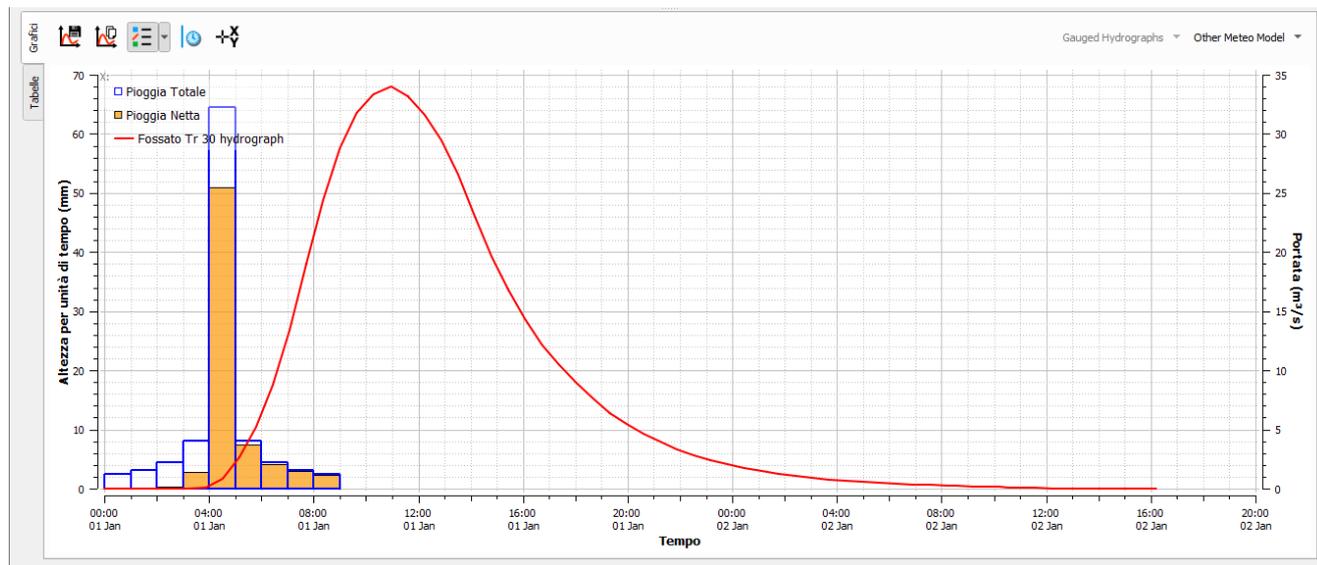
Dove

- $Q_p$ : è la portata di picco per una precipitazione unitaria (1 cm)
- $T_p$ : è il tempo di raggiungimento del picco, in ore
- $A$ : è l'area del bacino in chilometri quadrati
- $P_f$ : è il fattore di picco, compreso fra 100 and 600, con un valore di riferimento pari a 484

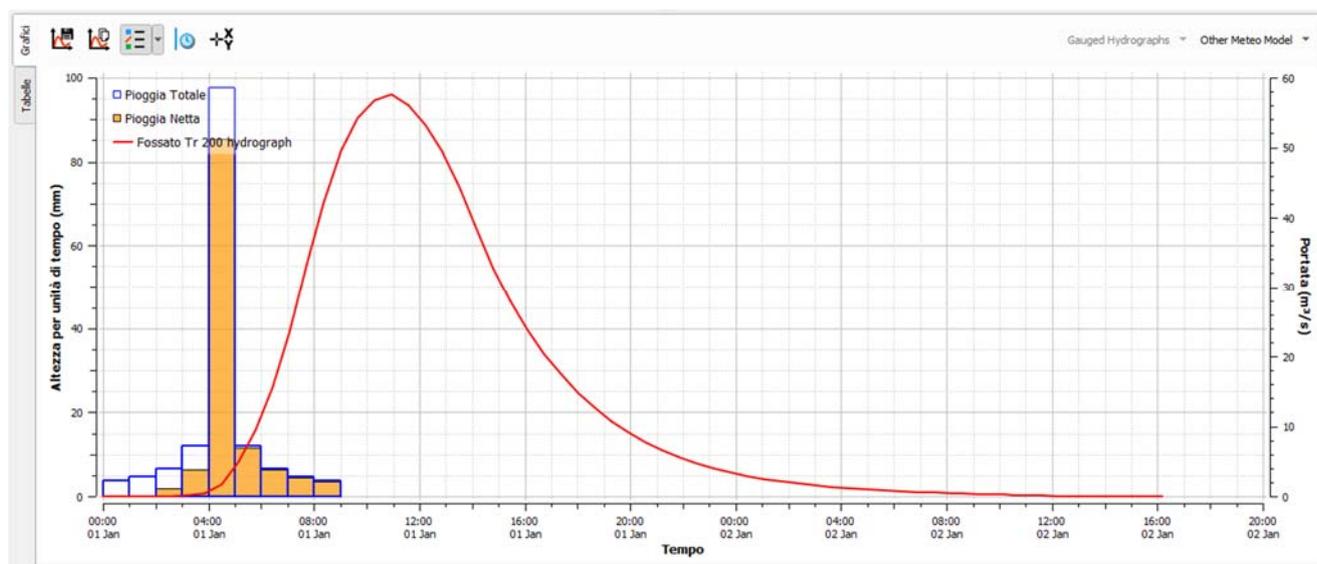
Si rimanda all'ampia letteratura disponibile per ulteriori informazioni.

Il metodo SCS utilizzato con parametro di picco 484 e tempo di ritardo corrisponde in buona sostanza alla formulazione di Mockus a seconda del tempo di corrivazione utilizzato.

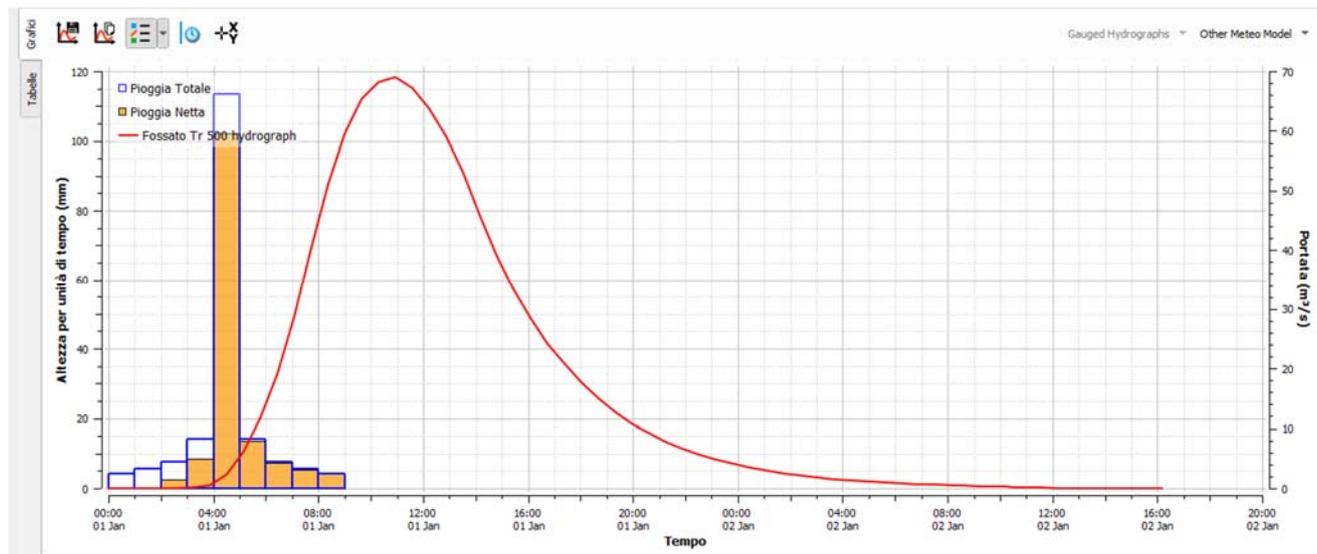
Si riportano a seguire gli idrogrammi di calcolo ottenuti con tempo di corrivazione 9,90 h e tempo di ritardo dal tempo di concentrazione pari a  $T_L=5.94h$ .



**Figura 18. Idrogramma Tr 30 anni, ottenuto tramite il metodo dell'idrogramma unitario SCS – CN.**



**Figura 19. Idrogramma Tr 200 anni, ottenuto tramite il metodo dell'idrogramma unitario SCS – CN.**



**Figura 20. Idrogramma Tr 500 anni, ottenuto tramite il metodo dell'idrogramma unitario SCS – CN.**

Per le analisi oggetto della presente si utilizzeranno i valori ottenuti per l'idrogramma con Tr 200 per la determinazione delle aree allagabili.

## 4 ANALISI IDRAULICA

Il modello è stato implementato con HEC-RAS 6.4.1, noto software sviluppato da USACE (U.S. Army Corp of Engineers). Si è considerato, per tutte le analisi, un dominio bidimensionale, centrato sull'asta del Fiume Piave ed estesa ai lati per tenere conto delle possibili zone di allagamento.

A monte ed a valle dell'installazione in progetto è stato modellato il dominio di calcolo per un'estensione sufficiente a determinare l'estensione delle zone allagabili. Si riporta a seguire un breve excursus teorico della modellazione bidimensionale utilizzata per il calcolo.

### 4.1 Modellazione numerica bidimensionale

Il modulo 2D di HEC Ras è un modello 2DH che risolve le equazioni del moto su una mesh bidimensionale non strutturata. Le equazioni del moto utilizzate sono dette Shallow Water Equation (SWE), e si basano sulle equazioni di Navier-Stokes (moto dei fluidi tridimensionale), assumendo le seguenti ipotesi semplificative:

- fluido incomprimibile;
- densità uniforme;
- distribuzione idrostatica delle pressioni;
- moto assolutamente turbolento (con possibilità di approssimare la turbolenza tramite eddy viscosity);
- tirante idrico molto minore della scala orizzontale del moto.

Le SWE sono espresse nella seguente forma:

- Equazione di continuità:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = q$$

- Equazioni di conservazione della quantità di moto in x e y:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U \partial(U)}{\partial x} + \frac{V \partial(U)}{\partial y} - f_c V = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( v_{t,xx} h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( v_{t,yy} h \frac{\partial U}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x}$$

E:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U \partial(V)}{\partial x} + \frac{V \partial(V)}{\partial y} - f_c U = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( v_{t,xx} h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( v_{t,yy} h \frac{\partial V}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y}$$

Dove:

- $U$  è la velocità in direzione x mediata sulla verticale
- $V$  è la velocità in direzione y mediata sulla verticale
- $q$  il termine sorgente/perdita di acqua
- $f_c$  è il fattore di Coriolis
- $z_s$  è il livello dell'acqua (WSE)
- $v_{t,xx}$  e  $v_{t,yy}$  sono i coefficienti di viscosità turbolenta (eddy viscosity)
- $\tau_{b,x}$  e  $\tau_{b,y}$  sono le tensioni tangenziali al fondo nelle due direzioni
- $\tau_{s,x}$  e  $\tau_{s,y}$  sono le tensioni alla superficie dovute al vento
- $h$  è il tirante idrico
- $P_a$  la pressione atmosferica
- $\rho$  la densità del fluido
- $R$  il raggio idraulico

Rimandando al Reference Manual di HEC RAS per tutti i dettagli sui diversi termini considerati, si specifica che nella presente analisi sono stati trascurati gli effetti di Coriolis, l'azione del vento, la variazione della pressione atmosferica e gli effetti dovuti alla viscosità turbolenta. Si ritiene che, ai fini della presente analisi, tale assunzione non riduca la significatività dei risultati ottenuti.

Per quanto riguarda la valutazione della tensione al fondo, viene utilizzata la formulazione di Manning, secondo cui:

$$\tau_b = \rho C_D |\mathbf{V}| \mathbf{V} = \rho \frac{n^2 g}{R^{1/3}} |\mathbf{V}| \mathbf{V}$$

Dove si consideri:

- $n$  è il coefficiente di Manning
- $|\mathbf{V}|$  è il modulo della velocità 2D

- $V$  è la velocità vettoriale

In alcune specifiche condizioni di flusso, dove i termini gravitazionali e di tensione (al fondo e alla superficie) risultano molto più influenti degli altri, le equazioni di conservazione della quantità di moto possono essere riscritte nella forma dell'onda diffusiva (DSW) che, di fatto, trascura tutti gli altri termini (inerziali, avvevativi e viscosi).

Si tratta di una formulazione particolarmente utile per la sua semplicità e, conseguentemente, rapidità di calcolo. Nonostante le forti ipotesi alla base, tale formulazione può offrire per una vasta gamma di scenari risultati attendibili, utili per una visione di insieme delle problematiche, eventualmente da affinare con la formulazione più rigorosa delle SWE per analisi locali.

Laddove i due solutori dessero risultati molto diversi, la formulazione SWE va considerata più attendibile. Lo schema DSW, al contrario di quello SWE, è stabile anche in forma implicita. Tale aspetto permette di utilizzare time-step più ampi. Rimane in ogni caso il fatto che maggiore sarà il time-step minore sarà l'accuratezza della soluzione.

Per il caso esaminato si è utilizzata l'equazione DSW, poichè il dominio non presentava delle criticità tali da dover introdurre una formulazione più rigorosa per il calcolo.

Il solutore utilizzato, in entrambe le formulazioni, è misto volumi finiti – differenze finite. Si rimanda al manuale tecnico del codice utilizzato per i particolari sulla risoluzione dello schema di calcolo.

Per quanto riguarda il timestep di base assunto è, in ogni caso, pari a 10 secondi.

Si segnala infine che il programma prevede la possibilità di inserire condizioni al contorno interne, lungo il limite delle celle di calcolo. In particolare, è possibile schematizzare strutture lineari, tra le quali le soglie tracimabili, eventualmente considerando anche l'innescio di brecce, non previste nel caso in esame. Si rimanda nuovamente alla documentazione tecnica e scientifica disponibile presso il sito del software per ulteriori indicazioni in merito.

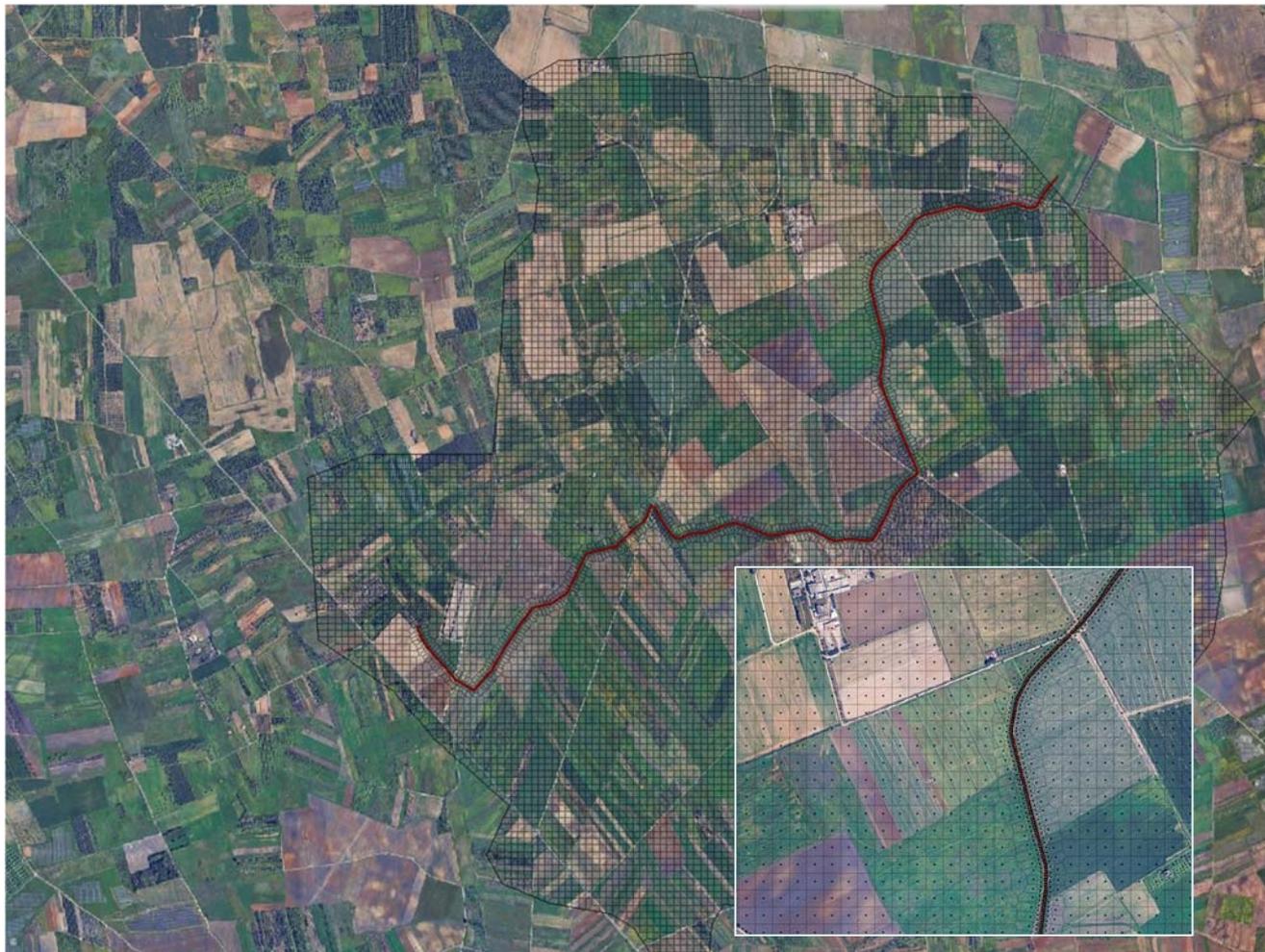
#### ***4.2 Schema di modellazione bidimensionale: scenari di calcolo***

Il presente studio ha considerato una modellazione bidimensionale a fondo fisso e moto vario, schematizzando lo scenario di piena bicentenaria utilizzando l'idrogramma come calcolato al capitolo 3. L'area analizzata coincide con l'estensione del bacino di calcolo e di tutta l'asta del corso d'acqua. Si riportano schematicamente i risultati ottenuti dalla modellazione.

#### ***4.3 Mesh di calcolo***

La dimensione base delle celle è di 25x25 metri. Si è tuttavia raffittita la mesh (con risoluzione 5x5 m) nell'area del corso d'acqua, considerata di particolare importanza.

La dimensione dell'area modellata è dovuta alla complessità del fenomeno oggetto di studio. La scelta di utilizzare una dimensione di base della mesh più ampia rispetto ai 10 m è dettata dalle dimensioni della stessa. Tuttavia, le opportune aree di raffittimento permettono di tenere conto degli effetti locali in tutti i punti in cui essi sono rilevanti. Non si ritiene che la minor risoluzione nelle aree più distanti dai punti in esame (o dagli elementi morfologici sopra indicati) sia rilevante ai fini del presente studio. Si riporta in Figura 21 lo schema geometrico della mesh di calcolo dell'area di deflusso 2D.



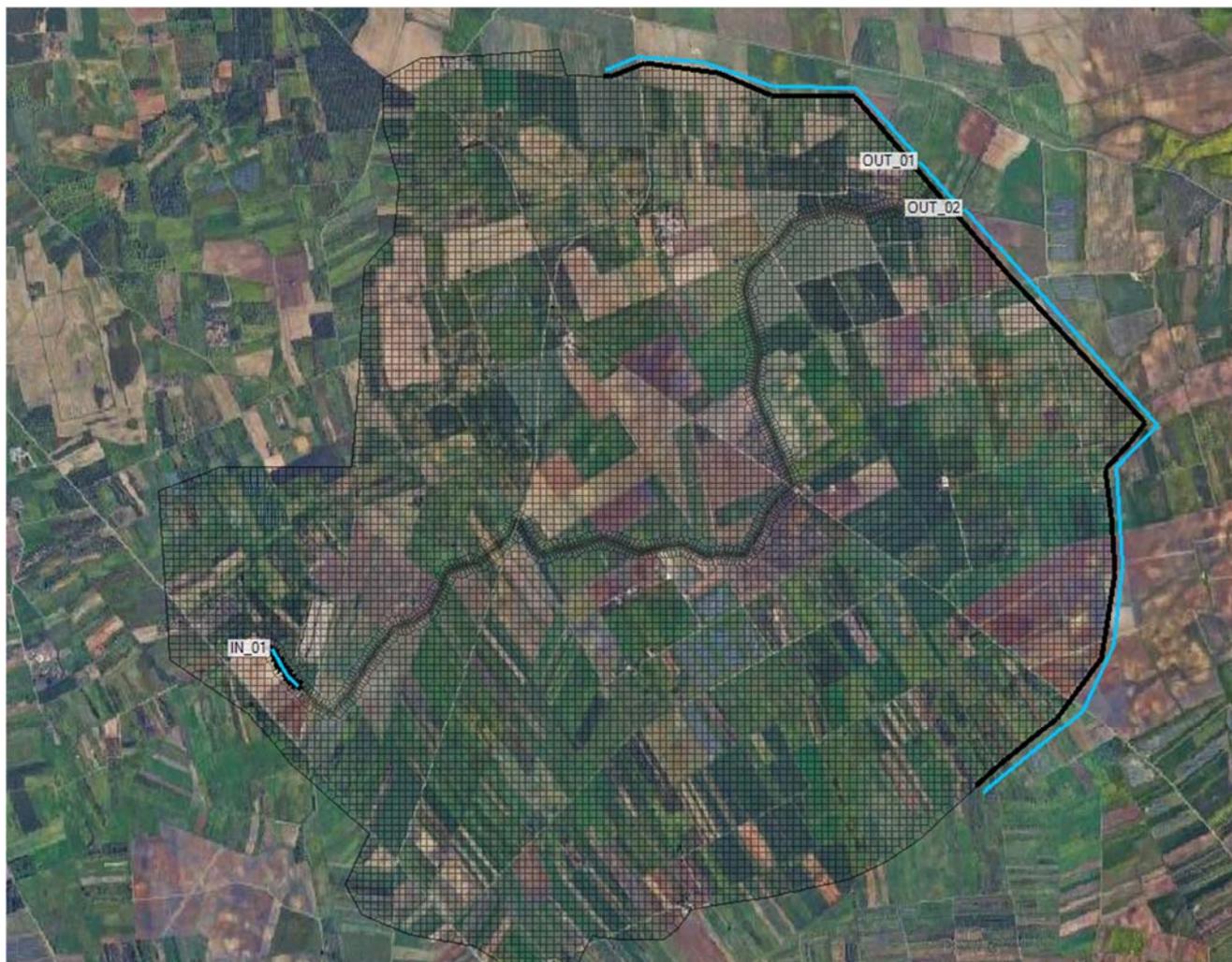
**Figura 21. Mesh del modello 2D e zoom sulla zona di mesh raffittita.**

#### ***4.4 Condizioni al contorno***

Il modello 2D è caratterizzato dalle seguenti condizioni al contorno:

- L'uscita del corso d'acqua con pendenza normale 0.0025 m/m;
- I limiti della mesh che coprono la parte dove si ha il deflusso di piena con pendenza normale 0.0025 m/m;
- L'ingresso dell'idrogramma di piena lungo l'imbocco del corso d'acqua a monte.

Si riporta in Figura 22 la configurazione delle condizioni al contorno imposte. Dove la mesh non presenta specifiche condizioni al contorno, è presente una condizione di parete.



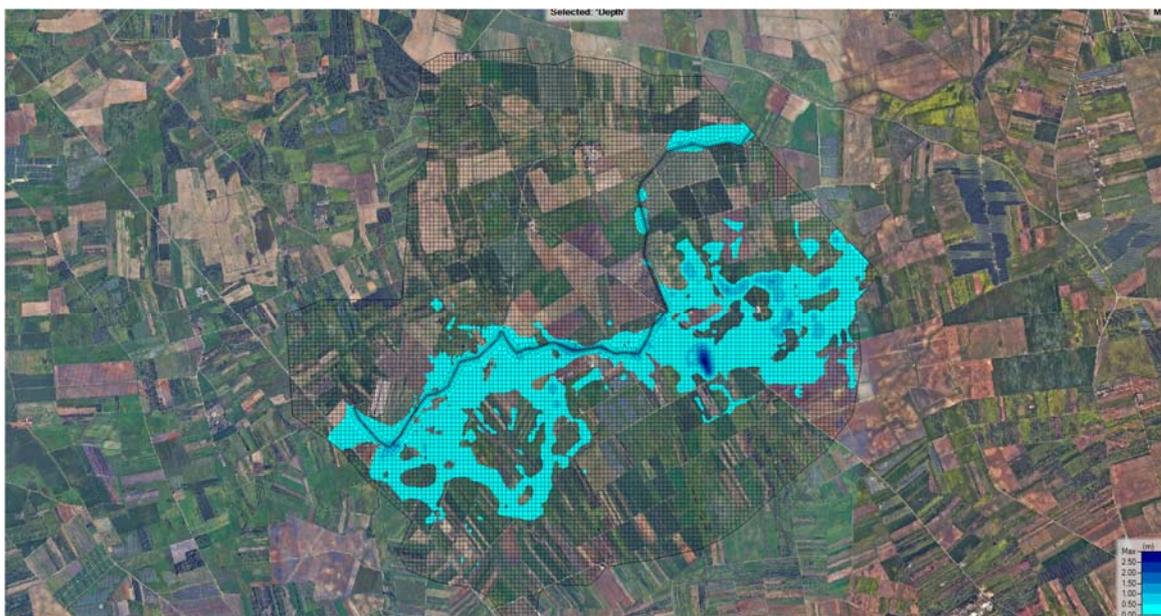
**Figura 22. Condizioni al contorno imposte nella modellazione 2D.**

#### ***4.5 Coefficienti di Manning***

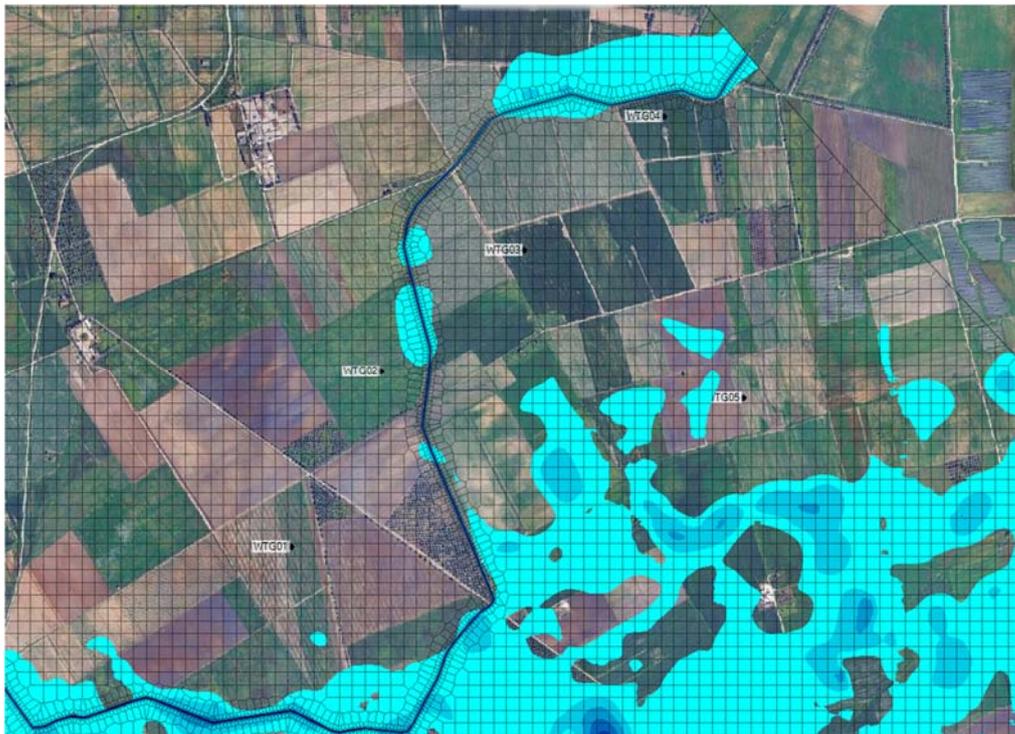
La scelta dei coefficienti di Manning nell'area esondabile è legata alla mappa dell'uso del suolo con mappatura Corinne 1999 scaricata dal portale SIT della Regione Puglia, in base alla definizione dell'uso del suolo è stato definito sia il CNIII che il coefficiente di Manning,  $n$ , in questo caso uniforme e pari a  $0.04 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per tutte le zone a verde.

#### **4.6 Risultati della modellazione**

Il modello di calcolo con l'idrogramma di piena scelto, utilizza un tempo di simulazione pari all'evento di piena, e va sostanzialmente dalla mezzanotte del primo di gennaio alle ore 16 del due di gennaio (tempo di simulazione). Gli step di calcolo dell'idrogramma sono di 20 minuti. I risultati della modellazione sono stati esportati a seguire.

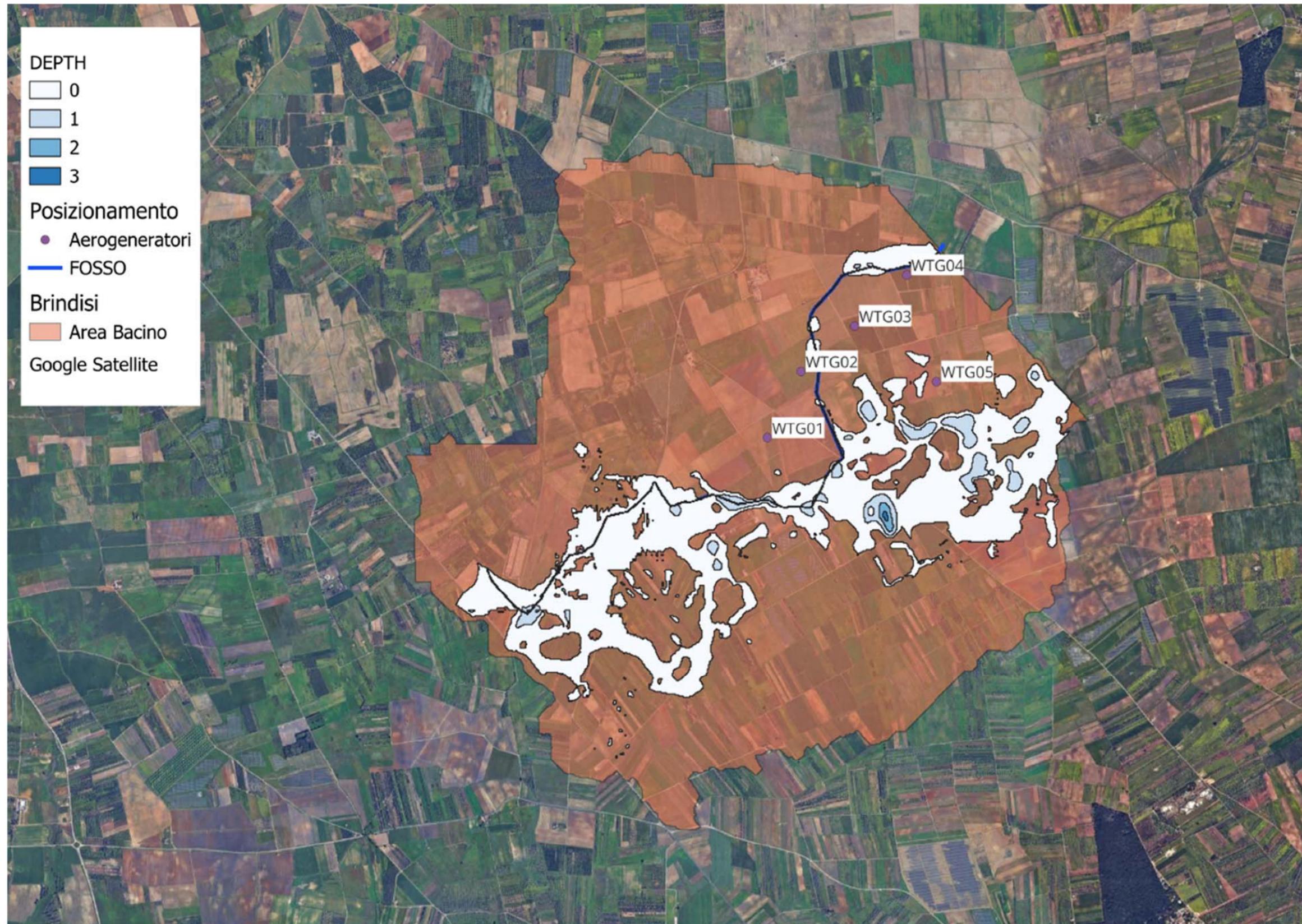


**Figura 23: Mappa delle aree allagabili per evento di piena Tr 200 .**



**Figura 24: Mappa delle aree allagabili per evento di piena Tr 200 - Dettaglio sulla zona di studio.**

Come si evince dal posizionamento dei manufatti le aree allagabili non interessano le zona di installazione. Per una maggiore precisione nella fruibilità dei risultati si allega una tavola di dettaglio. Il deflusso della piena tende a seguire il naturale declivio della zona, escludendo pertanto la zona di installazione degli aerogeneratori.



## 5 CONCLUSIONI

L'excursus di carattere idrologico e idraulico, condotto nel presente studio, è stato portato avanti al fine di verificare se gli interventi proposti nel progetto allegato, in ottemperanza agli artt. 4,6 e 10 delle NTA del PAI.

Le valutazioni di carattere idrologico e idraulico sono state eseguite secondo quanto prescritto nelle note delle norme tecniche del PAI Puglia. È stata condotta un'analisi morfometrica di bacino e dell'asta fluviale che, attraverso l'elaborazione del DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Puglia, ha consentito di determinare il bacino idrografico che interessa l'intervento con un tempo di ritorno pari a 200 anni. Attraverso un'analisi idrologica, è stato utilizzato il modello di regionalizzazione delle piogge utilizzato dall'AdB della Regione Puglia sono stati massimizzati gli eventi di piena con il metodo SCS considerando una condizione di umidità del suolo corrispondente alla Classe AMC III. Infine a completamento dell'analisi, è stato pertanto analizzato un modello di propagazione della piena attraverso il software Hec-Ras bidimensionale in moto permanente per la determinazione dell'estensione della zona allagabile.

In questo modo è stato possibile definire l'area inondabile riferita alla portata di piena duecentennale (Allegato: Carta dell'area inondabile paragrafo 4.6) e le opere non risultano interessate dalla propagazione della piena di progetto. Le opere quindi risultano compatibili ai sensi delle succitate norme.