



## NEX 051 - San Pancrazio

Comuni: San Pancrazio Salentino e San Donaci  
Provincia: Brindisi  
Regione: Puglia

### Nome Progetto:

NEX 051 - San Pancrazio

Progetto di un impianto agrivoltaico sito nei comuni di San Donaci e San Pancrazio Salentino in località "Mass. San Marco" di potenza nominale pari a 68.05 MWp in DC

### Proponente:

#### SAN PANCRAZIO SOLAR S.r.l.

Via Dante, 7  
20123 Milano (MI)  
P.Iva: 13080450961  
PEC: sanpancraziosolarsrl@pec.it

### Consulenza ambientale e progettazione:

#### ARCADIS Italia S.r.l.

Via Monte Rosa, 93  
20149 | Milano (MI)  
P.Iva: 01521770212  
E-mail: info@arcadis.it

# PROGETTO DEFINITIVO

### Nome documento:

Studio di compatibilità idraulica e idrologica

Commessa	Codice elaborato	Nome file
30190245	GEO_REL_02	GEO_REL_02 - Studio di compatibilità idraulica e idrologica

Rev.	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	Dic. 23	Prima Emissione	CR	MA	SDA

# Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>FASE CONOSCITIVA</b>	<b>6</b>
2.1	ANALISI CARTOGRAFICA	6
2.2	ANALISI GEOMORFOLOGICHE E DI BACINO	8
<b>3</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b>	<b>10</b>
3.1	CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (VAPI)	10
3.1.1	Tempo di corrivazione Tc	11
3.1.2	La curva di probabilità pluviometrica	13
3.1.3	Altezza di pioggia	14
<b>4</b>	<b>ANALISI IDRAULICA</b>	<b>16</b>
4.1	VALUTAZIONE DELLA PIOGGIA NETTA – METODO DEL CURVE NUMBER	16
4.2	STIMA DELLA PORTATA DI PIENA CON IL METODO DEL CURVE NUMBER	18
4.3	DEFINIZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA	19
<b>5</b>	<b>VERIFICA IDRAULICA</b>	<b>21</b>
5.1	Il software Hec Ras	22
5.2	Modello di calcolo	23
5.3	I risultati dell'analisi	24
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>33</b>

## Elenco Figure

Figura 1 – Inquadramento su ortofoto dell'impianto di progetto (cfr elaborato PRO_TAV_01- INQUADRAMENTO SU ORTOFOTO)	5
Figura 2 - Ultimo aggiornamento disponibile per il reticolo idrografico (consultazione: Novembre 2023)	6
Figura 3 - Reticolo idrografico individuato su IGM	6
Figura 4 - Reticolo idrografico individuato dalla CTR Regione Puglia	7
Figura 5 - Reticolo idrografico individuato su Carta Idrogeomorfologica (corso d'acqua episodico)	7
Figura 6 - Reticolo minuto individuato dall'AdB Puglia	8
Figura 7 - Sottobacini oggetto di studio	9
Figura 8 - Mappa uso del suolo CLC 2018	9
Figura 9 - Zone omogenee di terzo livello - Regione Puglia	10

Figura 10 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino 1	14
Figura 11 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino 2	14
Figura 12 - idrogramma di Mockus	18
Figura 13 - Idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM)	19
Figura 14 - idrogramma di piena Bacino 1	20
Figura 15 - idrogramma di piena Bacino 2	20
Figura 16 - Area impianto, aste e aree analizzate	23
Figura 17 - Idrogrammi di piena inseriti all'interno del software Hec-Ras	24
Figura 18 - Inviluppo delle aree inondabili con Tr 200 anni e altezza del tirante idrico su base DTM	25
Figura 19 - Inviluppo delle aree inondabili con Tr 200 anni e altezza del tirante idrico su base orotofoto	26
Figura 20 - inviluppo delle velocità con Tr 200 anni su base orotofoto	27
Figura 21 - Profilo di Verifica 1	28
Figura 22 - Profilo di Verifica 2	29
Figura 23 – Profilo di Verifica 3	30
Figura 24 - Profilo di Verifica 4	31
Figura 25 - Profilo di Verifica 5	32
Figura 26 - Tavola PRO_TAV_17	33

## 1 PREMESSA

Il presente documento riporta tutte le fasi dello **studio idrologico e idraulico** relativo ai bacini situati nelle immediate vicinanze dell'area di progetto dell'impianto agrivoltaico proposto.

Il progetto proposto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale pari a **68.05 MWp** da installarsi in territorio ricadente in Regione Puglia, nei comuni di San Donaci e San Pancrazio Salentino e del relativo elettrodotto di connessione fino alla SSE di nuova realizzazione Cellino-San Marco.

La viabilità presente garantisce l'accessibilità ad ogni tipo di mezzo necessario sia alle fasi di cantierizzazione che di esercizio e di dismissione, ed in particolare dalla SP n.75.

Il nome del progetto è **NEX 051 - San Pancrazio**.

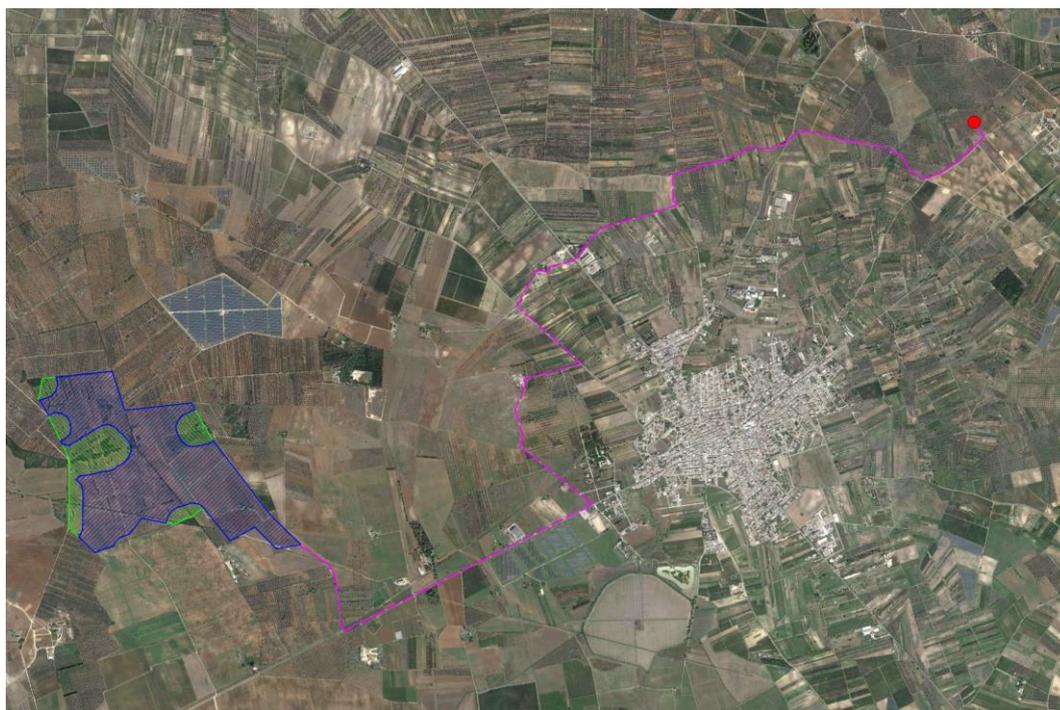


Figura 1 – Inquadramento su ortofoto dell'impianto di progetto (cfr elaborato PRO\_TAV\_01-  
INQUADRAMENTO SU ORTOFOTO)

Il Soggetto Responsabile, così come definito, ex art. 2, comma 1, lettera g, del DM 28 luglio 2005 e s.m.i., è la società **San Pancrazio Solar S.r.l.**, con sede legale in Milano, Via Dante 7, iscritta al Registro delle Imprese di Milano – Monza – Brianza – Lodi n. REA MI-2702356 Codice Fiscale e Partita IVA n. 13080450961.

## 2 FASE CONOSCITIVA

### 2.1 ANALISI CARTOGRAFICA

Lo step iniziale per una corretta analisi idrologica ed idraulica è la perfetta conoscenza del reticolo idrografico esistente. Lo studio è stato eseguito facendo riferimento al reticolo idrografico superficiale pubblicato sul portale web dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (Ultima REV: Agosto 2023), unitamente ad una comparazione con la cartografia CTR della Regione Puglia, la cartografia IGM in scala 1.25.000 e tutti gli strati informativi utili alla identificazione di un eventuale diverso reticolo minuto.



Figura 2 - Ultimo aggiornamento disponibile per il reticolo idrografico (consultazione: Novembre 2023)

Di seguito si riportano le cartografie prese in considerazione durante la fase conoscitiva per una più precisa identificazione del reticolo idrografico.

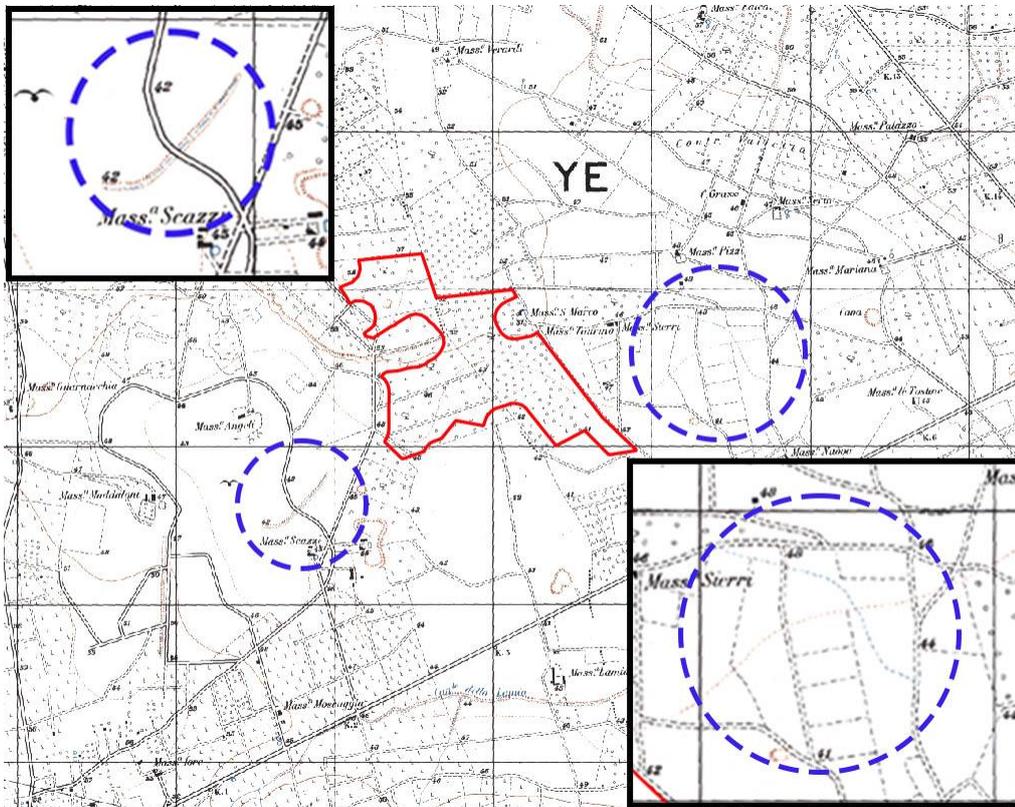


Figura 3 - Reticolo idrografico individuato su IGM

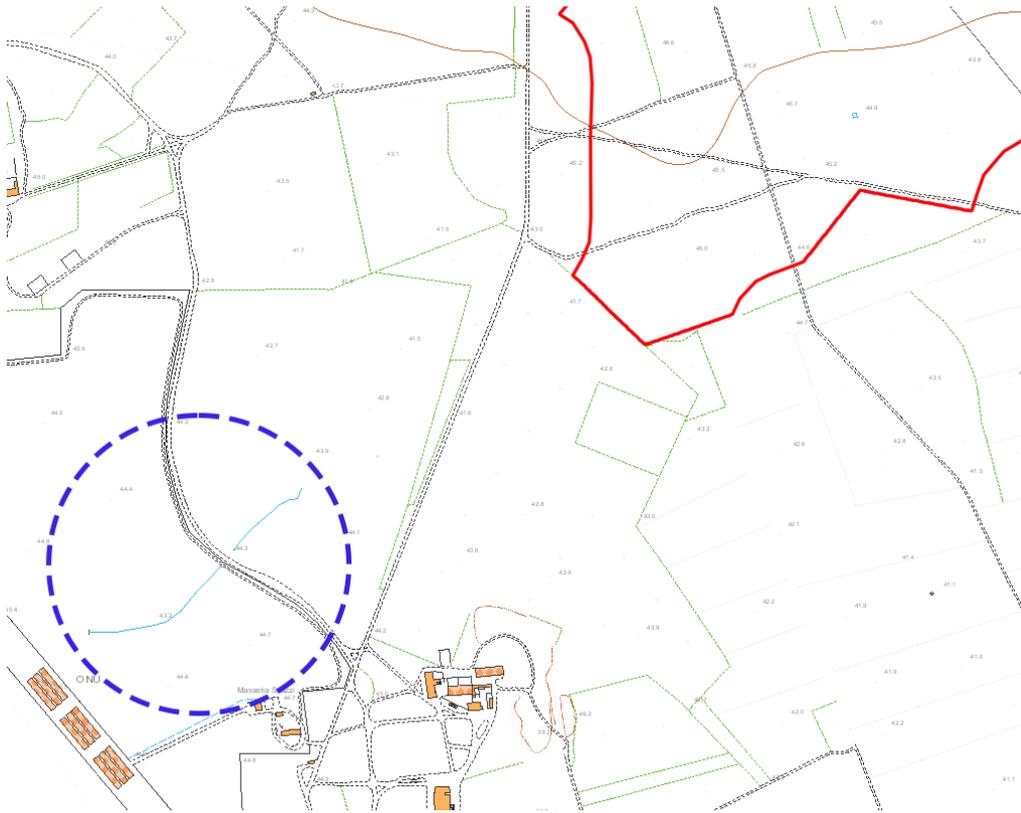


Figura 4 - Reticolo idrografico individuato dalla CTR Regione Puglia

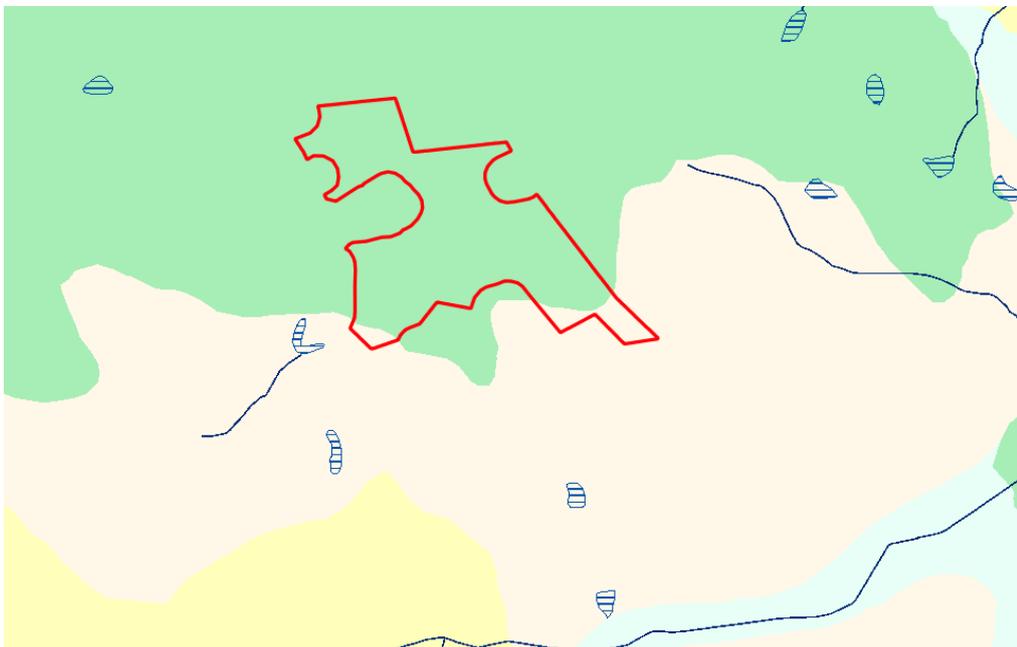


Figura 5 - Reticolo idrografico individuato su Carta Idrogeomorfologica (corso d'acqua episodico)

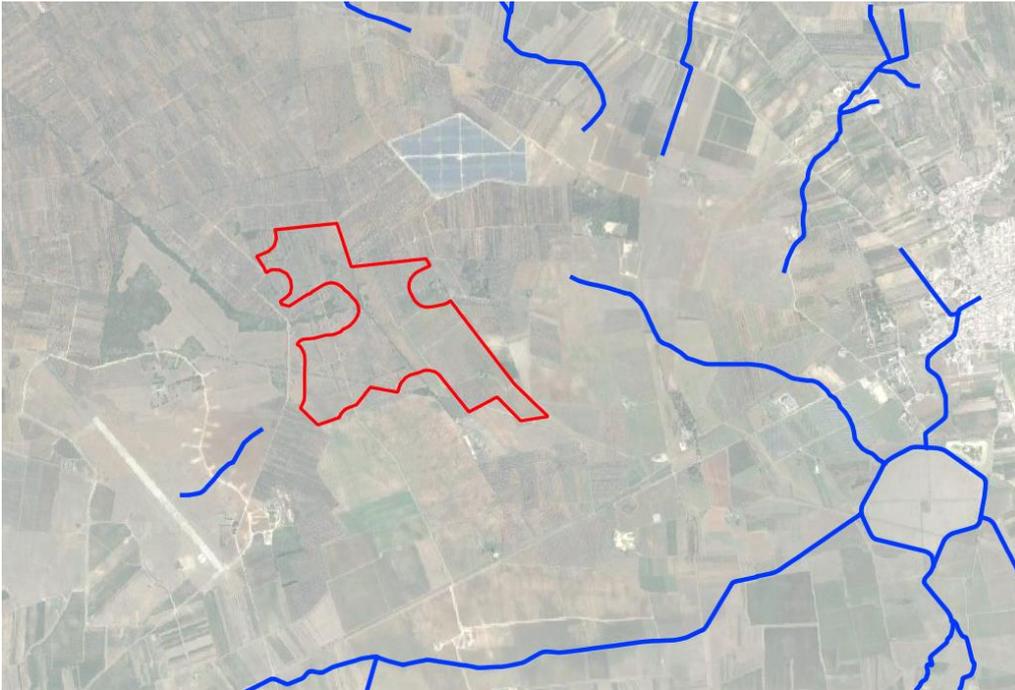


Figura 6 - Reticolo minuto individuato dall'AdB Puglia

Le immagini di cui sopra evidenziano una perfetta congruenza tra le varie cartografie (IGM, CTR, ecc...) e il reticolo idrografico individuato dall'AdB Puglia.

## 2.2 ANALISI GEOMORFOLOGICHE E DI BACINO

La zona di intervento (impianto Agrivoltaico) è situata al confine tra il comune di San Pancrazio Salentino e il comune di San Donaci. L'area è situata su una zona prettamente pianeggiante, caratterizzata da forme carsiche che, per il loro sviluppo ipogeo, consentono l'infiltrazione di buona parte delle acque nel sottosuolo per la presenza di rocce calcaree fratturate e carsificate.

In generale su buona parte del territorio pugliese, durante le piogge brevi ed intense le "lame" e le "gravine", che solitamente risultano asciutte e prive di portata, convogliano tutte le acque che non si sono infiltrate nel sottosuolo, recapitandole verso bacini più grandi fino ad arrivare alla zona costiera. In alcuni casi, per via della scarsa pendenza dei terreni e dell'inadeguatezza del reticolo idrografico, le acque danno luogo a fenomeni alluvionali dannosi.

La definizione dei bacini parte dal tracciamento della linea di spartiacque partendo dalle quote minori a quelle maggiori (da valle verso monte, iniziando dalla sezione di chiusura) seguendo alcune definizioni da letteratura:

- Una *valle* presenta isoipse concave verso le quote decrescenti
- Un *dosso* presenta isoipse convesse verso le quote decrescenti

ed alcune regole fondamentali:

- Tagliare sempre le isoipse con angoli retti
- Non tagliare mai valli o tratti di reticolo idrografico
- Tagliare sempre i dossi e mai le valli con la linea spartiacque

In alcuni casi è possibile eseguire il tracciamento automatico dei bacini con applicativi GIS, tuttavia in zone come quella in oggetto, particolarmente pianeggianti, se il dato di partenza (DTM) non è sufficientemente preciso non si otterrà un'elevata accuratezza del calcolo. Nel caso in oggetto quindi il DTM di base della Regione Puglia con risoluzione di cella pari a 8m non garantisce un'elevata accuratezza.

Di seguito si riportano i bacini tracciati per i due corsi d'acqua identificati dall'AdB più vicini all'area di impianto.

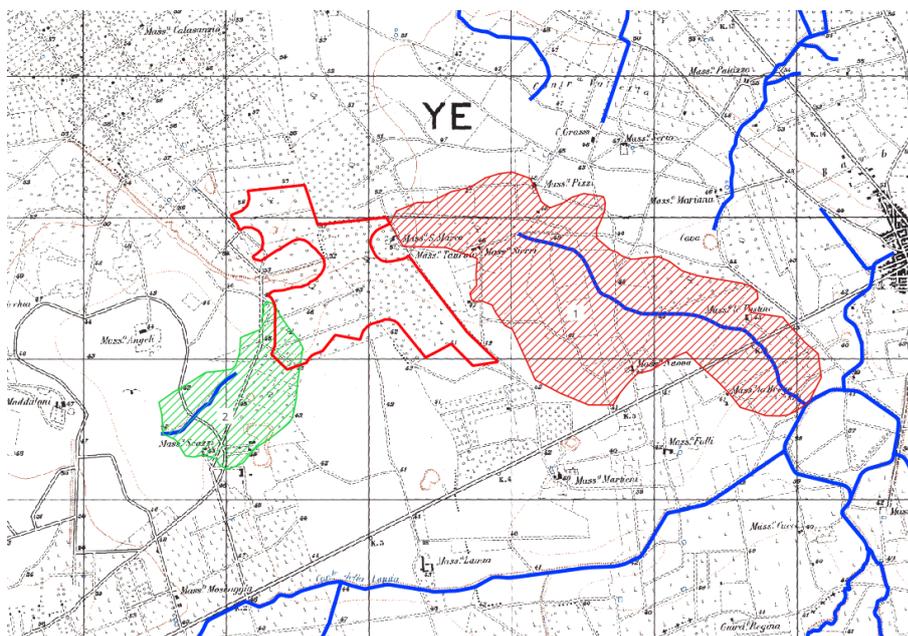


Figura 7 - Sottobacini oggetto di studio

I parametri geomorfologici di entrambi i bacini sono di seguito indicati

Unità di Misura	km <sup>2</sup>	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	km	%	%	Adimensionale
Bacino	S Superficie Bacino	Hmax Altezza Massima Bacino	Hmed Altezza Media Bacino	Hmin Altezza Minima Bacino	L Lunghezza Asta principale	i Pendenza Asta principale	Y Pendenza media dei versanti	c Coefficiente di deflusso
Bacino 1	2,10	52,58	30	37,0088	2.388,00	0,42	0,72	0,50
Bacino 2	0,66	47,86	44	42,40	692,00	0,10	0,63	0,35

Il coefficiente di deflusso è stato calcolato attraverso la correlazione della mappa uso del suolo – Corinne Land Cover 2018 con l'area interessata dal bacino

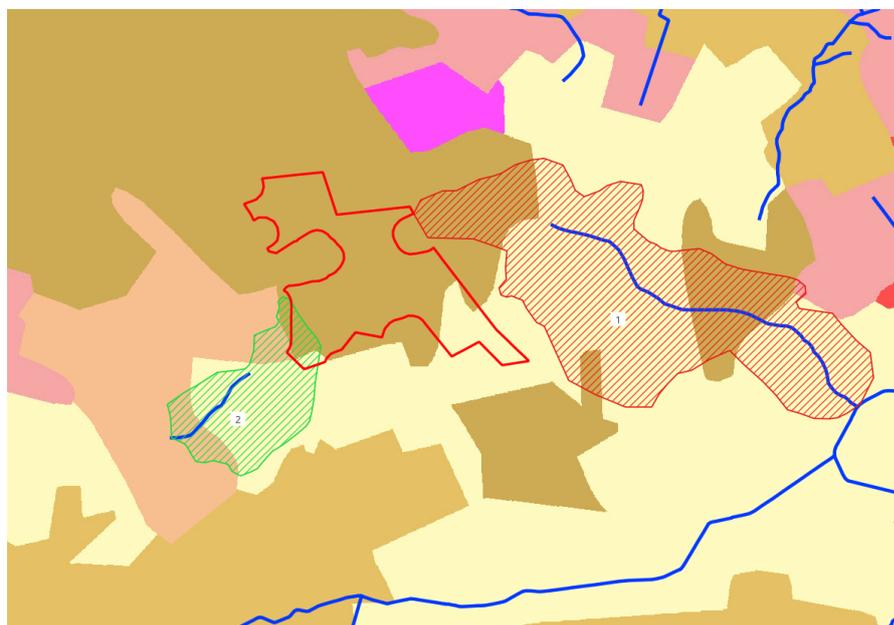


Figura 8 - Mappa uso del suolo CLC 2018

### 3 ANALISI IDROLOGICA

Ai fini del presente studio si è resa necessaria la stima della portata di piena con tempi di ritorno trentennali e bicentennali, in conformità con quanto riportato nel DPCM 29/09/98 e nella Relazione di Piano del PAI, valutando gli afflussi meteorici che generano le suddette portate, desumibili dalla curva di probabilità pluviometrica (CPP). La valutazione della CPP è stata condotta con il metodo VAPI (Valutazione Piene) elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001).

#### 3.1 CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (VAPI)

I valori massimi annuali delle precipitazioni giornaliere sono basati su una distribuzione di tipo TCEV (Two Component Extreme Value – Rossi e Versace, 1982) che in rappresenta la distribuzione del massimo valore atteso in un intervallo temporale stabilito. All'interno di questo modello vi è la suddivisione tra componente *straordinaria* e componente *ordinaria*, ammettendo però che le stesse possono tra di loro interferire attraverso un processo che segue la legge di Poisson. Attraverso l'identificazione dei parametri del TCEV si è potuto costruire un modello regionale di tipo gerarchico, definendo i cosiddetti livelli di regionalizzazione. Nel primo livello vengono identificate le regioni in cui i due parametri della TCEV risultano costanti, questo viene definito **primo livello di regionalizzazione**. Successivamente si identificano le sottoregioni in cui anche il coefficiente di variazione risulta costante, queste definiscono il **secondo livello di regionalizzazione**, per finire poi con macro-regioni in cui esiste una relazione tra il parametro di distribuzione di probabilità pluviometrica e la morfologia del territorio, questo livello viene definito **terzo livello di regionalizzazione**.

Di seguito si riporta la regionalizzazione di tipo gerarchico sui livelli sopra descritti:

- 1° Livello: Regione Puglia
- 2° Livello: Puglia settentrionale e centro-meridionale
- 3° Livello – Zona
  - Zona 1 – Gargano
  - Zona 2 – Tavoliere
  - Zona 3 – Murge
  - Zona 4 – Subappennino
  - Zona 5 – Nord Barese – Murgia centrale
  - Zona 6 – Penisola salentina**

L'area di impianto ricade all'interno della zona di terzo livello denominata "**Penisola salentina**"

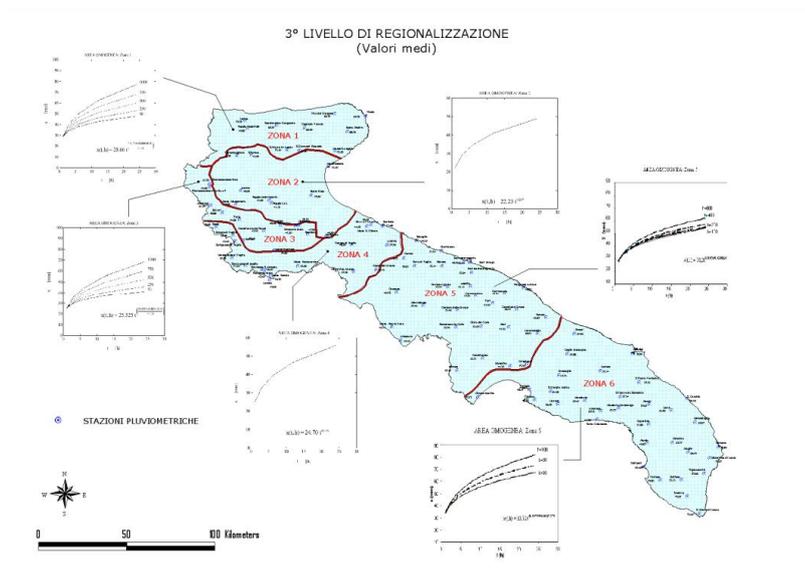


Figura 9 - Zone omogenee di terzo livello - Regione Puglia

Per ognuna di queste zone è possibile calcolare la curva di possibilità pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

$$\text{Zona 1: } x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 2: } x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

$$\text{Zona 3: } x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 4: } x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

$$\text{Zona 5: } x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 6: } x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$$

Avendo indicato con  $t$  la durata della precipitazione e con  $z$  l'altezza media del bacino in esame. Si ipotizza che la durata della precipitazione corrisponda proprio al tempo di corrivazione del bacino analizzato, come meglio definito nel 3.1.1

Nel caso in cui si debba condurre uno studio idrologico in un'area estesa, la precipitazione deve essere ragguagliata alla superficie del bacino idrografico considerato per tener conto del fatto che la precipitazione calcolata con le formule precedenti, è un valore puntuale e quindi va opportunamente ridotta di un **Fattore di riduzione areale** che è strettamente correlato alla estensione dell'area studiata e alla durata dell'evento stesso. Questo fattore è pari a:

$$K_A = 1 - (1 - e^{(-0.0021 A)}) e^{(-0.53 d^{-0.25})}$$

Tuttavia, data la modesta entità dei bacini idrografici considerati per l'opera in oggetto non è stato utilizzato il fatto di riduzione areale.

### 3.1.1 Tempo di corrivazione $T_c$

Il tempo di corrivazione  $T_c$  di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo impiegato da una singola particella d'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura. La definizione di tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale. Il concetto di tempo di corrivazione permette anche di giustificare perché nei piccoli bacini sono sufficienti piogge brevi per determinare eventi di piena.

In letteratura esistono diverse formule per calcolare il tempo di corrivazione, per completezza di relazione si riportano di seguito:

#### Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{media} - h_{min}}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

$A$  è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

$L$  è la lunghezza dell'asta principale [km];

$h_{media}$  è la quota media del bacino (m.s.l.m.)

$h_{min}$  è la quota della sezione di chiusura (m.s.l.m.)

L'espressione descritta è utile per bacini aventi una superficie compresa tra 170 e 70000 km<sup>2</sup>:

**Formula di Pezzoli**

$$t_c = \frac{0,055 L}{\sqrt{i}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

i è la pendenza media dell'asta principale;

**Formula di Viparelli**

$$t_c = \frac{L}{V}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

V è la velocità media di deflusso all'interno dei canali, con valori compresi tra 1 e 1,5 m/s;

**Formula di Tournon**

$$t_c = \frac{0,396 L}{\sqrt{i}} \left( \frac{S}{L^2} \sqrt{\frac{i}{i_v}} \right)^{0,72}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

i è la pendenza media dell'asta principale;

$i_v$  è la pendenza media del versante;

**Formula di Ventura**

$$t_c = 0,127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

i è la pendenza media dell'asta principale;

**Formula di Kirpich (1940)**

$$t_c = 0,000325 L^{0,77} i_v^{-0,385}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

$i_v$  è la pendenza media del versante.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Formula per il tempo di Corrivazione	Tc Bacino 1 [ore]	Tc Bacino 2 [ore]
GIANDOTTI	4.72785	4.23707
PEZZOLI	0.20266	0.12035
VIPARELLI	0.44222	0.12814
TOURNON	0.90914	0.56280
VENUTRA	0.34835	0.32626
KIRPICH	0.17206	0.05970

La formula di Giandotti restituisce un valore del tempo di corrivazione superiore a tutte le altre trattazioni di un ordine di grandezza, a tal proposito si è quindi deciso di non tener conto del risultato ottenuto con tale formula, anche per via delle modeste dimensioni dei bacini considerati, infatti la formula di Giandotti viene utilizzata per il calcolo del tempo di corrivazione per bacini con superficie superiore ai 170km<sup>2</sup>.

	Tc Bacino 1 [ore]	Tc Bacino 2 [ore]
Valore Medio	0.41487	0.23914

### 3.1.2 La curva di probabilità pluviometrica

Dopo aver quindi calcolato il valore del tempo di corrivazioni si è proceduti con la costruzione della curva di probabilità pluviometrica per entrambi i bacini oggetto di studio, con la citata formula:

$$x = 33.7 \cdot t^{\frac{0.488+0.0022z}{3.178}} = a' \cdot t^n$$

Di seguito si riportano gli andamenti grafici delle CPP

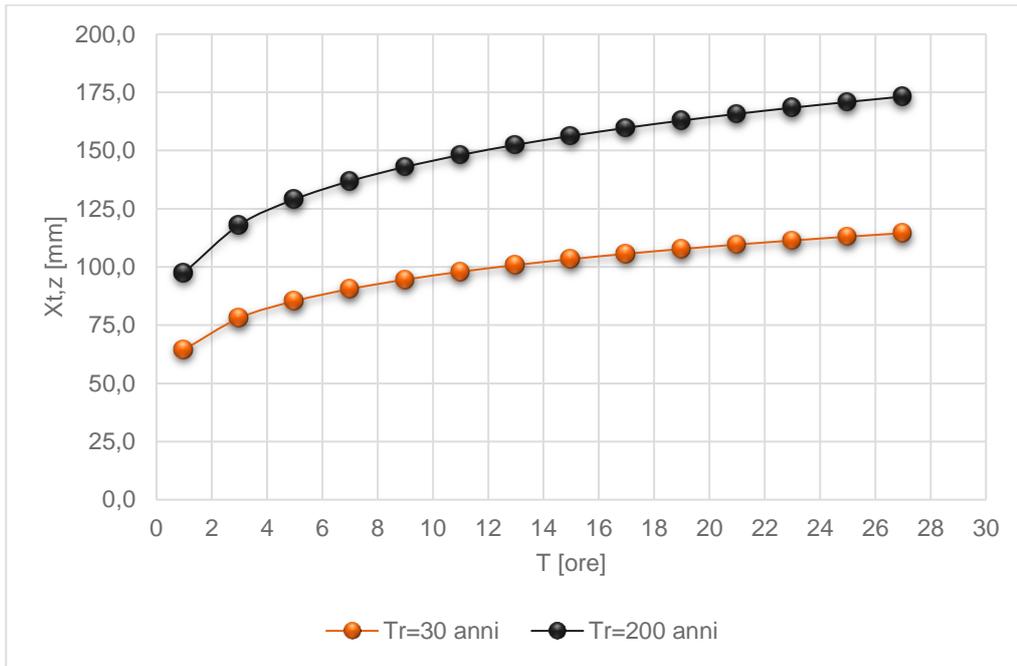


Figura 10 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino 1

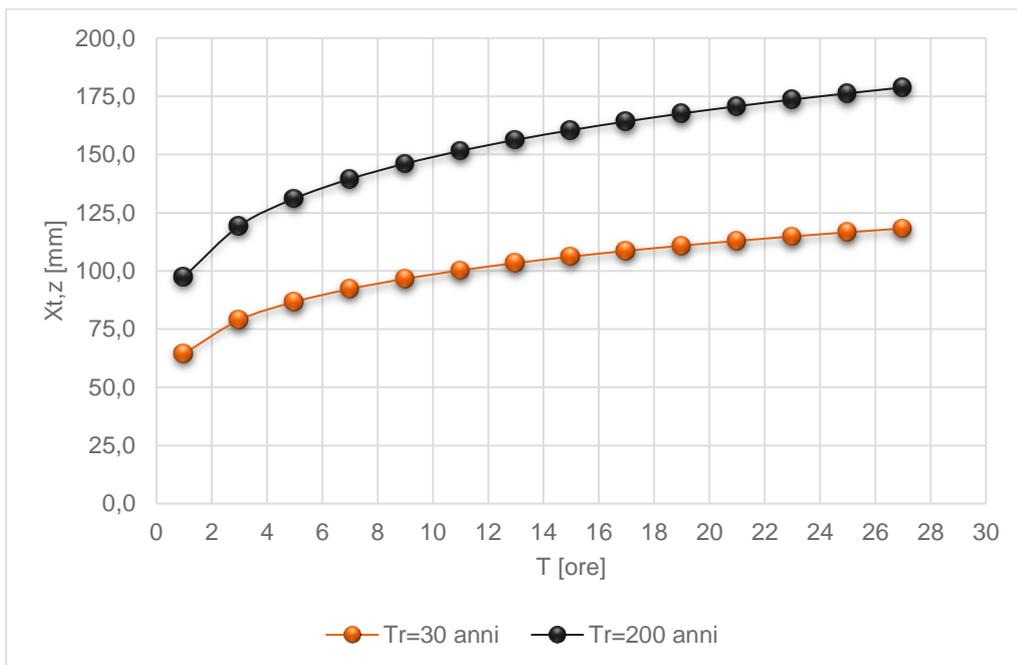


Figura 11 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino 2

### 3.1.3 Altezza di pioggia

Una volta ottenuto il valore della  $X_t$  [mm] (ad un determinato tempo di ritorno) si può ricavare il valore dell'altezza di pioggia, espresso in mm, per una determinata zona.

$$h(P_{net}) = K_t * X_t$$

Avendo indicato con  $K_t$  un fattore probabilistico di crescita, funzione del tempo di ritorno dell'evento in progetto, espresso in anni, ricavato dalla seguente relazione

$$K_t = 0.1599 + 0.5166 * \ln T$$

Si ottengono così i risultati indicati in tabella

Altezza di pioggia effettiva "h" [mm]	Bacino 1	Bacino 2
h <sub>30</sub>	55.30 mm	49.54 mm
h <sub>200</sub>	83.63 mm	74.93 mm

## 4 ANALISI IDRAULICA

### 4.1 VALUTAZIONE DELLA PIOGGIA NETTA – METODO DEL CURVE NUMBER

La pioggia definita “netta” è quella frazione di precipitazione che partecipa al deflusso superficiale, depurata della parte persa a causa della natura del terreno e della relativa vegetazione. Risulta quindi chiaro che la litologia dell’area e il relativo uso del suolo sono di fondamentale importanza per la corretta trasformazione afflussi-deflussi. La disponibilità di dati relativi al sottosuolo e all’utilizzo dello stesso (carta uso del suolo – Corrine Land Cover 2018) ha permesso l’utilizzo del metodo del **Curve Number**, un metodo empirico di stampo americano, proposto dalla SCS (Soil Conservation Service) che si fonda sostanzialmente sull’assunto che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Avendo indicato:

- $P_{net}$**  Volume specifico di pioggia netta
- $P$**  Volume specifico di pioggia effettiva
- $I_a$**  Perdita iniziale, pari secondo esperienza comune a  $0.2 \cdot S$
- $S$**  Volume massimo di pioggia che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione. Questo valore è collegato alla categoria di uso del suolo e alla sua copertura ed è pari a:

$$S = S_0 \times \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

In cui

- $S_0$**  Fattore di scala pari a 254
- CN** Curve Number, parametro adimensionale compreso tra 0-100, ricavato dalla combinazione di:

- 1) Tipologia di suolo così come definita dall’ HSG in base alla capacità di deflusso superficiale (categoria A, B, C, D)

HSG	Soil Texture	HSG definitions (USDA-NRCS, 1986)	The six types of soil textures in study area
A	Sand, loamy sand, or sandy loam	Low runoff potential and high infiltration rates; These soils have high rate of water transmission (greater than 7.62 mm/hr)	(1) Loamy Sand (LS) (2) Sandy Loam (SL)
B	Silt loam or loam	Moderate infiltration rates; The soils have moderate rate of water transmission (3.81 mm/hr)	(3) Loam (LL)
C	Sandy clay loam	Low infiltration rates; The soils have a low rate of water transmission (1.27-3.81 mm/hr)	
D	Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, or clay	High runoff potential; These soils have very low rate of water transmission (0-1.27 mm/hr)	(4) Clay Loam (CL) (5) Heavy Clay (HC) (6) Light Clay (LC)

- 2) Condizioni iniziali di imbibizione del terreno (AMC – Antecedent Moisture Condition)

Antecedent Moisture Condition (AMC)	Total 5 days antecedent rainfall (mm)	
	Dry season	Growing Season
I	<12.7	< 35.6
II	12.7 – 27.9	35.6 – 53.3
III	> 27.9	> 53.3

Source: National Engineering Handbook (Mockus, 1964)

3) Tipo di copertura o codice Uso del Suolo

Di seguito si riportano i valori del parametro CN corrispondenti alle diverse tipologie di utilizzo del suolo:

Tipo di copertura (Uso del suolo)	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO <i>Senza trattamento di conservazione</i>	72	81	88	91
TERRENO COLTIVATO <i>Con interventi di conservazione</i>	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO <i>Cattive condizioni</i>	68	79	86	89
TERRENO DA PASCOLO <i>Buone condizioni</i>	39	61	74	80
PRATERIE <i>Buone condizioni</i>	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSSI O FORESTALI <i>Sottobosco povero senza foglie</i>	45	66	77	83
TERRENI BOSCOSSI O FORESTALI <i>Sottobosco e copertura buoni</i>	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PARCHI, PRATI <i>Copertura erbosa SUP del 75%</i>	39	61	74	80
SPAZI APERTI, PARCHI, PRATI <i>Copertura erbosa INF del 75%</i>	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 100%</i>	77	85	90	92
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 65%</i>	61	75	83	87
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 38%</i>	57	72	81	86
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 30%</i>	54	70	80	85
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 25%</i>	51	68	79	84
PARCHEGGI, TETTI	98	98	98	98
STRADE PAVIMENTATE	98	98	98	98
STRADE SELCIATE	76	85	89	91

I valori indicati nella precedente tabella fanno riferimento ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, nello specifico la condizione AMC II e quindi il curve number sarà un CN II. Per adattare il CN alle diverse condizioni del terreno (AMC) si adoperano le seguenti correlazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057 \times CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{23 \times CN_{II}}{10 + 0,13 \times CN_{II}}$$

Nel caso in esame è stato scelto un tipo di suolo **A- (suolo molto permeabile e con scarsa potenzialità di deflusso)** ed un **CN II mediato pari a 70** a vantaggio di sicurezza (la media pesata restituiva valori meno cautelativi) per entrambi i bacini (essendo la categoria di uso del suolo e la tipologia del substrato pressochè la stessa)

Altezza di pioggia netta "h" [mm]	Bacino 1	Bacino 2
Pnett <sub>30</sub>	7.89 mm	5.64 mm
Pnett <sub>200</sub>	22.41 mm	17.44 mm

## 4.2 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA CON IL METODO DEL CURVE NUMBER

Per trasformare il dato calcolato nel precedente paragrafo in portata occorre calcolare il "Lag time" ovvero il tempo di ritardo e cioè la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Il rapporto tra tempo di corrivazione e tempo di ritardo del bacino è pari, secondo deduzioni empiriche dell SCS, a 0.6. Il tempo di ritardo è calcolato con la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \times \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \times \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

In cui L è espresso in km (lunghezza asta principale) ed s è espresso in % (pendenza del bacino).

Per il calcolo della portata al colmo, considerando che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume pari al 37.5% del deflusso totale e combinando le formule contenenti tempo di accumulo e di esaurimento

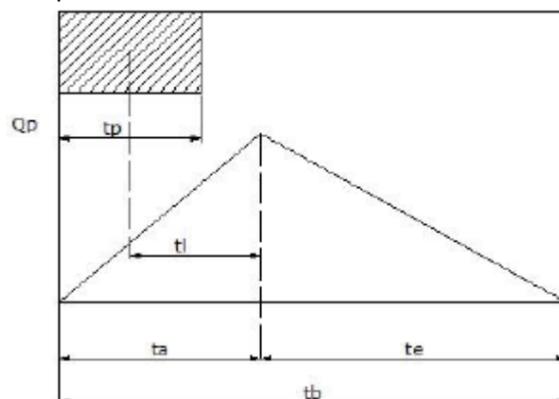


Figura 12 - idrogramma di Mockus

si ottiene la relazione:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

Con  $t_a = 0,5 \times t_p + t_L$

Si ottiene quindi per il bacino 1

Portata di piena con il Curve Number		
$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /S)	$T_{R30}$	1,225429764
	$T_{R200}$	3,47885016

E per il bacino 2

Portata di piena con il Curve Number		
$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /S)	$T_{R30}$	0,67548767
	$T_{R200}$	2,08656874

### 4.3 DEFINIZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

L'idrogramma unitario (IU) racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che determinano la formazione delle piene. Ogni bacino può essere rappresentato da uno specifico IU che tiene conto sinteticamente delle sue particolarità. Il punto di partenza del metodo del SCS è l'idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM) riportato di seguito:

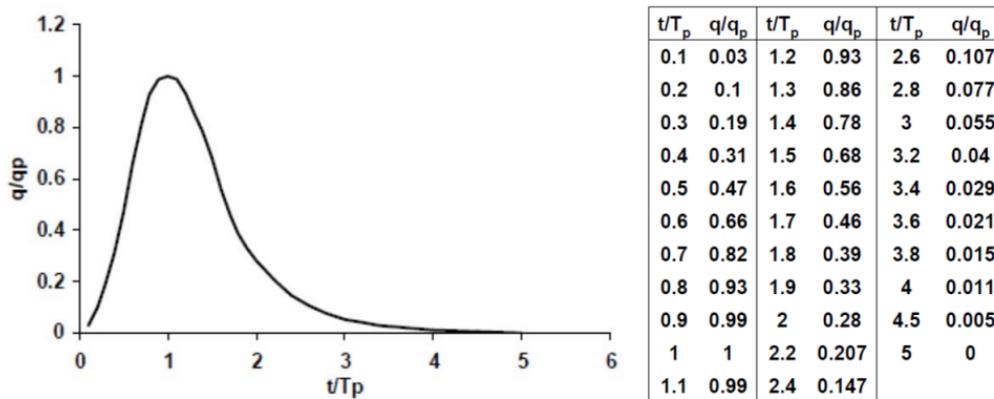


Figura 13 - Idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM)

Rapportando i valori ottenuti nei paragrafi precedenti con l'idrogramma sopra indicato si ottengono per entrambi i bacini gli idrogrammi di piena.

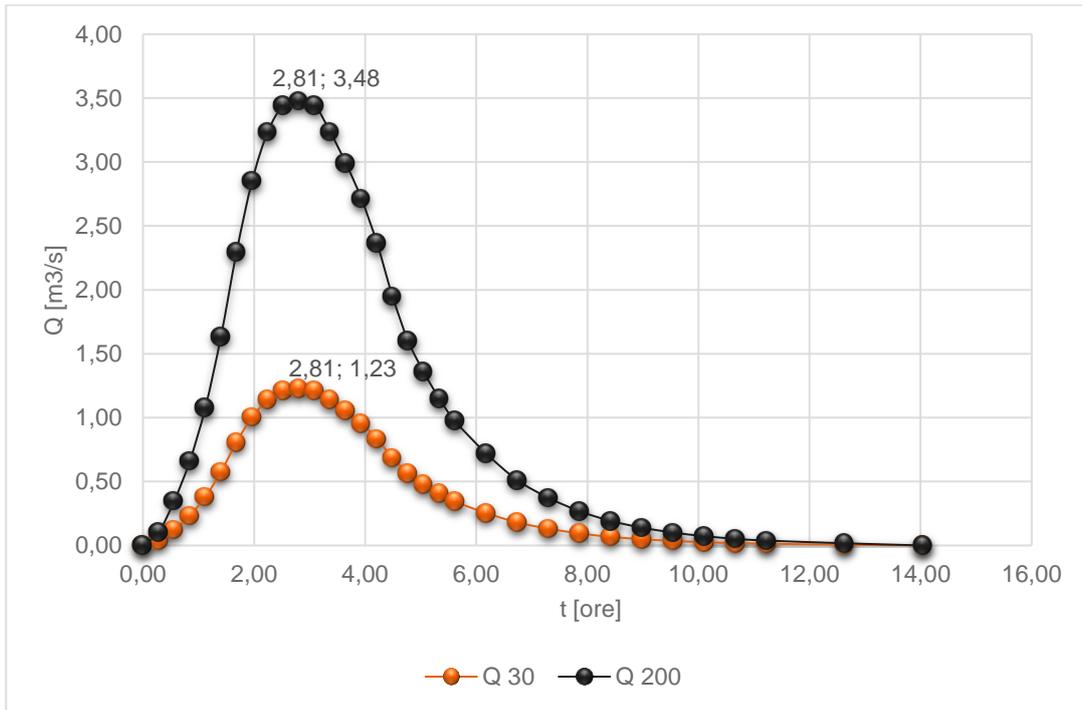


Figura 14 - idrogramma di piena Bacino 1

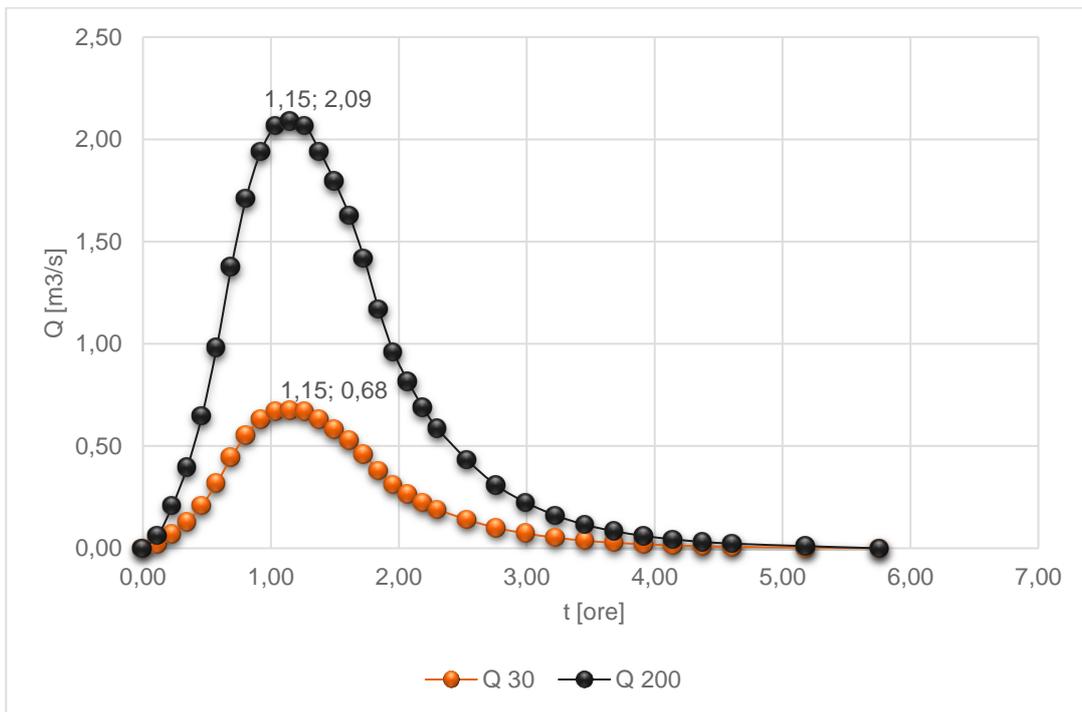


Figura 15 - idrogramma di piena Bacino 2

## 5 VERIFICA IDRAULICA

Come si evince dall'elaborato SIA\_TAV\_02 la zona a sud dell'impianto ricade in parte in aree a pericolosità idraulica media. Secondo quanto indicato all'interno delle NTA del PAI di competenza, in precedenza citato, in tali zone è possibile quanto di seguito indicato:

### **ARTICOLO 8 Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.)**

1. Nelle aree a media probabilità di inondazione oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:
  - a) interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;
  - b) interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;
  - c) interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;
  - d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;
  - e) interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;
  - f) interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i.;
  - g) adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;
  - h) ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;
  - i) realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;
  - j) interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lett. d) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;
  - k) ulteriori tipologie di intervento a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni,

È stata quindi condotta un'analisi bidimensionale, sul reticolo idrografico precedentemente esaminato (Reticolo idrografico AdB Puglia), al fine di verificare le aree allagabili con tempo di ritorno pari a 200 anni e il relativo tirante idrico.

La verifica è stata effettuata con il software **Hec-Ras** (Versione 6.4.1) in condizioni di moto vario bidimensionale, ovvero un moto in cui la portata e la geometria dell'alveo possono entrambe variare

## 5.1 Il software Hec Ras

HEC-RAS® (Hydrologic Engineering Center--River Analysis System) è parte di un sistema di software integrati, sviluppato dallo Hydrologic Engineering Center dello U.S. Army Corps of Engineers (<http://www.hec.usace.army.mil>). Il software consente l'analisi di sistemi fluviali con particolare riferimento a:

- Calcolo dei profili di moto permanente per correnti monodimensionali gradualmente variate e a portata variabile
- Modellazione idraulica in regime di moto vario di flussi monodimensionali, bidimensionali ed eventualmente in combinazione;
- Modellazione monodimensionale di trasporto solido su finestre temporali di medio o lungo periodo;
- Modellistica di qualità delle acque.

Il modello matematico bidimensionale è descritto dalle equazioni di De Saint Venant (DSV), dette anche shallow water equations (SWE), derivate a partire dalla formulazione completa di Navier Stokes. Queste equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Si otterrà quindi il seguente sistema di equazioni:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = sources - sinks$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}\right) = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) - c_f u + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}\right) = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) - c_f v - f u$$

L'equazione esprime la conservazione della massa, ovvero un aumento o diminuzione di un volume che deve essere bilanciato da una portata in entrata o in uscita. Il termine H indica il livello idrico fissata una quota z di riferimento e i singoli termini indicano rispettivamente:

- $\frac{\partial H}{\partial t}$  variazione del livello idrico nel volume di controllo considerato;
- $\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y}$  variazione spaziale della portata in entrata o in uscita, con u e v velocità media della corrente in direzione x e y;
- i termini sources e sinks determinano infine le portate localizzate in ingresso o in uscita
- $c_f u$  resistenza dell'alveo;  $f v$  parametro di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di vaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali.

La risoluzione prevede l'applicazione delle equazioni e per ogni cella in cui si è suddiviso il dominio urbano, utilizzando generalmente metodi numerici alle differenze

finite o a volume finito. Al termine della procedura di calcolo, va verificata la convergenza e la stabilità della soluzione, riferendosi ad esempio al criterio di Courant. La complessità della trattazione porta all'introduzione di alcune semplificazioni alle equazioni DSV, che riconducono all'analisi del modello diffusivo, tralasciando i termini inerziali relativi alle accelerazioni locali e convettive. Alcuni esempi pratici hanno dimostrato come le trattazioni a complessità ridotta conducano comunque a risultati confrontabili con quelli più complessi a vantaggio di un onere computazionale minore.

I termini delle eq. Di DSV diventano quindi:

$$c_f u = g \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$c_f v = g \frac{\partial H}{\partial y}$$

La nuova formulazione dell'equazione esprime la variazione del pelo libero bilanciata unicamente dalla resistenza dell'alveo. L'utilizzo del modello diffusivo è quindi consigliabile soprattutto in analisi che presentano variazioni di portata graduali e piccole pendenze del terreno, in cui i termini legati alle accelerazioni locali e convettive sono meno influenti sul risultato finale.

## 5.2 Modello di calcolo

L'area oggetto di calcolo è stata ricavata all'interno del bacino precedentemente calcolato; si fa presente, tuttavia, che l'orografia delle aree oggetto di studio presenta versanti poco acclivi. È ipotizzabile, quindi, che anche in presenza di tempi di ritorno di 200 anni le portate vadano oltre le aree golenali.

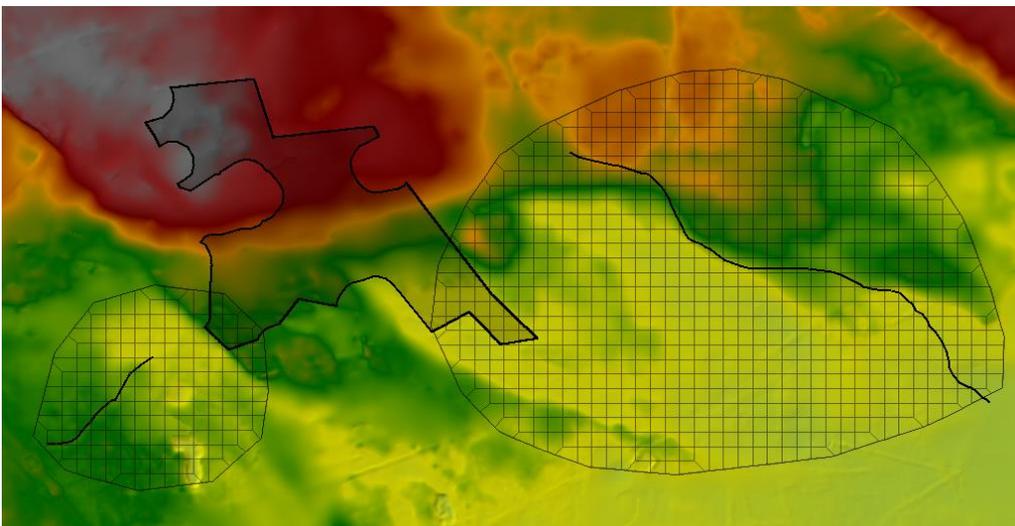


Figura 16 - Area impianto, aste e aree analizzate

Nella zona a monte dei due bacini è stato quindi inserito l'idrogramma di piena come di seguito indicato (Boundary conditions).

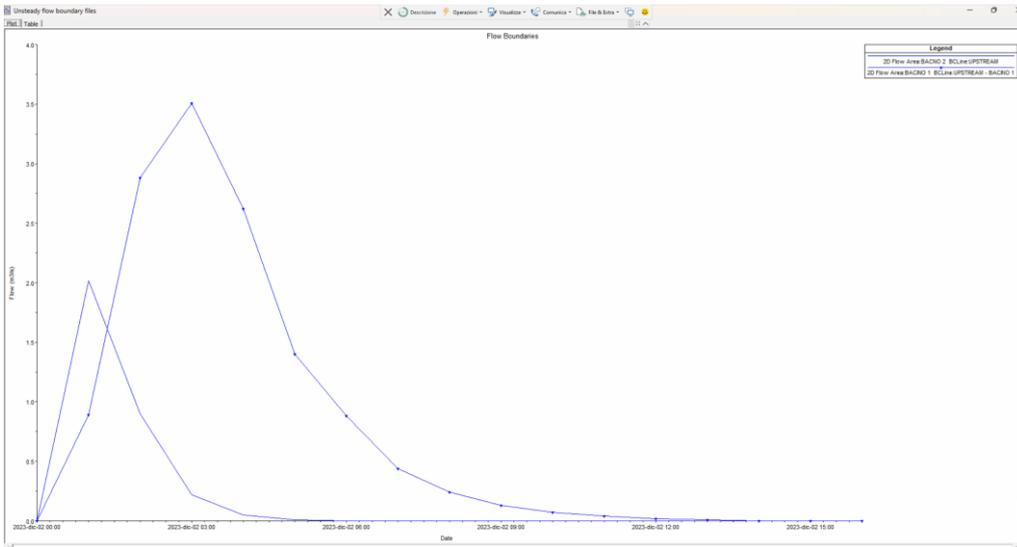


Figura 17 - Idrogrammi di piena inseriti all'interno del software Hec-Ras

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 02DEC2023 Time: 0000

Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	01Dec2023 2400	0:00:00	0
2	02Dec2023 0100	1:00:00	0.89
3	02Dec2023 0200	2:00:00	2.88
4	02Dec2023 0300	3:00:00	3.51
5	02Dec2023 0400	4:00:00	2.62
6	02Dec2023 0500	5:00:00	1.4
7	02Dec2023 0600	6:00:00	0.88
8	02Dec2023 0700	7:00:00	0.44
9	02Dec2023 0800	8:00:00	0.24
10	02Dec2023 0900	9:00:00	0.13
11	02Dec2023 1000	10:00:00	0.07
12	02Dec2023 1100	11:00:00	0.04
13	02Dec2023 1200	12:00:00	0.02
14	02Dec2023 1300	13:00:00	0.01
15	02Dec2023 1400	14:00:00	0
16	02Dec2023 1500	15:00:00	0
17	02Dec2023 1600	16:00:00	0
18	02Dec2023 1700	17:00:00	0

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 02DEC2023 Time: 0000

Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	01Dec2023 2400	0:00:00	0
2	02Dec2023 0100	1:00:00	2.02
3	02Dec2023 0200	2:00:00	0.9
4	02Dec2023 0300	3:00:00	0.22
5	02Dec2023 0400	4:00:00	0.05
6	02Dec2023 0500	5:00:00	0.01
7	02Dec2023 0600	6:00:00	0
8	02Dec2023 0700	7:00:00	0
9	02Dec2023 0800	8:00:00	0
10	02Dec2023 0900	9:00:00	0
11	02Dec2023 1000	10:00:00	0
12	02Dec2023 1100	11:00:00	0
13	02Dec2023 1200	12:00:00	0
14	02Dec2023 1300	13:00:00	0
15	02Dec2023 1400	14:00:00	0
16	02Dec2023 1500	15:00:00	0
17	02Dec2023 1600	16:00:00	0

Si è quindi proceduti con la computazione di tutti gli elementi necessari per i quali si riportano i risultati nelle successive pagine.

### 5.3 I risultati dell'analisi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'analisi bidimensionale del corso d'acqua oggetto di studio.

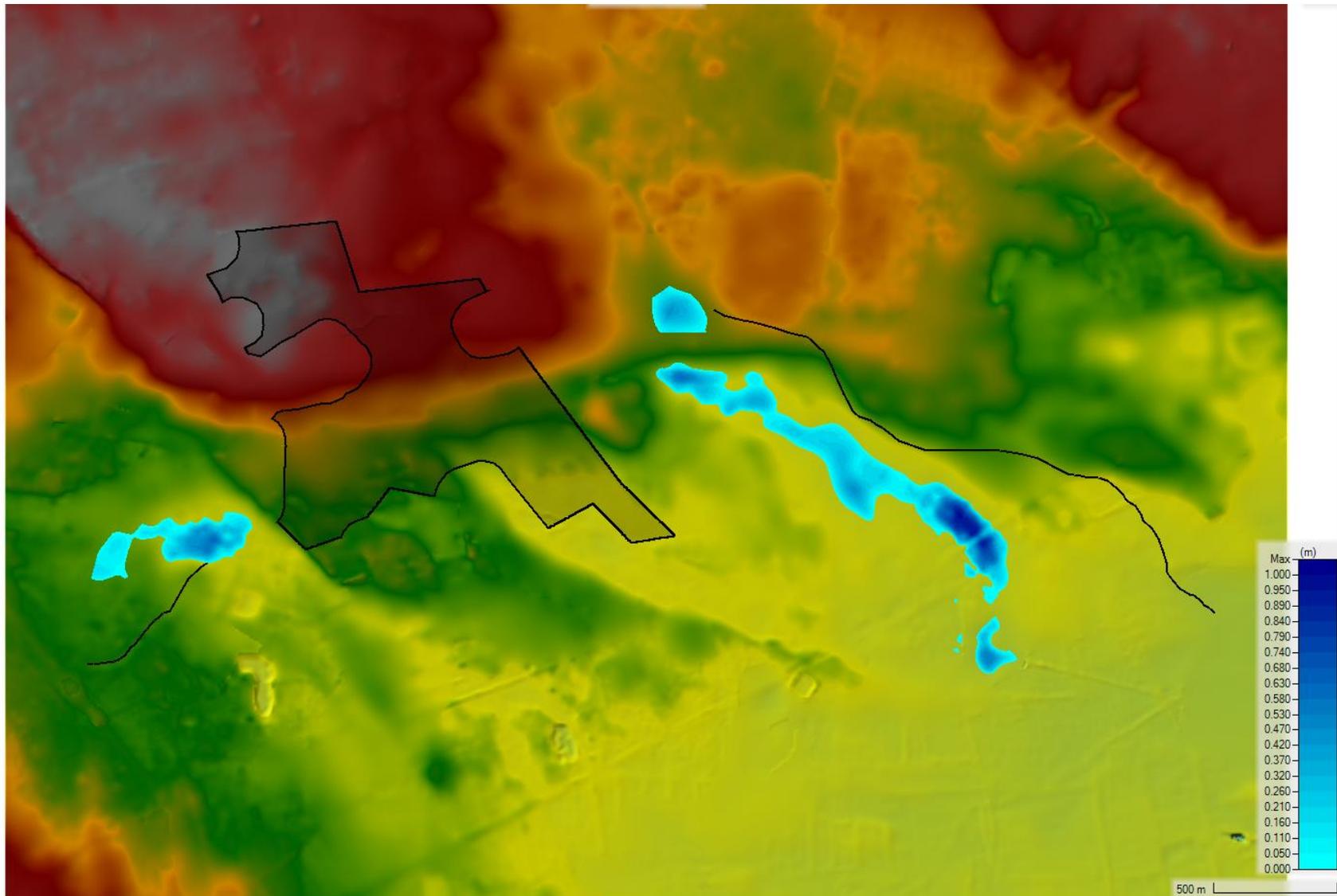


Figura 18 - Involuppo delle aree inondabili con Tr 200 anni e altezza del tirante idrico su base DTM

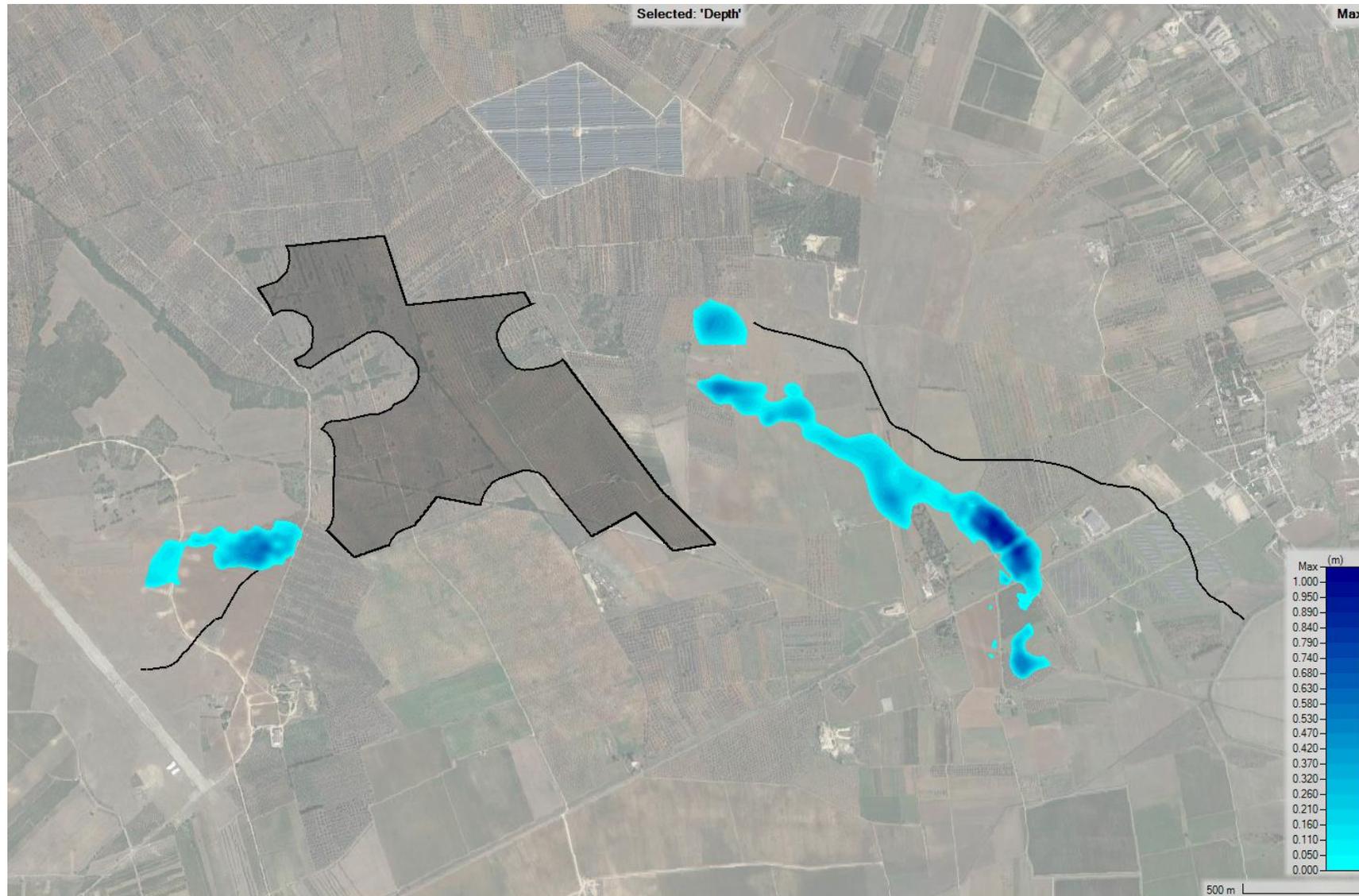


Figura 19 - Inviluppo delle aree inondabili con Tr 200 anni e altezza del tirante idrico su base ortofoto

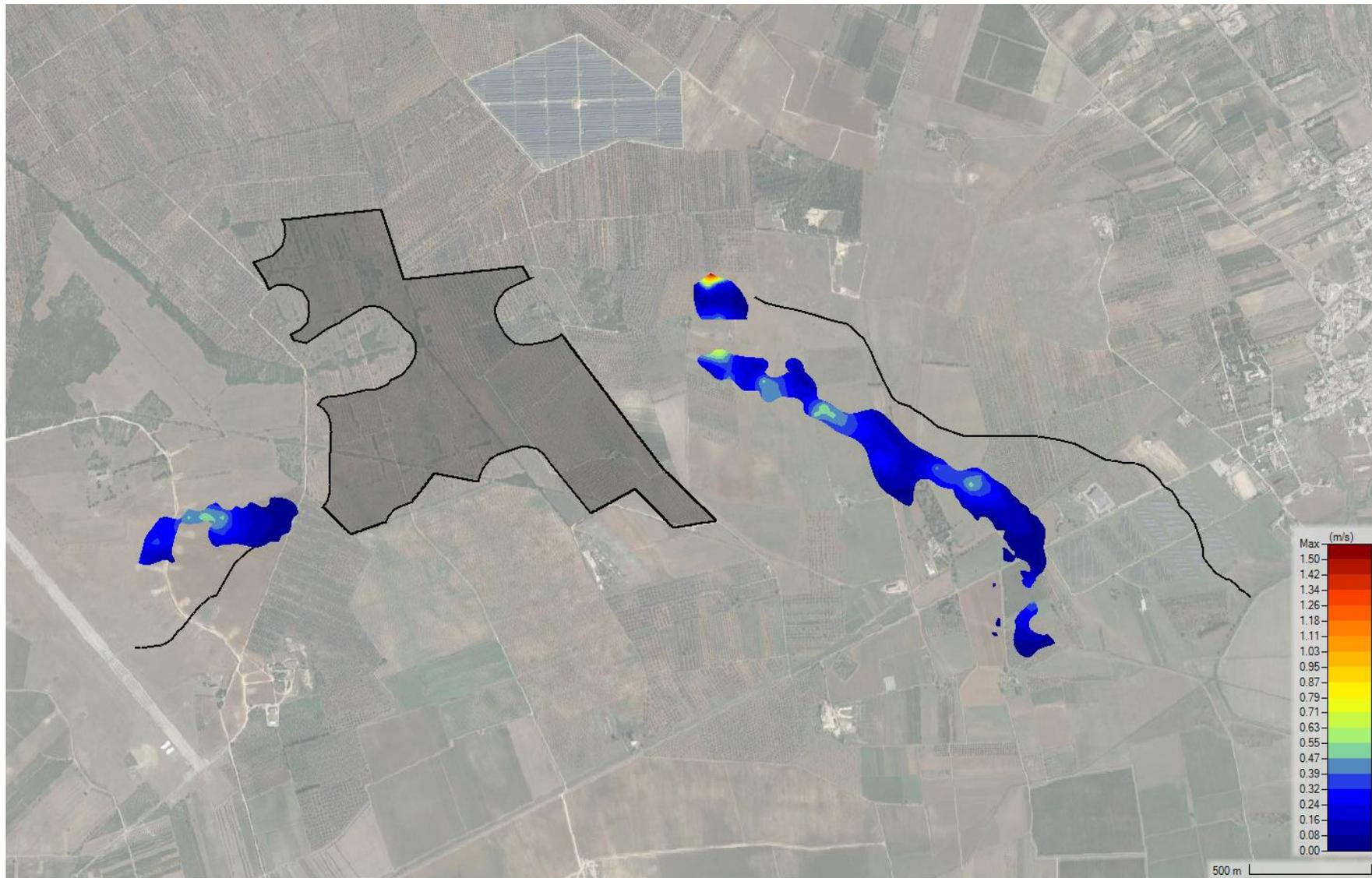


Figura 20 - involucro delle velocità con Tr 200 anni su base orotofoto

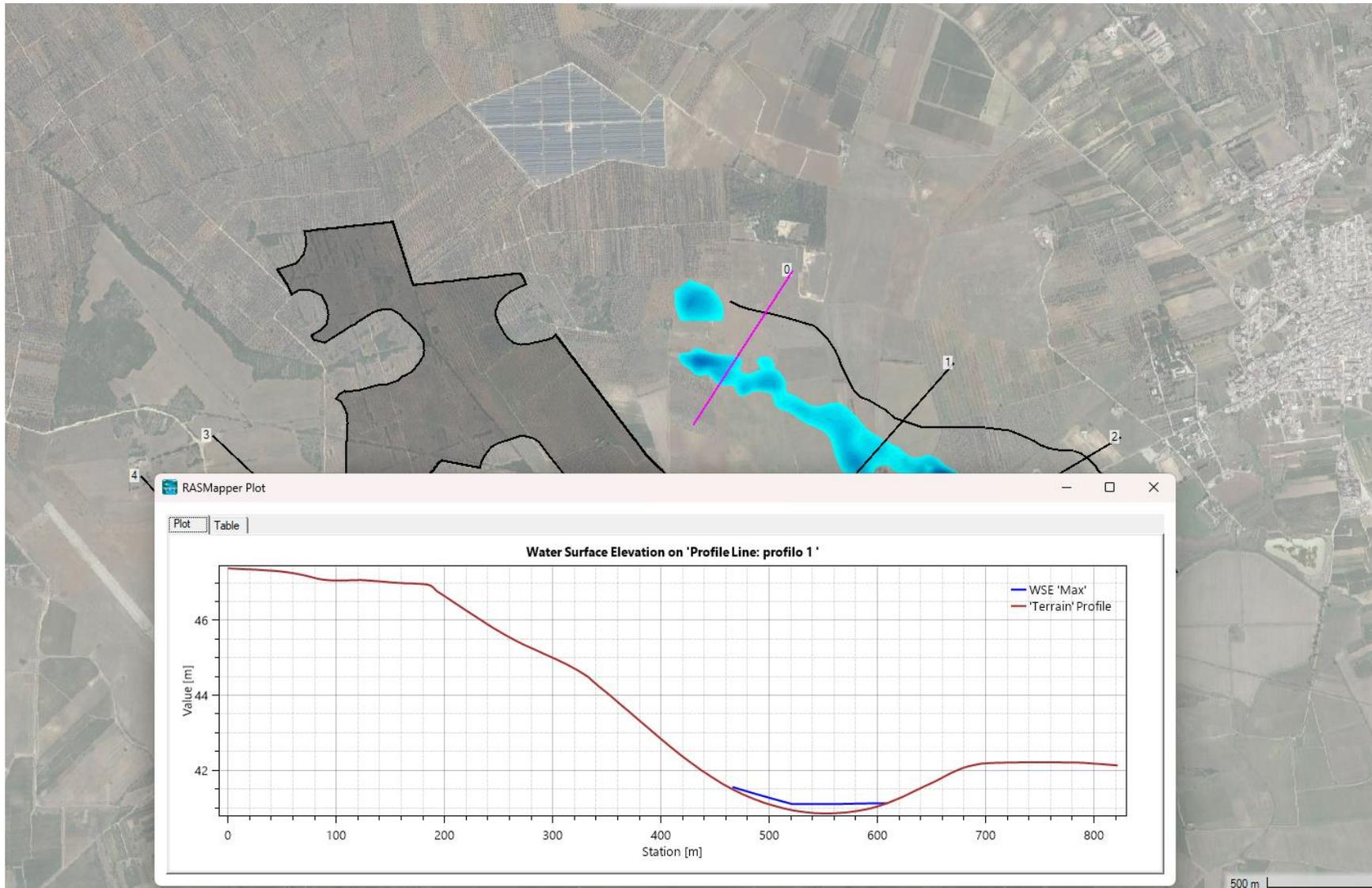


Figura 21 - Profilo di Verifica 1

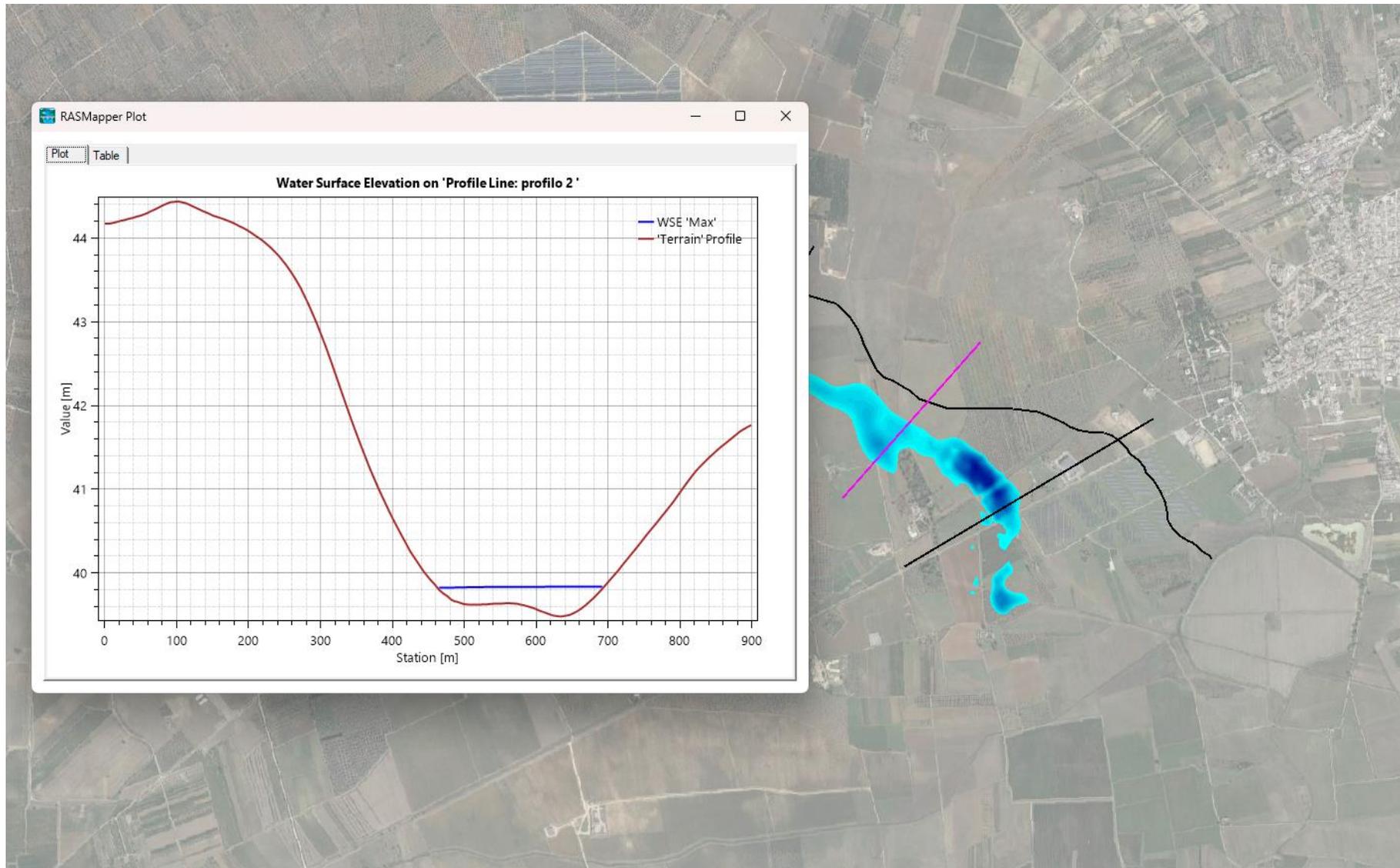


Figura 22 - Profilo di Verifica 2



Figura 23 – Profilo di Verifica 3

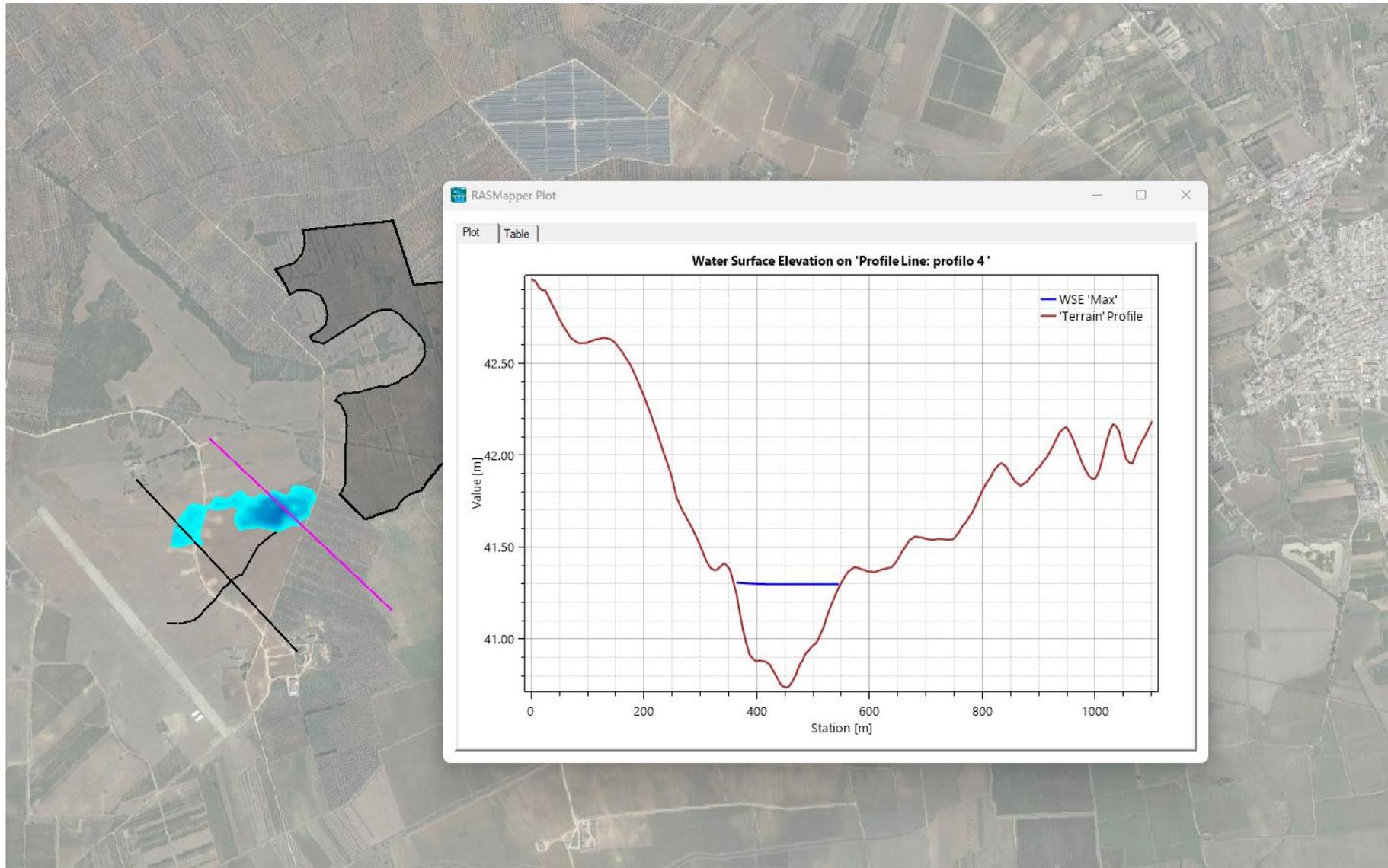


Figura 24 - Profilo di Verifica 4

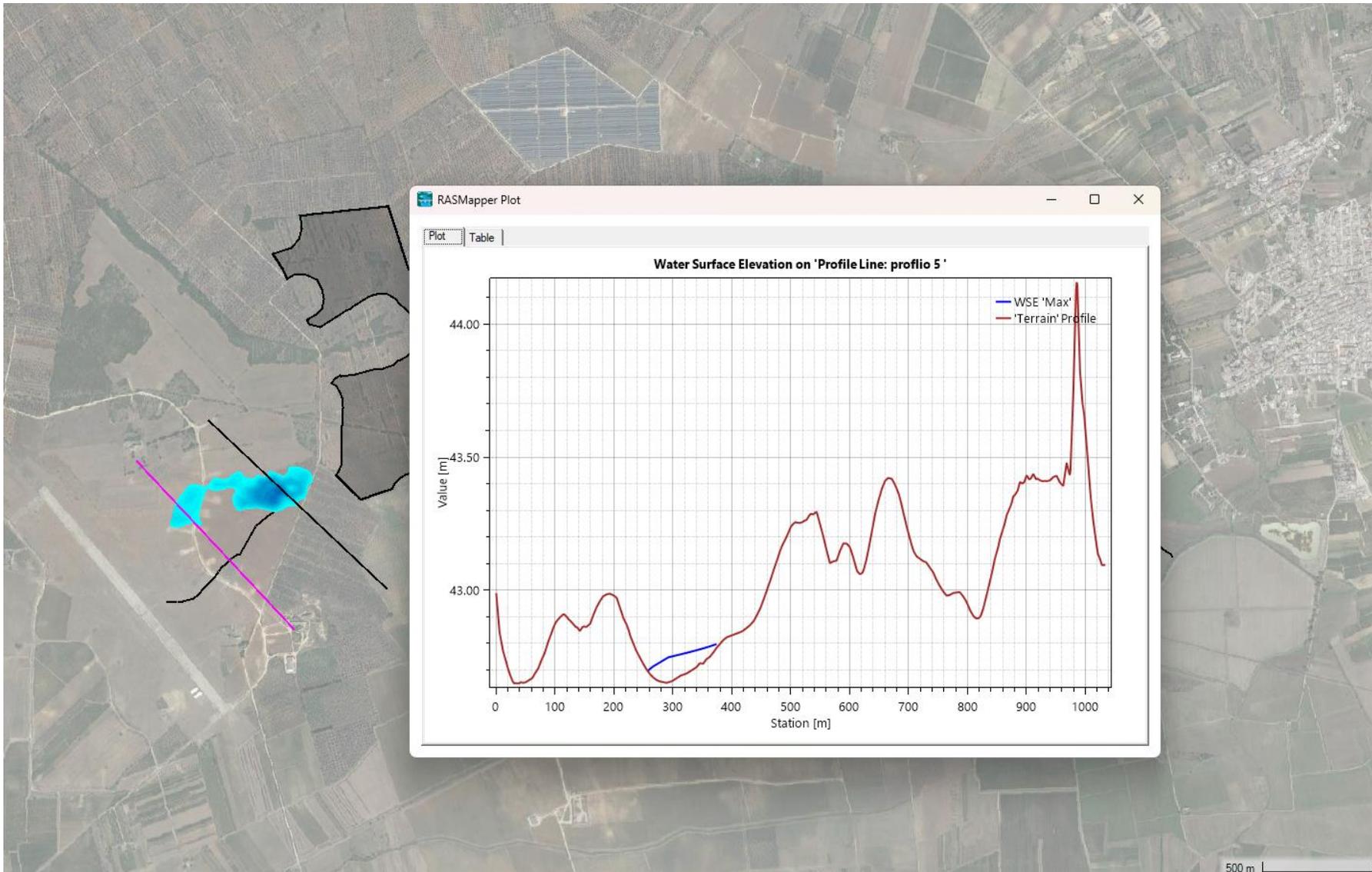


Figura 25 - Profilo di Verifica 5

## 6 CONCLUSIONI

I risultati dell'analisi mostrano come le aree di impianto non ricadano all'interno delle zone allagabili con tempo di ritorno di 200 anni. Tuttavia al fine di garantire il perfetto deflusso delle acque meteoriche all'interno del campo agrivoltaico saranno predisposte delle opere idrauliche (arginelli in terra) come di seguito indicato

### SEZIONI TIPO VIABILITÀ DI PROGETTO

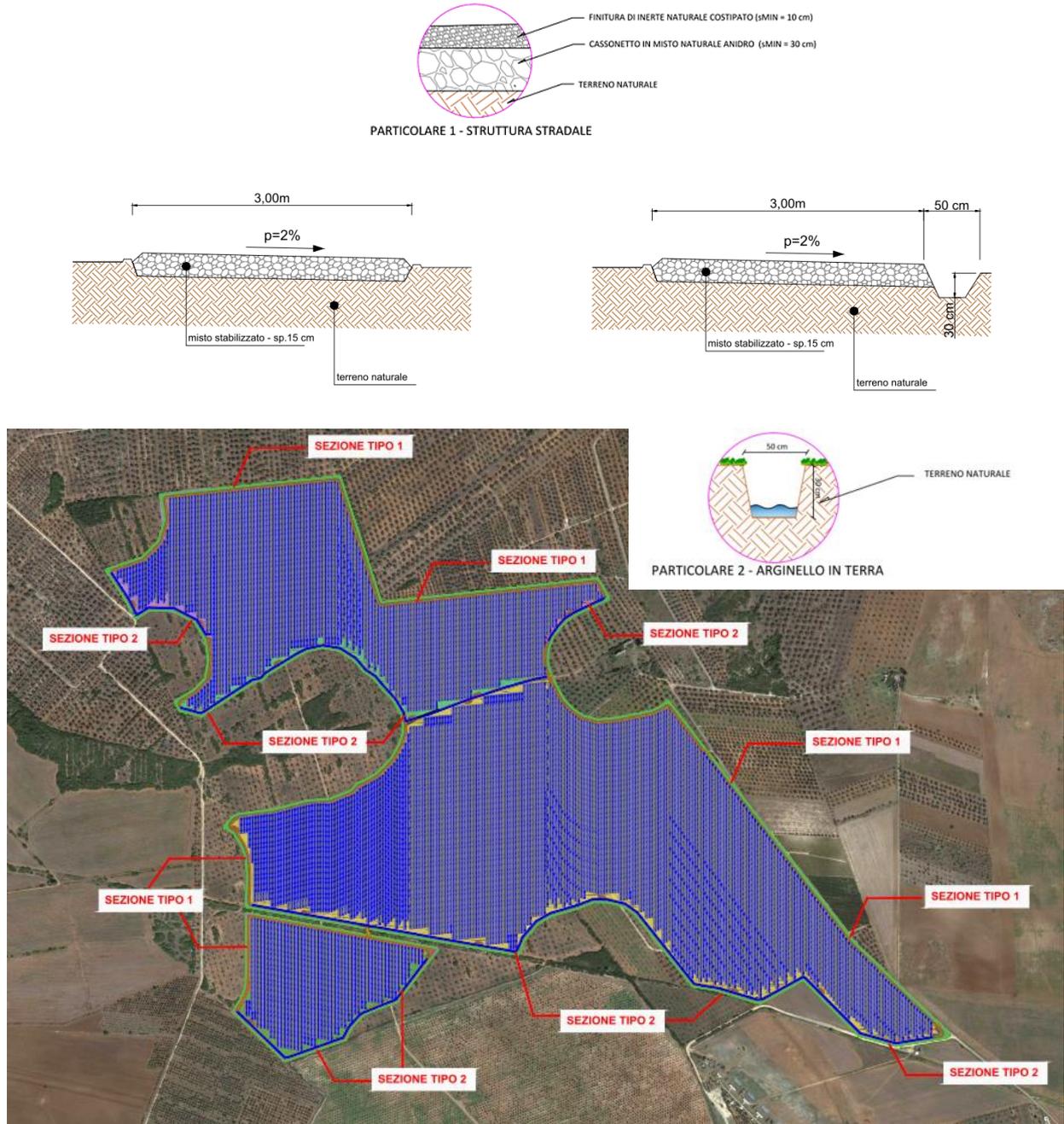


Figura 26 - Tavola PRO\_TAV\_17