

# COMUNE DI BRINDISI

Provincia di Brindisi



PROGETTO

**Ingveprogetti** s.r.l.s.

via Geofilo n. 7-72023, Mesagne (BR)  
email: info@ingveprogetti.it

RESPONSABILE DEL PROGETTO  
Ing. Giorgio Vece

**COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA, DENOMINATO "VERDESOLARE", SITO NEL COMUNE DI BRINDISI (BR) E DELLE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE NEL COMUNE DI BRINDISI (BR), CON POTENZA NOMINALE PARI A 29.030,00 KWN E POTENZA DI PICCO (POTENZA MODULI) PARI A 35.679,60 KWP.**

**Oggetto: Studio di Compatibilità idraulica ed idrologica**

<b>ELABORATO:</b> 6OJRJP2_RelazioneIdrologica		<b>PROGETTISTA:</b>		
		<b>TIMBRO E FIRMA</b> 		
<b>STATO DEL PROGETTO</b>		<b>PROGETTO DEFINITIVO PER V.I.A.</b>		
N.	DATA	DESCRIZIONE	VERIFICATO	APPROVATO
00	OTTOBRE 2020	Prima emissione	Ing. Giorgio Vece	
01				
02				



**OPDENERGY SALENTO 3 S.R.L.**

# Indice

1 - PREMESSA	2
2 – RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3 - UBICAZIONE DELL'AREA	5
4 - DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO	5
5 – CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI	5
6 – ANALISI PLUVIOMETRICA	7
7 – MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI	9
8 – MODELLAZIONE IDRAULICA IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE	15
9 – SCELTA DEI LIMITI DI VALUTAZIONE DELLE AREE DI ALLAGAMENTO	19
10 – CONCLUSIONI	21
ALLEGATI GRAFICI	

## **1 - PREMESSA**

La OPDENERGY SALENTO 3 S.r.l., con sede in L,Rotonda Giuseppe Antonio Torri, 9, 40127 Bologna (BO), ha conferito allo scrivente geologo dott. Dario FISCHETTO, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia con il n° 475, l'incarico di eseguire uno studio di compatibilità idrologica e idraulica, in ottemperanza a quanto previsto dagli Art. 6 e 10 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia, al fine di verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36 delle stesse NTA, finalizzato all'ottenimento del parere vincolante AdB/P nell'ambito del progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, poiché parte delle aree interessate da dette opere sono ricadenti nell'ambito dell'area identificata quale alveo fluviale in modellamento attivo (definito all'art. 36 delle NTA come "porzioni dell'alveo interessato dal deflusso concentrato delle acque, ancorché non continuativo, legato a fenomeni di piena con frequenza stagionale") e area golenale (definito all'art. 36 delle NTA come "porzione di territorio soggetta ad essere allagata in seguito ad un evento di piena. Può essere caratterizzate da una probabilità di inondazione in funzione del tempo di ritorno considerato"), nonché area di pertinenza fluviale (definito all'art. 36 delle NTA come "porzione di territorio con termine all'area golenale"). Il progetto architettonico è meglio evidenziato negli elaborati scritto/grafici a firma dell'Ing. Giorgio VECE.

### **1.1 Modalità di esecuzione dello studio**

Preliminarmente alla redazione del presente studio lo scrivente ha effettuato un rilevamento geologico/geomorfologico di superficie, e si sono utilizzati i dati cartografici digitali con implementazione GIS e simulazioni numeriche relative a un evento di massima piena atteso su base statistica di 200 anni con software HEC – RAS in regime di moto vario con schematismo bidimensionale.

Il presente studio ha determinato:

- L'area scolante dei bacini idrografici alle sezioni di chiusura considerate;
- La portata massima attesa alle sezioni di chiusura per un tempo di ritorno pari a 200 anni;

- Le altezze dei tiranti e delle velocità della corrente, nei punti di calcolo di una mesh di computazione bidimensionale, ottenuti applicando le equazioni complete di Saint Venant, supponendo eventi meteorici medi duecentennali.

## **2 – RIFERIMENTI NORMATIVI**

- *D.Lgs 152/2006 – Testo unico in materia Ambientale;*
- *Norme tecniche di attuazione P.A.I. – AdB Puglia, artt. nn. 6 e 10 “Aree in modellamento attivo ed aree golenali” e “Aree di pertinenza fluviale”;*
- *P.R.G. Comune di Brindisi esecutivo con atto del Commissario di Governo con decisione n.1986 del 23/02/1989; - adottato dal C.C. con delibera n.6 del 10/01/1980; - approvato dalla Giunta Regionale con deliberazioni: n.7008 del 22/07/1985, n.5558 del 07/07/1988 e n.10929 del 28/12/1988.*

### **3 - UBICAZIONE DELL'AREA**

L'area investigata, ubicata nel territorio comunale di Brindisi (BR) alla C.da Cerrito a Sud dal Centro abitato, distando da esso circa 8,6 Km.

L'area, incluso i tratti di corso d'acqua episodico a verificarsi, ubicata sui terreni censiti al foglio di mappa n° 177 particella n° 60, 96, 97, 98, 99, 309, 310, 378, 380, 382, 456, 458, parte della 468 e della 454, è cartografata nel I quadrante del foglio n° 203 della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 denominata "Brindisi" tavoletta I.G.M. scala 1:25.000, S.E. denominata "Tuturano" (Fig. 1 "Corografia dell'area indagata" allegata in calce alla presente relazione).

### **4 - DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO**

Il reticolo idrografico presente dalla Carta Idrogeomorfologica ufficiale dell' Adb Puglia (Fig. 2 "Carta degli elementi idrogeomorfologici dell'area oggetto dell'intervento progettuale allegata in calce alla presente relazione), riporta i tratti oggetto di verifica con la denominazione di "corso d'acqua episodico", non attribuendo al sito alcuna pericolosità idraulica relativa alla carta del PAI.

Trattasi di corsi d'acqua episodici, non percorsi dall'acqua se non in occasione di eventi meteorici straordinari, che sono caratterizzati dalla presenza di vegetazione; prevalentemente coltivazioni e/o arbusti sempreverdi, che attestano le loro radici in corrispondenza del suolo vegetale.

### **5 - CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI**

L'analisi dei bacini idrografici è stata effettuata tramite software ArcGis, avendo come base un file DTM 8m x 8m scaricabile dal SIT della regione Puglia.

Come sezioni di chiusura per la determinazione dei bacini idrografici si sono considerate due sezioni più a valle rispetto alla SP 81 di circa 200 m in linea idrografica.

Si precisa che le superfici dei bacini, sono il risultato di un'analisi idrologica eseguita apportando opportune operazioni di "filling" del DTM al fine di escludere eventuali aree endoreiche di interferenza al reticolo, con la conseguente non determinazione esatta dei bacini.

Dall'elaborazione idrologica fatta in ArcGis risulta che i compluvi in esame, presentano le caratteristiche di seguito riportate (Fig. 3 " Bacini idrografici afferenti le aste fluviali" allegata in calce alla presente relazione).

<b>Caratteristiche bacino idrografico 1</b>		
<i>Longest Flow Path</i>	<i>[Km]</i>	<i>2,95</i>
<i>H massima del bacino in studio</i>	<i>[m slm]</i>	<i>69,64</i>
<i>H media del bacino</i>	<i>[m slm]</i>	<i>63,70</i>
<i>H minima del bacino</i>	<i>[m slm]</i>	<i>56,57</i>
<i>Superficie del Bacino in studio</i>	<i>[Kmq]</i>	<i>1,41</i>
<i>Pendenza media Long. Flow Path</i>	<i>[%]</i>	<i>0,44</i>
<i>Pendenza media bacino</i>	<i>[%]</i>	<i>1,03</i>

<b>Caratteristiche bacino idrografico 1</b>		
<i>Longest Flow Path</i>	<i>[Km]</i>	<i>4,07</i>
<i>H massima del bacino in studio</i>	<i>[m slm]</i>	<i>67,83</i>
<i>H media del bacino</i>	<i>[m slm]</i>	<i>62,97</i>
<i>H minima del bacino</i>	<i>[m slm]</i>	<i>55,58</i>
<i>Superficie del Bacino in studio</i>	<i>[Kmq]</i>	<i>2,28</i>
<i>Pendenza media Long. Flow Path</i>	<i>[%]</i>	<i>0,30</i>
<i>Pendenza media bacino</i>	<i>[%]</i>	<i>0,85</i>

## 6 - ANALISI PLUVIOMETRICA

L'analisi pluviometrica consente di determinare il dato di input nei modelli di calcolo idraulici, attraverso l'analisi delle serie storiche dei dati di pioggia orari, registrati negli scorsi decenni ed elaborati attraverso applicazioni statistiche che consentono di ricostruire la distribuzione delle probabilità del loro verificarsi.

L'analisi statistica fornisce risultati attendibili se l'esame degli eventi piovosi verificatisi in passato sono adeguatamente rappresentati da un campione significativo di dati, in modo da poter ricostruire le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia.

Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea con la normativa nazionale, in questo studio viene applicata la metodologia di analisi riportata nel Va. Pi. Puglia, fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità (fdp) TCEV (two component extreme value). La TCEV ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Per ovviare a questo problema il GNDCI ha messo a punto una procedura di regionalizzazione (Beran et al. 1986) che ha permesso di determinare i parametri della TCEV su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche.

In Puglia la procedura di regionalizzazione ha individuato 6 zone omogenee:



*Zone omogenee di precipitazione in Puglia.*

La zona entro cui ricade interamente il presente studio è la n. 6, la cui curva di possibilità pluviometrica è data dalla seguente relazione:

$$H_{(t,z)} = 33,7 t^{(0.488+0.0022*z) / 3.178}$$

Dove:

- $H_{(t,z)}$  = altezza di pioggia media in mm;
- $t$  = durata della precipitazione in ore;
- $z$  = altezza media del bacino considerato.

Per diversi tempi di ritorno si moltiplicano le altezze medie di precipitazione per un fattore di crescita (KT) caratteristico per ognuna delle zone omogenee. Nel caso in esame per la zona 6, KT si ottiene dalla seguente espressione:

$$KT = 0.1599+0.5166 \ln T;$$

$$KT_{(200)} = 2,9;$$

Da quest'ultima quindi si è stimata l'altezza di pioggia nel tempo di ritorno di 200 anni, per una durata dell'evento piovoso critico (pari al tempo di corrvazione, cui si parlerà più avanti), che risulta essere:

	$H_{(200)}$
Bacino 1	<b>114,92 mm</b>
Bacino 2	<b>122,89 mm</b>

Inoltre a vantaggio di sicurezza non è stato considerato il "coefficiente di riduzione areale KA" (funzione della superficie del bacino espressa in Km<sup>2</sup>, e della durata dell'evento di progetto espresso in ore).

## 7 – MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal Soil Conservation Service (1972). Il metodo, detto Metodo Curve Number, si basa sulla assunzione 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:

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

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P > I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di  $I_a$  si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 * S$$

che risulta verificata in buona approssimazione. La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice  $CN$  (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = S_0 * (100 / CN - 1)$$

$S_0$  è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm. L'indice  $CN$  è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo (Fig. 4 "Uso del suolo" allegata in calce alla presente relazione) e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- **GRUPPO A:** Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- **GRUPPO B:** Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- **GRUPPO C:** Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- **GRUPPO D:** Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro **CN** corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

CLASSIFICAZIONE CN DA RELAZIONE di PIANO SULLA BASE di USO DEL SUOLO E TIPOLOGIA SCS				
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 di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII);

I valori del **CN** riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come **AMC II** (Antecedent Moisture Condition II). Per condizioni iniziali differenti,

vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore **CN (II)**, relativo a **AMC I, CN (I)**, ed in quello relativo a **AMC III, CN (III)**.

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
<b>I</b> (Terreno secco)	0 < P < 50
<b>II</b> (Umidità media)	50 < P < 110
<b>III</b> (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

*Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC);*

Nel presente calcolo idrologico è stato usato un unico valore del **CN(III)** considerando il suolo di tipologia "**C**" (l'intero bacino idrografico si imposta su sabbie limose) (Fig. 5 "Stralcio della Carta geologica d'Italia" allegata in calce alla presente relazione), stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di uso del suolo; i pesi sono calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale dei bacini precedentemente individuati.

Nel caso in esame, dall'analisi del **CN(II)** medio si è evinto che questo risulta essere pari a:

	<b>CN(II)</b>
Bacino 1	<b>79,10</b>
Bacino 2	<b>79,61</b>

mentre il **CN(III)** è stato ricavato dalla relazione:

$$CN(III) = CN(II) / [0,43 + 0,0057 * CN(II)]$$

e risulta essere:

	<b>CN(III)</b>
Bacino 1	<b>89,80</b>
Bacino 2	<b>90,08</b>

Si è poi stimato il "tempo di ritardo"  $t_r$  (lag time), generalmente definito come 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 Soil Conservation Service (**SCS**) ha dedotto, empiricamente, che il rapporto  $t_r/t_c$  è pari a 0,6 (rapporto tra tempo di ritardo e tempo di corrivazione).

Per la stima del tempo di ritardo del bacino si è utilizzata la formula di Mockus:

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

In cui  $S$  è la pendenza del bacino espressa in %,  $L$  la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in Km.

Il tempo di corrivazione ( $tc$ ) dei bacini in questione, calcolato con il metodo precedentemente descritto risulta essere:

	$tc$ (h)
Bacino 1	<b>2,27</b>
Bacino 2	<b>3,20</b>

Per il calcolo della portata al colmo  $Qp$  ( $m^3/s$ ) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Qp}{2} (t_a + t_e) = \frac{Qp * t_b}{2}$$

avendo indicato con  $t_b$  la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5% del volume totale  $V$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = (t_a + t_e) = 2,67 * t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso  $V$  in  $mm$ , il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $Km^2$ , si ottiene la portata di picco:

$$Q_p = 0,208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$ , indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5t_p + t_L$$

In base alle sopradette formulazioni si è calcolato, che per la durata critica della precipitazione stimata essere  $t_c = t_L/0,6$ , risulta esservi un portata al colmo pari a:

	$Qp_{(200)} [m^3/s]$
Bacino 1	10,07
Bacino 2	12,76

Infine per completare l'analisi idrologica del bacino è stato calcolato l'idrogramma di piena utilizzando la stima delle portate effettuate con il metodo **SCS-CN**.

L'idrogramma unitario del **SCS** si costruisce a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus che è una curva, ricavata da numerosi idrogrammi unitari ottenuti durante eventi di piena registrati in bacini di differente estensione e posizione geografica, che mette in relazione il rapporto tra la generica portata  $Q$  all'istante  $t$  e la portata al colmo  $Qp$  che si verifica all'istante  $t_a$  (durata della fase di crescita) con la variabile dimensionale  $t/t_a$ .

Per il suddetto idrogramma unitario il 37,5% del volume totale di deflusso si verifica in corrispondenza della sola fase ascendente dell'idrogramma stesso, in altri termini il volume di deflusso corrispondente alla fase crescente dell'idrogramma è pari al 37,5% del volume totale di deflusso.

La portata di colmo  $Qp$  dell'idrogramma unitario si ottiene per  $V=1$ , pertanto:

$$Q_p = 0,208 \frac{A}{t_a}$$

la durata  $t_p$  della precipitazione che produce l'idrogramma unitario viene correlata al tempo di accumulo  $t_a$ , dalla seguente relazione:

$$t_p = 0,2 * t_a$$

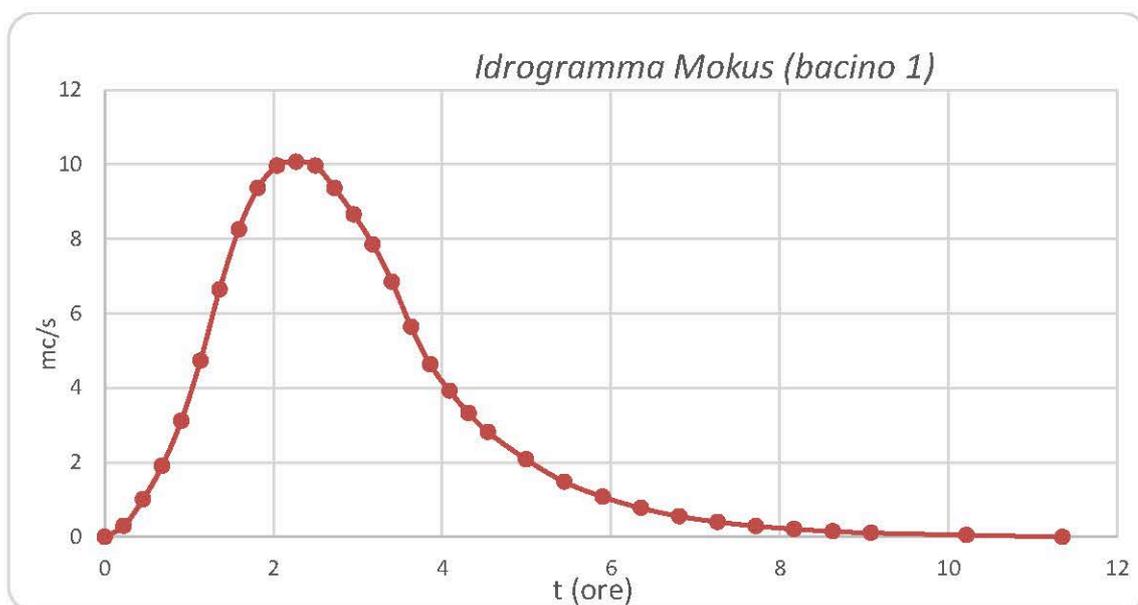
Il tempo di accumulo  $t_a$ , la durata della precipitazione  $t_p$  e il tempo di ritardo  $t_L$  sono legati dalle seguenti formule:

$$t_a = t_L/0,9 \text{ e } t_p = t_L/4,5$$

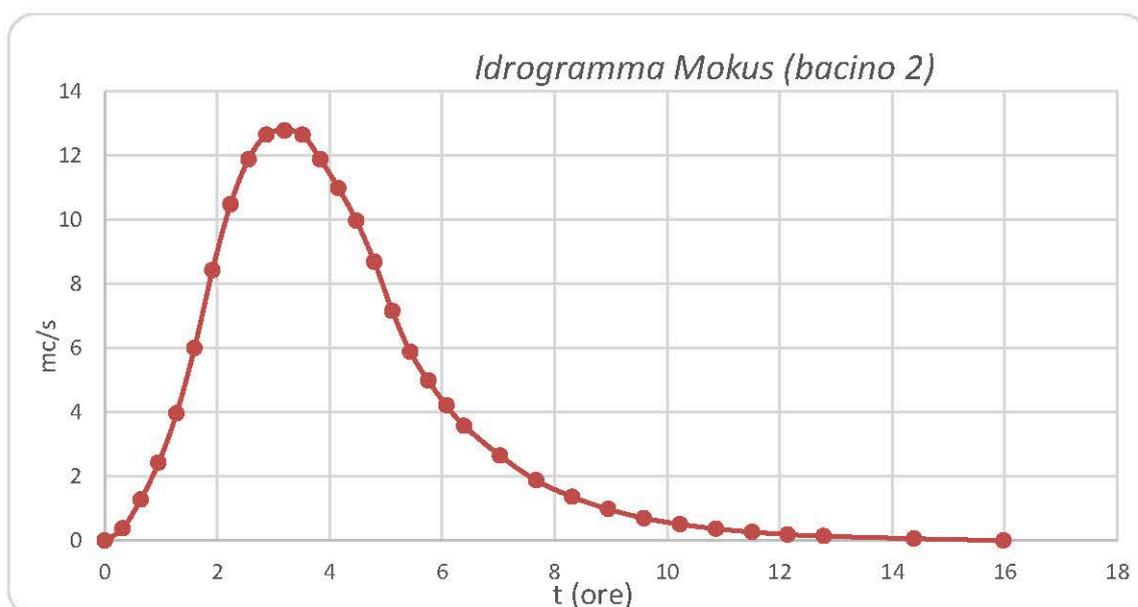
Poiché le coordinate dell'idrogramma unitario di Mockus sono espresse in termini di  $Q/Q_p$  e di  $t/t_a$  bisogna calcolare per il bacino specifico il tempo di accumulo e la portata di picco con le formule sopra esposte.

La determinazione dell'idrogramma unitario dei bacini, con caratteristiche geomorfologiche come precedentemente calcolate, consiste nell'amplificare l'ascissa e l'ordinata dell'idrogramma unitario di Mockus mediante i due fattori  $t_a$  e  $Q_p$ .

Si è infine ricavato "l'idrogramma delle piene con tempi di ritorno di 200 anni, riportato di seguito:



Idrogramma di piena duecentennale del bacino 1.



Idrogramma di piena duecentennale del bacino 2.

## 8 – MODELLAZIONE IDRAULICA IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE

Il codice HEC – RAS 5.0.7. di U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineer Center ([www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)) consente il calcolo dei profili idraulici per moto permanente e vario in canali naturali ed artificiali.

Per il presente studio è stato simulato l'evento di massima piena in regime di moto vario bidimensionale, quindi è stato ricostruito un modello risolutivo anche per componenti delle velocità ortogonali alla direzione dell'asse dell'alveo, descrivendo fenomeni di flusso che si sviluppano nel piano, fornendo in ogni punto la direzione e l'intensità della velocità media, applicando gli idrogrammi di piena variabili nel tempo, come illustrati prima.

Inoltre le verifiche in moto vario bidimensionale consentono la ricostruzione dell'attuale funzionamento idraulico del canale dal punto di vista del rischio idraulico, consentendo la stima dei volumi eccedenti la capacità di smaltimento della rete di canali modellata, in corrispondenza di diversi scenari idrologici previsti.

HEC - RAS consente la soluzione numerica del sistema di equazioni del moto vario gradualmente variato in 2D sia con la risoluzione delle equazioni complete di Saint Venant che di diffusione dell'onda, permettendo di conoscere l'andamento di portate e livelli variabili sia nel tempo che nello spazio, nelle sezioni fluviali per le quali è nota la geometria dell'alveo.

Per detto caso si è scelto di ricostruire le entità di tiranti e velocità della corrente mediante il modello di equazioni complete di Saint Venant, così rappresentate:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \\ \text{(Eq. di continuità 2D)} \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x \\ \text{(Eq. di moto X)} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y \\ \text{(Eq. di moto Y)} \end{array} \right.$$

dove

$\zeta$  = elevazione del pelo libero;

$u$  e  $v$  = componenti della velocità mediate lungo la verticale nelle direzioni  $X$  e  $Y$ ;

$H$  = tirante del pelo libero;

$t$  = tempo;

$x$  e  $y$  = distanze nelle direzioni  $X$  e  $Y$ ;

$cf$  = coefficiente di Coriolis;

$C$  = coefficiente di Chezy;

$\mu$  = coefficiente di viscosità;

$p$  = pressione atmosferica;

$\rho$  = densità dell'acqua;

$F_x$  e  $F_y$  = somma delle componenti delle forze esterne nelle direzioni  $X$  e  $Y$ .

Il precedente sistema di equazioni alle derivate parziali non lineari del secondo ordine non è generalmente integrabile in forma analitica, ma può essere scritto alle differenze finite e successivamente manipolato come descritto nel modello di Barkau (UNET Unsteady NETWORK model; Barkau 1997), che è alla base della soluzione dei problemi di moto vario in HEC – RAS, che per motivi di semplicità si omette (vedasi manuale codice HEC – RAS).

### **Parametri del modello bidimensionale in studio**

La base di calcolo per tiranti e velocità del codice HEC –RAS è costituita dal modello piano - altimetrico del terreno costituito dal "terrain" e derivato dal DTM 8m x 8m fornito dal SIT Puglia.

Una volta definita tale morfologia si è passati alla creazione del grigliato di calcolo che costituirà il corpo dell'area 2D, per lo sviluppo della simulazione vera e propria.

Lo schema risolutivo della versione HEC-RAS 5.0.7. è basato su un algoritmo ai volumi finiti che permette di utilizzare per il calcolo una maglia computazionale strutturata e non strutturata che può essere composta da celle con 3, 4, 5, 6 lati fino ad un massimo di 8.

Per la creazione delle aree 2D si è tracciato il poligono di contorno nell'apposita sezione dell'Editor.

Definito il poligono dell'area 2D si è passati alla creazione della maglia di calcolo all'interno delle aree stesse.

Per lo studio in questione è stata definita una maglia ad elementi quadrati di lati  $dx = 4m$ ,  $dy = 4m$ , in cui al centro di ogni elemento è stato calcolato il tirante idrico; dette misure dei

lati della maglia sono stati scelti per trovare la giusta rispondenza delle variazioni morfologiche al passaggio dell'onda di piena.

Un parametro molto sensibile al fine della corretta elaborazione e stabilità della soluzione finale è la definizione del passo temporale di integrazione "computation interval". Un'indicazione del suo valore è data dal numero di Courant, il quale presuppone però la conoscenza a priori della velocità dell'onda di piena.

Nel caso in esame è stato utilizzato un valore ( $\Delta t$ ) pari a 2 secondi che, in relazione alle dimensioni delle celle di calcolo, pari a 4 m, può supportare numeri di Courant adeguati anche per velocità di deflusso molto elevate.

Il significato fisico di tale criterio è che una particella fluida non può spostarsi per una distanza maggiore della dimensione della cella ( $\Delta x$ ) in un intervallo di tempo pari al passo temporale di calcolo ( $\Delta t$ ), definito "Criterio di stabilità dell'onda dinamica".

Gli sviluppatori di Hec – Ras, nel caso in cui si usi il metodo delle equazioni complete di Saint Venant "Full Momentum", come nel presente caso, consigliano all'interno del manuale operativo di usare un passo temporale rispondente al criterio di Courant, definito come:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{V}$$

$\Delta t$  = passo temporale di analisi;

$\Delta x$  = dimensione della cella;

$V$  = Flood wave velocity o wave celerity (normalmente maggiore della velocità media della corrente).

Definita la geometria dell'area 2D e i coefficienti di scabrezza di Manning, posti unicamente pari a  $0,045 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/3}$  per tutta l'area in studio dell'area 2D di è proceduto a immettere le condizioni al contorno di monte e di valle.

In particolare la condizione di monte è rappresentata dall'inserimento degli idrogrammi di piena calcolati con il metodo **SCS**, mentre per la condizione di valle è stata scelta la condizione di moto uniforme ("*normal depth*"), approssimabile con la pendenza dei canali nel tratto di valle (Fig. 6 allegata in calce alla presente relazione).

Inoltre si è tenuto conto dell'interferenza di n. 2 attraversamenti idraulici, (denominati "att\_1" e "att\_2" nel file di modellazione idraulica) al di sotto della SP 81, detti attraversamenti sono costituiti da opere modellate col comando "Culvert", come da dimensioni riportate e nella figure 7 e 8 allegata in calce alla presente relazione.

Tali strutture idrauliche monodimensionali sono state inserite all'interno della mesh di calcolo bidimensionale e quindi in continuità con quest'ultima (Fig. 6 allegata in calce alla presente relazione).

## 9 – SCELTA DEI LIMITI DI VALUTAZIONE DELLE AREE DI ALLAGAMENTO

L'indicazione di allagamento di una superficie non è di per se un fattore di pericolosità, particolari condizioni di allagamento però possono mettere in condizioni di pericolo le persone presenti nelle aree in cui essi si verificano.

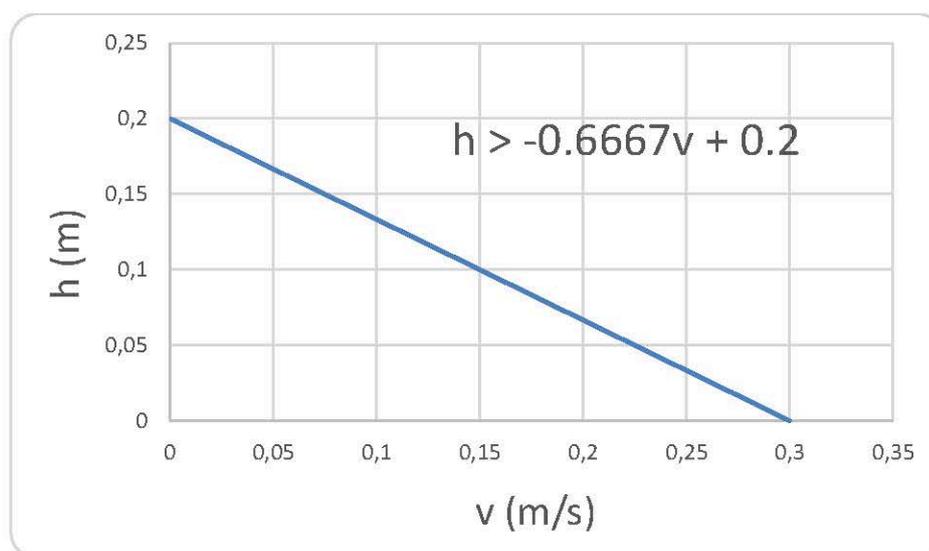
Oltre al tirante idrico, i fattori che influiscono sul livello di pericolo sono la velocità di scorrimento idrico e la persistenza del fenomeno. Infatti un allagamento che presenta un tirante idrico di 0,1 metri risulta diverso da quello derivante da 2 metri, anche se si verifica con lo stesso tempo di ritorno. Al contrario, se il primo possiede una elevata velocità di scorrimento, potrebbe diventare più pericoloso del secondo valore se fosse quest'ultimo quasi statico.

L'Autorità di Bacino della Puglia non ha indicazioni a riguardo, tuttavia nella Puglia, sono state adottate nel tempo diversi criteri in funzioni di valutazioni e scelte effettuate dai progettisti.

Inizialmente sono stati assunti come limiti di rappresentazione della pericolosità, e quindi della vulnerabilità idraulica, i seguenti limiti:

- *tirante idrico*  $> 0,2$  m;
- *velocità*  $> 0,3$  m/s.

Che risultano comunque molto cautelativi rispetto ai limiti proposti dalla letteratura tecnica.



*Relazione analitica di taglio applicata per  $tr = 30, 200, 500$  anni ( le coppie di valori  $h, v$  sottese dalla curva di taglio sono state filtrate.*

Dal punto di vista operativo si è proceduto al taglio mediante il comando ArgGis chiamato "Raster Calculator", ove il comando ha generato un nuovo raster nel caso venisse soddisfatta la seguente disequazione:

$$h > 0,2 - 0,6667 * v$$

In cui "h" e "v" sono rispettivamente i valori delle celle dei rasters del tirante e velocità.

## 10 – CONCLUSIONI

La OPDENERGY SALENTO 3 S.r.l., con sede in L,Rotonda Giuseppe Antonio Torri, 9, 40127 Bologna (BO), ha conferito allo scrivente geologo dott. Dario FISCHETTO, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia con il n° 475, l'incarico di eseguire uno studio di compatibilità idrologica e idraulica, in ottemperanza a quanto previsto dagli Art. 6 e 10 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia, al fine di verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36 delle stesse NTA, finalizzato all'ottenimento del parere vincolante AdB/P nell'ambito del progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico in area interessata dalla presenza di reticolo idrografico su IGM 1:25.000 e "Carta Idrogeomorfologica" Ufficiale dell'AdB/P.

In virtù di quanto appurato e descritto nei capitoli precedenti, considerando che:

- le aree dei bacini imbriferi relative alla sezioni di chiusura considerate misurano rispettivamente:

	<i>Area (Km<sup>2</sup>)</i>
<i>Bacino 1</i>	<b>1,41</b>
<i>Bacino 2</i>	<b>2,28</b>

- la stima della portata al colmo duecentennale è stata effettuata tramite metodo SCS, in particolare nelle condizioni di massima umidità del suolo (CNIII) risulta essere pari a:

	<i>Qp<sub>(200)</sub> [m<sup>3</sup>/s]</i>
<i>Bacino 1</i>	<b>10,07</b>
<i>Bacino 2</i>	<b>12,76</b>

- lo studio idraulico è stato condotto in regime di moto vario, applicando come condizioni al contorno di monte gli idrogrammi di piena duecentennale e a valle sono state definite le condizioni al contorno di moto uniforme ("normal depth");
- la conduzione dello studio idraulico nelle condizioni precedentemente descritte ha evidenziato che le aree da adibire alla costruzione dell'impianto fotovoltaico sono parzialmente inondate (Figg. 9 e 10 allegate in calce alla presente relazione);
- applicando un "taglio" ai valori di tirante < 0,2 m e di velocità < 0,3 m, come trattato nel capitolo 9, si ha una sensibile riduzione dell'area a pericolosità duecentennale, sia in destra che in sinistra idraulica (Fig. 10) allegata in calce alla presente relazione).

Tanto si doveva in espletamento dell'incarico affidatomi.

Brindisi, 22.01.2020

IL TECNICO  
(Timbro e firma)

Geologo dott. Dario FISCHETTO



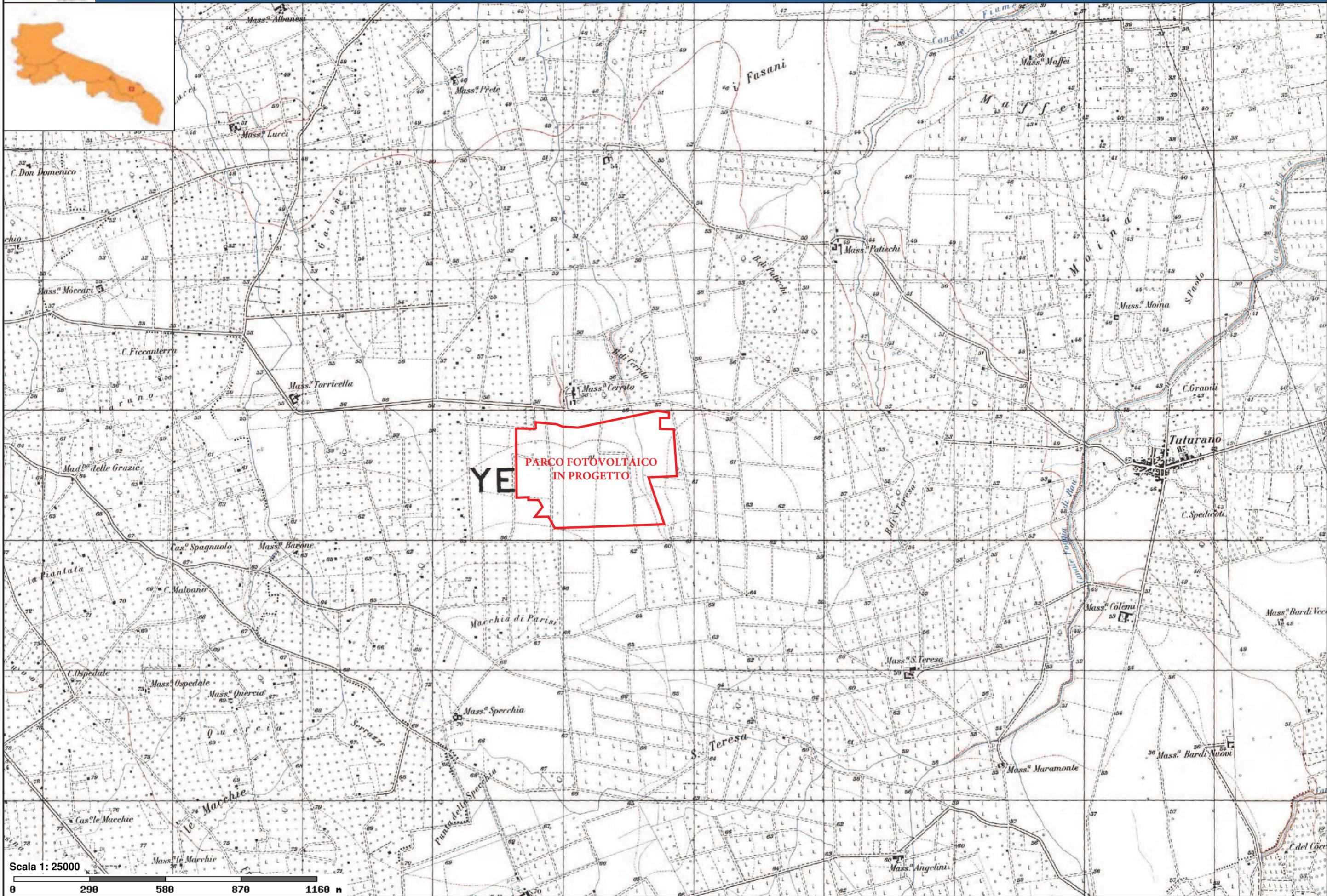
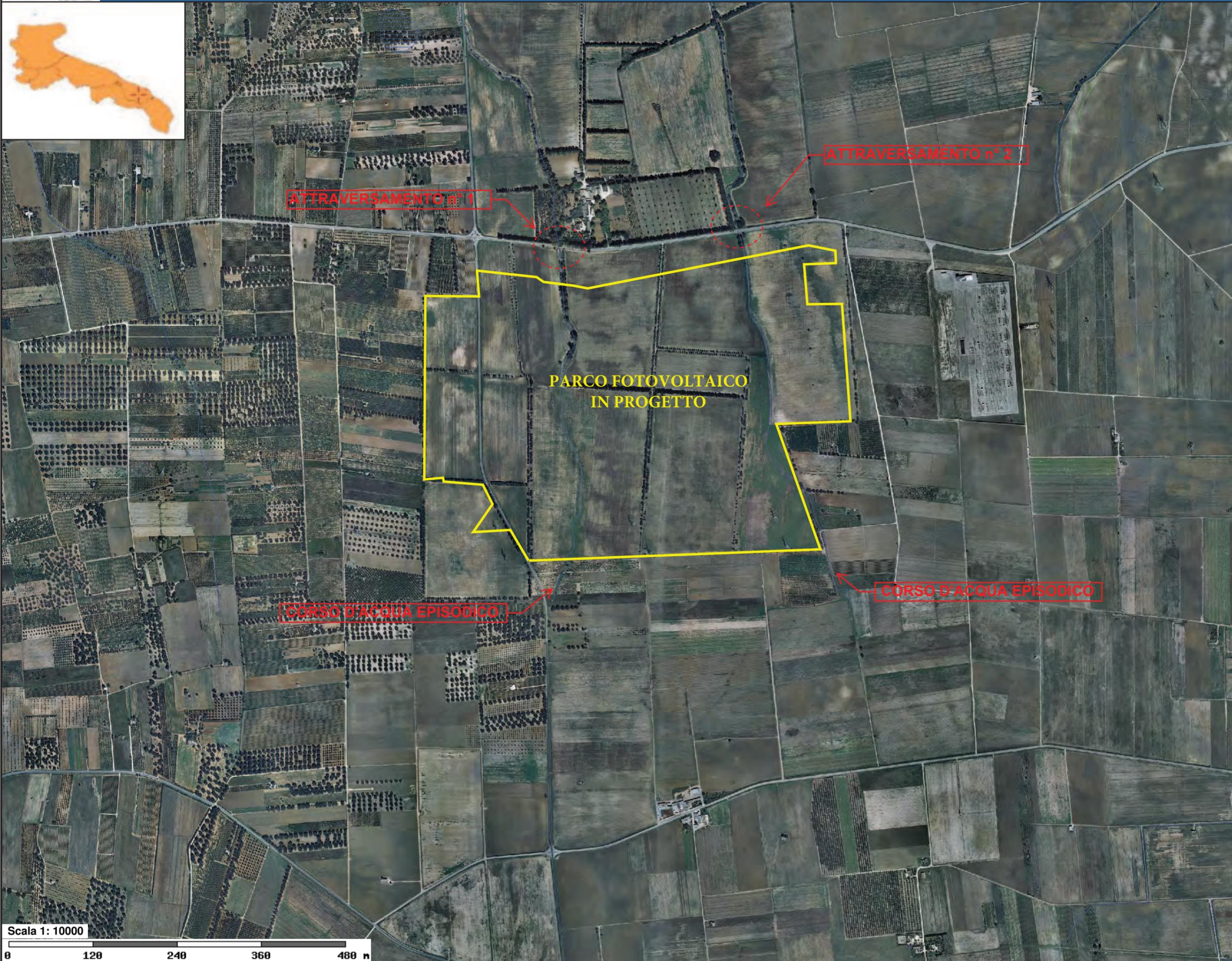


Fig. 2: Carta degli elementi idrogeomorfologici dell'area oggetto dell'intervento progettuale (agg. il 16-12-2016)



**Forme di modellamento di corso d'acqua**

- Cigli e ripe**
-  Ciglio di sponda
  -  Ripa di erosione

**Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale**

- Corsi di acqua**
-  Corso d'acqua
  -  Corso d'acqua episodico
  -  Corso d'acqua obliterato
  -  Corso d'acqua tombato
  -  Recapito finale di bacino endoreico
  -  Sorgenti
  -  Canali lagunari

**Bacini Idrici**

- Bacini**
-  Lago naturale
  -  Lago artificiale
  -  Laguna costiera
  -  Salina
  -  Stagno, acquitrino, zona palustre

**Forme Carsiche**

-  Doline
-  Grotte naturali
-  Orlo di depressione carsica
-  Voragini

**Cartografia di base**

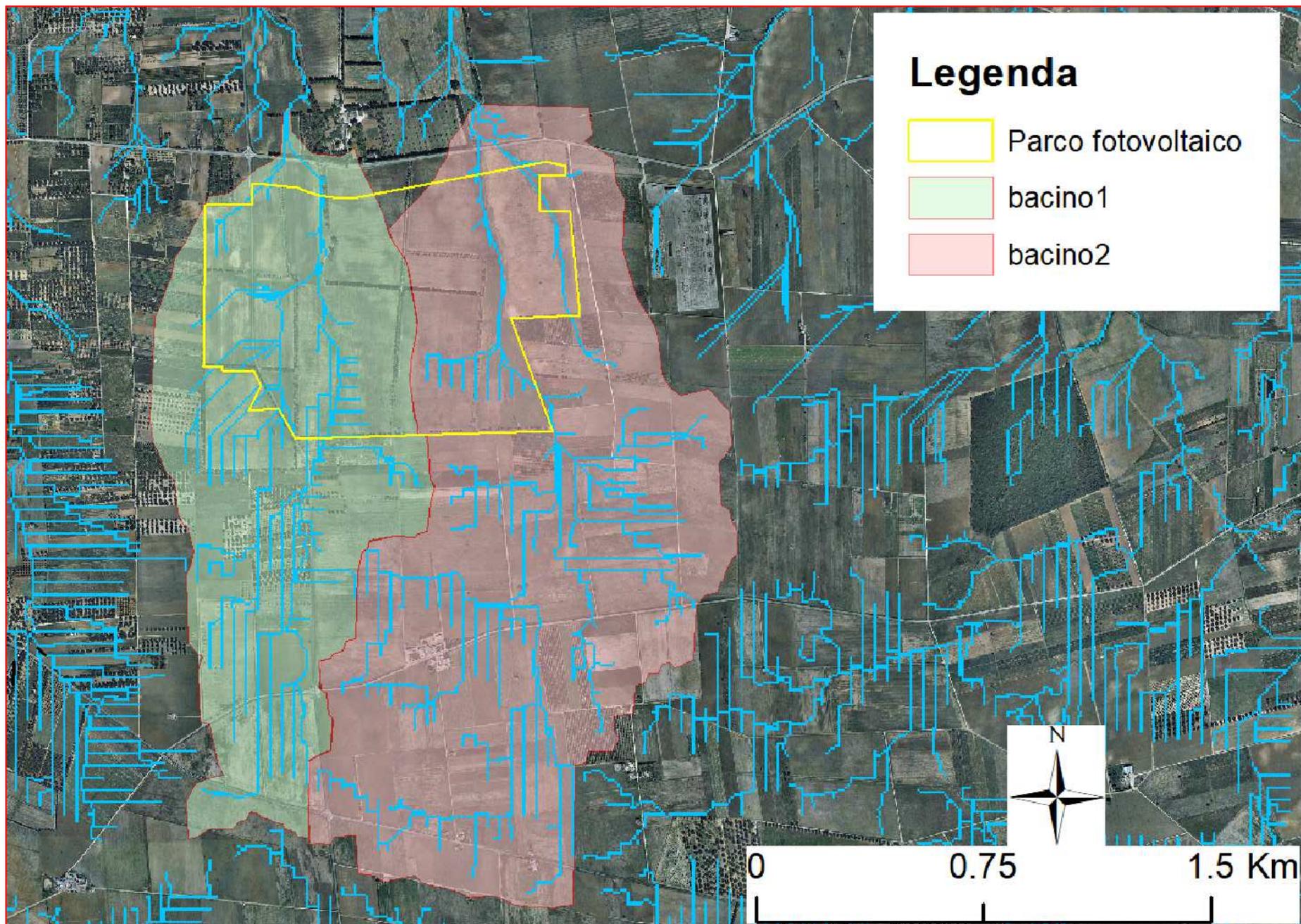


Fig. 3: Bacini idrografici afferenti le aste fluviali, calcolati mediante analisi idrologica eseguita con DTM 8m x 8m.

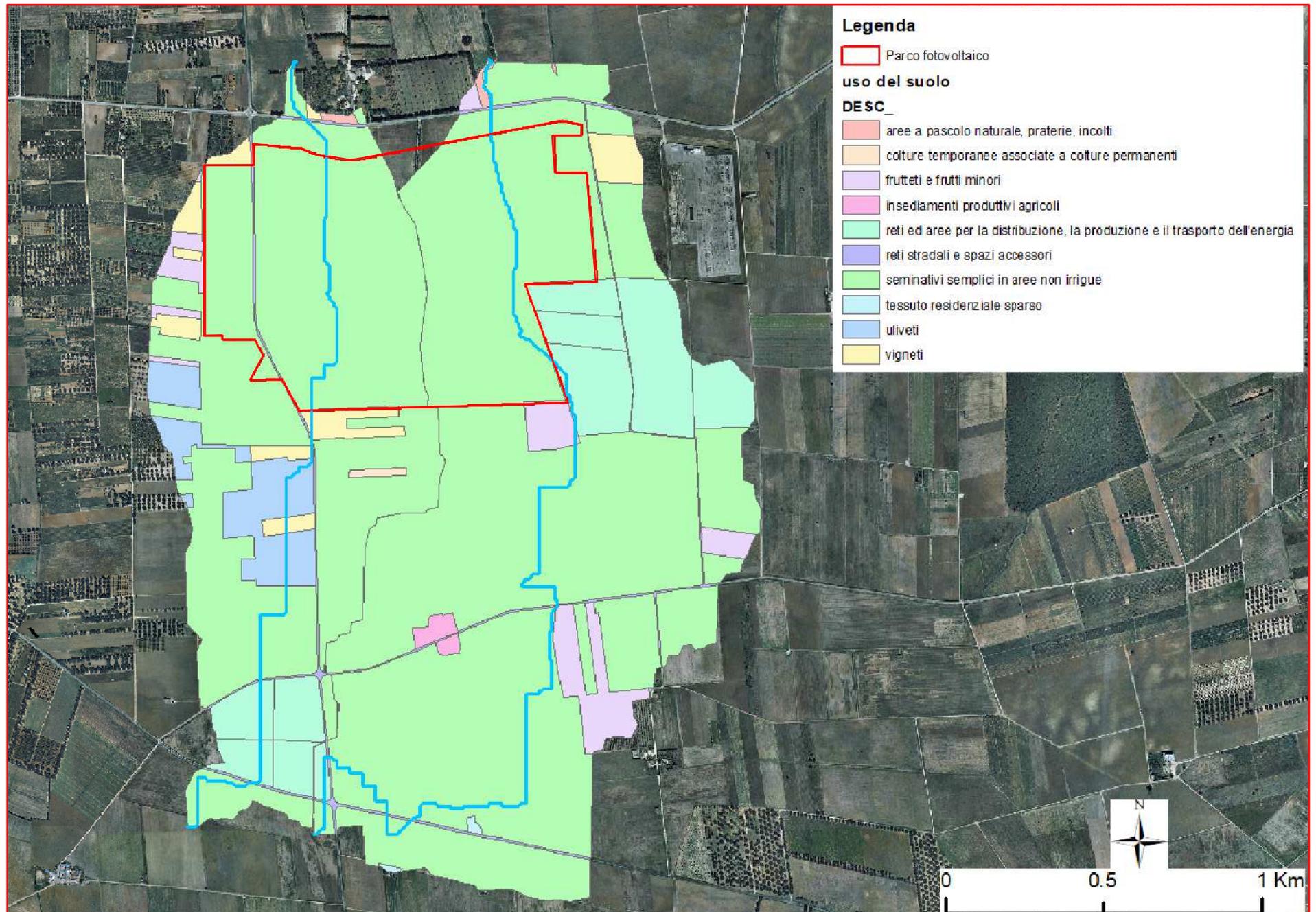
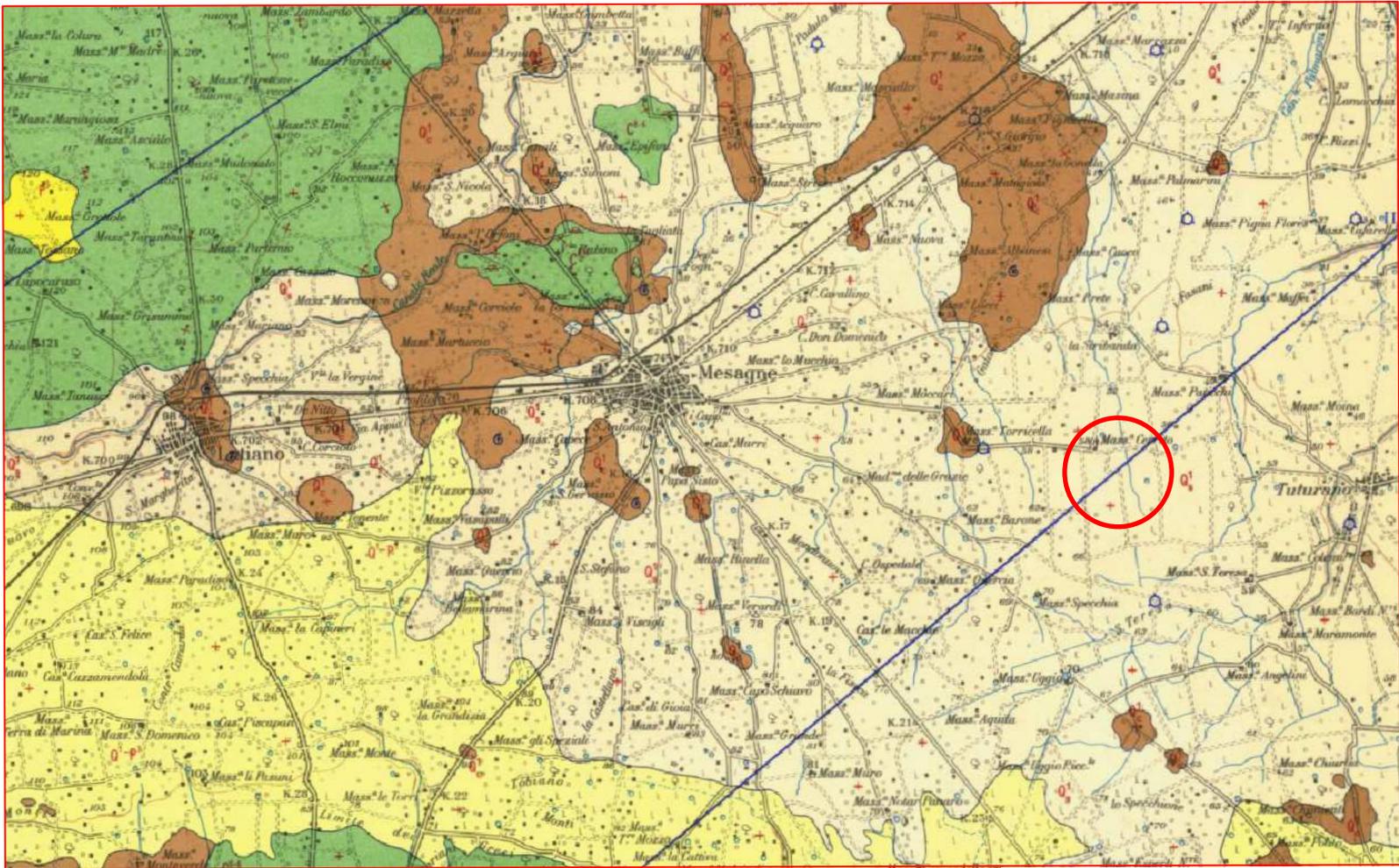


Fig. 4: Uso del suolo su area dei bacini idrografici.




Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrastre (Q<sub>1</sub>); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q<sub>2</sub>). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.

Fig. 5: Stralcio Carta geologica d'Italia, Foglio 203 - Brindisi

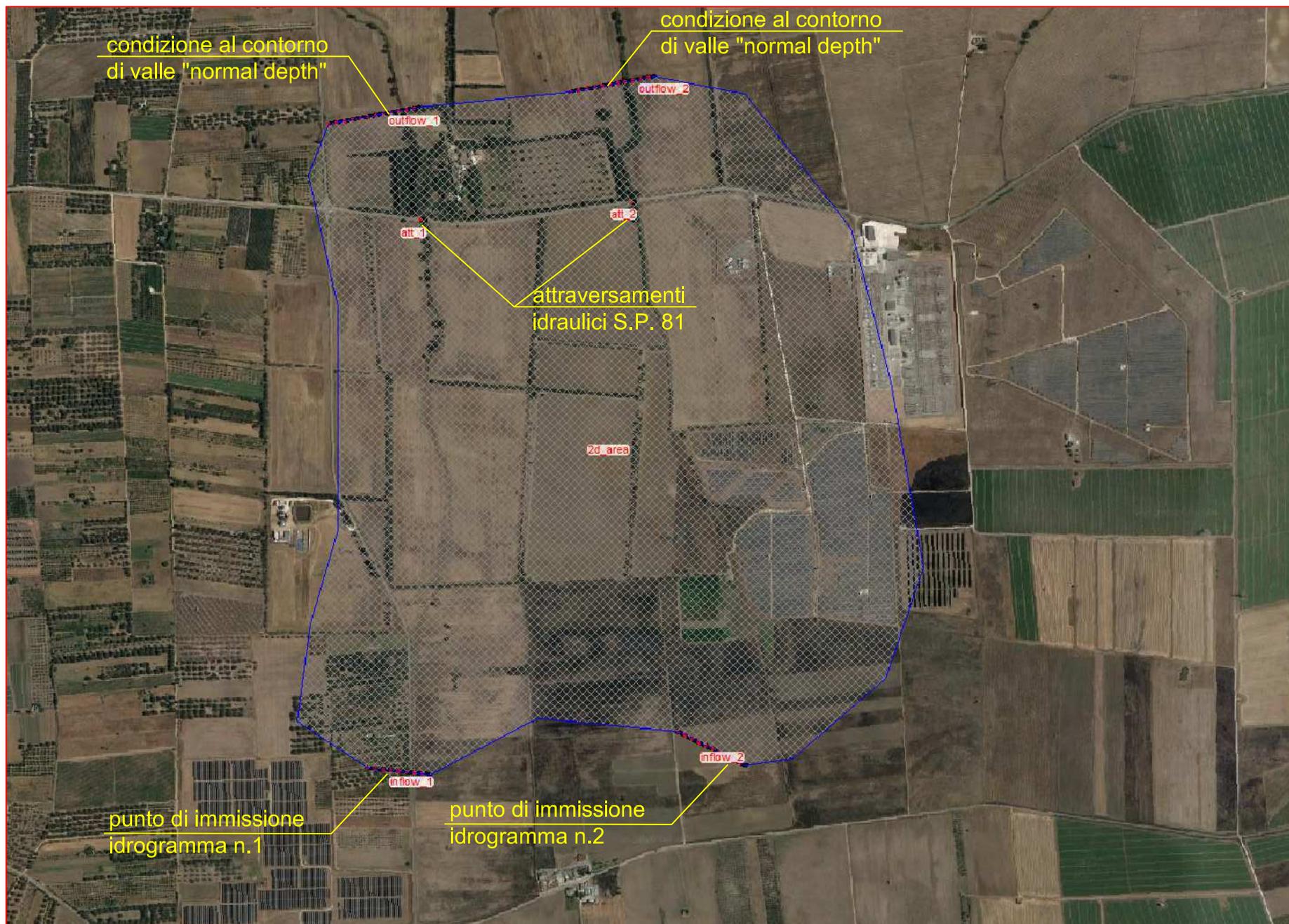


Fig. 6: Mesh bidimensionale di calcolo in Hec-Ras con punti di immissione delle condizioni al contorno e strutture idrauliche interne.



Fig. 7a: Attraversamento idraulica "att1" al di sotto della S.P. 81, lato monte.

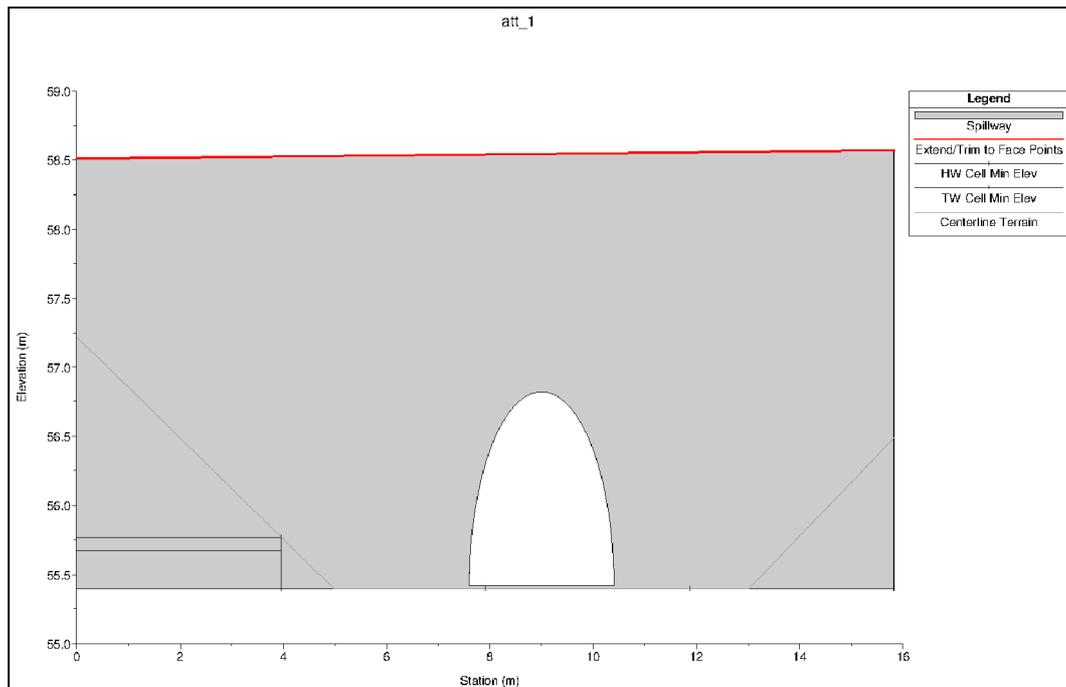


Fig. 7b: Attraversamento "att1" modellato col comando Culvert di Hec-Ras.



Fig. 8a: Attraversamento idraulica "att2" al di sotto della S.P. 81, lato monte.

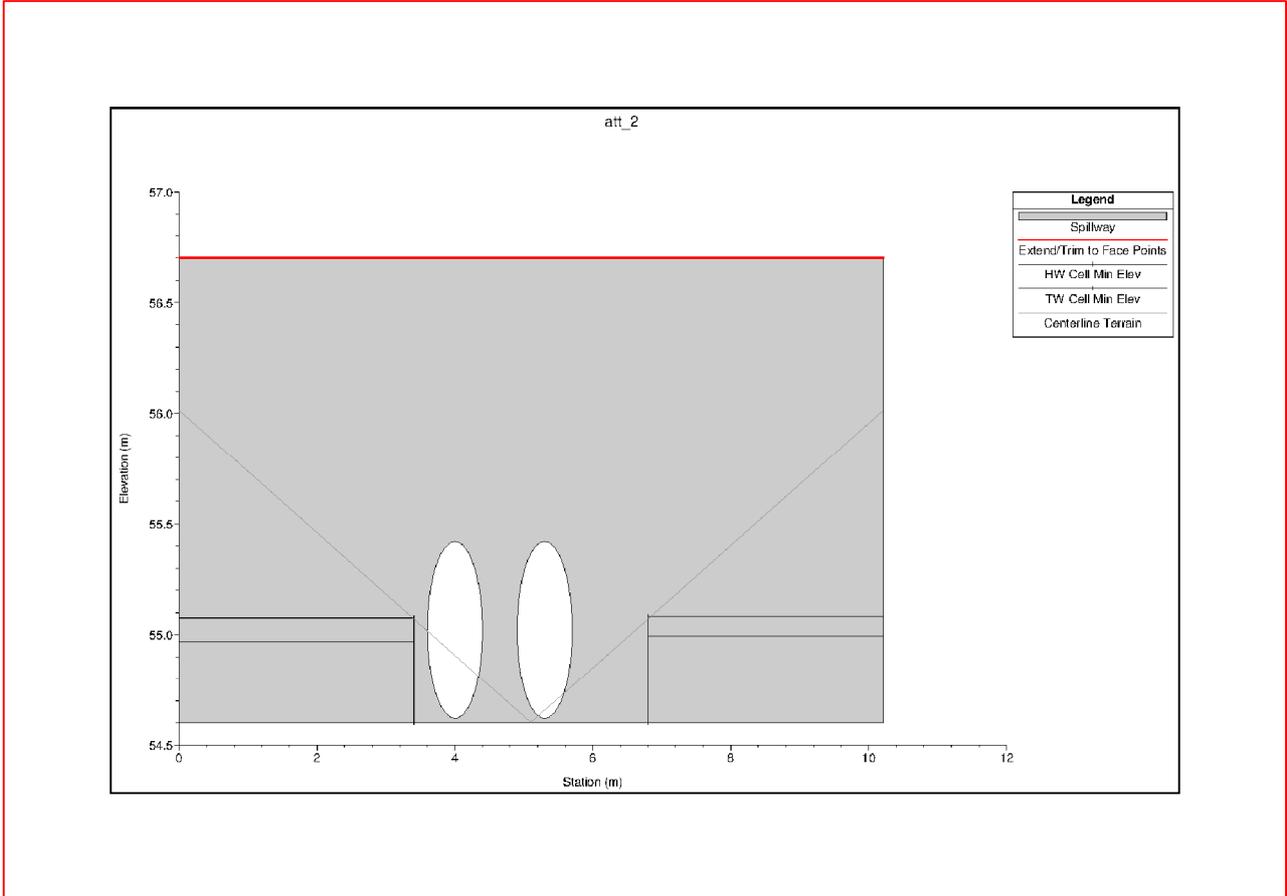


Fig. 8b: Attraversamento "att2" modellato col comando Culvert di Hec-Ras.

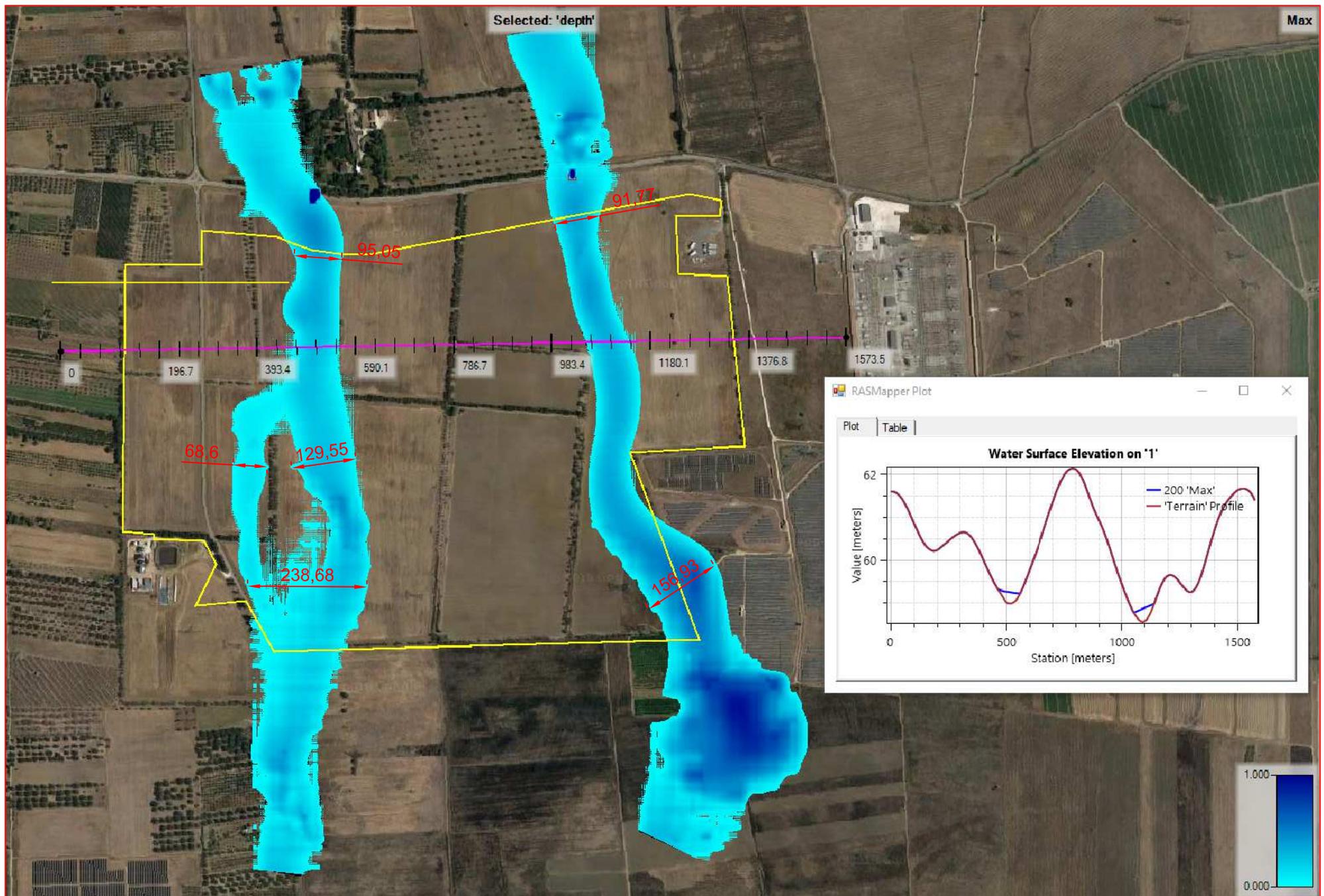


Fig.9: Pianta degli duecentennali massimi e sezione idraulica alvei, sc. 1:10.000.

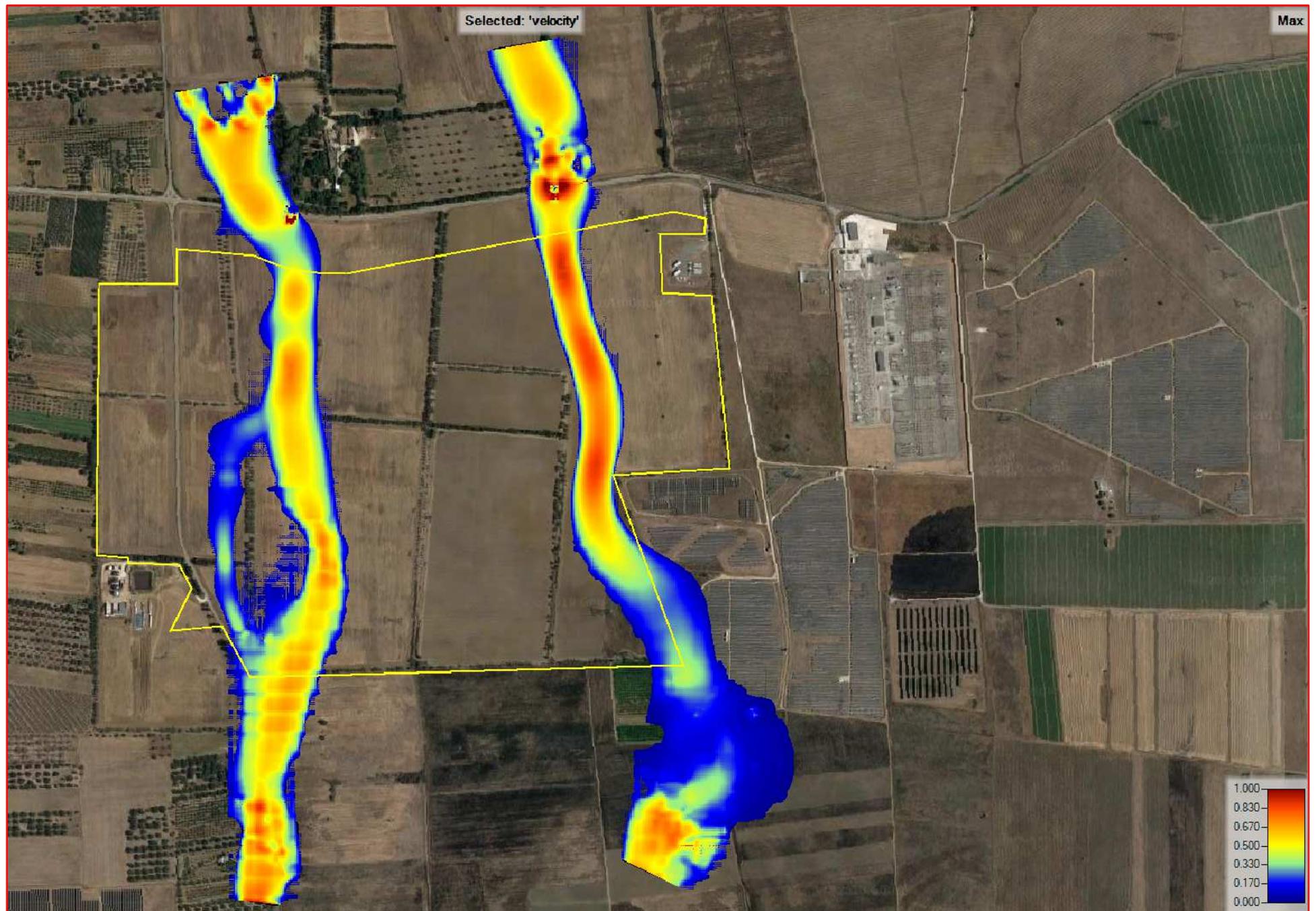


Fig. 10: Velocità massima della corrente duecentennale, sc. 1:10.000.

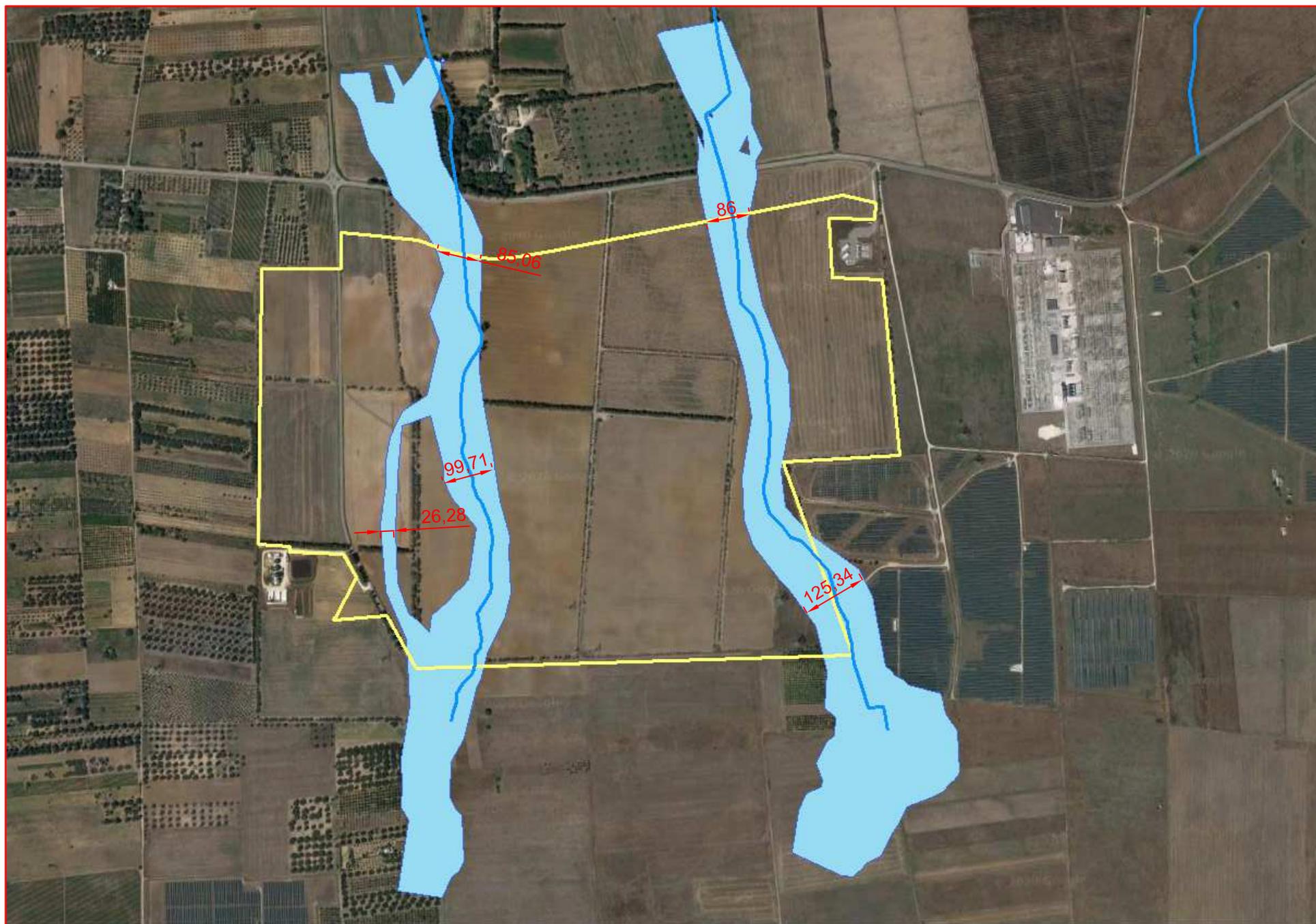


Fig. 11: Pericolosità idraulica residua in seguito al taglio ( $T_r=200$  anni), con reticolo AdB su sfondo, sc. 1:10.000.