



# MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Direzione Generale per la Crescita Sostenibile e la qualità dello Sviluppo  
Divisione V - Sistemi di Valutazione Ambientale



**REGIONE PUGLIA**



**PROVINCIA  
BRINDISI**

**SAN PANCRAZIO  
27.320 kWp**



Progettazione e coordinamento	dott. arch. Roberto CARLUCCIO via Nino Bixio 60/b 72023 Mesagne (BR) - Italy	 via Napoli n° 363/I 70132 Bari - Italy	Prog. Impianto fotovoltaico
Studio Geologico	dott. geol. Luisiana SERRAVALLE via Puglie n° 1 72027 S. Pietro Vernotico (BR) - Italy	 3E Ingegneria srl via G. Volpe n° 92 56121 Pisa - Italy	Prog. Cavidotto e sottostazione
Studio Agronomico	dott. Alessandro COLUCCI via Monte Sarago n° 3 72017 Ostuni (BR) - Italy	RUWA srl acqua territorio energia via C. Pisacane n° 25F 88100 Catanzaro - Italy	Studio idraulico

Opera	<b>Progetto di un impianto fotovoltaico di 27.320 kWp nel comune di SAN PANCRAZIO SALENTINO</b>			
Oggetto	Folder A - Progetto definito			
	Nome elaborato San Pancrazio Salentino_Doc_A10			Scala
Revisione	Descrizione elaborato Studio Idraulico		Elaborazione	Verifica
	00/00/2021	Oggetto revisione		
	00/00/2021	Oggetto revisione		
	00/00/2021	Oggetto revisione		
	Codice Pratica <b>"SAN PANCRAZIO"</b>			

**COMUNE DI SAN PANCRAZIO**

***Provincia di Brindisi***

***STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA A CORREDO DELLA  
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI  
SAN PANCRAZIO (BR)***



***Maggio 2020***

***Ing Dario Tricoli***

Via Carlo Pisacane 25/F  
88100 Catanzaro  
tel/fax 0961 33381 - cel. 349 6187665  
[www.ruwa.it](http://www.ruwa.it) – [www.tricardi.it](http://www.tricardi.it) – [dario.tricoli@libero.it](mailto:dario.tricoli@libero.it) - P.I. 02723670796

**COMUNE DI SAN PANCRAZIO**  
**Provincia di Brindisi**

**Committente:**

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI SAN  
PANCRAZIO (BR)**

**Studio di compatibilità idraulica**

**Maggio 2020**

**Il Tecnico**



A circular blue ink stamp from the Provincial Engineering Order of Catanzaro. The text inside the stamp reads: "ORDINE PROVINCIALE INGEGNERI", "Dot. Ing. Dario TRICOLI", "A", "N. 3003", and "CATANZARO". Below the stamp is a handwritten signature in blue ink.

## Indice generale

1 – Premessa.....	4
2 – Ricostruzione quadro conoscitivo.....	6
2.1 - Inquadramento generale.....	6
2.2 – Pianificazione a scala di bacino.....	10
2.3 – Modello digitale del terreno (DEM).....	12
2.4 - Uso del suolo.....	17
2.5 – Litologia e geologia.....	19
2.6 – Curve Number.....	21
2.7 - Caratteristiche pluviometriche.....	24
3 – Analisi del rischio idraulico.....	26
3.1.– Modellistica utilizzata.....	27
3.1.1 – Modellazione Idrologica.....	27
3.1.2 – Modellazione Idraulica.....	30
3.2.– Studio idrologico.....	38
3.2.2 – Risultati ottenuti.....	41
Separazione delle piogge.....	41
3.3.– Verifiche idrauliche stato attuale.....	44
3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale.....	44
3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale.....	49
3.4.– Descrizione interventi in progetto.....	54
3.5.– Verifiche idrauliche dello stato di progetto.....	56
4 – Conclusioni e raccomandazioni.....	57
ALLEGATO A – Modellazione idraulica - Carte dei battenti e delle velocità.....	60

## 1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a nord-est rispetto al centro abitato di Avetrana (BR) e a sud-ovest rispetto al centro abitato di San Pancrazio Salentino (BR) dove il committente ha predisposto un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico. I lotti in cui si vogliono realizzare gli impianti ricadono in una zona pianeggiante posizionata nei pressi di un corso d'acqua così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi Figg. 1 e 2).

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica dal Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area ad alta, media o bassa pericolosità idraulica (come evidenziato nella planimetria riportata in Fig. 1);

Considerata la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella carta Idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall'art.6 *“Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”* nelle NTA del PAI. In particolare, il *comma 1* dell'Art. 6, definisce che: *“Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità.”*, al *comma 7* definisce che *“ Per tutti gli interventi nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.”*

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, senza che si verifichi un aumento delle condizioni di rischio idraulico nel territorio circostante, in accordo con la normativa vigente, è stato redatto il presente studio secondo le procedure previste nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Per le motivazioni sopra riportate, nell'ambito dell'incarico ricevuto, è stato effettuato uno studio idraulico basato a monte su una modellazione afflussi – deflussi e quindi a valle su un modello idrodinamico bidimensionale di maggior dettaglio in grado di simulare al meglio la propagazione dei deflussi sul territorio utilizzando un modello digitale del terreno con cella di 1 m disponibile nella zona e rilevato con tecnica lidar. Di seguito sono dapprima descritte le varie fasi del lavoro di ricostruzione ed aggiornamento del quadro conoscitivo e quindi di individuazione delle aree allagabili con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni.

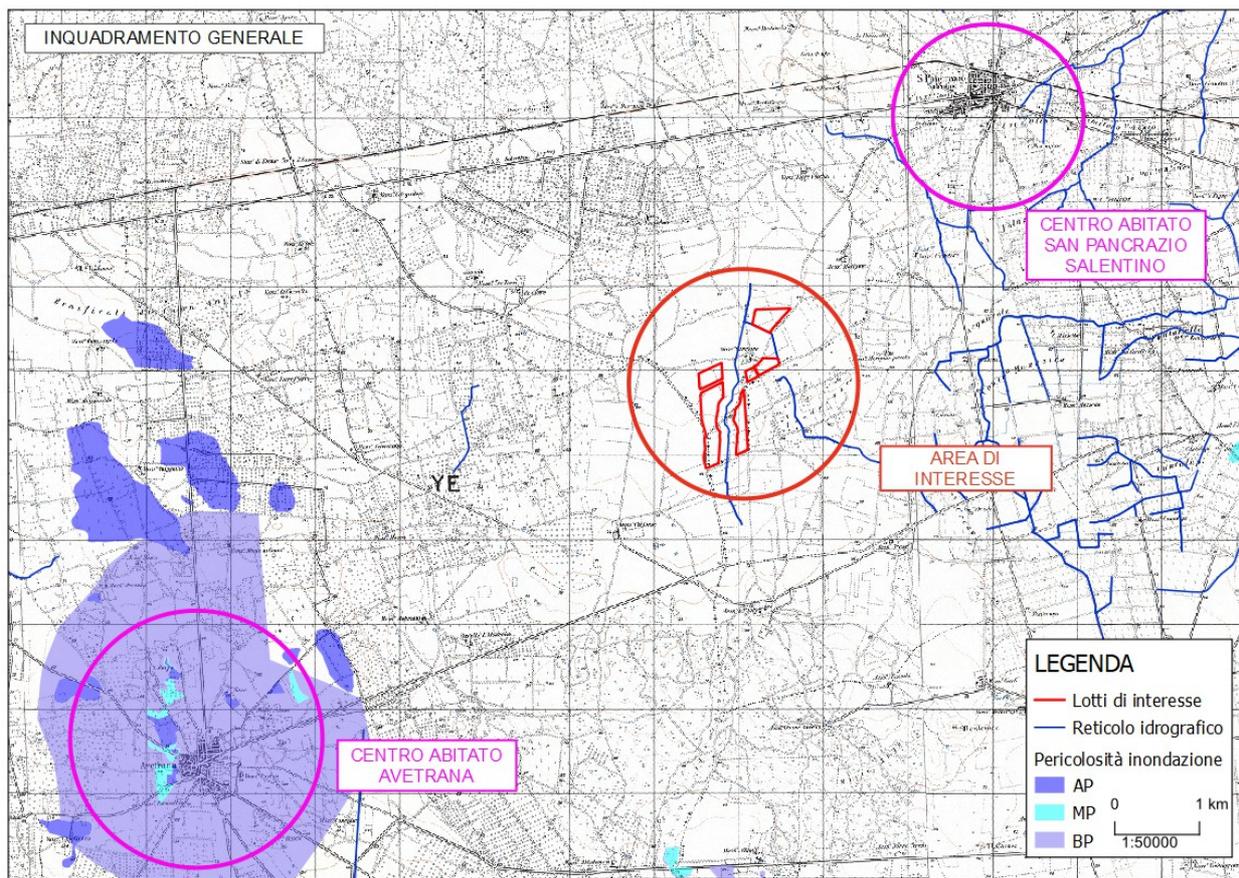


Fig. 1: Inquadramento PAI su IGM 25K

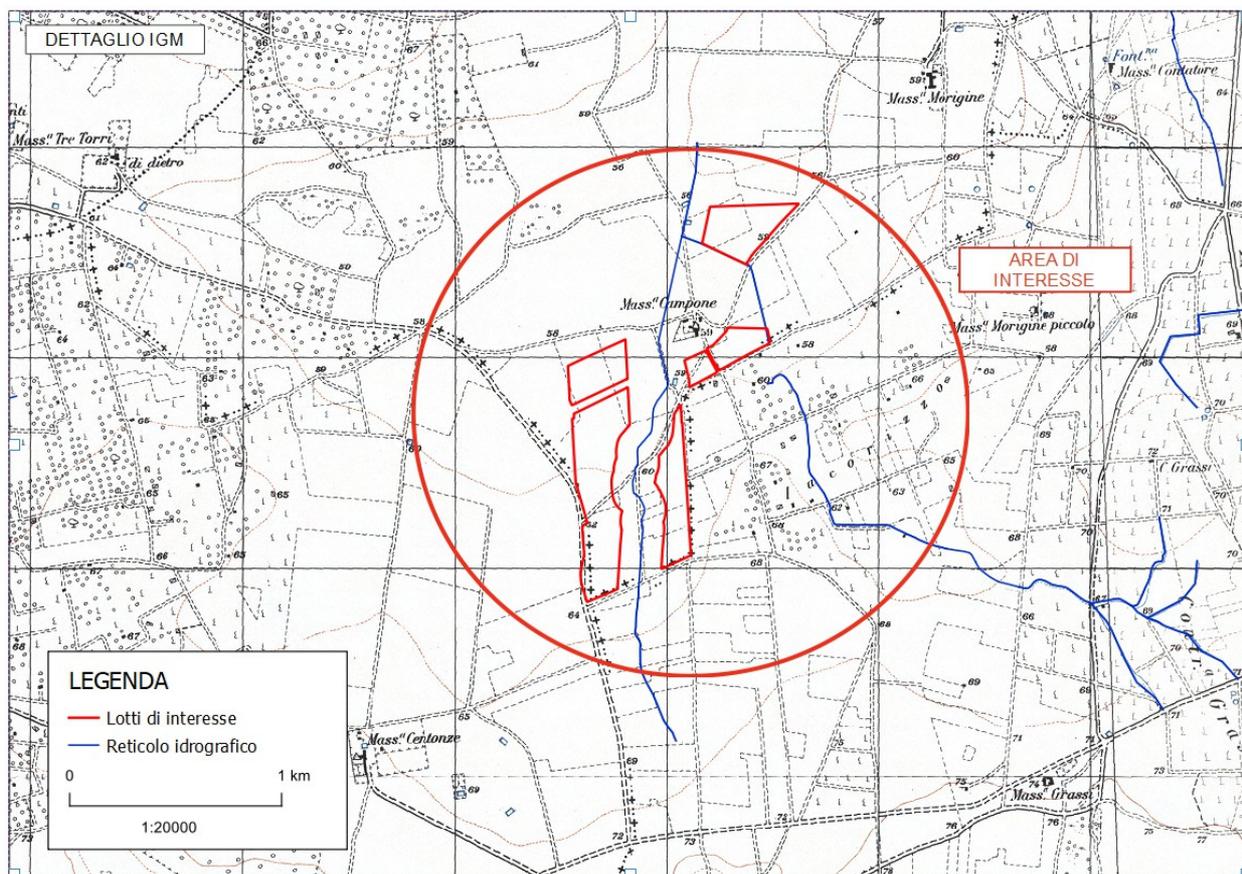


Fig. 2: Dettaglio area di intervento

## **2 – Ricostruzione quadro conoscitivo**

### **2.1 - Inquadramento generale**

Nella figura 2 è riportata, su base cartografica IGM, un dettaglio dell'area oggetto di intervento (in rosso) ricadente nel Comune di San Pancrazio Salentino (BR) unitamente al reticolo idrografico desunto dalla Carta Idrogeomorfologica disponibile. Nelle figure 3 e 4 è invece riportato un dettaglio della zona di interesse rispettivamente su base Cartografia Tecnica Regionale e su ortofoto.

Dall'esame della cartografia risulta che l'area in oggetto ricade in una zona pianeggiante con una ricca presenza di depressioni dovute a zone di recapiti endoreici come mostrato in Fig. 5.

Considerata l'orografia dei luoghi si intende precisare che il dominio di calcolo da utilizzare nell'ambito della modellazione idraulica sarà opportunamente esteso a monte e valle della zona di interesse al fine di svincolare il funzionamento del modello dell'area di maggiore interesse rispetto a quello che avviene in corrispondenza dei contorni del dominio in cui vengono imposte le condizioni al contorno. Di seguito saranno riportate le principali caratterizzazioni dell'area di interesse che sono state raccolte all'interno di un sistema informativo territoriale (SIT) in ambiente GIS.

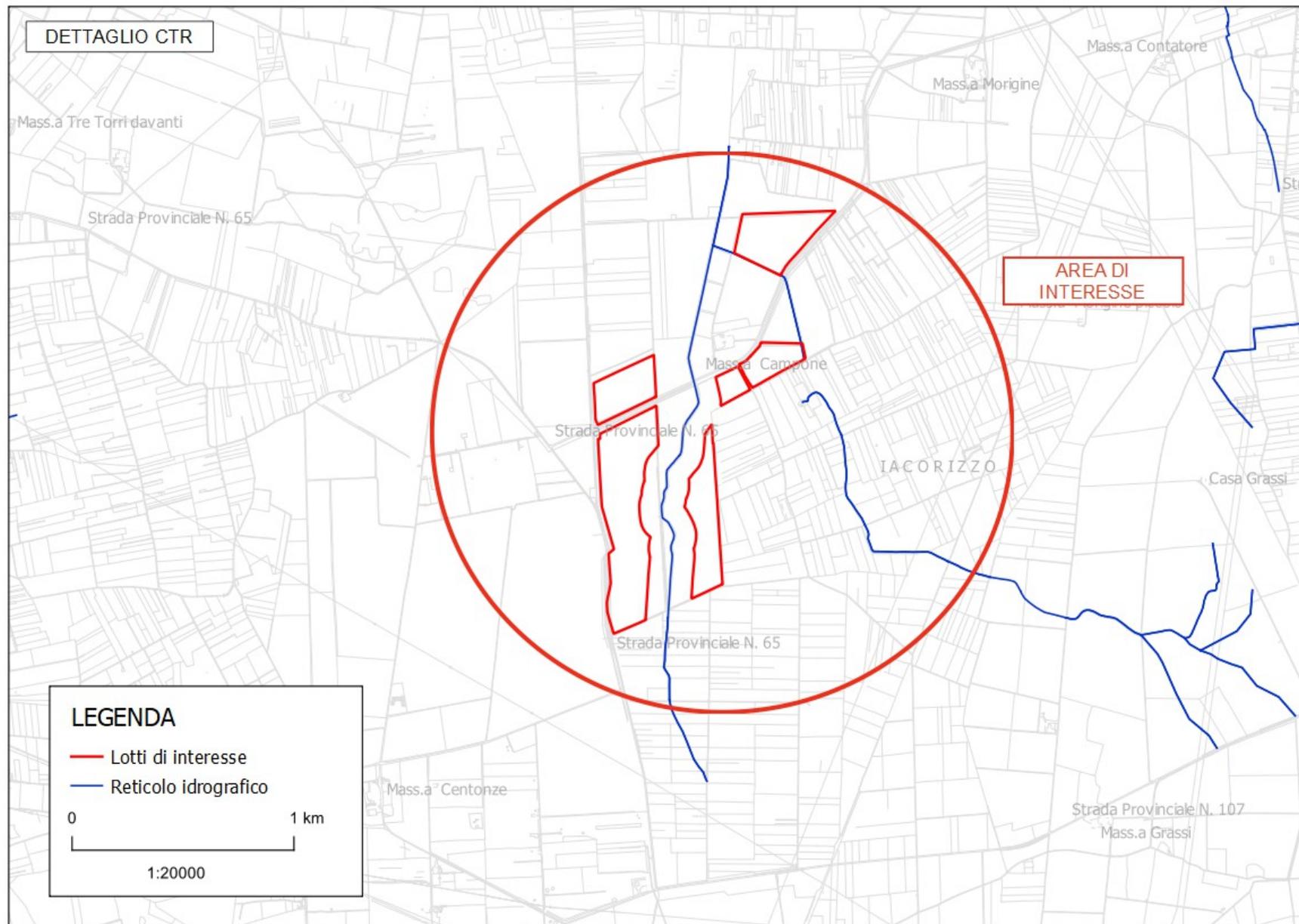


Fig. 3: Area di interesse – CTR 5k

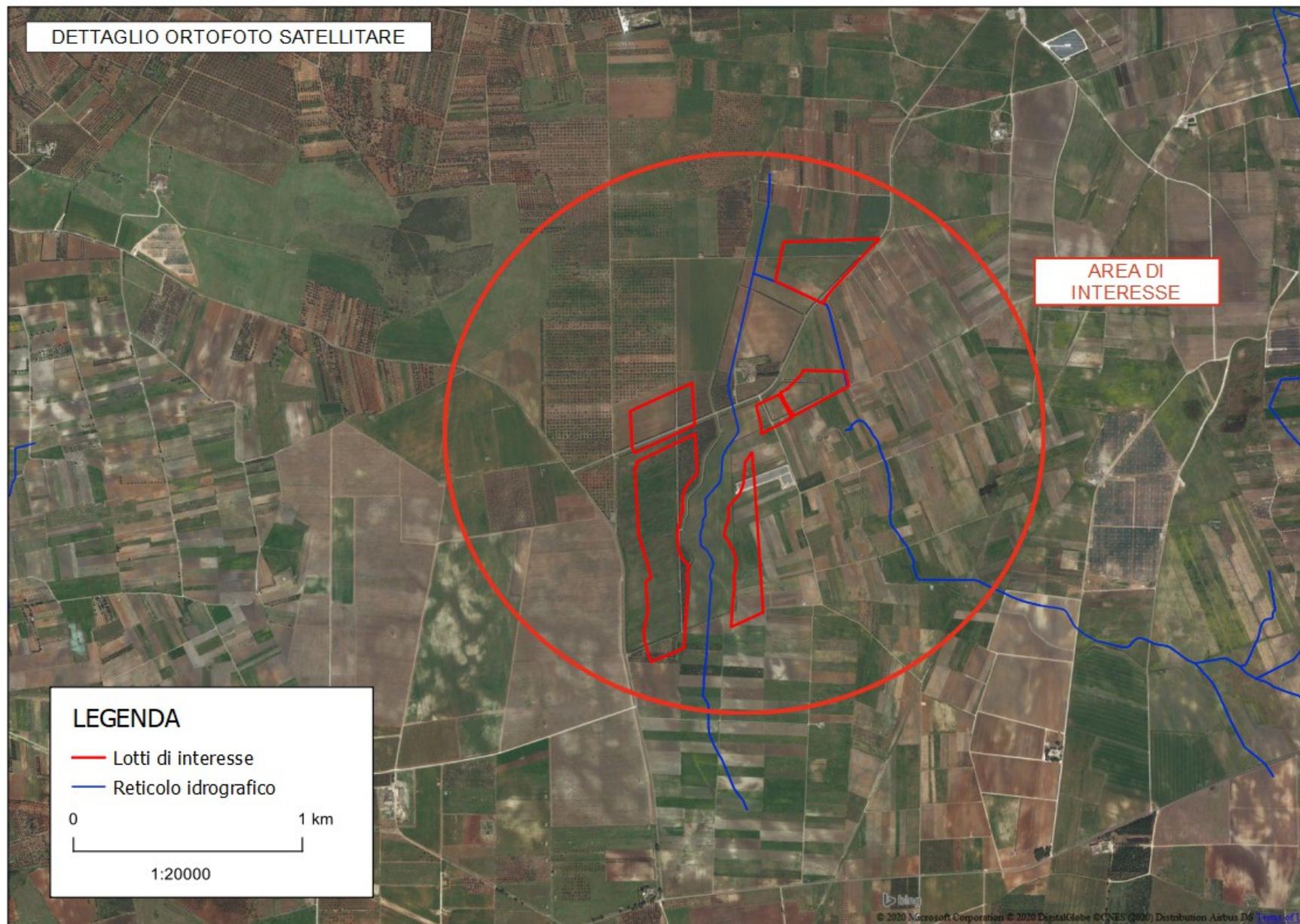


Fig. 4: Area interesse - Ortofoto

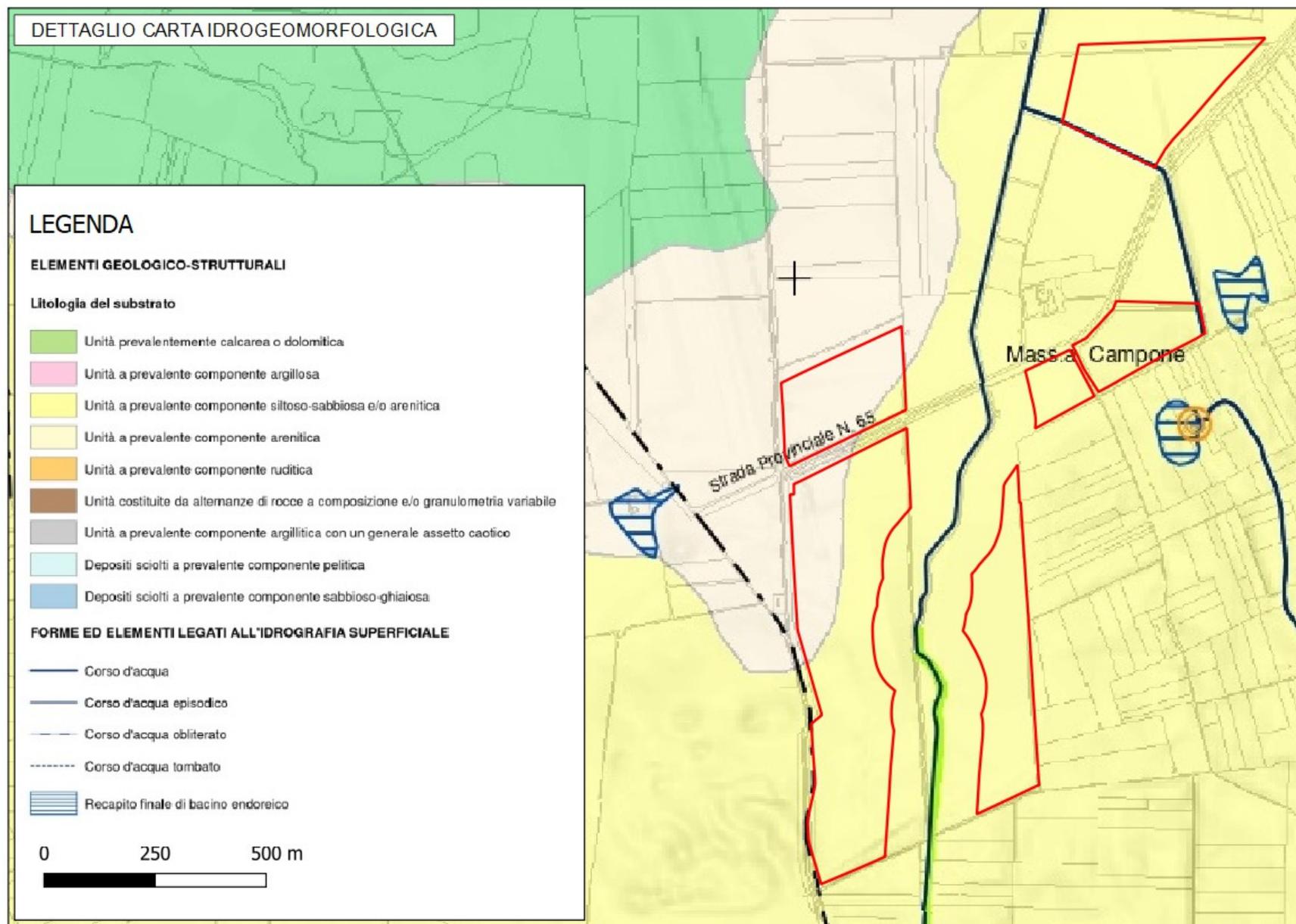


Fig. 5: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeomorfologica

## **2.2 – Pianificazione a scala di bacino**

A seguito del D. Lgs. 49/2010, il MATTM ha pubblicato gli “Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni”. Nel sopra citato documento vengono indicate le procedure da seguire allo scopo di rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva 2007/60 e dal D. Lgs 49/2010 delineando “un percorso di omogeneizzazione delle metodologie di definizione e rappresentazione delle mappe di pericolosità e rischio sul territorio nazionale, al fine di capitalizzare quanto ad oggi realizzato e affrontare in modo condiviso, organico ed adeguato la gestione del rischio idraulico in Italia nel prossimo futuro.”

Per rispettare il sopra citato quadro normativo viene richiesto alle singole regioni di redigere il Piano di Gestione del Rischio Alluvionale (PGRA) sotto il coordinamento delle competenti Autorità di Distretto idrografico. Attraverso l'elaborazione del PGRA è stato condotto uno studio storico-geografico degli eventi alluvionali, dal quale è stato possibile ricavare tutte le informazioni utili per la redazione degli studi idrologici-idraulici e per la mappatura di nuove aree a pericolosità idraulica su tutto il territorio di competenza. Per quanto riguarda l'area oggetto di studio si riportano i dati ottenuti in termini di aree perimetrate, che coincidono con quelle del PAI adottato come riportato, rispettivamente, nella Fig 6. L'area oggetto di studio non risulta di fatto, in accordo con quanto contenuto nel PAI della Regione Puglia, classificata come area ad alta, media e/o bassa pericolosità idraulica.

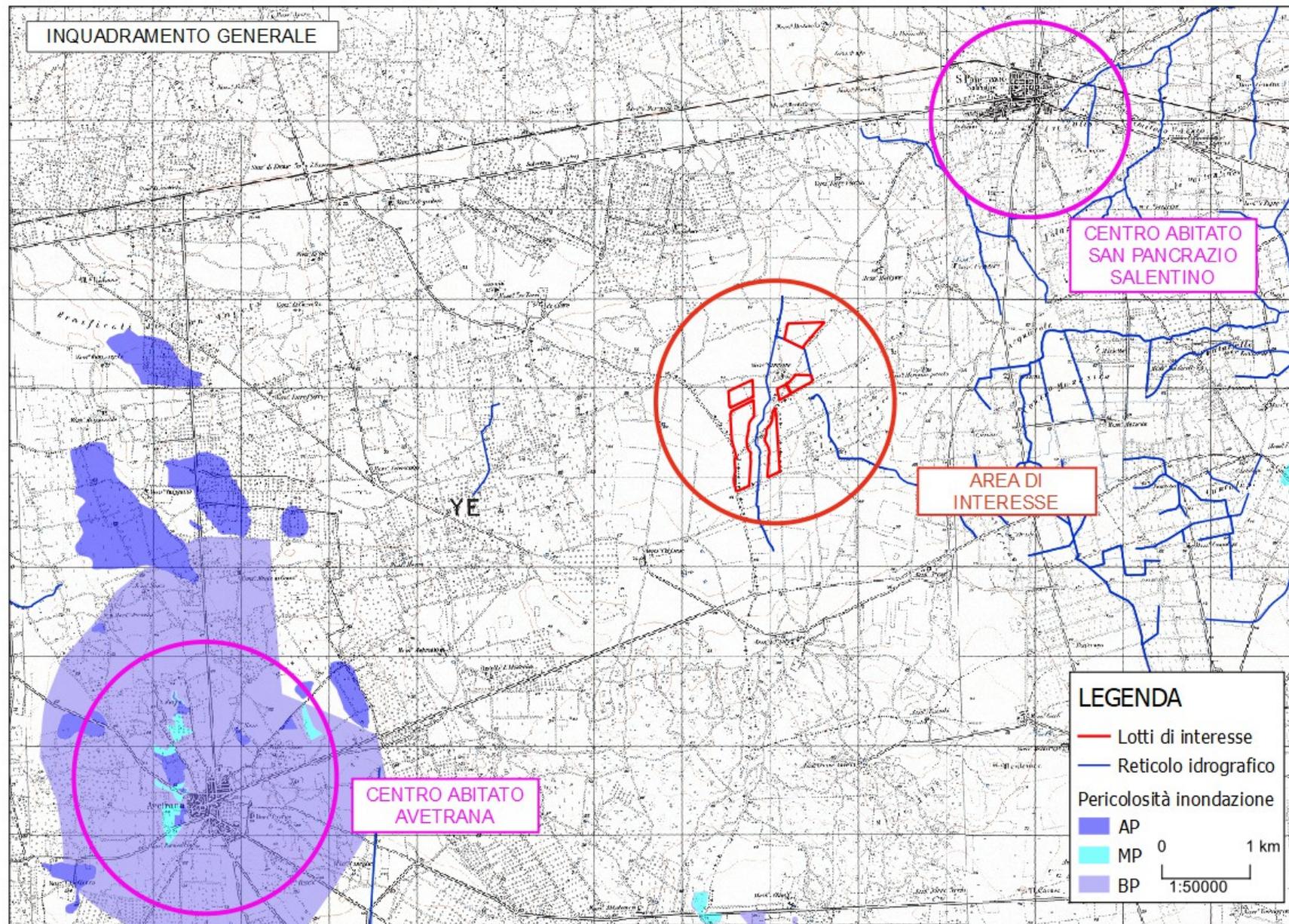


Fig. 6: Perimetrazione pericolosità inondazione (PAI)

## 2.3 – Modello digitale del terreno (DEM)

Per lo sviluppo delle attività in oggetto è stato predisposto un Sistema Informativo Territoriale all'interno del quale è stato raccolto tutto il materiale topografico disponibile per l'area di interesse. Particolare importanza ha assunto in tale ambito il reperimento dei dati morfologici del terreno nella fattispecie il modello digitale del terreno. Dapprima è stato considerato il DTM dell'area di interesse con risoluzione di cella pari a 8 m messo a disposizione dal SIT Puglia (vedi fig.7).

Per completare e meglio dettagliare l'informazione topografica nel dominio di calcolo si è reso necessario il reperimento dei dati Lidar con cella 1 m in modo tale da rappresentare al meglio lo stato dei luoghi durante le modellazioni idrauliche e quindi simulare la propagazione dei deflussi nell'area di interesse in maniera quanto più prossima alla realtà così come riportato in Fig. 8

Tutti i dati cartografici disponibili, implementati in un Sistema Informativo Territoriale mediante software GIS, hanno permesso di applicare una procedura automatica per l'estrazione dei bacini idrografici che interessano la zona oggetto di studio. In particolare, sulla base del modello digitale del terreno con risoluzione a 8 metri, è stata eseguita la procedura automatica Tau-DEM per la delimitazione dei bacini idrografici di interesse. Il risultato della procedura è riportato in fig. 9 che mostra la delimitazione dei bacini idrografici estratti dal DEM mentre in tab 1 sono riportati i valori delle aree dei singoli sottobacini.

Da una prima verifica risulta inoltre una parziale coerenza tra il reticolo estratto con tecniche automatiche dal DEM in ambiente GIS (linea viola tratteggiata) ed il reticolo della carta idrogeomorfologica (linea in blu), vedi fig. 10 sebbene permangano alcune differenze dovute alla risoluzione del dem utilizzato.

SOTTOBACINI	AREA (kmq)
SB_01	10.90
SB_02	5.93
SB_03	1.74
SB_04	0.53
SB_05	1.13
SB_06	6.47
SB_07	2.46
SB_08	3.10
SB_09	6.00
SB_10	1.22
SB_11	2.40
SB_12	0.76
<b>TOTALE</b>	<b>42.64</b>

Tabella 1: Valori delle aree per ciascun sottobacino individuato

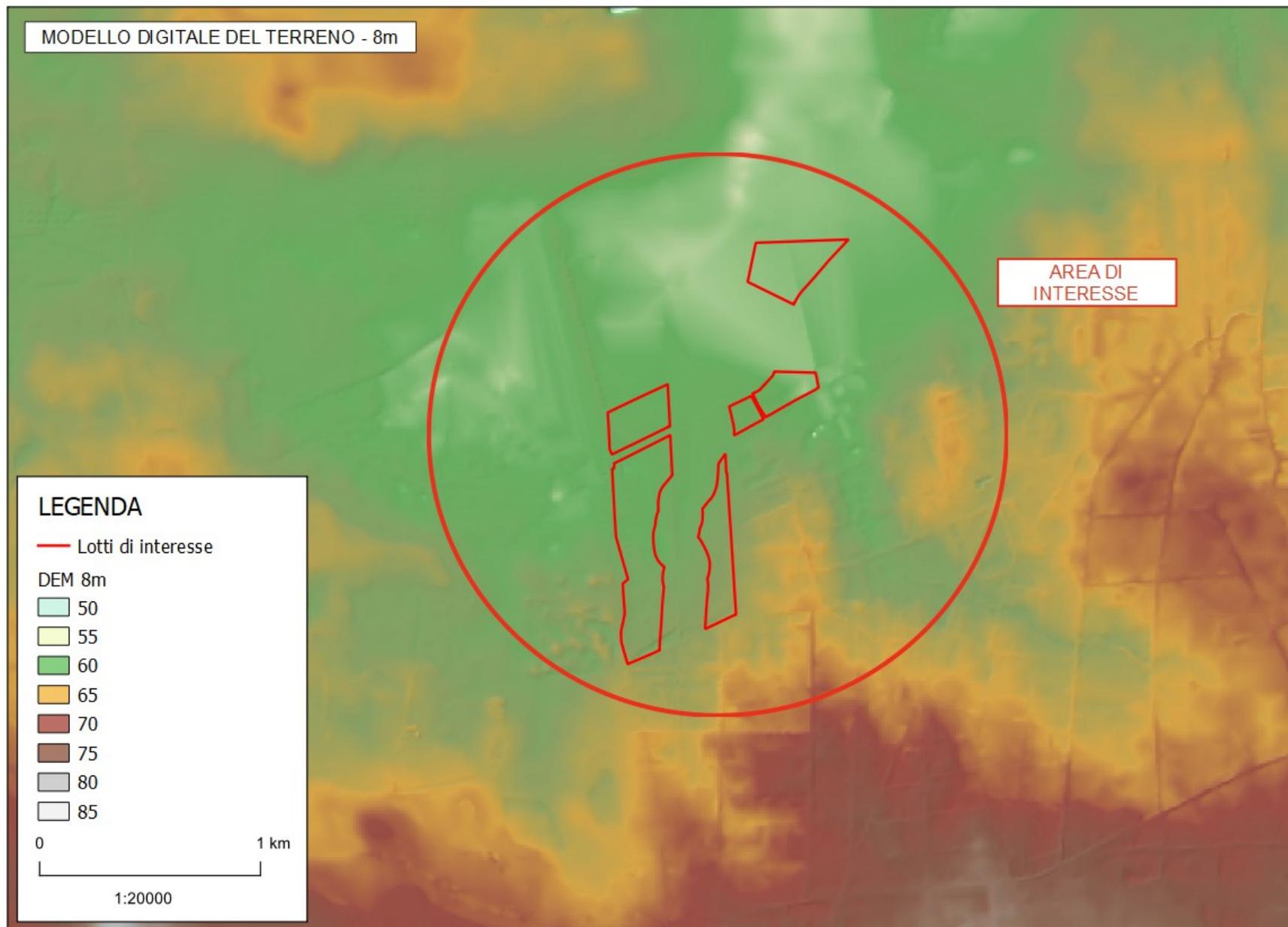


Fig. 7: Dettaglio del modello digitale del terreno a 8m nell'area di intervento.

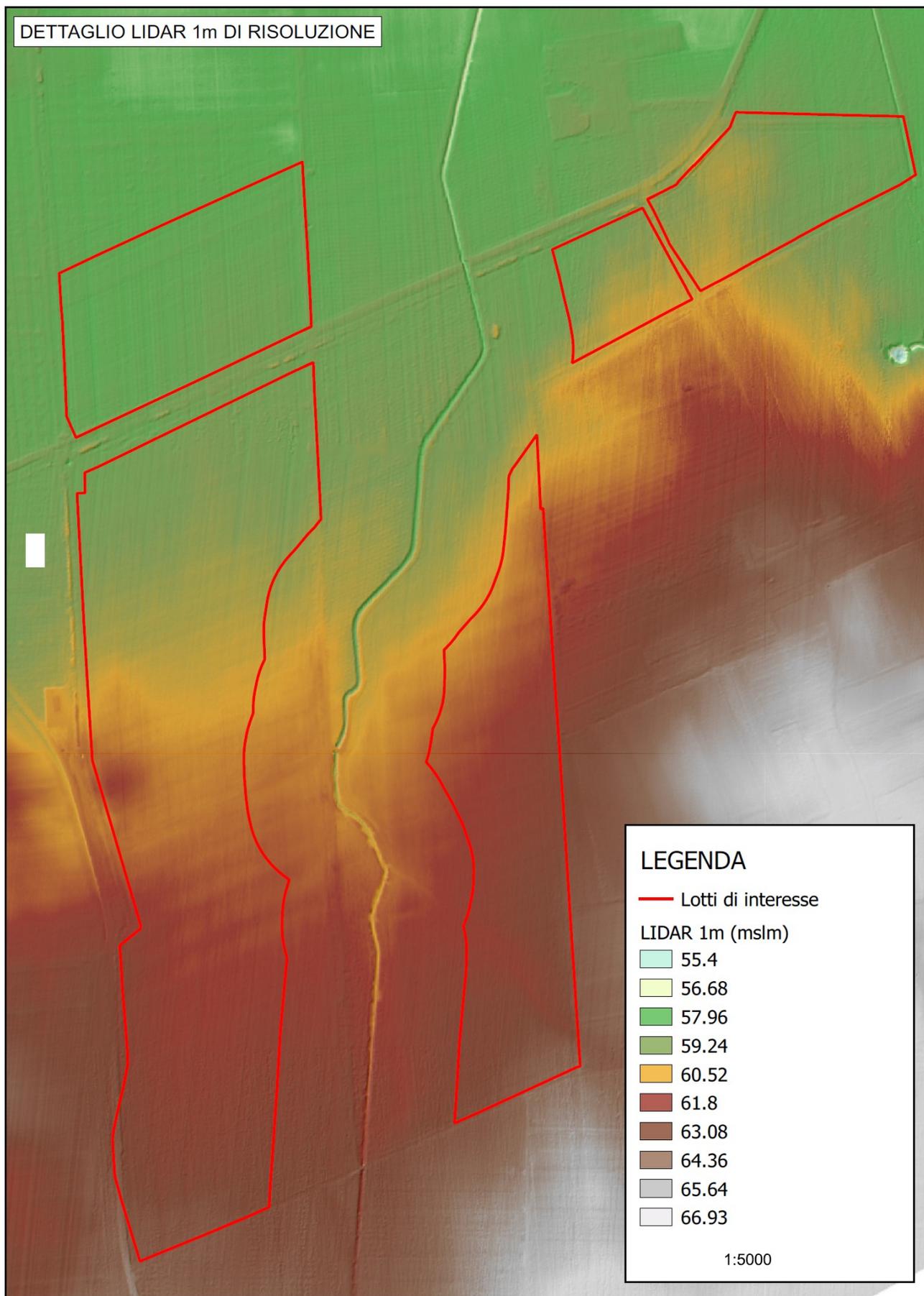


Fig. 8: Modello Digitale del Terreno (1 metro)

Comune di San Pancrazio (BR) – Studio compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

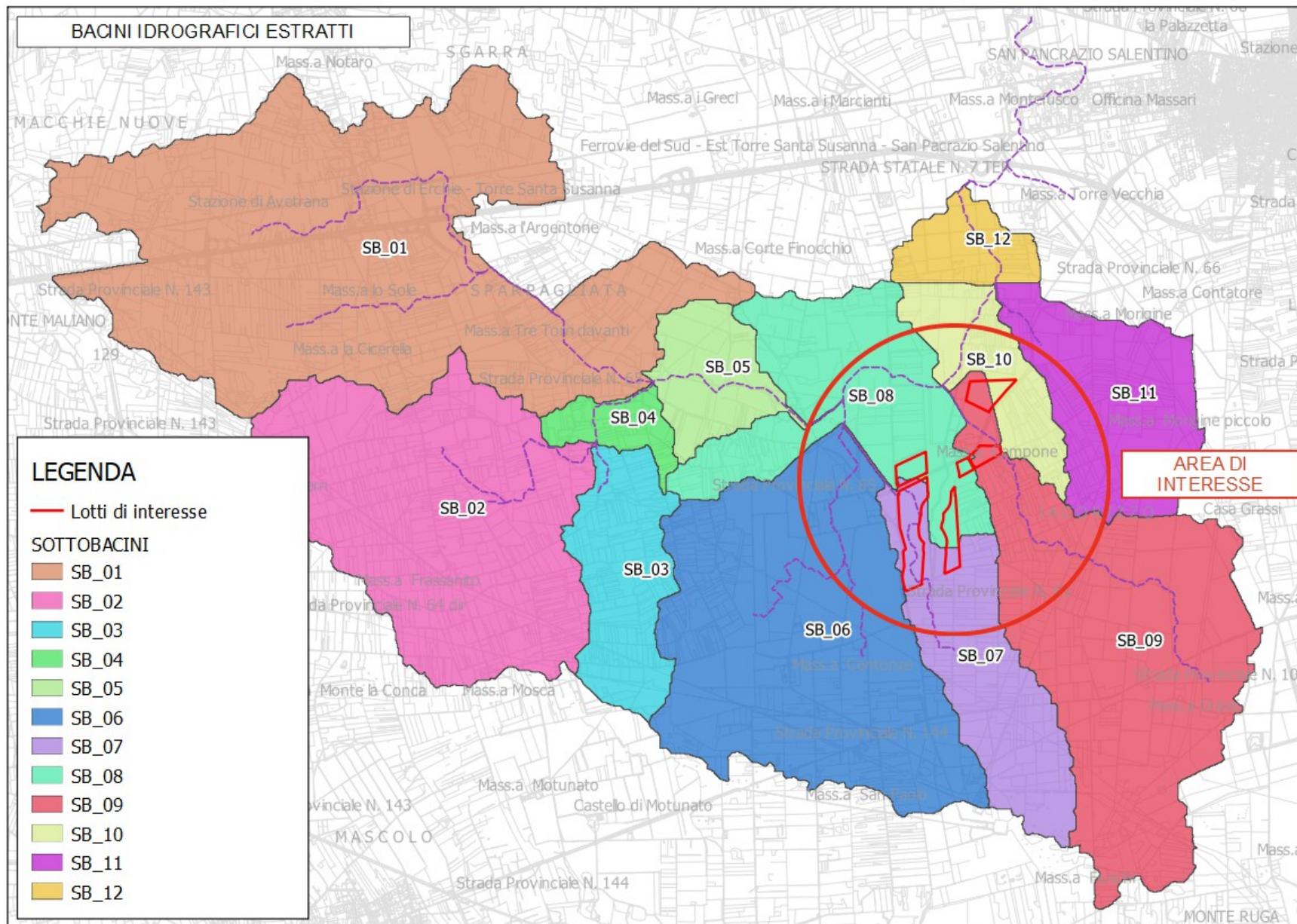


Fig. 9: Bacini idrografici estratti dalla procedura automatica in ambiente GIS.

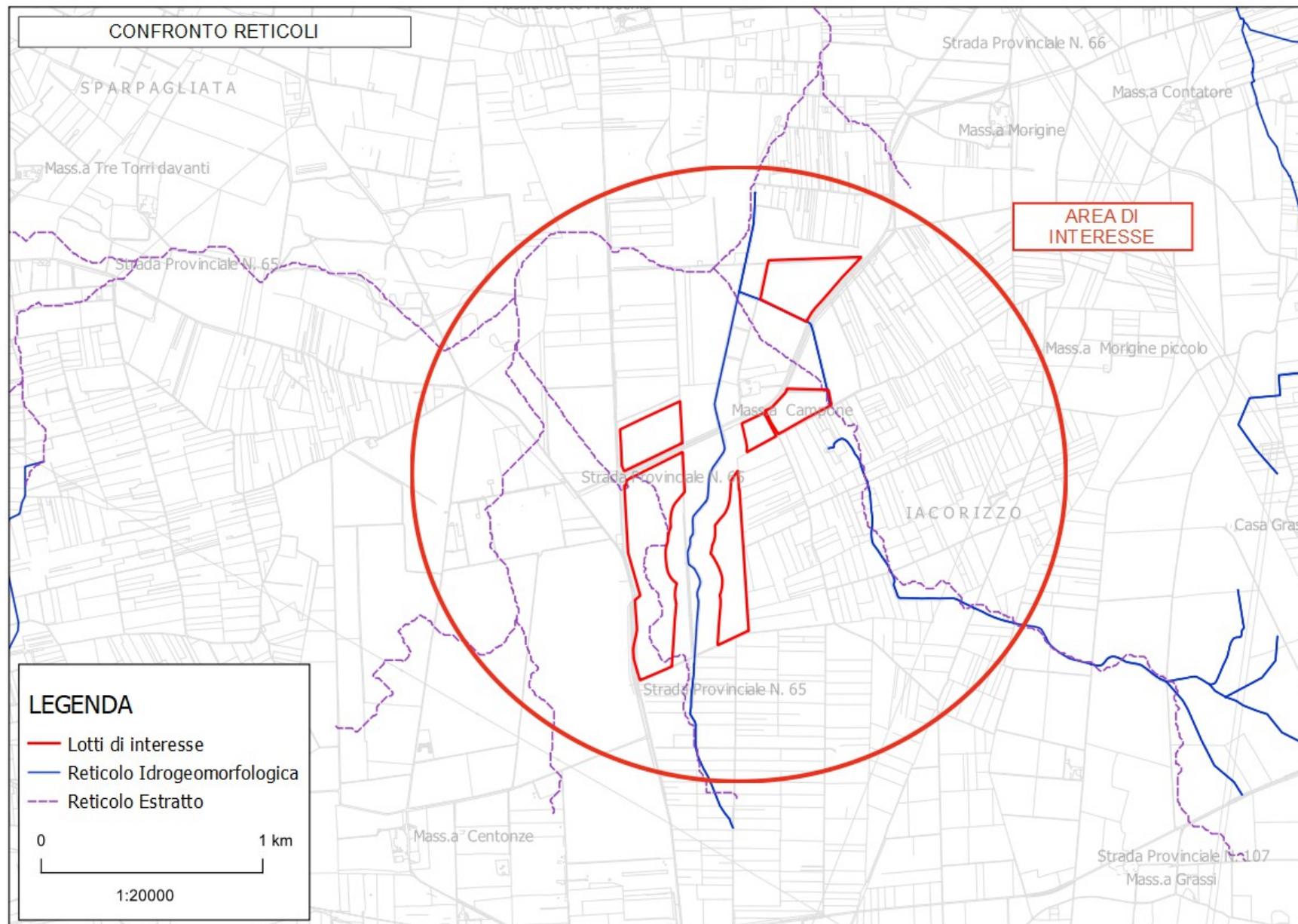


Fig. 10: Confronto tra il reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica con il reticolo estratto con la procedura automatica tau-dem in ambiente GIS.

## 2.4 - Uso del suolo

Ai fini della ricostruzione dell'uso del suolo sono stati utilizzati i dati disponibili presso il SIT della Regione Puglia, vedi figura 11. Si fa notare che, ai fini della modellazione, la classificazione utilizzata per l'uso del suolo si ferma al III livello della legenda del Corine Land Cover, non si è ritenuto opportuno infatti utilizzare un maggiore dettaglio a causa delle difficoltà di attribuzione dei parametri per il metodo di trasformazione afflussi – deflussi che si intende adottare. Si ritiene peraltro che tale semplificazione non altera in modo significativo i risultati del presente studio. Dall'esame delle classi di uso del suolo si può notare come il territorio nel dominio di calcolo sia sfruttato principalmente ad uso agricolo, con la presenza prevalente di oliveti per una percentuale di circa il 23 %, seminativi in aree non irrigue per una percentuale di circa il 22.5 % e vigneti per il 20%. Sono presenti inoltre aree a pascolo naturale e sistemi colturali e particellari complessi.

LIVELLO_3	DESCRIZIONE	AREA (Kmq)	AREA (%)
211	Colture orticole da pieno campo a ciclo estivo - autunnale o estivo - primaverile	2.07	4.86
	Colture orticole da pieno campo primaverile - estivo	1.06	2.50
	Seminativi in aree non irrigue	9.62	22.59
221	Vigneti	8.87	20.84
223	Oliveti	10.06	23.64
241	Colture annuali associate a colture permanenti	0.49	1.14
242	Sistemi colturali e particellari complessi	2.59	6.09
321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	7.80	18.33

Tabella 2: Superfici occupate dalle classi di uso del suolo (CLC III livello)

Comune di San Pancrazio (BR) – Studio compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

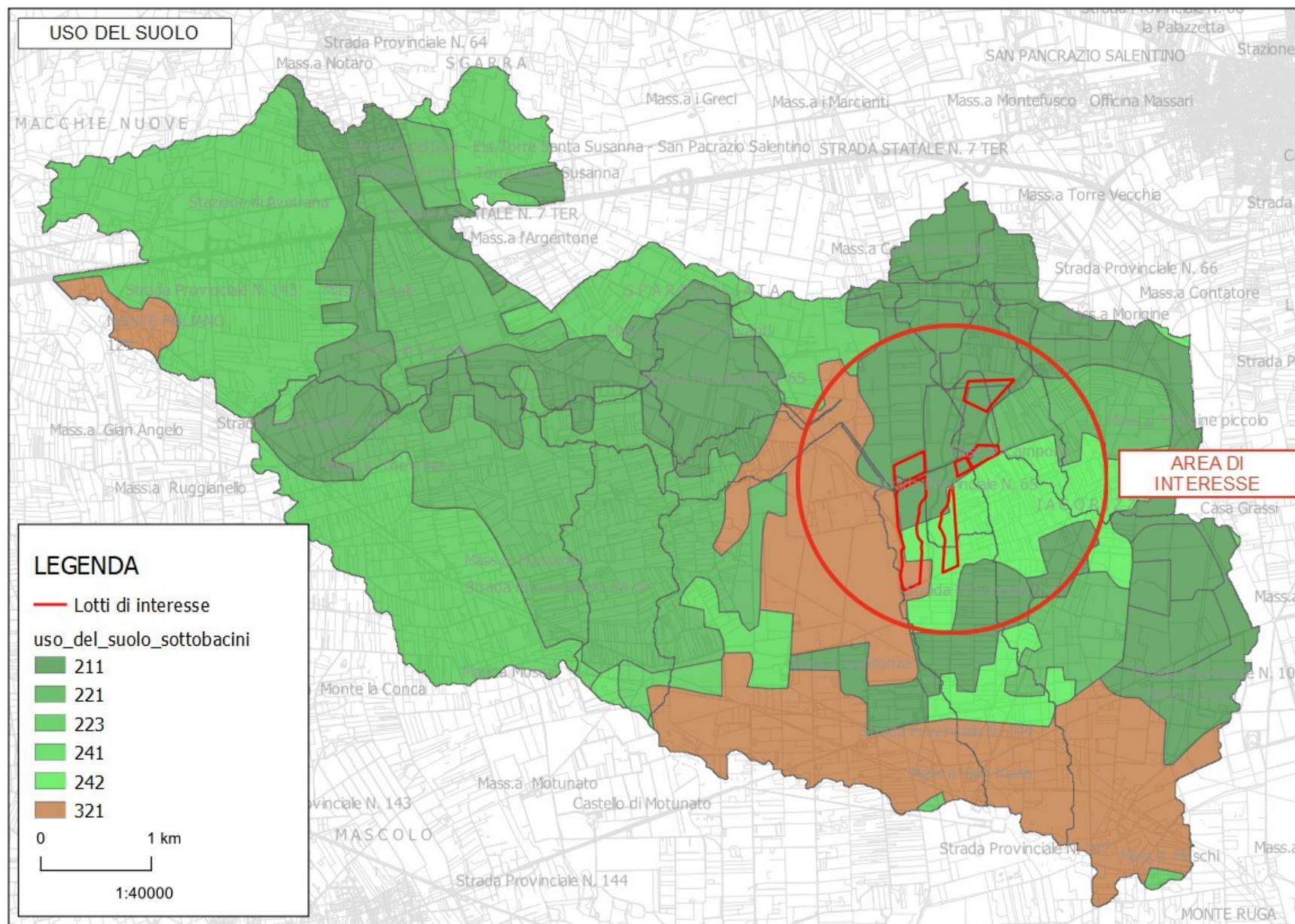


Fig. 11: Carta Uso del suolo

## 2.5 – Litologia e geologia

Per l'individuazione della permeabilità dei suoli è stata utilizzata la litologia presente nella carta idrogeomorfologica, vedi fig. 12.

Dall'esame della carta litologica si evince che l'intera è costituita da prevalentemente arenitiche e rocce calcaree e/o dolomitiche. A queste classi litologiche è stato associato una classe di permeabilità coerentemente a quanto riportato nella tab 3 .

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'
<b>GRUPPO A</b> - Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
<b>GRUPPO B</b> - Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
<b>GRUPPO C</b> - Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
<b>GRUPPO D</b> - Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Tabella 3: Classi di permeabilità

Comune di San Pancrazio (BR) – Studio compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

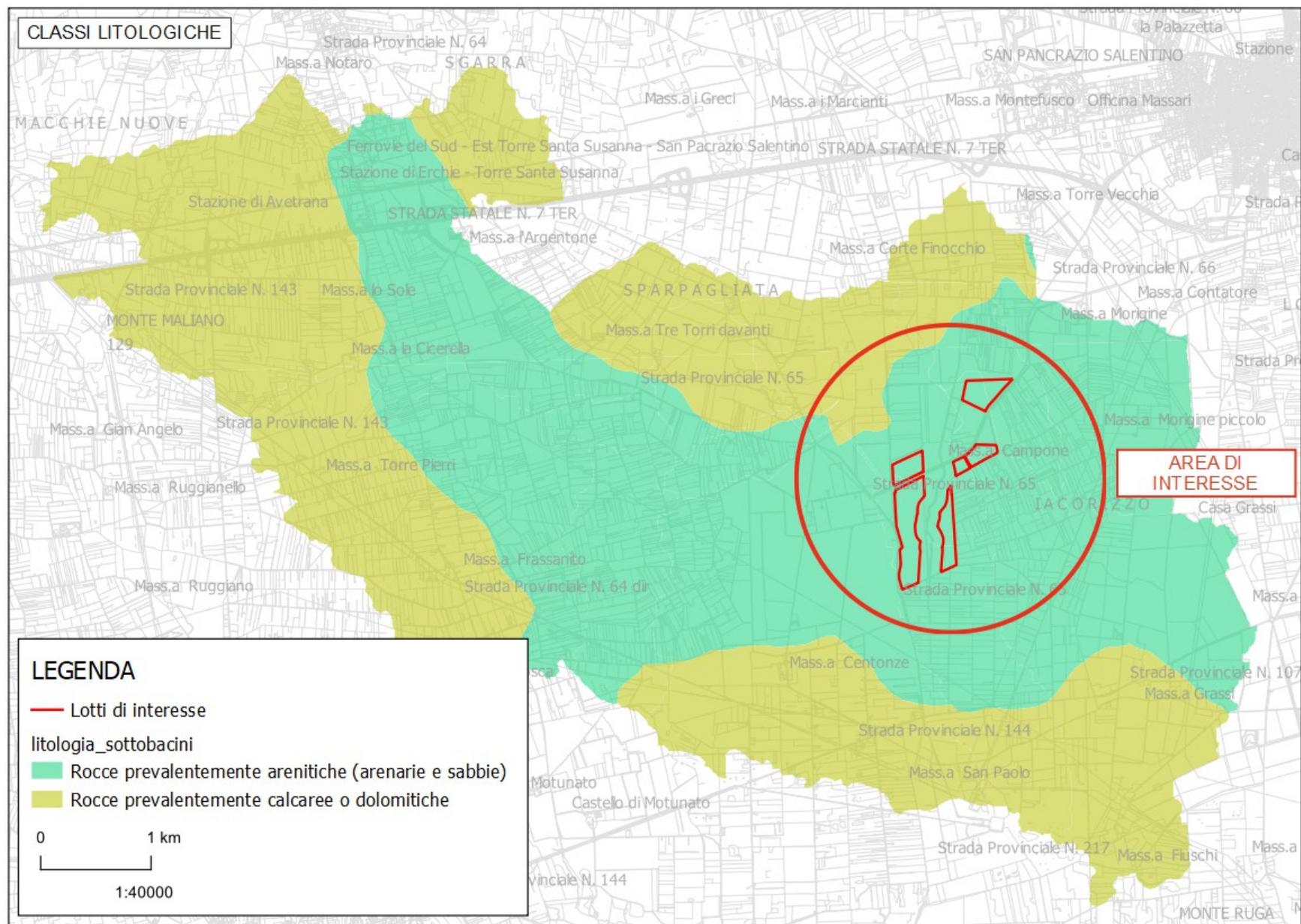


Fig. 12: Carta classi litologiche

## 2.6 – Curve Number

Per l'individuazione del valore del Curve Number per i diversi sottobacini idrografici individuati come visto in precedenza e per l'intero dominio sono stati utilizzati i dati sull'uso del suolo, con riferimento al III livello della legenda del Corine Land Cover, e i dati riguardanti la permeabilità del terreno (litologia). Secondo la teoria sviluppata dal Soil Conservation Service il Curve Number, che caratterizza ogni suolo dal punto di vista della sua risposta idrologica, è funzione infatti dell'uso del suolo e della classe di permeabilità del terreno. Nel caso oggetto di studio la tabella di equivalenza utilizzata per ricavare il valore del Curve Number dai sopra citati parametri è riportata in tab. 5, tale tabella è stata ricavata dalle analoghe tabelle reperite in letteratura adattandola al contesto territoriale pugliese ed alla classificazione dell'uso del suolo del Corine Land Cover.

Una volta generata la carta del Curve Number è stato possibile attribuire un unico valore del CN per ogni bacino idrografico considerato, come si riporta in tab 4.

SOTTOBACINI	CN
SB_01	67.3
SB_02	67.5
SB_03	70.3
SB_04	74.2
SB_05	73.5
SB_06	72.4
SB_07	72.8
SB_08	72.6
SB_09	73.6
SB_10	75.4
SB_11	75.8
SB_12	72.3

Tabella 4: Valori del CN per ogni singolo sottobacino

N	CODICE CORINE (III LIV.)	DESCRIZIONE CORINE (III LIV.)	classe CN (MAIONE)	valori CN
1	111	Tessuto urbano continuo	H0	77,85,90,92
2	112	Tessuto urbano discontinuo	H1	61,75,83,87
3	121	Aree industriali o commerciali	F	89,92,94,95
4	122	Reti stradali e ferroviarie		89,92,94,95
5	131	Aree estrattive	F	89,92,94,95
6	132	Discariche		89,92,94,95
7	133	Cantieri		89,92,94,95
8	142	Aree sportive e ricreative		77,85,90,92
9	143	Cimiteri		77,85,90,92
10	211	Seminativi in aree non irrigue	A1	72,81,88,91
11	212	Seminativi in aree irrigue		72,81,88,91
12	221	Vigneti	A2	62,71,78,81
13	222	Frutteti e frutti minori	A2	62,71,78,81
14	223	Oliveti	A2	62,71,78,81
15	241	Colture annuali associate a colture permanenti	A2	62,71,78,81
16	242	Sistemi colturali e particellari complessi	A2	62,71,78,81
17	311	Boschi di latifoglie	D1	45,66,77,83
18	313	Boschi misti	D1	45,66,77,83
19	321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	B1	68,79,86,89
20	322	Brughiere e cespuglieti		62,71,78,81

Tabella 5: Valori del CN per classi di uso del suolo



## 2.7 - Caratteristiche pluviometriche

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per lo studio di compatibilità idraulica è stato fatto sulla base dello studio di regionalizzazione delle piogge redatto nell'ambito del progetto Vapi Puglia del GNDCI. La zona oggetto di studio ricade nella sottozona pluviometrica n.6 per la quale il progetto Vapi propone la seguente formulazione per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica:

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

In Fig. 14 è stata riportata un'immagine che rappresenta la suddivisione delle sottozone omogenee secondo quanto specificato nel progetto Vapi. Si può notare come l'area di intervento indicata dal cerchio di colore rosso ricada abbondantemente all'interno della sottozona n°6.



Fig. 14: Sottozone omogenee secondo il progetto Vapi Puglia.

Sono stati quindi ricavati i valori dei parametri "a" e "n" delle Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre differenti tempi di ritorno (30, 200, 500 anni), vedi tabella 6:

	Tr=30 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
a	66.7	93.0	105.8
n	0.2	0.2	0.2
t (h)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
0.25	50.5	70.4	80.1
0.5	58.1	80.9	92.1
1	66.7	93.0	105.8
2	76.7	106.9	121.6
3	83.2	115.9	131.9
4	88.1	122.8	139.7
5	92.1	128.4	146.1
6	95.6	133.2	151.6
7	98.6	137.4	156.3
8	101.2	141.1	160.6
9	103.7	144.5	164.4
10	105.9	147.6	167.9
11	107.9	150.4	171.1
12	109.8	153.1	174.2

Tabella 6: Valori delle curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

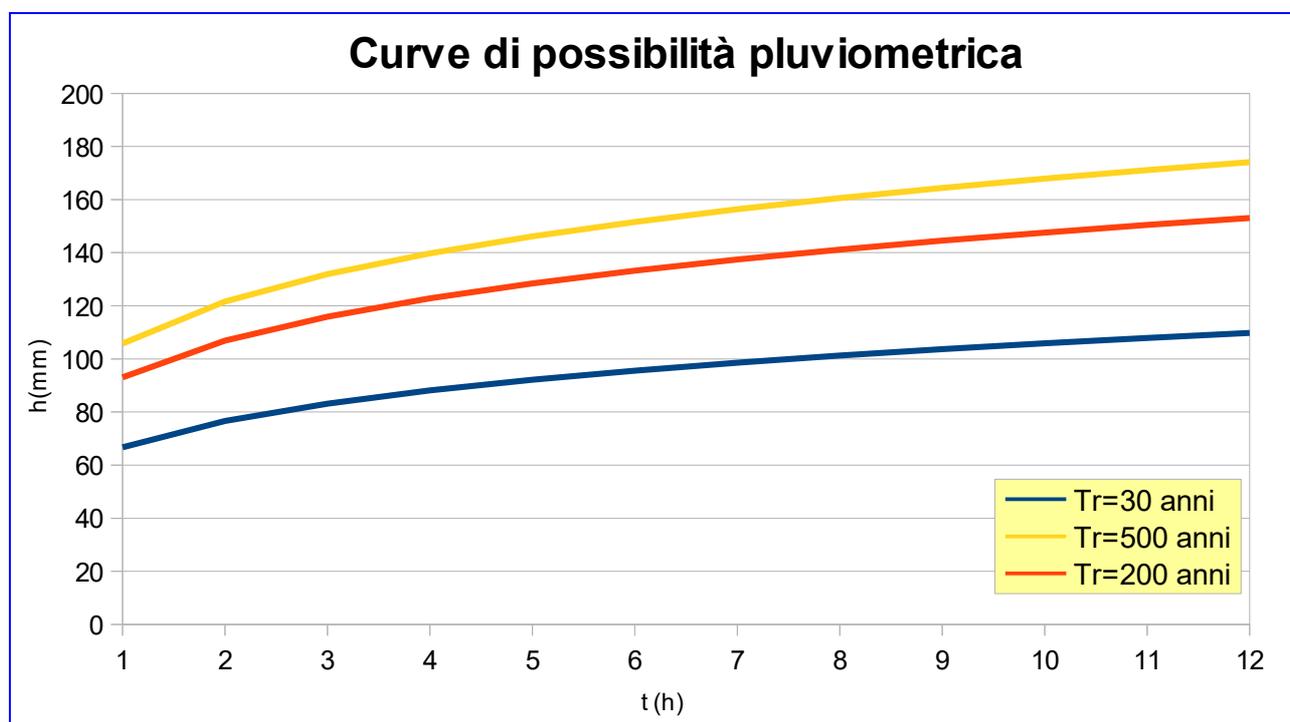


Fig. 15: Curve di possibilità pluviometrica per  $Tr = 30, 200, 500$  anni

### **3 – Analisi del rischio idraulico**

Allo scopo di valutare le condizioni di rischio idraulico dell'area oggetto di studio e quindi valutare la compatibilità dell'intervento previsto, è risultato necessario condurre preliminarmente un'indagine idrologica dei bacini idrografici che afferiscono all'area di studio unitamente ad una indagine idraulica per la determinazione delle criticità idrauliche che caratterizzano il reticolo idrografico di interesse. E' necessario dunque valutare innanzitutto l'afflusso-deflusso in termini di portata idrologica di piena per assegnato tempo di ritorno afferente all'area di interesse e di conseguenza investigare sulla propagazione dei deflussi lungo il reticolo idrografico al fine di verificarne la capacità di smaltimento. Si è ritenuto pertanto opportuno condurre lo studio basandosi su una modellazione bidimensionale dell'area oggetto di studio che abbia la possibilità di utilizzare come condizione al contorno di input tre diversi idrogrammi di piena, corrispondenti ai tre contributi di portata che defluiscono all'interno del dominio di calcolo.

Per la modellazione delle fasi di separazione delle piogge del fenomeno delle trasformazioni afflussi-deflussi, si è ritenuto opportuno utilizzare il metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service in quanto nella zona sono disponibili i dati di dettaglio dell'uso del suolo e della permeabilità che permettono di ricavare in modo corretto i valori del CN per le varie zone del dominio di calcolo.

Nel caso in esame è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione delle portate di piena dei bacini idrografici afferenti.

L'analisi idraulica dei reticoli idrografici ha previsto l'implementazione di una modellazione idraulica con schema bidimensionale e in regime di moto vario per valutare la propagazione delle fuoriuscite all'esterno dell'alveo dei corsi d'acqua che ha consentito di meglio individuare le condizioni di rischio idraulico dell'intera area di studio.

Di seguito si riportano le varie fasi dell'analisi idraulica condotta a partire dallo studio idrologico condotto.

### **3.1.– Modellistica utilizzata**

#### **3.1.1 – Modellazione Idrologica**

Il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi che avviene in un bacino idrografico investito da un evento pluviometrico può essere studiato con vari metodi a secondo dei dati disponibili e del grado di dettaglio ed accuratezza del risultato che si intende ottenere. Tutti questi metodi sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- concettuali: quando il fenomeno viene schematizzato nel dettaglio e scomposto nelle sue varie componenti per ciascuna delle quali si adotta un modello matematico che simula quanto avviene nella componente stessa (es: metodo dell'idrogramma unitario o il metodo cinematico);
- statistici: quando si fa unicamente un'analisi statistica dei deflussi e quindi le portate di piena del bacino idrografico vengono valutate sulla base di equazioni matematiche che possono dipendere anche da caratteristiche morfologiche del bacino stesso (es. : metodi di regionalizzazione delle piene del VaPi);
- formule empiriche: quando le portate massime vengono calcolate sulla base di semplici relazioni tarate sulla base di dati sperimentali (es: formule di Gherardelli-Marchetti, Mongiardini, Forti, De Marchi e Pagliaro).

Nel presente studio si farà riferimento ai metodi concettuali che sono quelli implementati nel software HEC-HMS utilizzato per condurre le simulazioni idrologiche. Tali metodi analizzano separatamente le varie fasi in cui il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi può essere scomposto e che sono:

- separazione delle piogge;
- formazione della piena;
- propagazione della piene;
- deflusso di base.

Per il calcolo della pioggia netta si è ricorso al metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS).

## Separazione delle piogge

Il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione o capacità di ritenzione del suolo (S) deriva dalla seguente relazione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

Dall'analisi del risultato di molte osservazioni sperimentali ne deriva che la perdita iniziale (Ia) è legata alla capacità di ritenzione del suolo (S) dalla relazione

$$Ia = 0.2 \times S$$

che è quindi il valore da utilizzare in mancanza di altri dati disponibili.

Il valore del Curve Number (CN) va, invece, rilevato in funzione dei dati contenuti nella tabella sotto riportata in funzione del tipo di copertura e uso del suolo e del tipo di suolo.

TIPO DI COPERTURA E USO DEL SUOLO	TIPO DI SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
PRATERIE				
buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSE O FORESTATI				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
.AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media				
%	77	85	90	92
65	61	75	83	87
38	57	72	81	86
30	54	70	80	85
25	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 7: Tipo di copertura e uso del suolo

Le classi di suolo sono riportate nella tabella successiva. In generale il valore del CN del bacino risulterà da una media pesata dei CN delle singole unità fisiografiche omogenee in cui il bacino può essere scomposto.

Ogni metodo di separazione delle piogge è influenzato dal grado di saturazione del suolo al momento del verificarsi dell'evento di pioggia. Il valore del CN del Soil Conservation Service come sopra descritto è associabile a condizioni medie di saturazione che corrispondono al valore 2 di Antecedent Moisture Condition (AMC) che come indicato nella tabella seguente è ricavabile in funzione dell'altezza di pioggia registrata nei cinque giorni che precedono l'evento e dello stato vegetativo.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti [mm]	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<13	<36
II	13-28	36-54
III	>28	>54

Tabella 8: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)

Per ottenere il valore di CN relativo alle altre due condizioni di saturazione si usano le relazioni seguenti:

$$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN(II)}}{10 - 0,058 \text{ CN(II)}}$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0,13 \text{ CN(II)}}$$

Tabella 9: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3

### Propagazione delle piene

Il metodo di formazione dell'idrogramma di piena è utilizzato per il calcolo dei contributi dei singoli sottobacini, successivamente occorre applicare un modello di propagazione della piena che avviene lungo i tronchi presenti nella schematizzazione di bacino utilizzata per valutare come i singoli contributi di piena si compongono ed eventualmente anche se lungo il reticolo idrografico si verificano fenomeni di laminazione. Per la schematizzazione adottata per il caso in esame è stato utilizzato il metodo del Muskingum Cunge, che ipotizza che il volume di acqua invasato nel tronco d'alveo sia la somma di due parti: Il volume della prima parte (invaso prismatico) può essere assunto, ipotizzando le altezze liquide proporzionali alle portate, pari alla portata in uscita Q, moltiplicata per un certo coefficiente K di proporzionalità, mentre quella della seconda parte (invaso a cuneo) è pari a  $Kx(I-Q)$ , dove I è la portata in ingresso e x un fattore di peso variabile tra 0 e 0.5.

### 3.1.2 – Modellazione Idraulica

La modellazione della propagazione dei deflussi idrici sull'area oggetto di studio è stata eseguita utilizzando il software HEC-RAS basato su un modello idrodinamico mono e bidimensionale largamente utilizzato su base mondiale, il cui utilizzo è largamente consolidato anche in Italia.

Di seguito viene riportata una rapida descrizione della teoria di base utilizzata dal software HEC-RAS e quindi viene data una breve descrizione della modellistica implementata nel caso oggetto di studio. Allo scopo di effettuare le verifiche idrauliche per la zona oggetto di studio è stato implementato il modello bidimensionale per investigare nei riguardi degli allagamenti nell'area di interesse.

Il problema della propagazione della onda di piena in un corso d'acqua naturale si risolve utilizzando la descrizione idraulica del fenomeno basata sulle equazioni differenziali del moto e di continuità. La teoria di De Saint Venant in particolare ipotizza che si tratti di un moto monodimensionale, in pratica le grandezze che definiscono la corrente idrica (portate e livelli) sono funzione esclusivamente del tempo e della coordinata  $x$ , posta lungo l'asse longitudinale del corso d'acqua. Queste ipotesi conducono al fatto che le sezioni trasversali possano considerarsi piane e verticali con una pressione distribuita su di esse con legge idrostatica e quindi la corrente può considerarsi gradualmente variata.

Con questa schematizzazione si ottengono le classiche equazioni di De Saint Venant, dalle quali esplicitando tutti i termini si ottengono le seguenti:

– equazione del moto:

$$\frac{\partial H}{\partial X} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + J = 0$$

– equazione di continuità:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Applicando queste equazioni al corso d'acqua si ottiene un sistema di equazioni differenziali del primo ordine non lineari nelle incognite rappresentate dai livelli e le portate nei vari nodi in funzione del tempo. Per la risoluzione di questo sistema esistono sostanzialmente tre metodi:

- delle linee caratteristiche
- alle differenze finite
- agli elementi finiti.

Il metodo di soluzione adottato è un metodo di tipo semi-implicito in cui in pratica la portata ed il livello in ogni nodo, in un determinato istante di tempo, sono espressi in funzione di portata e livello

nelle sezioni adiacenti nello stesso istante di tempo oltre che della portata e del livello della stessa sezione nell'intervallo di tempo precedente. In pratica, considerando un corso d'acqua schematizzato da N sezioni, si hanno 2N incognite (portata e livello in ogni sezione), si applicano le due equazioni (di moto e di continuità) per ogni tronco, si ottengono quindi 2(N-1) equazioni. Aggiungendo poi le due condizioni al contorno (a valle e a monte), si ottiene un sistema di 2N equazioni che può essere risolto uno dopo l'altro per tutti gli intervalli di tempo.

Nel caso in cui, per la presenza di arginature o di particolari situazioni morfologiche, durante il deflusso si abbiano fuoriuscite d'acqua per tracimazione dai contenimenti arginali in zone limitrofe al corso ma comunque ad esso idraulicamente connesse nelle quali l'acqua stessa tende ad avere una diffusione in più direzioni allora la schematizzazione monodimensionale non è più sufficiente a simulare tale fenomeno di propagazione. In questi casi occorre ricorrere ad una schematizzazione bidimensionale che però è molto complessa ed onerosa sia dal punto di vista del modello di calcolo che dei dati da utilizzare. Occorre infatti disporre di un modello digitale del terreno molto dettagliato ed accurato che va in genere realizzato ad hoc con l'impiego di consistenti risorse. In alcuni casi un buon compromesso tra complessità di calcolo e grado di precisione dei risultati si può ottenere utilizzando uno schema di moto cosiddetto quasi-bidimensionale che è caratterizzato da uno schema monodimensionale lungo il reticolo idrografico e da celle d'accumulo, connesse idraulicamente con il reticolo e tra di loro, che rappresentano le zone limitrofe ai corsi d'acqua dove la propagazione dell'acqua non avviene attraverso uno schema monodimensionale. Questo schema è valido nel caso in cui le aree che sono interessate dall'esonazione delle acque del corso principale siano comunque confinate morfologicamente e quindi possano essere rappresentate da celle d'accumulo. Queste celle d'accumulo sono connesse con il corso d'acqua e possono essere connesse tra di loro. In alcune circostanze si può verificare che le acque che fuoriescono dal corso d'acqua principale si propagano al di fuori di esso seguendo un impluvio naturale o artificiale, nel quale comunque si può ritenere che esista una direzione prevalente di deflusso. In questo caso la simulazione può essere fatta inserendo un ramo fittizio per rappresentare proprio la propagazione di questi deflussi estraendo le sezioni dal modello digitale del terreno. Questo ramo fittizio potrebbe essere connesso a valle con quello principale oppure andare a confluire in una cella di accumulo a seconda di come si presenta la situazione reale.

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC - RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione solo 2D e 1D/2D combinata. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

1. modellazione combinata 1D e 2D: La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi;
2. equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;
3. algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai volumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica critica, come per esempio in un risalto idraulico);
4. algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia. In ogni passo

temporale l'equazione di moto utilizza i risultati 1D e 2D per calcolare il flusso consentendo il calcolo preciso della sommersione delle aperture, in ogni passo temporale considerando la variazione di livelli che si ha nei due elementi. Inoltre il deflusso si può invertire (dall'area 2D al tronco 1D) una volta che la piena è passata e i tiranti nel fiume si riducono. maglie computazionali strutturate o non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare maglie computazionali non strutturate, ma può anche gestire maglie strutturate. Una maglia strutturata è trattata allo stesso modo di una maglia non strutturata, con la differenza che il software sfrutta le celle che sono ortogonali tra di loro (questo semplifica alcuni dei calcoli richiesti). Ciò significa che le celle calcolate possono essere triangoli, quadrati, rettangoli, o addirittura elementi a cinque e a sei facce (il modello è limitato agli elementi con più di otto lati). La maglia può essere un misto di celle di diverse forme e dimensioni. Il contorno esterno della maglia di calcolo è definito con un poligono. Le celle di calcolo che formano il limite esterno la maglia possono avere linee multi-point molto dettagliate che rappresentano le facce esterne di ciascuna cella. La maglia di calcolo non deve essere ortogonale ma se la maglia è ortogonale la discretizzazione numerica è semplificata e più efficiente;

5. tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-elaborata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione.

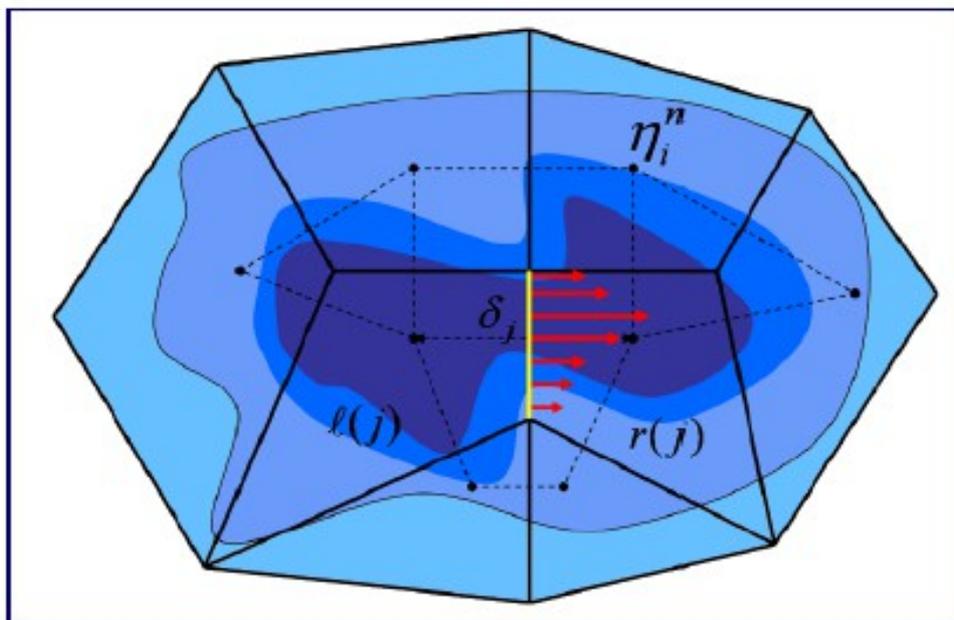


Fig. 16: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In fig. 16 è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo delle celle sono rappresentati dai nodi neri e sono i punti in cui viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. L'esempio illustrato in fig. 17 presenta canali che sono più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.



Fig. 17: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

6. Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree 2D allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla

dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte. La mappatura rifletterà questi dettagli, piuttosto che essere limitata a mostrare una cella di calcolo come tutta bagnata o tutta asciutta;

7. Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore dei nuovi computer (architettura parallela), consentendo di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
8. Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit. Il motore di calcolo a 64 bit funziona più velocemente rispetto ad uno a 32 bit e può gestire set di dati molto più grandi.

### **Sviluppo del 2D Computational Mesh**

La modellazione 2D in HEC-RAS utilizza uno schema di soluzione ai volumi finiti. Questo algoritmo è stato sviluppato per consentire l'uso di una maglia di calcolo sia strutturata che non strutturata. Ciò significa che la maglia di calcolo può essere una miscela di celle con 3, 4, 5 e 6 lati. L'utente può comunque selezionare una risoluzione da utilizzare per scomporre il dominio di calcolo in celle utilizzando gli strumenti automatici presenti all'interno. La maglia di calcolo 2D è sviluppata in HEC-RAS effettuando le seguenti operazioni:

1. tracciare il poligono di contorno dell'area 2D (fig.18);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (fig.19);
3. modifica/rettifica della maglia di calcolo 2D;
4. caricamento del DTM;
5. associazione del DTM con la geometria;
6. esecuzione del pre-processore geometrico 2D.

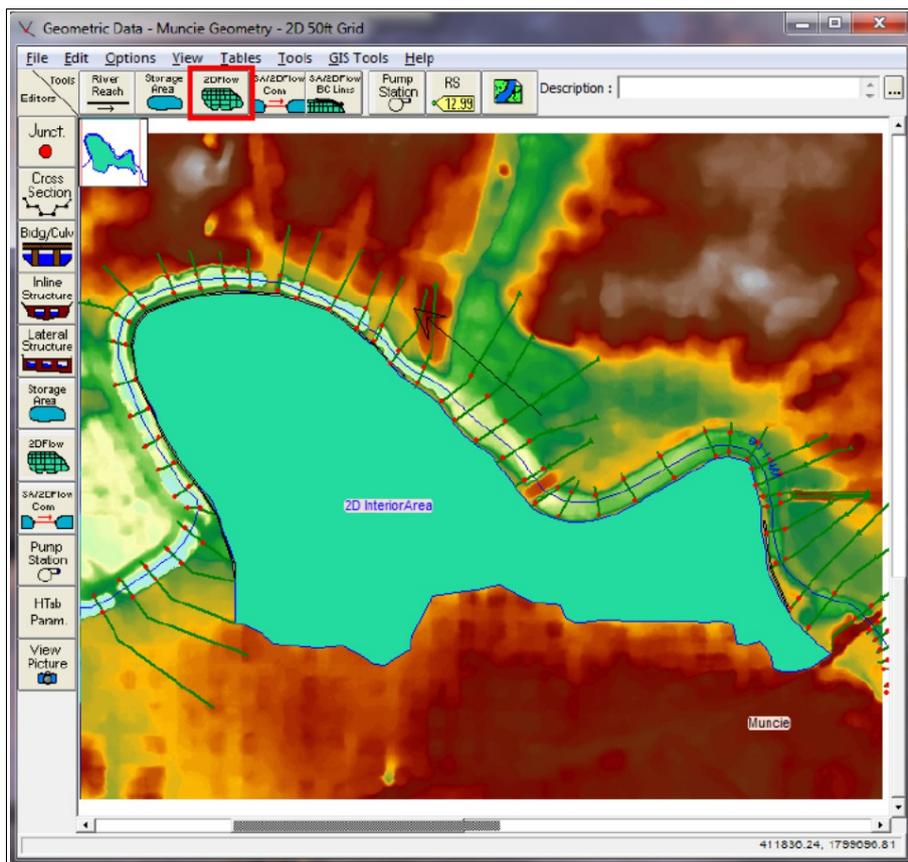


Fig. 18: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

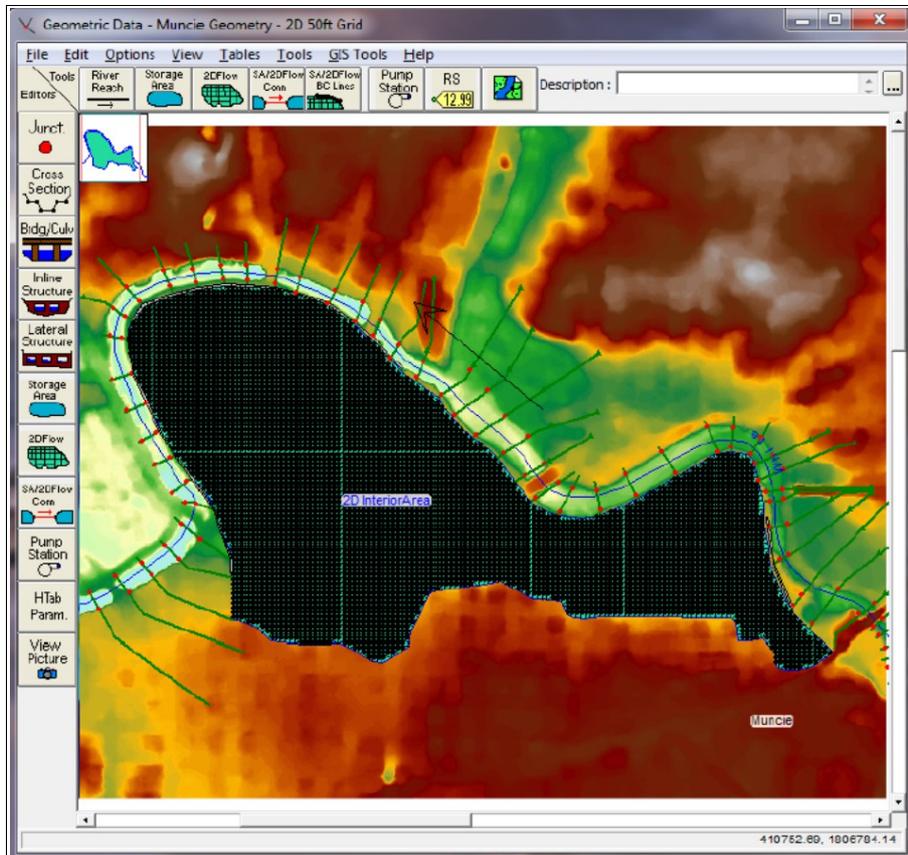


Fig. 19: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

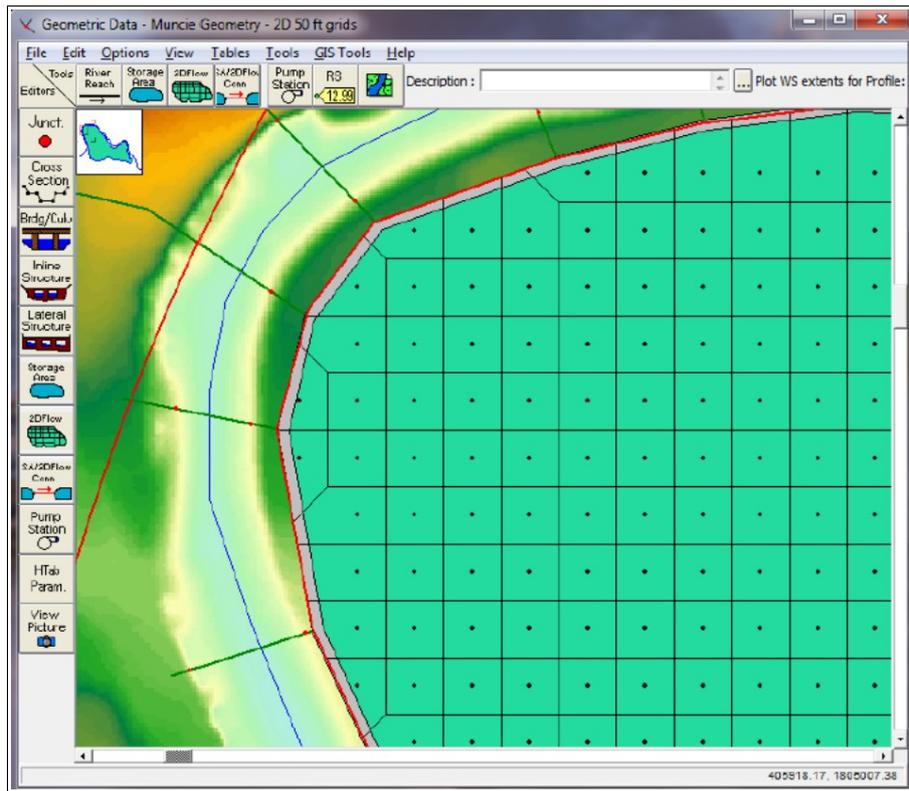


Fig. 20: Dettaglio della griglia di calcolo

### 3.2.– Studio idrologico

Come precedentemente accennato è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione delle caratteristiche delle piene per i bacini idrografici rappresentati in figura 9 e per i tempi di ritorno T pari a 30, 200 e 500 anni.

Ai fini della modellazione idrologica è stato quindi implementato un modello idrologico secondo lo schema riportato in fig. 21.

Per ognuno dei sottobacini sono stati determinati i parametri caratteristici utili ai fini della modellazione idrologica, così come riportato nella Tab.10.

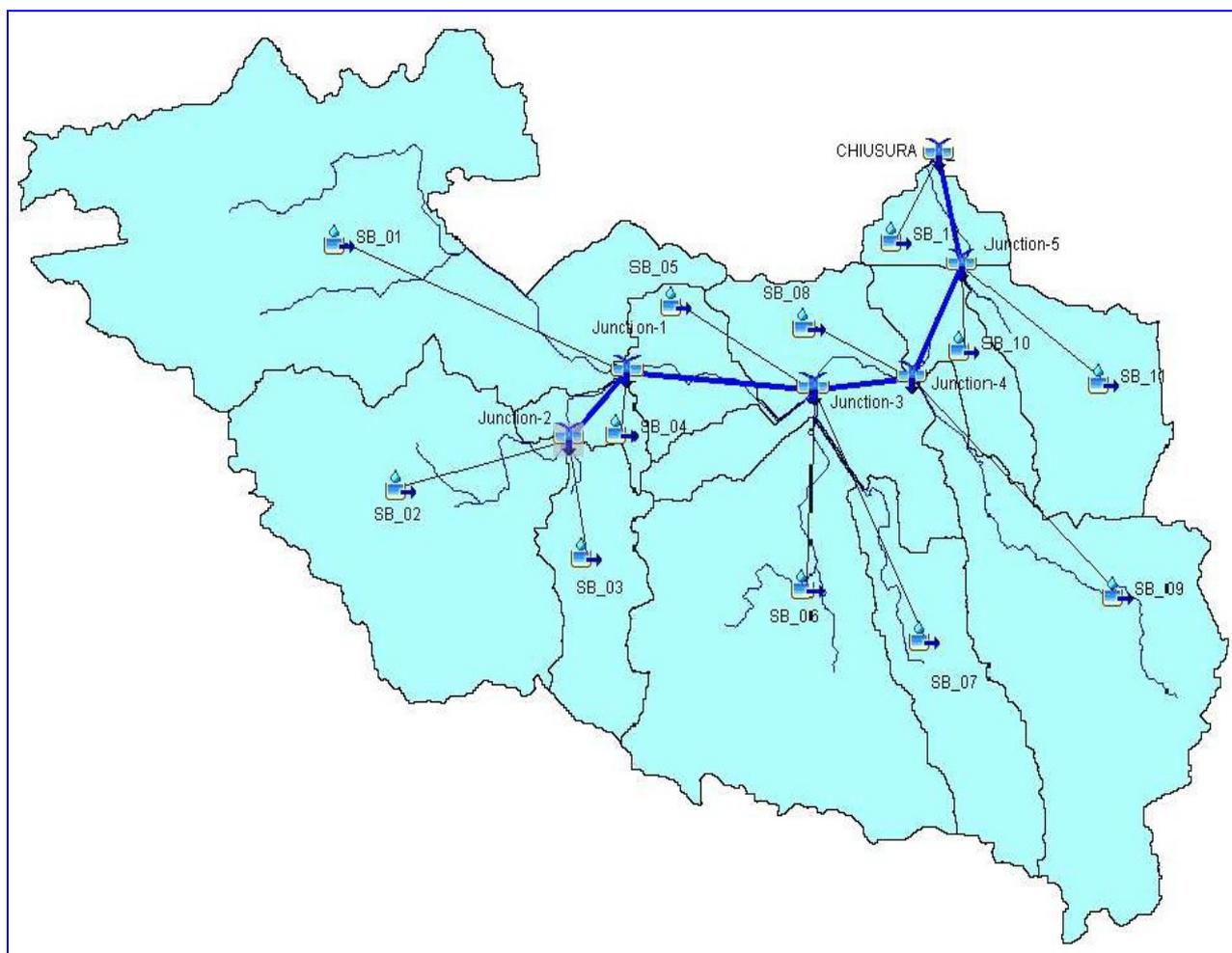


Fig. 21: Modellazione idrologica – Schematizzazione bacino idrografico nel software HEC-HMS

### Caratteristiche bacini idrografici

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche dei sottobacini ai fini della modellazione idrologica. I principali parametri morfometrici sono stati ricavati in ambiente GIS a partire anche dalle informazioni del modello digitale del terreno con celle a 8 m; per quanto riguarda la determinazione del tempo di corrivazione del singolo sottobacino è stata considerata la media dei valori ottenuti dalle seguenti formulazioni:

- Ogrosky

$$T_c = 0.914 L_{\max}^{1.15} H_m^{-0.38}$$

- Pasini

$$T_c = \frac{0.108(A * L_a)^{0.33}}{i^{0.05}}$$

- Kirpich

$$T_c = 0.066 L_a^{0.77} \left[ \frac{L_a}{0.8(H_{\max} - H_{\min})} \right]^{0.385}$$

- Pezzoli

$$T_c = \frac{0.055 L_a}{i^{0.5}}$$

- Horton

$$T_c = \frac{3.6 L_a}{v}$$

- FAO

$$T_c = \frac{L_a}{15 H_{\max}^{0.38}}$$

- Kerby

$$T_c = (0.342 * L_a * 0.8 * i^{0.5})^{0.467}$$

Comune di San Pancrazio (BR) – Studio compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

Caratteristiche sottobacino	SB_01	SB_02	SB_03	SB_04	SB_05	SB_06	SB_07	SB_08	SB_09	SB_10	SB_11	SB_12
$L = \text{max dist percorsa dall'acqua [Km]}$	7.45	4.13	2.71	0.92	2.03	4.70	4.85	1.37	6.28	1.06	2.74	1.08
$Lc = \text{lungh. dell'asta princ. [Km]}$	5.01	2.39	0.53	0.92	2.03	2.89	2.79	1.37	4.30	1.06	0.74	1.08
$Hf = \text{Quota della sezione di chiusura [m]}$	60.41	60.61	60.61	60.41	58.26	57.66	57.66	56.15	56.15	55.73	55.73	55.44
$C = \Delta H \text{ punto più lontano-foce [m]}$	26.84	25.49	22.43	6.51	10.09	37.90	39.66	12.29	42.98	11.50	14.70	9.77
$Hmax = \text{Quota max sulla foce [m]}$	87.25	86.10	83.04	66.92	68.35	95.56	97.32	68.44	99.13	67.23	70.43	65.21
$Hm = \text{Quota media del bacino [m]}$	69.52	70.52	66.92	62.52	61.25	67.24	71.75	60.41	71.90	58.98	63.14	57.52
$Vm = \text{vel media corrente nell'asta [Km/h]}$	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
$A = \text{Area del bacino [Kmq]}$	10.90	5.93	1.73	0.52	1.13	6.47	2.45	3.09	5.99	1.21	2.39	0.76
$i = \text{pendenza media asta}$	0.004	0.006	0.008	0.007	0.005	0.008	0.008	0.009	0.007	0.011	0.005	0.009
$la \text{ (Initial Abstraction) (mm)}$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Tabella 10: Caratteristiche principali dei sottobacini utilizzati nella modellazione idrologica

Tempi di corrivazione [h]		SB_01	SB_02	SB_03	SB_04	SB_05	SB_06	SB_07	SB_08	SB_09	SB_10	SB_11	SB_12
Puglisi	$t_c = 6 L^{0.67} * Hm^{(-0.33)}$	5.87	3.64	1.39	3.04	4.45	3.62	3.49	3.21	4.53	2.76	2.00	2.95
Ogrosky	$t_c = 0.914 L^{1.15} C^{(-0.38)}$	1.67	0.73	0.14	0.41	0.86	0.78	0.73	0.51	1.17	0.39	0.23	0.42
Pasini	$tp = 0.108 * (A * Lc)^{(1/3)} / i^{0.05}$	6.83	3.33	1.15	1.00	2.02	3.19	2.27	1.84	3.86	1.13	1.78	1.06
Kirpich	$tp = 0.066 Lc^{(0.77)} [1000 * Lc / 0.8 (Hm - Hf)]^{0.385}$	1.86	0.81	0.15	0.45	0.96	0.86	0.82	0.56	1.30	0.43	0.26	0.47
Pezzoli	$tp = 0.055 * Lc / i^{0.05}$	4.59	1.67	0.32	0.60	1.58	1.77	1.70	0.80	2.86	0.56	0.56	0.62
Horton	$tp = 3.6 * L / v$	1.67	0.80	0.18	0.31	0.68	0.96	0.93	0.46	1.43	0.35	0.25	0.36
FAO	$tp = L / 15 Hm^{0.38}$	0.85	0.41	0.09	0.17	0.38	0.48	0.46	0.26	0.70	0.20	0.14	0.21
Ferro	$tp = (0.675 * A^{0.5})$	2.23	1.64	0.89	0.49	0.72	1.72	1.06	1.19	1.65	0.74	1.04	0.59
	media	3.53	1.80	0.60	0.90	1.61	1.84	1.57	1.22	2.40	0.91	0.87	0.93
	Tlag (min)	127.11	64.90	21.68	32.40	57.92	66.39	56.50	44.02	86.41	0.33	31.49	33.31

Tabella 11: Valori del tempo di corrivazione (h) per le varie formulazioni considerate e del tempo di ritardo (min) per ogni sottobacino presente

### 3.2.2 – Risultati ottenuti

#### Separazione delle piogge

Nell'applicazione del metodo del CN al caso oggetto di studio, considerata la non uniformità in termini di valore del Curve Number nei sottobacini individuati all'interno del dominio di calcolo, si è ritenuto necessario assumere più valori del CN, uno per ogni sottobacino, secondo i valori riportati in Tab. 4

#### Formazione delle piene

Per la valutazione del tempo di ritardo dei sottobacini oggetto di studio, unico parametro necessario per la determinazione della forma del IUH nella formulazione SCS, si è ritenuto sufficientemente cautelativo utilizzare il valore estratto dalla parametrizzazione del bacino idrografico; i cui valori per ogni sottobacino considerato sono riportati nella tabella 12.

SOTTOBACINO	S (Kmq)	L (Km)	Tc (h)	Tlag (min)
SB_01	10.90	5.01	3.53	127.11
SB_02	5.93	2.39	1.80	64.90
SB_03	1.73	0.53	0.60	21.68
SB_04	0.52	0.92	0.90	32.40
SB_05	1.13	2.03	1.61	57.92
SB_06	6.47	2.89	1.84	66.39
SB_07	2.45	2.79	1.57	56.50
SB_08	3.09	1.37	1.22	44.02
SB_09	5.99	4.30	2.40	86.41
SB_10	1.21	1.06	0.91	0.33
SB_11	2.39	0.74	0.87	31.49
SB_12	0.76	1.08	0.93	33.31

Tabella 12: Sintesi risultati principali della caratterizzazione geomorfologica dei bacini

#### Stima dei deflussi

Sulla base della schematizzazione del bacino idrografico adottata per i sottobacini oggetto di studio e dei dati di pioggia ottenuti come specificato in precedenza si è proceduto alla simulazione idrologica degli eventi di pioggia con tempo di ritorno rispettivamente di 30, 200, e 500 anni e durata di 6 ore, si ritiene infatti che tale durata, superiore al tempo di corrvazione dell'intero bacino, sia però in grado di massimizzare i volumi di deflusso in gioco e considerate le caratteristiche di deflusso nella zona anche i battenti nell'area oggetto di intervento. Il deflusso che si verifica solo in minima parte lungo il reticolo idraulico si manifesta perlopiù come un deflusso generalizzato sul piano campagna lungo i

percorsi preferenziali e provoca l'allagamento delle depressioni del terreno per cui si ritiene che una pioggia con durata più lunga rispetto al tempo di corrivazione dei bacini interessati sia in grado di massimizzare lo scenario degli allagamenti che si verificano nella zona d'intervento. Di seguito si riassumono i principali risultati ottenuti relativamente alle caratteristiche delle piene per il tempo di ritorno di duecento anni in termini di portata massima, portata specifica, tempo di picco e volume ottenuti per i vari elementi del modello idrologico considerato, vedi Tab. 13.

MODELLAZIONE IDROLOGICA TR 200 ANNI					
ELEMENTO	SUP (Kmq)	Q (mc/s)	Qspec (mc/s/kmq)	T picco	VOLUME (x1000 mc)
SB_01	10.90	37.67	3.46	01gen2019, 03:20	405.61
SB_02	5.93	36.39	6.14	01gen2019, 02:20	221.53
SB_03	1.73	21.28	12.30	01gen2019, 01:40	64.63
CHIUSURA_SB_02_03	7.66	42.76	5.58	01gen2019, 02:10	286.16
SB_04	0.52	5.16	9.92	01gen2019, 01:50	19.43
TRATTO_SB_04	7.66	42.76	5.58	01gen2019, 02:40	286.16
CHIUSURA_SB_01_04	19.08	75.09	3.94	01gen2019, 02:50	711.20
SB_05	1.13	7.55	6.68	01gen2019, 02:20	42.21
SB_06	6.47	38.87	6.01	01gen2019, 02:20	241.70
SB_07	2.45	16.63	6.79	01gen2019, 02:10	91.53
TRATTO_SB_05	19.08	74.81	3.92	01gen2019, 04:00	708.75
CHIUSURA_SB_05_06	29.13	87.26	3.00	01gen2019, 03:40	1084.20
SB_08	3.09	25.21	8.16	01gen2019, 02:00	115.44
SB_09	5.99	29.07	4.85	01gen2019, 02:40	223.77
TRATTO_SB_07	29.13	86.97	2.99	01gen2019, 04:10	1082.56
CHIUSURA_SB_08_09	38.21	105.20	2.75	01gen2019, 02:40	1421.77
SB_10	1.21	23.24	19.21	01gen2019, 01:20	45.20
SB_11	2.39	24.06	10.07	01gen2019, 01:50	89.29
TRATTO_SB_10	38.21	105.17	2.75	01gen2019, 03:00	1420.14
CHIUSURA_SB_10_11	41.81	107.41	2.57	01gen2019, 03:00	1554.63
SB_12	0.76	7.41	9.75	01gen2019, 01:50	28.39
TRATTO_SB_12	41.81	107.28	2.57	01gen2019, 03:20	1552.58
CHIUSURA_SB_12	42.57	107.64	2.53	01gen2019, 03:20	1580.97

Tabella 13: Modello idrologico - Risultati principali per tempo di ritorno 200 anni

Al fine di potere introdurre gli output della modellazione idrologica in HEC-RAS per la modellazione idraulica si è ritenuto necessario cumulare i contributi dei singoli sottobacini in modo da ridurre il numero delle condizioni al contorno da fornire al modello. Nella fattispecie sono stati cumulati i valori degli idrogrammi in output secondo il seguente criterio:

- **Condizione BC\_01:** contiene i contributi dei sottobacini SB\_05,SB\_08, e del tronco Reach\_02;
- **Condizione BC\_02:** contiene unicamente l'idrogramma corrispondente al bacino SB\_06 ;
- **Condizione BC\_03:** contiene unicamente l'idrogramma corrispondente al bacino SB\_07;
- **Condizione BC\_04:** contiene unicamente l'idrogramma corrispondente al bacino SB\_09;
- **Condizione BC\_05:** contiene i contributi dei sottobacini SB\_10 ed SB\_11.

Nella Fig. 22 sono riportati in forma grafica gli idrogrammi di piena corrispondenti all'evento duecentennale raggruppati come appena discusso.

Gli idrogrammi di piena saranno utilizzati per effettuare l'analisi idraulica bidimensionale in regime di moto vario per la quale è necessario fornire come input l'idrogramma di piena.

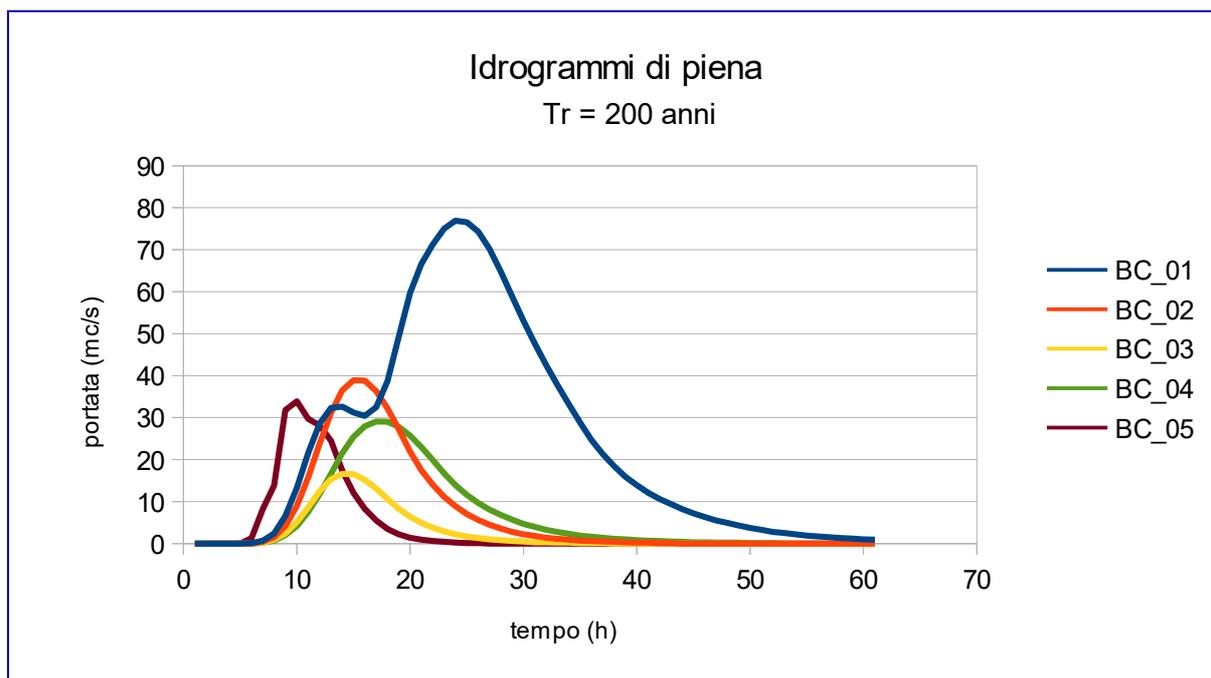


Fig. 22: Idrogramma condizione BC\_01

### **3.3.– Verifiche idrauliche stato attuale**

#### **3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale**

All'interno del dominio di calcolo il modello digitale del terreno è stato definito con una maglia di 10 x 10 mq utilizzando il modello digitale del terreno con cella di 1 m.

Nell'implementazione di un modello di calcolo bidimensionale è essenziale definire nel modo più corretto le condizioni al contorno, proprio per questo motivo per sopperire a una non corretta conoscenza delle condizioni al contorno in genere si provvede ad estendere il dominio di calcolo in modo opportuno in modo da svincolare il funzionamento del modello nell'area di maggiore interesse rispetto a quello che avviene in corrispondenza dei contorni del dominio dove vengono imposte le condizioni al contorno. Per questo motivo, nel caso oggetto di studio si è prestata particolare attenzione nella definizione del dominio di calcolo in modo che fosse sufficientemente esteso, sia a monte che a valle della zona oggetto di studio.

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena duecentennale desunti dalla modellazione idrologica con il metodo del CN del SCS come precedentemente specificato.

Un'ulteriore condizione al contorno è stata inserita a valle del dominio di calcolo in modo da poter considerare la fuoriuscita dell'acqua dal modello. A tal proposito, considerando le basse pendenze del reticolo idrografico, è stata utilizzata una pendenza dello 0.1%.

Data	Time	BC_01	BC_02	BC_03	BC_04	BC_05
01gen2019	00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	00:10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	00:20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	00:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	00:40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	00:50	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3
01gen2019	01:00	0.7	0.4	0.2	0.2	8.2
01gen2019	01:10	2.4	1.5	0.9	0.7	13.8
01gen2019	01:20	6.6	4.2	2.4	2.0	31.8
01gen2019	01:30	13.3	9.0	5.1	4.2	33.9
01gen2019	01:40	21.5	15.7	8.6	7.5	29.7
01gen2019	01:50	28.5	23.6	12.4	11.7	28.2
01gen2019	02:00	32.3	31.1	15.3	16.6	24.5
01gen2019	02:10	32.6	36.5	16.6	21.5	17.4
01gen2019	02:20	31.2	38.9	16.5	25.4	12.1
01gen2019	02:30	30.4	38.8	15.2	27.9	8.3
01gen2019	02:40	32.5	36.3	13.1	29.1	5.5
01gen2019	02:50	38.7	32.2	10.6	29.0	3.5
01gen2019	03:00	49.3	27.2	8.3	27.8	2.2
01gen2019	03:10	59.7	21.9	6.4	25.7	1.4
01gen2019	03:20	66.6	17.5	4.9	23.0	0.9
01gen2019	03:30	71.3	14.0	3.8	19.9	0.6
01gen2019	03:40	75.0	11.1	2.9	16.7	0.4
01gen2019	03:50	76.9	8.9	2.2	13.9	0.2
01gen2019	04:00	76.5	7.0	1.7	11.6	0.1
01gen2019	04:10	74.3	5.6	1.3	9.7	0.1
01gen2019	04:20	70.2	4.5	1.0	8.1	0.0
01gen2019	04:30	64.8	3.6	0.8	6.8	0.0
01gen2019	04:40	58.8	2.8	0.6	5.7	0.0
01gen2019	04:50	53.0	2.2	0.5	4.7	0.0
01gen2019	05:00	47.6	1.8	0.3	4.0	0.0
01gen2019	05:10	42.6	1.4	0.3	3.3	0.0
01gen2019	05:20	37.8	1.1	0.2	2.8	0.0
01gen2019	05:30	33.2	0.9	0.2	2.3	0.0
01gen2019	05:40	28.8	0.7	0.1	1.9	0.0
01gen2019	05:50	24.7	0.6	0.1	1.6	0.0
01gen2019	06:00	21.3	0.5	0.1	1.4	0.0
01gen2019	06:10	18.4	0.4	0.0	1.1	0.0
01gen2019	06:20	15.9	0.3	0.0	1.0	0.0
01gen2019	06:30	13.9	0.2	0.0	0.8	0.0
01gen2019	06:40	12.1	0.2	0.0	0.7	0.0
01gen2019	06:50	10.6	0.1	0.0	0.6	0.0
01gen2019	07:00	9.4	0.1	0.0	0.5	0.0
01gen2019	07:10	8.2	0.0	0.0	0.4	0.0
01gen2019	07:20	7.2	0.0	0.0	0.3	0.0
01gen2019	07:30	6.3	0.0	0.0	0.3	0.0
01gen2019	07:40	5.5	0.0	0.0	0.2	0.0
01gen2019	07:50	4.9	0.0	0.0	0.2	0.0
01gen2019	08:00	4.3	0.0	0.0	0.2	0.0
01gen2019	08:10	3.7	0.0	0.0	0.1	0.0
01gen2019	08:20	3.3	0.0	0.0	0.1	0.0
01gen2019	08:30	2.8	0.0	0.0	0.1	0.0
01gen2019	08:40	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	08:50	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:00	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:10	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:20	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:30	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:40	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	09:50	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01gen2019	10:00	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabella 14: Idrogrammi in output ottenuti dalla modellazione idrologica per  $T_r=200$  anni utilizzati come condizioni al contorno per la modellazione idraulica

In figura 23 è riportata una planimetria estratta dal software HEC-RAS che mostra il dominio di calcolo utilizzato ai fini modellistici per le diverse aree di intervento. Nella Fig. è invece riportata la schermata del software HEC-RAS che mostra la modalità di inserimento delle condizioni al contorno, in questo caso rappresentate dai cinque idrogrammi denominati BC\_01, BC\_02, BC\_03, BC\_04 e BC\_05 come discusso in precedenza, unitamente alla condizione al contorno di uscita dell'acqua dal modello.

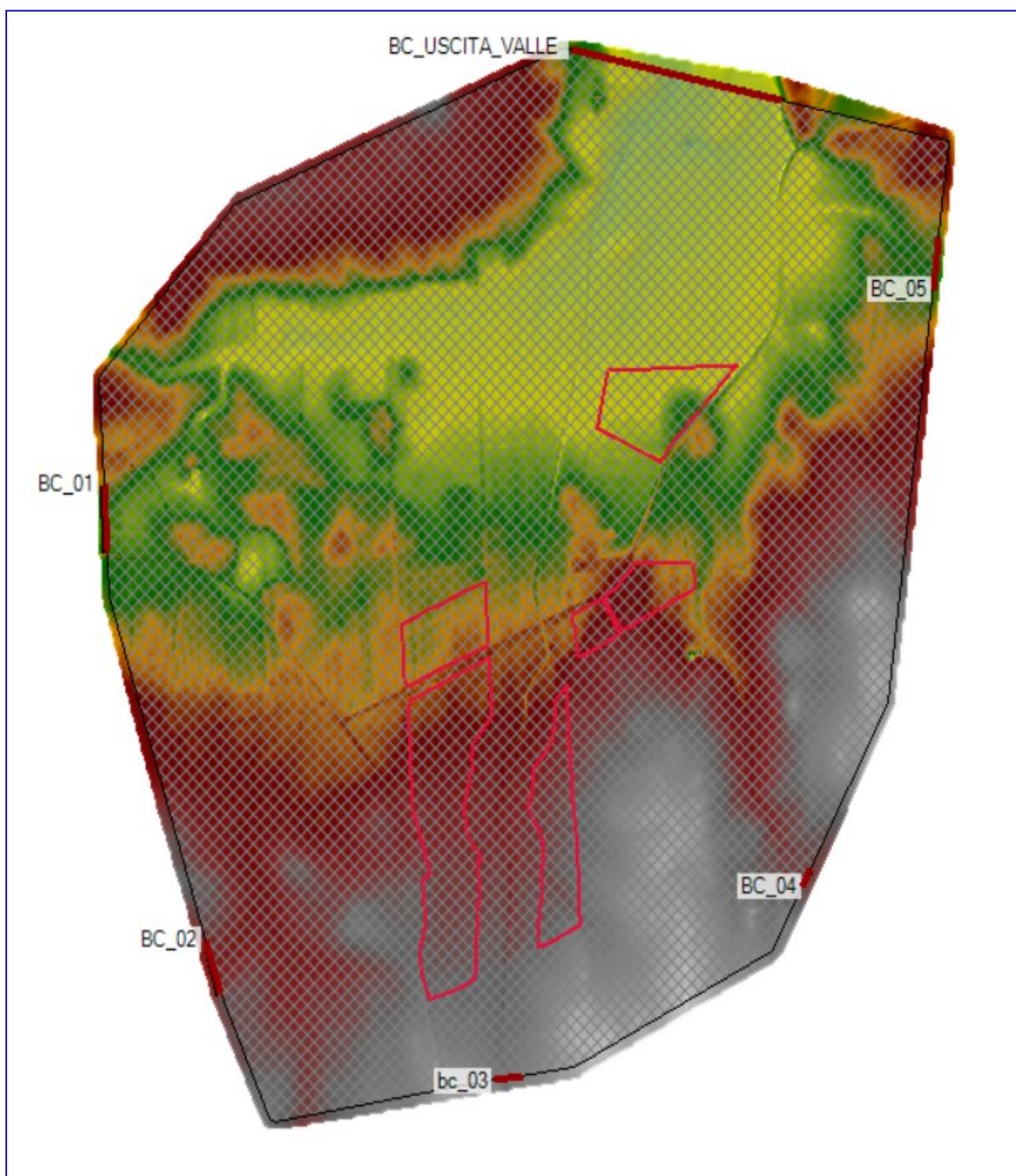


Fig. 23: Planimetria area 2D utilizzata nel modello idraulico e posizionamento delle Boundary Condition Lines.

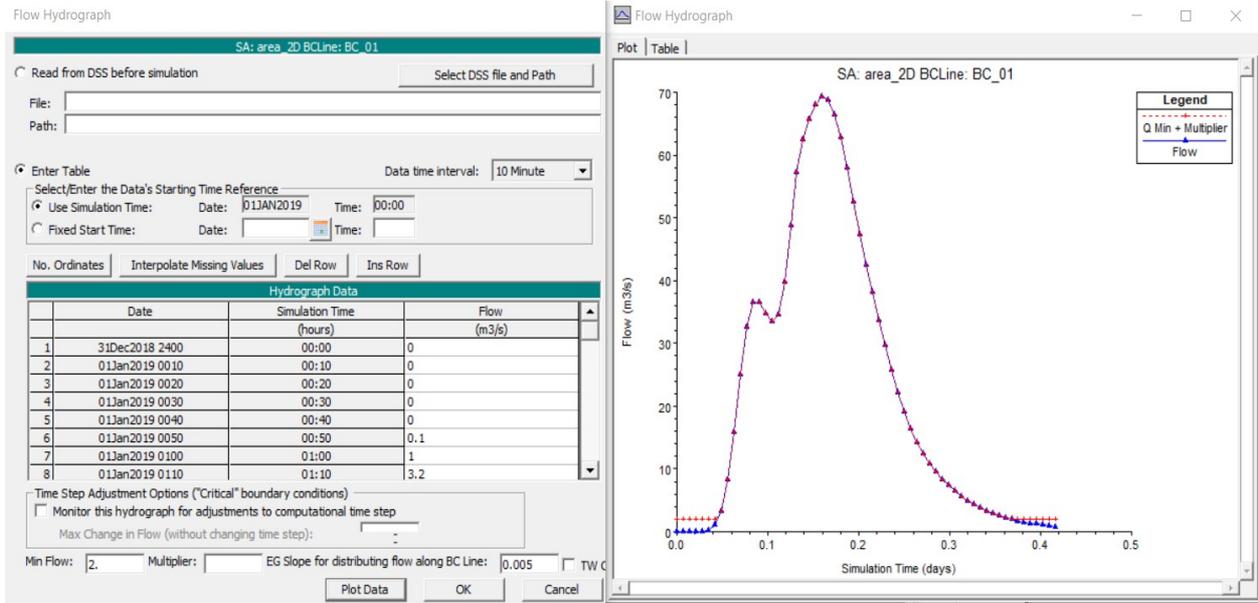


Fig. 24: Schermata HEC-RAS per inserimento condizioni al contorno BC\_01

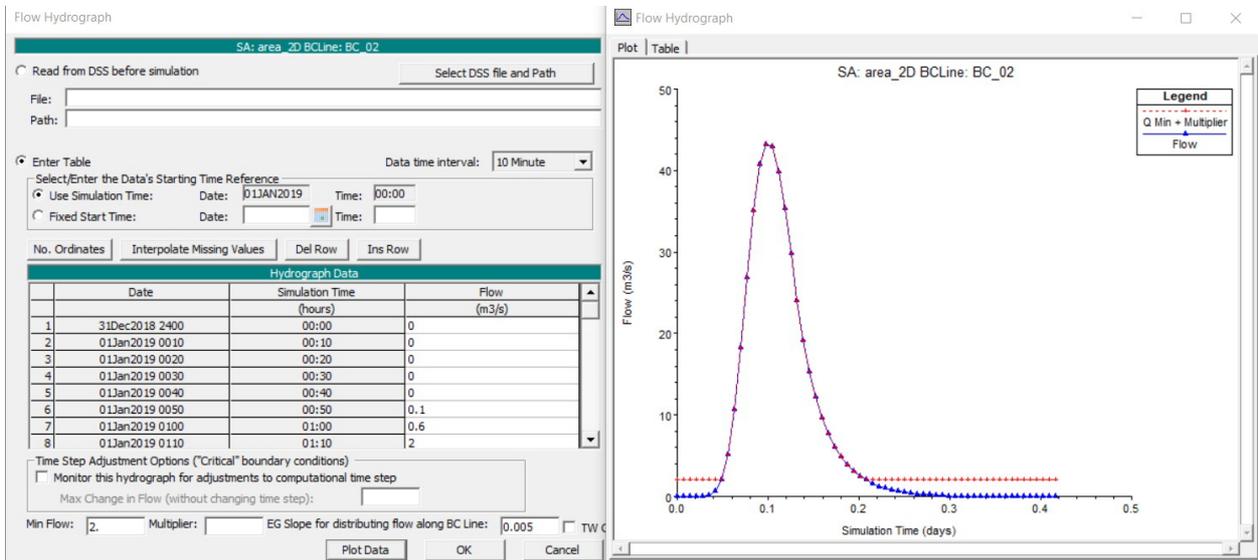


Fig. 25: Schermata HEC-RAS per inserimento condizioni al contorno BC\_02

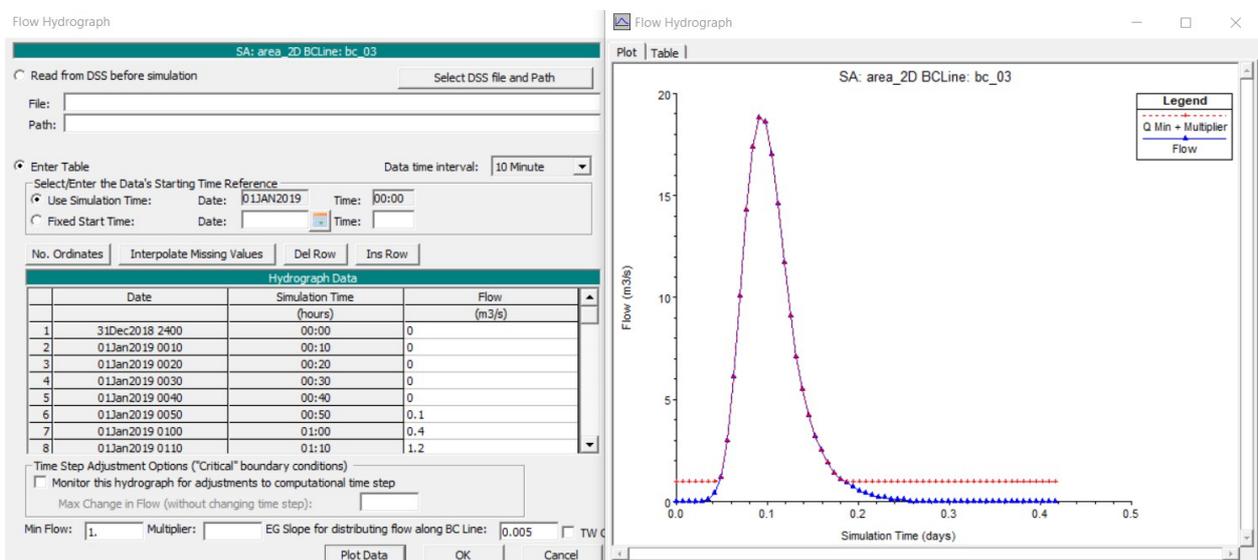


Fig. 26: Schermata HEC-RAS per inserimento condizioni al contorno BC\_03

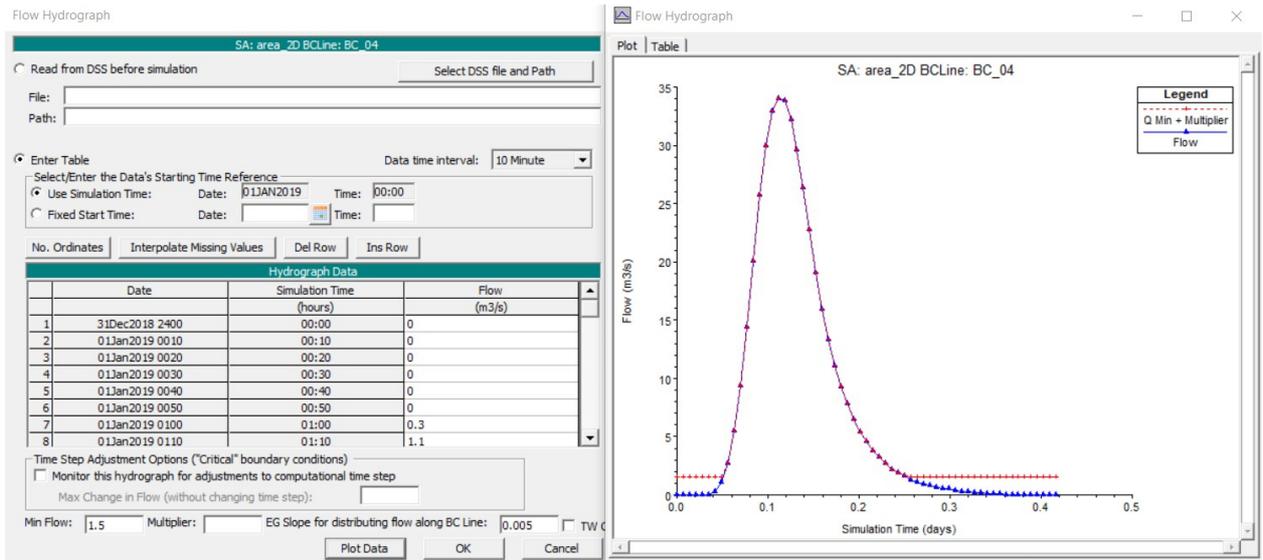


Fig. 27: Schermata HEC-RAS per inserimento condizioni al contorno BC\_04

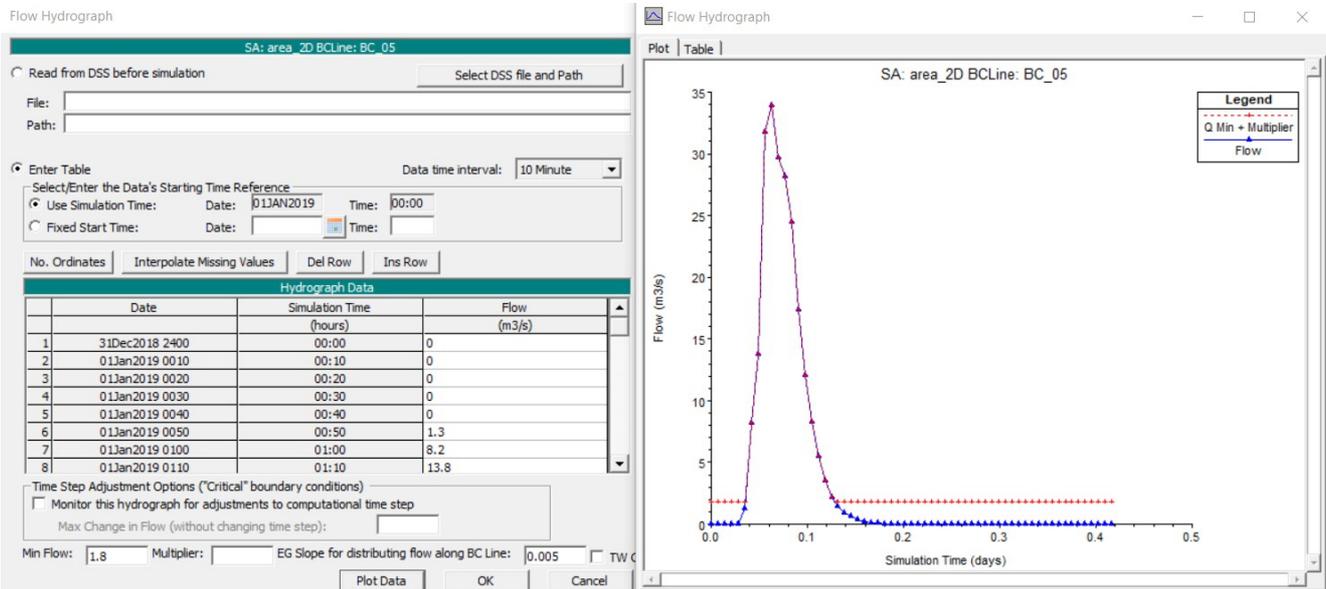


Fig. 28: Schermata HEC-RAS per inserimento condizioni al contorno BC\_05

### **3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale**

Le simulazioni effettuate con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni, hanno permesso di individuare con maggiore dettaglio lo scenario degli allagamenti nella zona in cui ricadono le aree di intervento. Si è proceduto dunque alla modellazione idraulica bidimensionale in questa configurazione per valutare l'eventuale condizione di rischio idraulico della porzione di territorio su cui saranno realizzate le opere e per valutarne l'interferenza con il reticolo idrografico.

I risultati ottenuti nella configurazione attuale mostrano sostanzialmente che lo scenario considerato è caratterizzato da un deflusso generalizzato sul piano campagna in quanto il reticolo idraulico presente nella zona, non essendo ben definito e delineato, non riesce a smaltire in modo adeguato i deflussi.

Nelle figure 29 e 30 sono riportati i dettagli planimetrici della mappa dei battenti relativa alla simulazione con tempo di ritorno di 200 anni per le aree d'intervento rispettivamente con base ortofoto satellitare e carta tecnica regionale, mentre nelle Figg. 31 e 32 sono riportati in maniera analoga i dettagli degli allagamenti in termini di velocità massime generate dalla corrente.

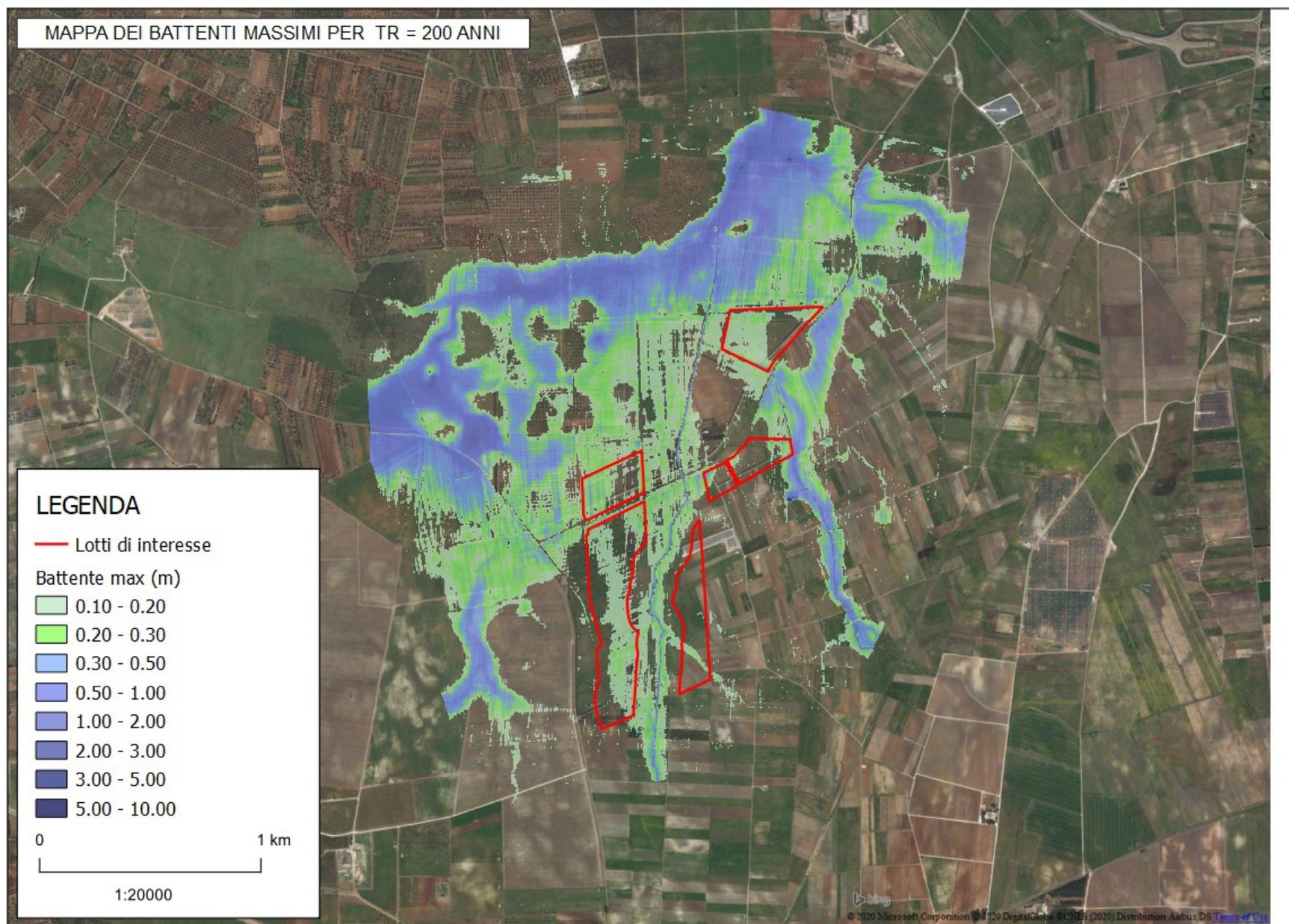


Fig. 29: Mappa dei battenti in metri per  $Tr = 200$  anni nello stato attuale.

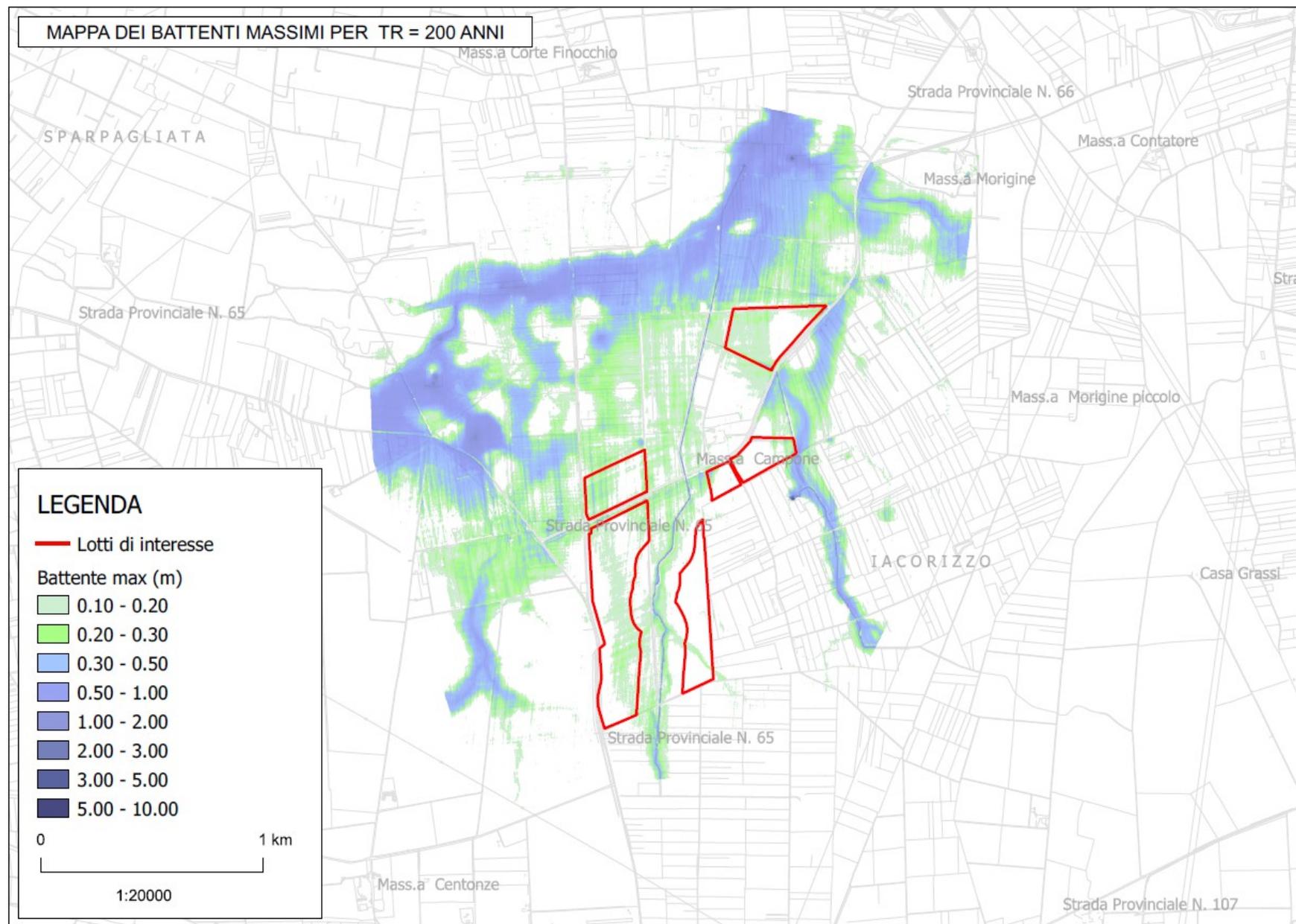


Fig. 30: Dettaglio mappa dei battenti in metri per  $Tr = 200$  anni nello stato attuale.

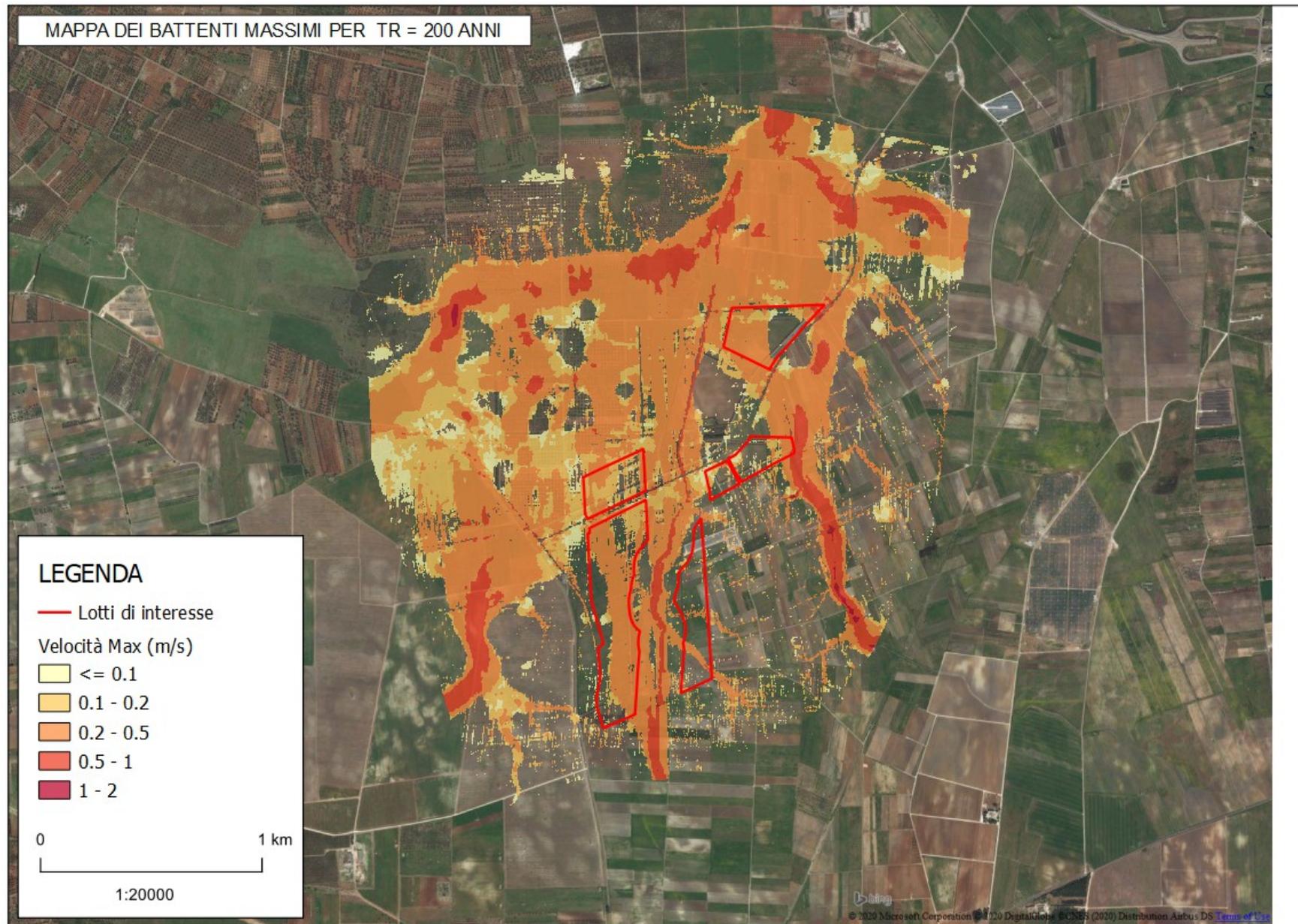


Fig. 31: Mappa delle velocità massime in m/s per  $Tr = 200$  anni nello stato attuale.

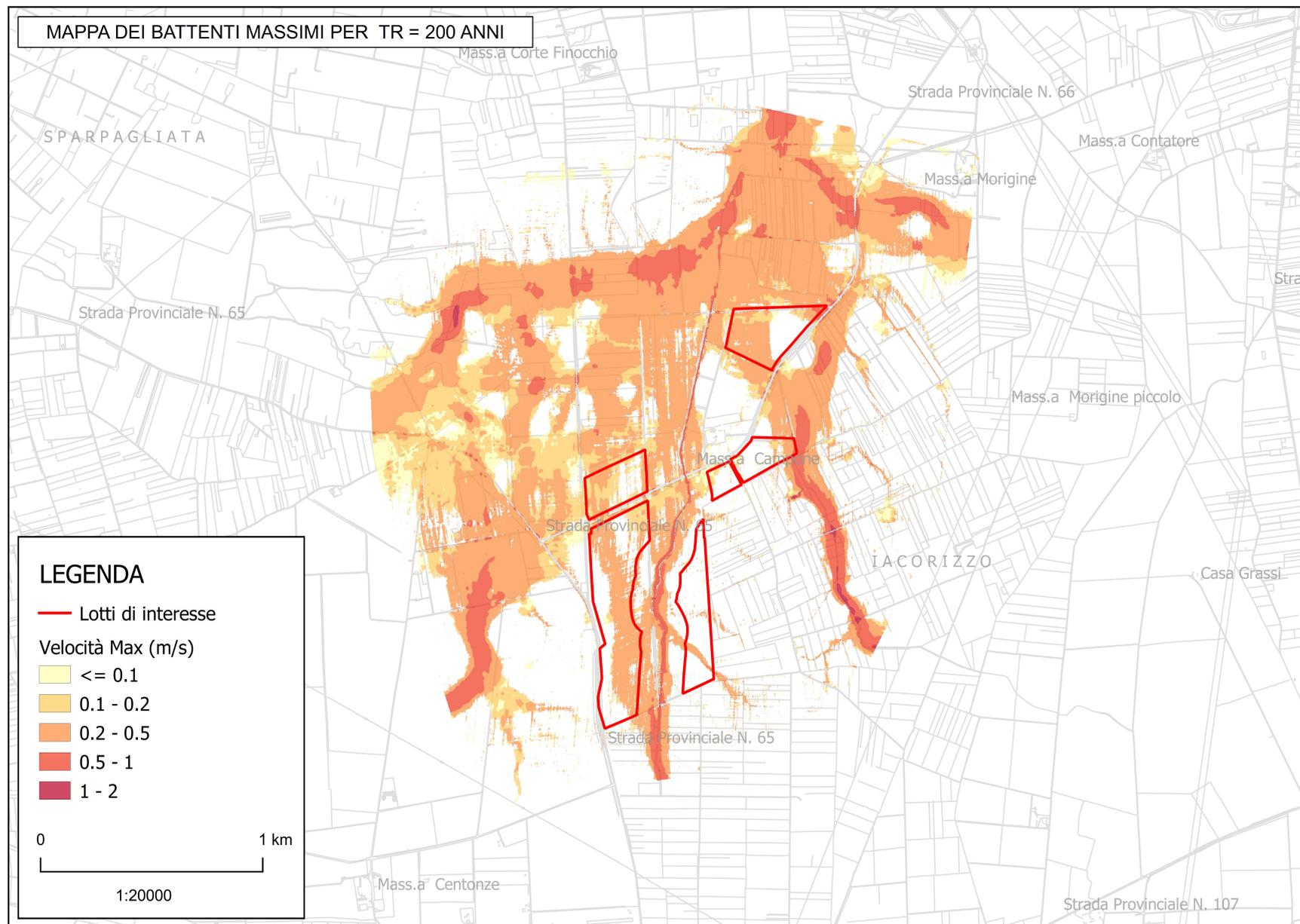
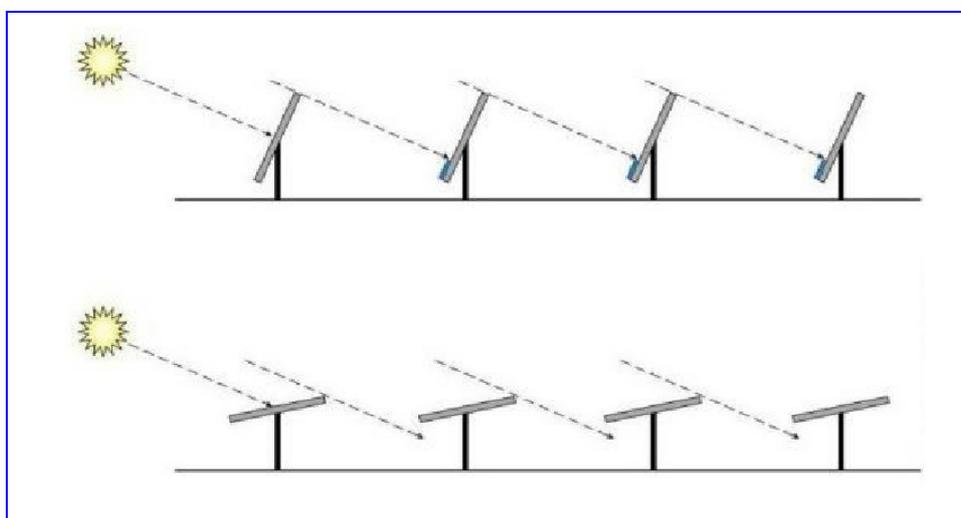


Fig. 32: Dettaglio mappa delle velocità massime in m/s per  $Tr = 200$  anni nello stato attuale.

### 3.4.– Descrizione interventi in progetto

I terreni nei quali verranno realizzati gli impianti fotovoltaici in progetto sono nell'area di confine tra i Comuni di San Pancrazio Salentino, Salice Salentino e Avetrana. Dall'esame delle classi di uso del suolo si può notare come il territorio nel dominio di calcolo sia sfruttato principalmente ad uso agricolo, con la presenza prevalente di oliveti per una percentuale di circa il 23 %, seminativi in aree non irrigue per una percentuale di circa il 22.5 % e vigneti per il 20%. Sono presenti inoltre aree a pascolo naturale e sistemi colturali e particellari complessi.

Nell'ambito della realizzazione degli impianti fotovoltaici è prevista l'installazione di batterie di pannelli e di una serie di cabine di trasformazione oltre che dei cavi per il trasporto della corrente. Il progetto in particolare per le batterie di pannelli prevede l'adozione di tecnologie ad inseguimento monoassiale che permettono nel contempo di aumentare significativamente la redditività degli impianti e di ridurre l'impatto visivo degli stessi, avendo altezze inferiori.



*Fig. 33: Schema installazione batterie di pannelli fotovoltaici.*

In Fig. 34 è riportata la planimetria con base CTR su cui sono stati sovrapposti i perimetri dei lotti di interesse unitamente allo schema di installazione delle batterie di pannelli fotovoltaici.



### 3.5.– Verifiche idrauliche dello stato di progetto

Per verificare la compatibilità idraulica degli impianti fotovoltaici in progetto con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona è necessario accertare che:

- I. gli interventi previsti siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in maniera tale che non subiscano danni in caso la zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Sulla base delle risultanze dello studio idrologico ed idraulico condotto si può concludere che gli interventi previsti sono compatibili con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona a condizione che vengano realizzati osservando le seguenti prescrizioni:

- le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 50 cm al di sopra del livello idrico massimo corrispondente alla piena duecentennale;
- i manufatti devono essere realizzati su strutture poggiate su pali che non devono interferire con il libero deflusso delle acque per cui la quota d'intradosso deve essere posta almeno 0.50 m sopra del livello idrico massimo corrispondente alla piena duecentennale;
- sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione dovranno essere installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- la realizzazione di recinzioni dovrà avvenire comunque utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 20 cm al di sopra del piano campagna.

Con riferimento alle modifiche indotte al regime idrologico ed idraulico, considerato che:

- la tipologia delle batterie di pannelli fotovoltaici di progetto, che prevede una certa distanza tra le varie batterie, permette di affermare che l'installazione dei pannelli non costituisca consumo di suolo in quanto non viene sottratta allo stesso superficie permeabile, in questo caso infatti l'acqua piovana intercettata dai pannelli non tende a concentrarsi sui pannelli stessi, come farebbe invece sulla falda di un tetto di un edificio di grandi o medie dimensioni, ma ricade subito sul suolo posto al di sotto dei pannelli stessi, le caratteristiche del suolo al di sotto dei pannelli non vengono in alcun modo alterate per cui permane la permeabilità originaria della zona;
- le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle eventuali cabine di trasformazione e le recinzioni, da realizzare secondo le prescrizioni sopra riportate, non interferiscono in maniera rilevante con il libero deflusso delle acque per cui i profili di corrente risultano invariati;

non si è ritenuto necessario effettuare la modellazione idraulica dello stato di progetto poiché l'intervento non altera in alcun modo lo stato dei luoghi e le condizioni di rischio idraulico delle aree interessate, pertanto l'allagamento che risulterebbe dallo stato di progetto coinciderebbe con l'allagamento generato dalle condizioni dello stato attuale.

## 4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha avuto lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a nord-est rispetto al centro abitato di Avetrana (BR) e a sud-ovest rispetto al centro abitato di San Pancrazio Salentino (BR) dove il committente ha predisposto un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico. I lotti in cui si vogliono realizzare gli impianti ricadono in una zona pianeggiante posizionata nei pressi di un corso d'acqua così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi Figg. 1 e 2).

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica dal Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area ad alta, media o bassa pericolosità idraulica (come evidenziato nella planimetria riportata in Fig. 1);

*Considerata la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella carta idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall'art.6 “Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali” nelle NTA del PAI. In particolare, il comma 1 dell'Art. 6, definisce che: “Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità.”, al comma 7 definisce che “ Per tutti gli interventi nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.”*

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, senza che si verifichi un aumento delle condizioni di rischio idraulico nel territorio circostante, in accordo con la normativa vigente, è stato redatto il presente studio secondo le procedure previste nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Lo scrivente nell'ambito della redazione dello studio di compatibilità idraulica ha predisposto quindi un'analisi del rischio idraulico basato a monte su uno studio idrologico attraverso una modellazione afflussi – deflussi per la determinazione della pioggia netta che è stata utilizzata successivamente come input nella modellazione idraulica bidimensionale per la propagazione dei deflussi con tempo di ritorno di 200 anni all'interno del dominio di calcolo, allo scopo di accertare che:

- I. gli interventi previsti siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in maniera tale che non subiscano danni in caso che la zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Considerato che l'intervento in progetto sarà realizzato osservando le seguenti indicazioni:

- le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 50 cm al di sopra del livello idrico massimo relativo alla piena duecentennale;

- i manufatti devono essere realizzati su strutture poggiate su pali che non devono interferire con il libero deflusso delle acque per cui la quota d'intradosso deve essere posta almeno 50 cm al di sopra del livello idrico massimo relativo alla piena duecentennale;

Con riferimento alle modifiche indotte al regime idrologico ed idraulico, considerato che:

- la tipologia delle batterie di pannelli fotovoltaici previste, caratterizzati da una certa distanza tra le varie batterie, permette di affermare che l'installazione dei pannelli non costituisca consumo di suolo in quanto non viene sottratta allo stesso superficie permeabile. In questo caso infatti l'acqua piovana intercettata dai pannelli non tende a concentrarsi sui pannelli stessi, come farebbe invece sulla falda di un tetto di un edificio di grandi o medie dimensioni, ma ricade subito sul suolo posto al di sotto dei pannelli stessi. Le caratteristiche del suolo al di sotto dei pannelli non vengono in alcun modo alterate per cui permane la permeabilità originaria della zona.

Considerato inoltre che:

- sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione verranno installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- la realizzazione di recinzioni avverrà comunque utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 20 cm al di sopra del piano campagna;

si può affermare che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto non altera le condizioni di rischio idraulico della zona. Si può pertanto concludere che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto è compatibile con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona a condizione che nella fase realizzativa vengano rispettate integralmente le indicazioni progettuali sopra riportate.

Maggio 2020

Ing. Dario Tricoli



## ALLEGATI

## ALLEGATO A – Modellazione idraulica - Carte dei battenti e delle velocità

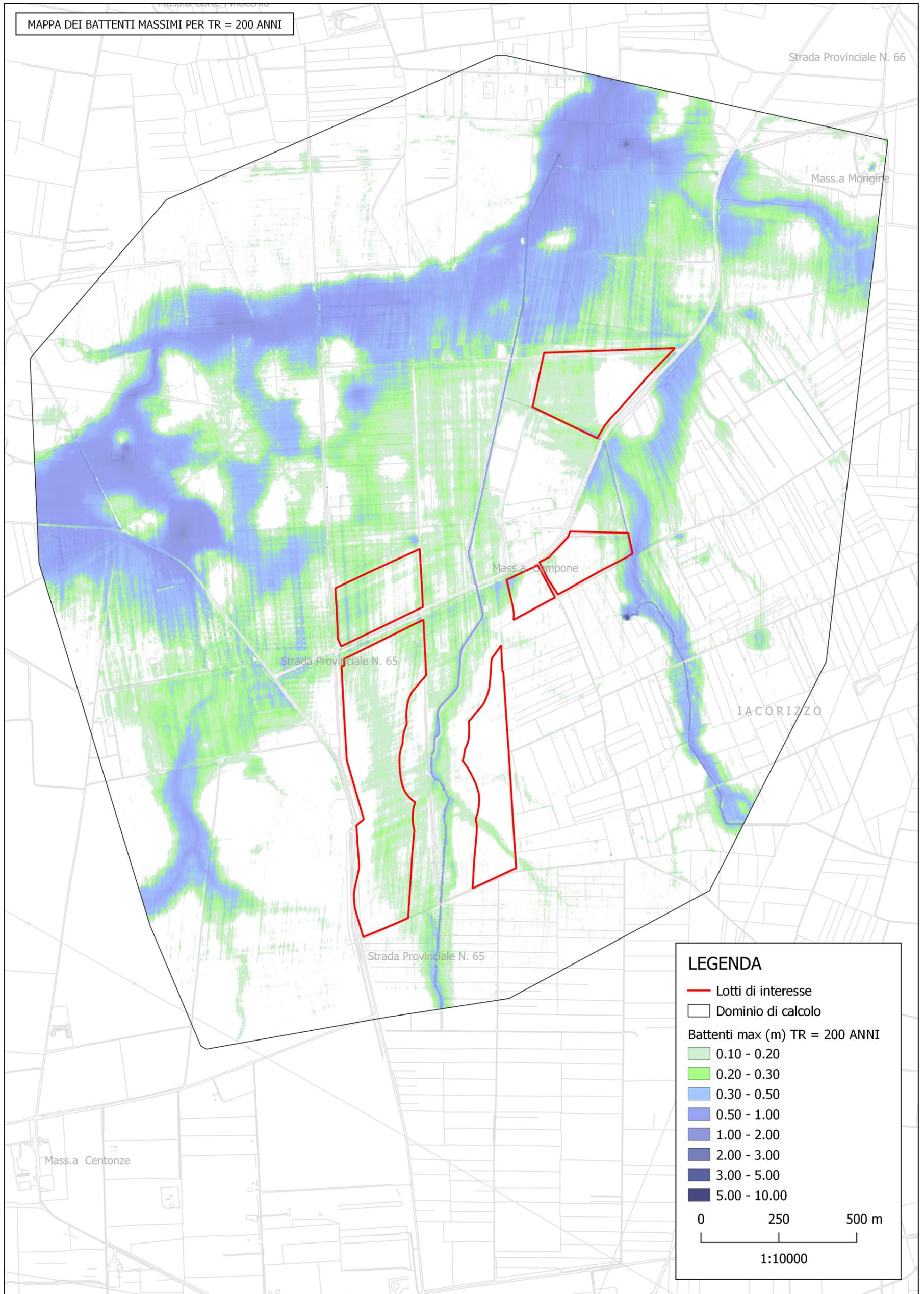


Fig. A1: Mappa Battenti massimi (m) per TR = 200 anni

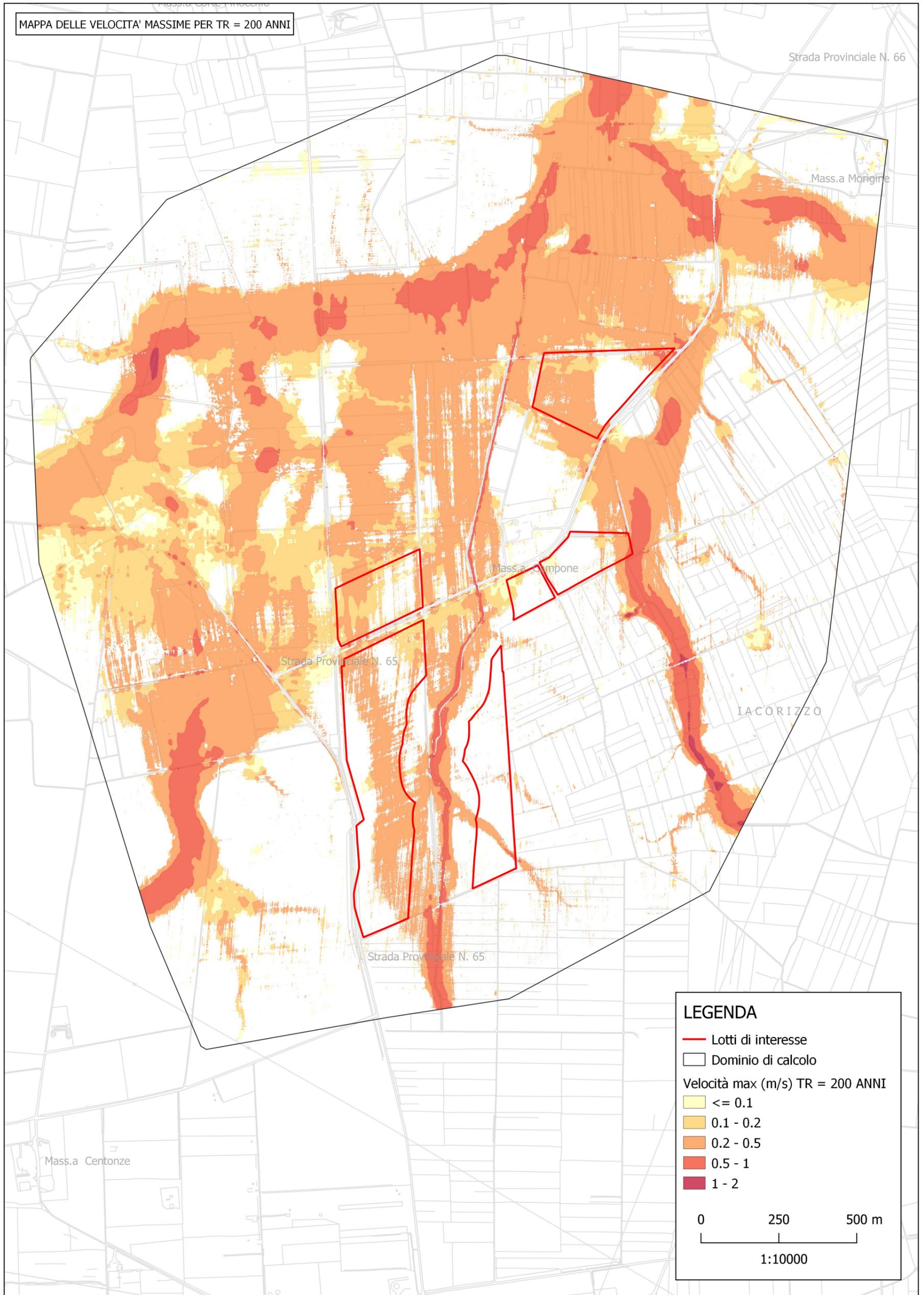


Fig. A2 Mappa velocità massime (m/s) per TR = 200 anni