



# MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

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



**REGIONE PUGLIA**



**PROVINCIA di  
FOGGIA**

**SAN SEVERO "CAPOBIANCO"  
54.232 kWp**

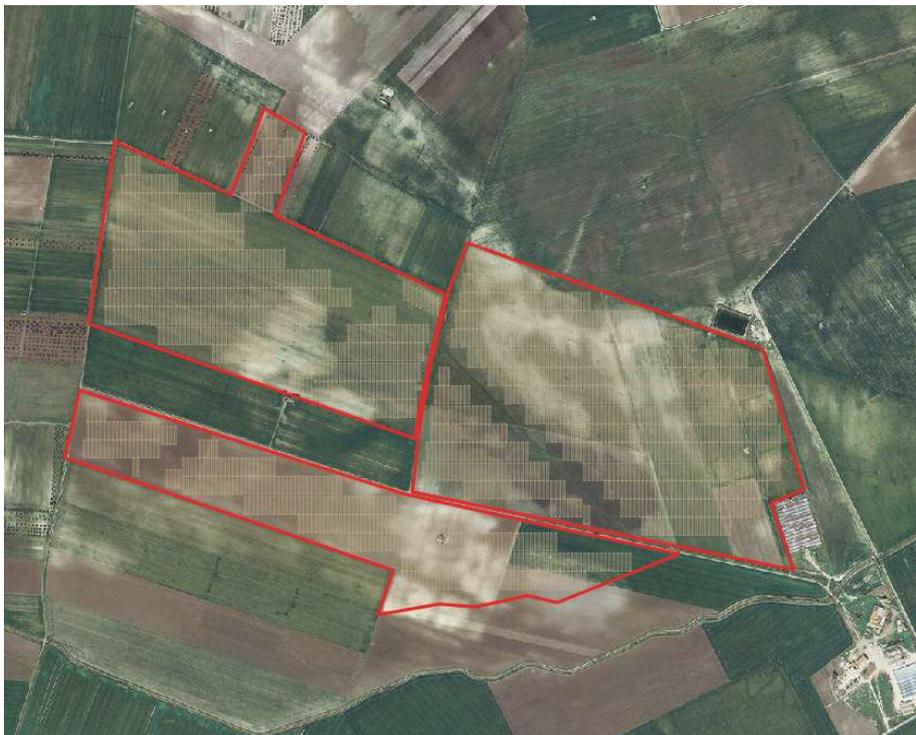


Progettazione e coordinamento	dott. arch. Roberto CARLUCCIO via Nino Bixio 60/b 72023 Mesagne (BR) - Italy	 via Napoli n° 363/I 70132 Bari - Italy	Prog. impianto fotovoltaico
Studio Geologico	dott. geol. Luisiana SERRAVALLE via Puglie n° 1 72027 S. Pietro Vernotico (BR) - Italy	 3E Ingegneria srl via 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 54.232 kWp nel comune di SAN SEVERO</b>			
Oggetto	Folder B - studio impatto ambientale			
	Nome elaborato San Severo Capobianco_DOC_A06			
Revisione	Descrizione elaborato Studio Idraulico			Scala
	11/07/2022	Oggetto revisione Emissione	Elaborazione	Verifica
	00/00/2022	Oggetto revisione		
	00/00/2022	Oggetto revisione		
	Codice Pratica <b>"San Severo Capobianco"</b>			

**COMUNE DI SAN SEVERO**  
**Provincia di Foggia**

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DI UN IMPIANTO  
FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI SAN SEVERO (FG)**



**Committente: MY SUN**



**Novembre 2019**

**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 SEVERO**  
**Provincia di Foggia**

**Committente: MY SUN**

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI SAN SEVERO (FG)**

**Studio di compatibilità idraulica**

**Novembre 2019**

**Il Tecnico**



## Indice generale

<b>1 – Premessa</b> .....	<b>4</b>
<b>2 – Ricostruzione quadro conoscitivo</b> .....	<b>8</b>
2.1 - Inquadramento area di studio.....	8
2.2 - Pianificazione di Bacino.....	14
2.3 – Modello digitale del terreno (DEM).....	17
2.4 - Uso del suolo.....	22
2.5 – Litologia.....	24
2.6 – Curve Number.....	26
2.7 – Rilievo topografico.....	29
2.8 - Caratteristiche pluviometriche.....	31
<b>3 – Analisi del rischio idraulico</b> .....	<b>33</b>
3.1.– Modellistica utilizzata.....	34
3.1.1 – Modellazione Idrologica.....	34
3.1.2 - Modellazione idraulica .....	37
3.2.– Studio idrologico.....	44
3.2.1 – Risultati ottenuti.....	47
Separazione delle piogge.....	47
3.3.– Verifiche idrauliche stato attuale.....	51
3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale.....	51
3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale.....	57
3.4.– Descrizione interventi in progetto.....	62
3.5.– Verifiche idrauliche dello stato di progetto.....	64
<b>4 – Conclusioni e raccomandazioni</b> .....	<b>66</b>
<b>ALLEGATI</b> .....	<b>70</b>
ALLEGATO A – Modellazione idraulica - Carte dei battenti e delle velocità.....	71

## 1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud del centro abitato di San Severo (FG) dove il committente, MY SUN del gruppo METKA EGN ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico. Il lotto in cui si vuole realizzare l'impianto ricade a Sud rispetto al Comune di San Severo e a Nord-Est rispetto al Comune di Lucera posizionato al confine amministrativo tra i due Comuni in una zona pianeggiante posta in sinistra idraulica rispetto al Canale Pontesano, affluente in sinistra del Torrente Triolo, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi Fig. 1) e sulla planimetria di dettaglio riportata in Fig. 2 in cui è presente il reticolo idrografico estratto dalla Carta Idrogeomorfologica e la perimetrazione del PAI.

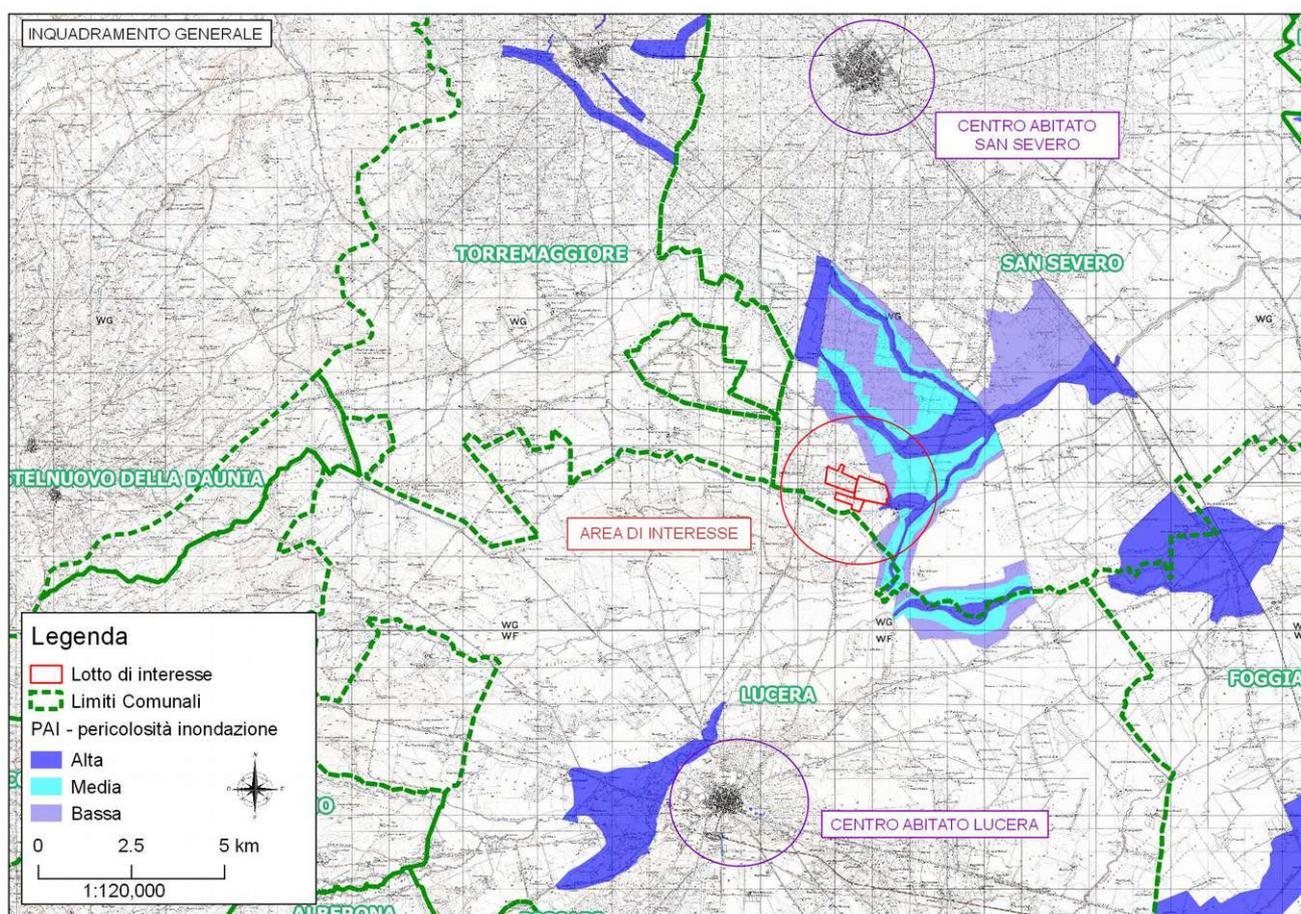


Fig. 1: Inquadramento area oggetto di studio su IGM 1:25000 con aree perimetrate PAI

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 ricade in piccola percentuale in area ad alta pericolosità (come evidenziato nella planimetria riportata in Fig. 2); di conseguenza, si fa riferimento a quanto prescritto dall'articolo 7 "Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica" delle NTA del PAI della Regione Puglia. Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico  
agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

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



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 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.

## **2 – Ricostruzione quadro conoscitivo**

### **2.1 - Inquadramento area di studio**

Nella figura 3 è riportato, su base cartografica IGM, il centro abitato di San Severo con l'individuazione dell'area oggetto di intervento (in rosso) situata a sud dello stesso centro; nelle figure 4, 5 e 6 è invece riportato un dettaglio della zona di interesse rispettivamente su base Cartografia Tecnica Regionale, su ortofoto e sulla Carta Idrogeomorfologica.

Dall'esame della cartografia risulta che l'area oggetto di interesse ricade morfologicamente nella porzione di territorio caratterizzata da basse pendenze situata a monte della confluenza tra il Torrente Triolo e il Canale Pontesano così come rappresentato nella Carta Idrogeomorfologica della Puglia, vedi Fig. 6.

La zona di intervento è stata ricompresa in una più ampia area, che coincide con il dominio che sarà utilizzato per la modellazione idrodinamica bidimensionale e che presenta una superficie di circa 26.7 kmq. Il dominio di calcolo è stato esteso, come riportato in Fig. 7, a monte e a valle dell'area di interesse 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.



Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

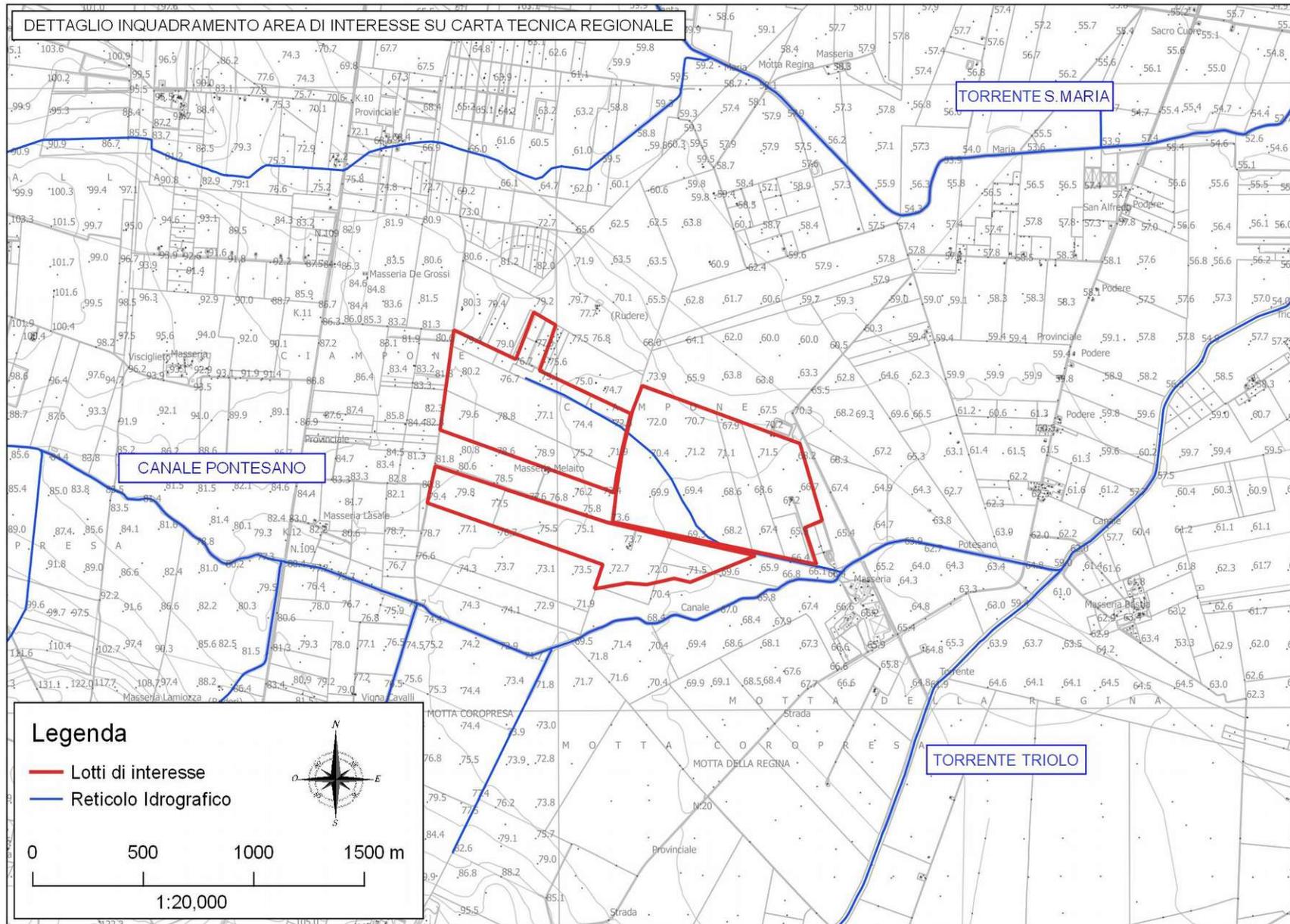


Fig. 4: Area di interesse - CTR

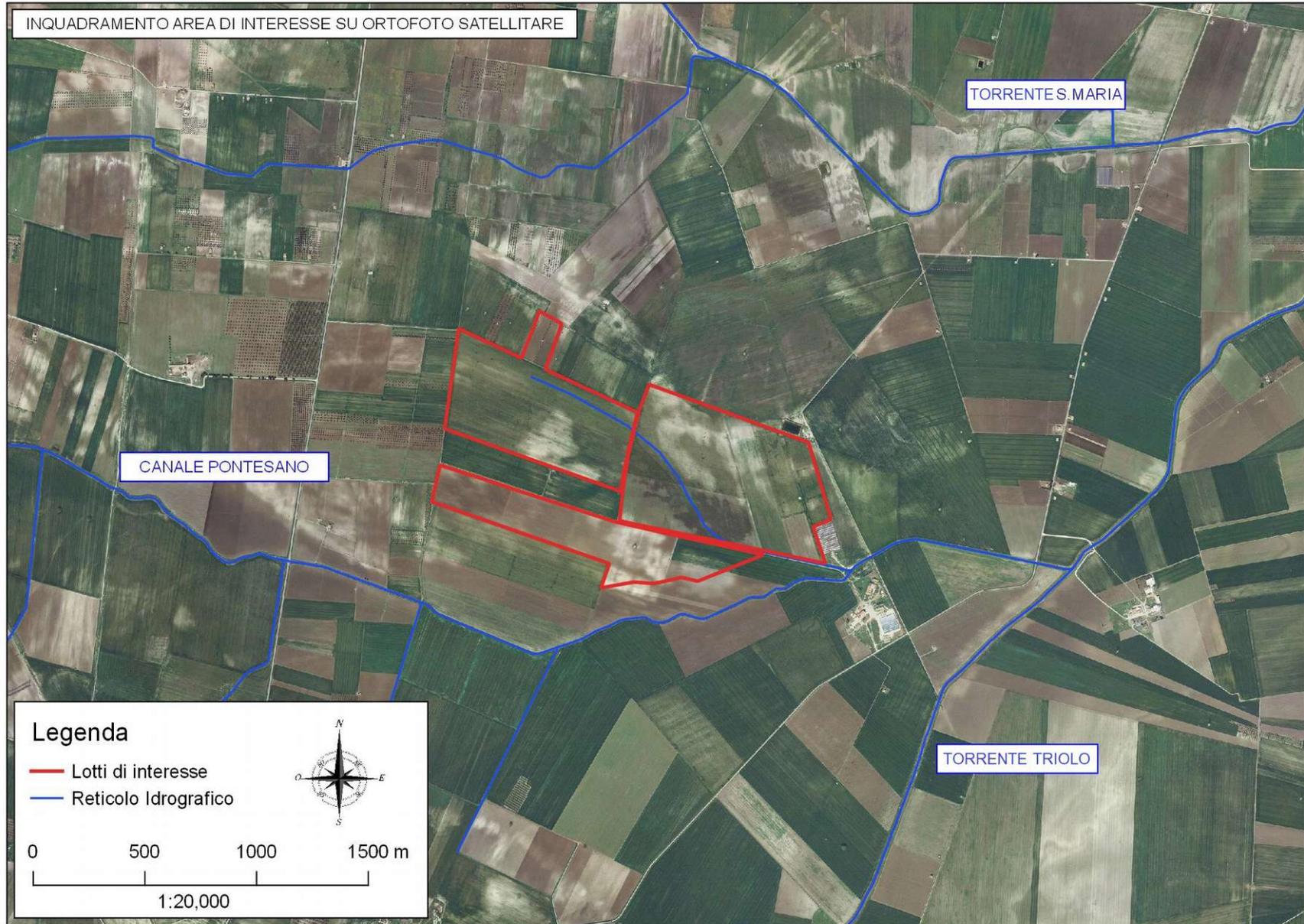


Fig. 5: Area interesse - Ortofoto

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

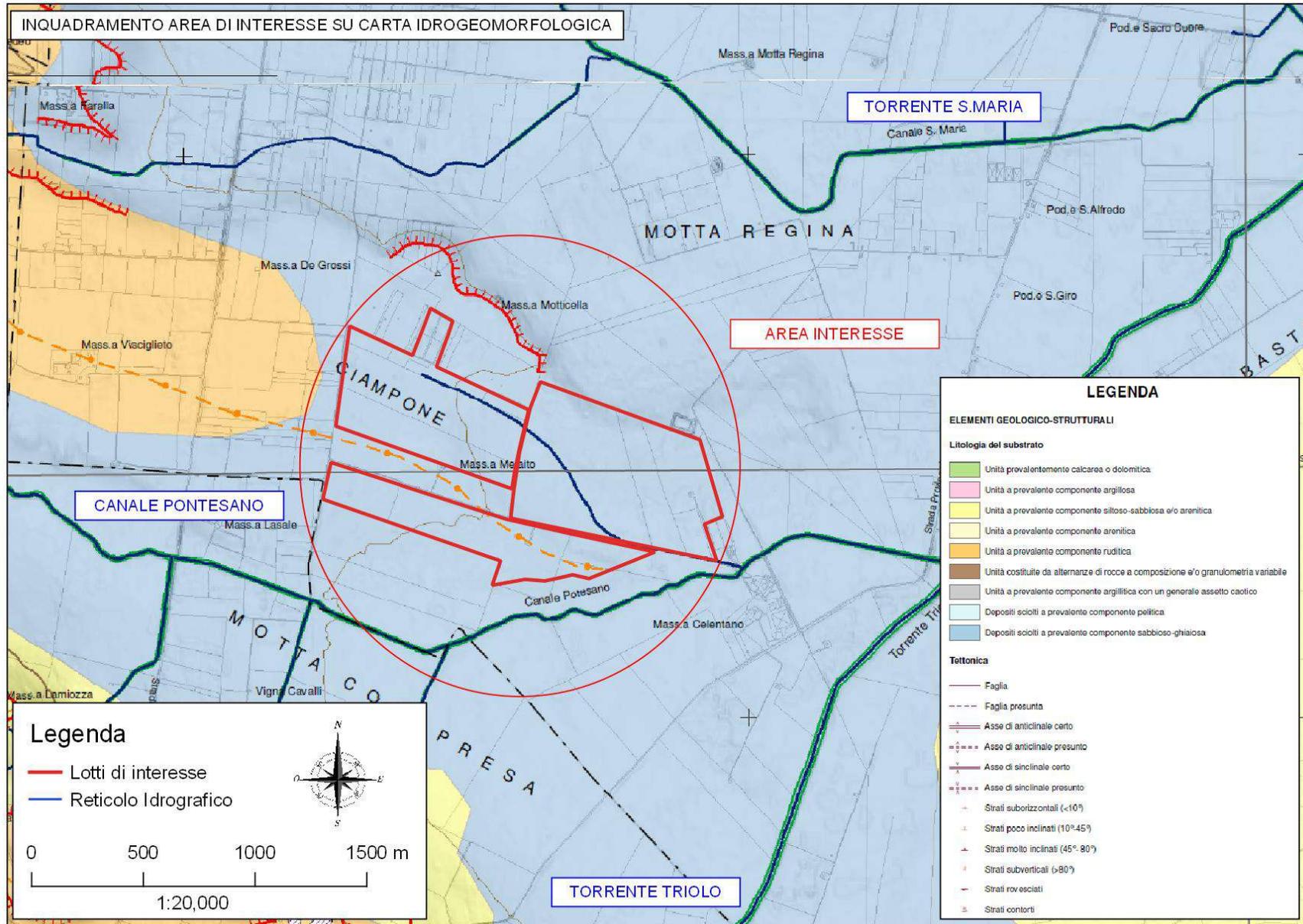


Fig. 6: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeomorfologica

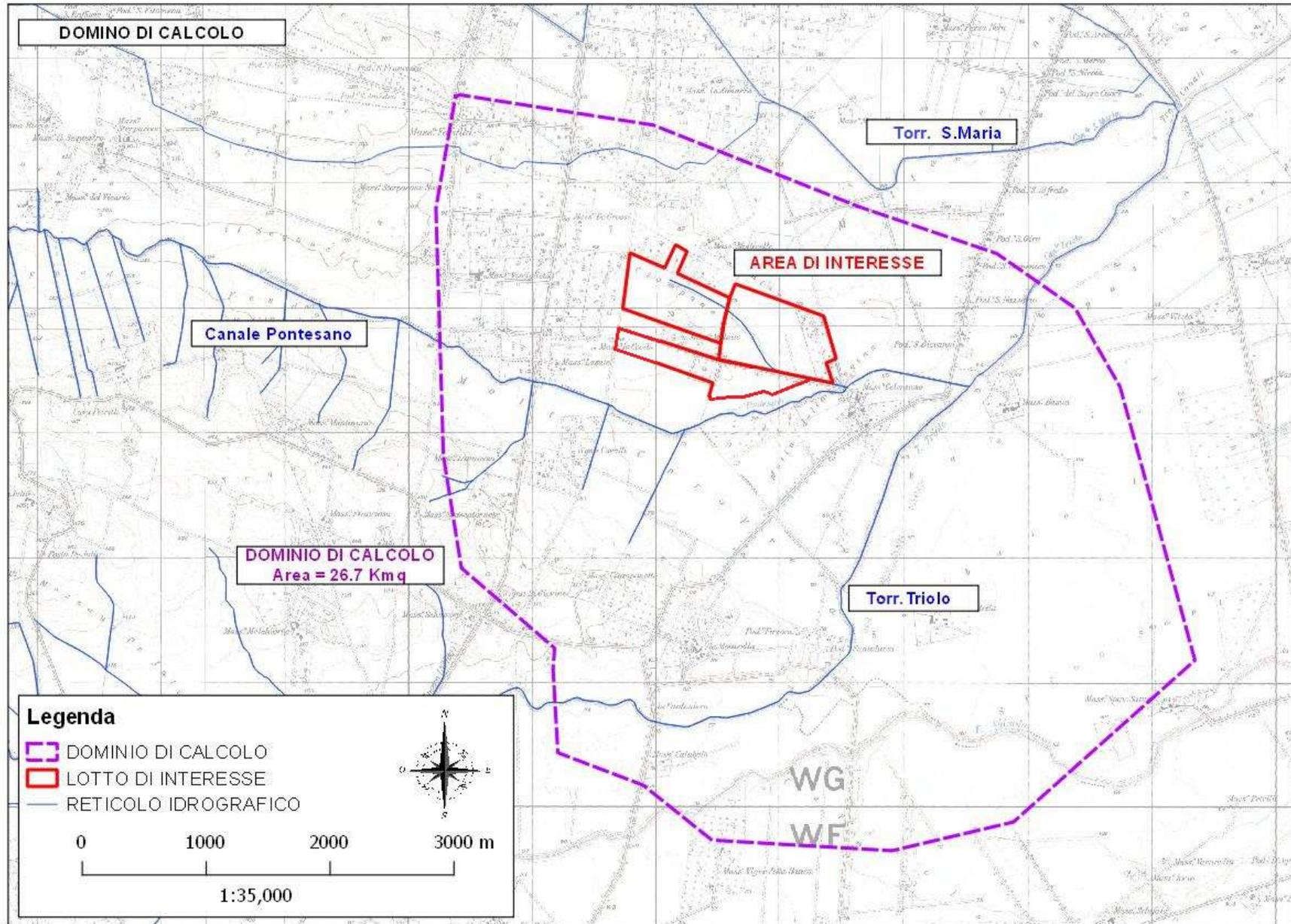


Fig. 7: Definizione del dominio di calcolo

## 2.2 - Pianificazione di Bacino

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Puglia, normato dalla Direttiva 2007/60/CE e dal Decreto di recepimento 49/2010, ha 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 dallo studio presente nel PGRA, sia in termini di portate, battenti e velocità, per i diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni) riportati nelle tabelle seguenti (vedi Tabb. 1 e 2 ), sia, di conseguenza, in termini di aree perimetrate, che coincidono con quelle del PAI adottato come riportato, rispettivamente, nelle Fig. 8 e 9.

<b>SEZIONE 1- CANALE PONTESANO- a monte del ponte sulla SP109</b>			
<b>Tr</b>	<b>Battenti (m)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>	<b>Portate (mc/s)</b>
30	1.36	2.12	22.49
200	1.18	4.27	37.01
500	1.41	3.99	44.99

Tab. 1: Valori di  $h$  (m),  $V$  (m/s) e  $Q$  (mc/s) per la sezione del canale Pontesano a monte dell'attraversamento sulla strada Provinciale SP109

<b>SEZIONE 2- CANALE PONTESANO- a monte della confluenza con il Torrente Triolo</b>			
<b>Tr</b>	<b>Battenti (m)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>	<b>Portate (mc/s)</b>
30	1.5	0.67	28.1
200	1.62	0.85	46.22
500	1.76	0.81	55.1

Tab. 2: Valori di  $h$  (m),  $V$  (m/s) e  $Q$  (mc/s) per la sezione del canale Pontesano a monte della confluenza con il Torrente Triolo

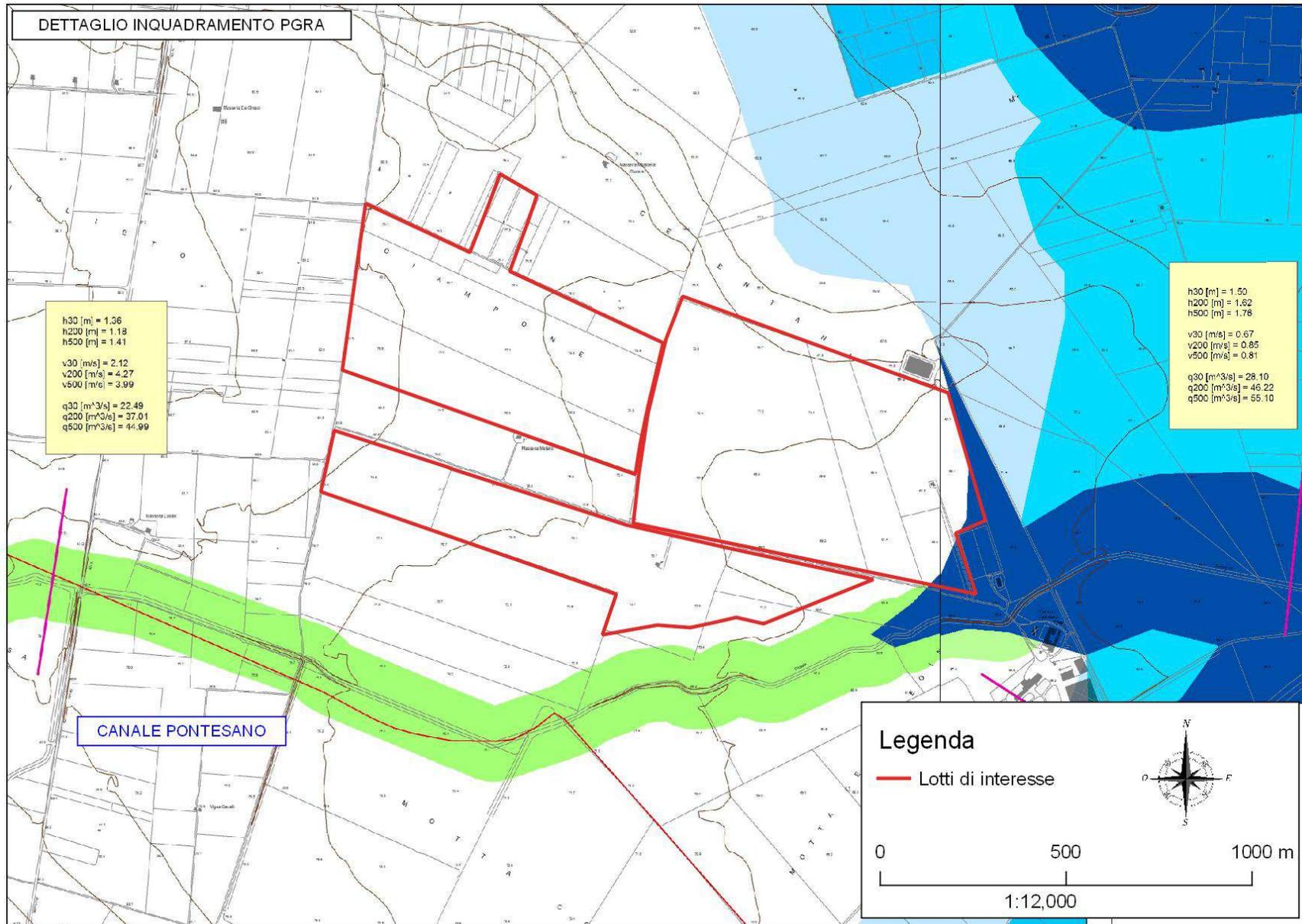


Fig. 8: Inquadramento Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA – 2016)

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

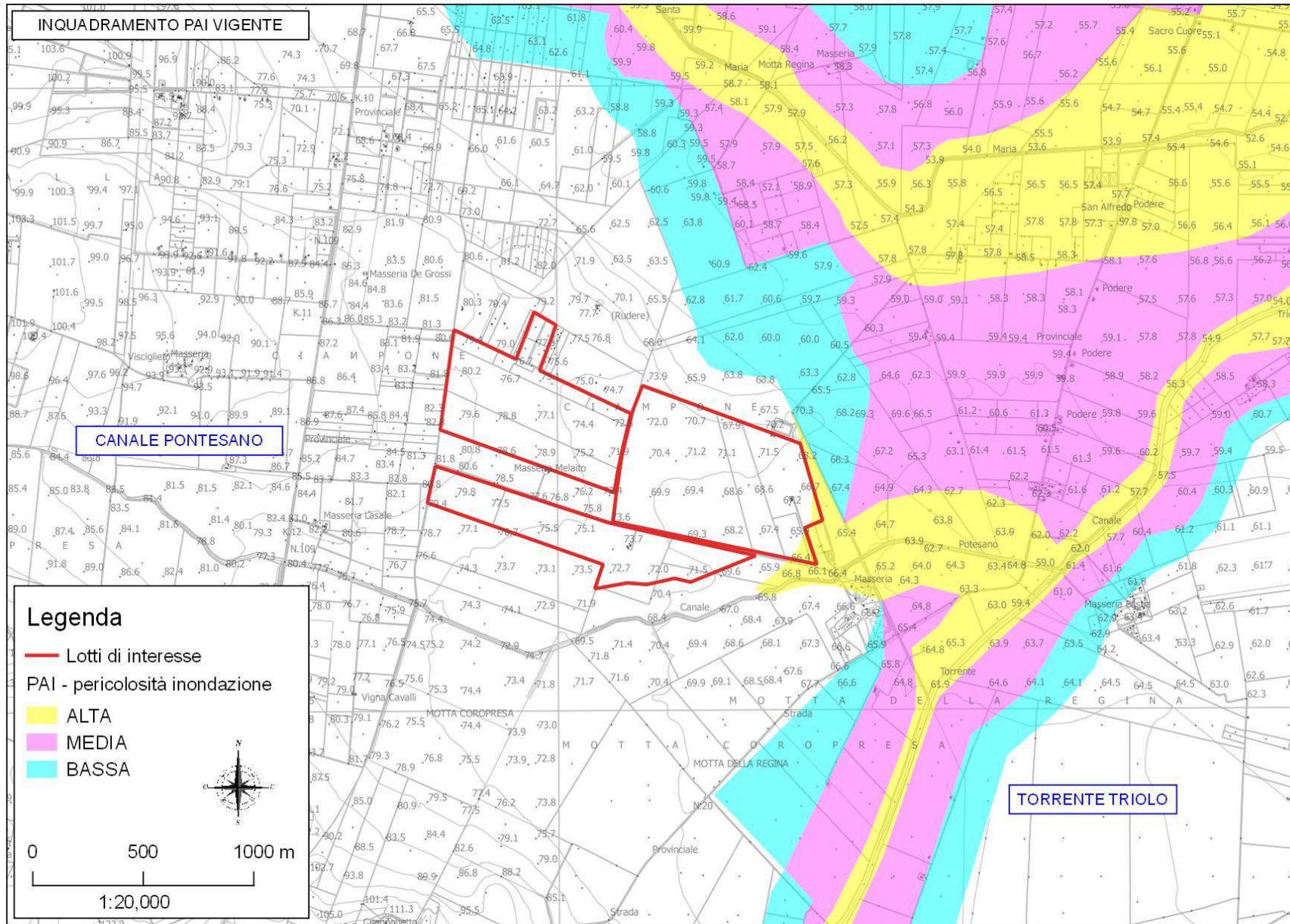


Fig. 9: Perimetrazione PAI vigente

## 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.10).

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.11.

Tutti i dati cartografici disponibili sono stati quindi implementati in un Sistema Informativo Territoriale mediante software GIS tramite il quale è stato possibile 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) in ambiente GIS per la delimitazione dei bacini idrografici di interesse chiusi in corrispondenza della confluenza fra il canale Pontesano e il Torrente Triolo. Il risultato della procedura è riportato in fig. 12 che mostra la delimitazione dei bacini idrografici estratti dal DEM mentre in tab. 3 sono riportati i valori delle aree dei singoli sottobacini. Oltre ai bacini idrografici la procedura permette l'estrazione di una serie di informazioni tra cui il reticolo idrografico. Dalla procedura è risultata una sostanziale coerenza tra il reticolo estratto con tecniche automatiche dal DEM (linea azzurra) in ambiente GIS ed il reticolo della carta idrogeomorfologica (linea blu), vedi fig.13.

Cod	Nome	Area (Kmq)
1	Sottobacino 01	35.95
2	Sottobacino 02	90.68
<b>TOTALE</b>		126.63

Tab. 3: Valori delle aree per ciascuno dei sottobacini considerati

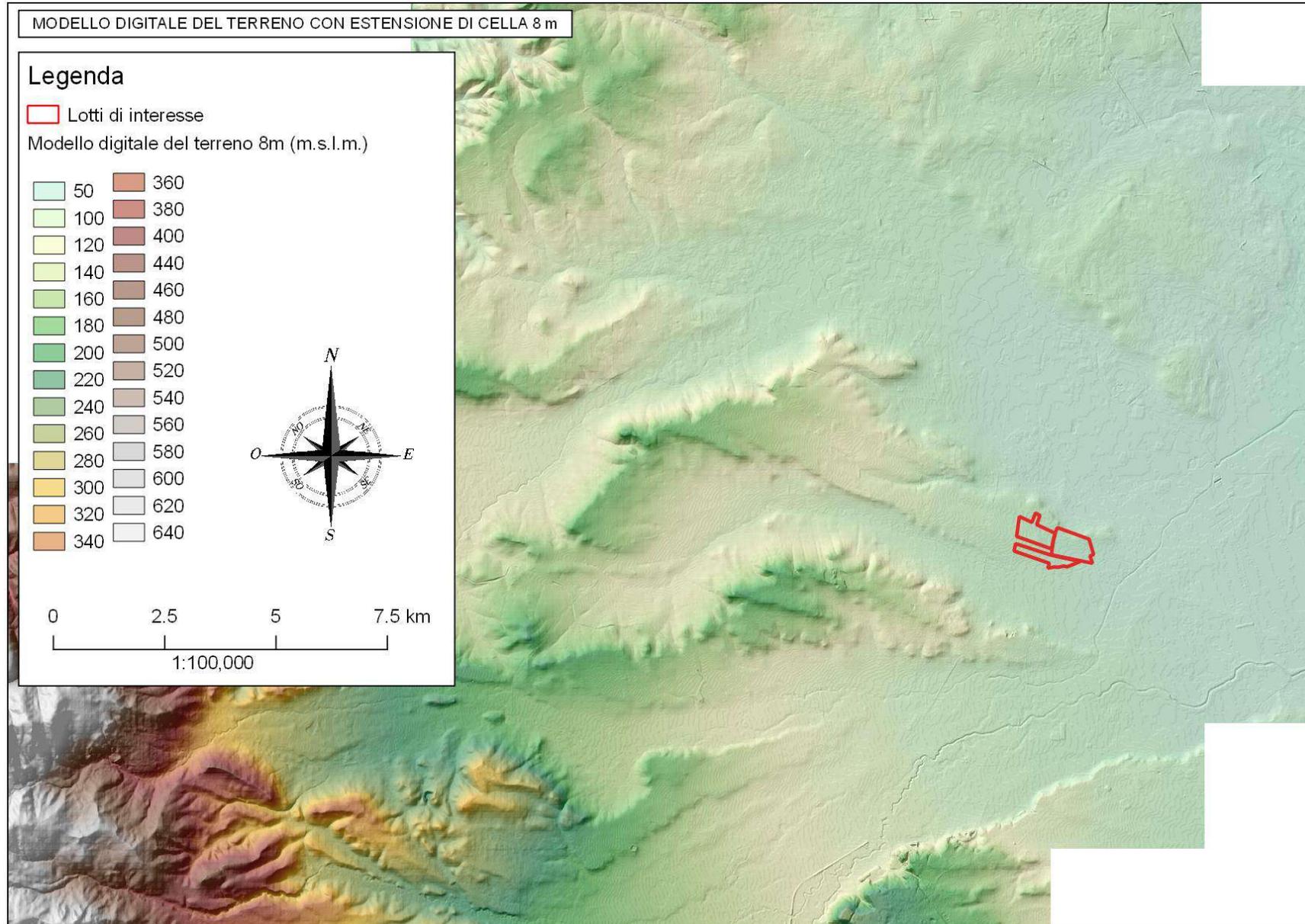


Fig. 10: Modello Digitale del Terreno (8 metri) utilizzato per l'estrazione automatica dei bacini idrografici.

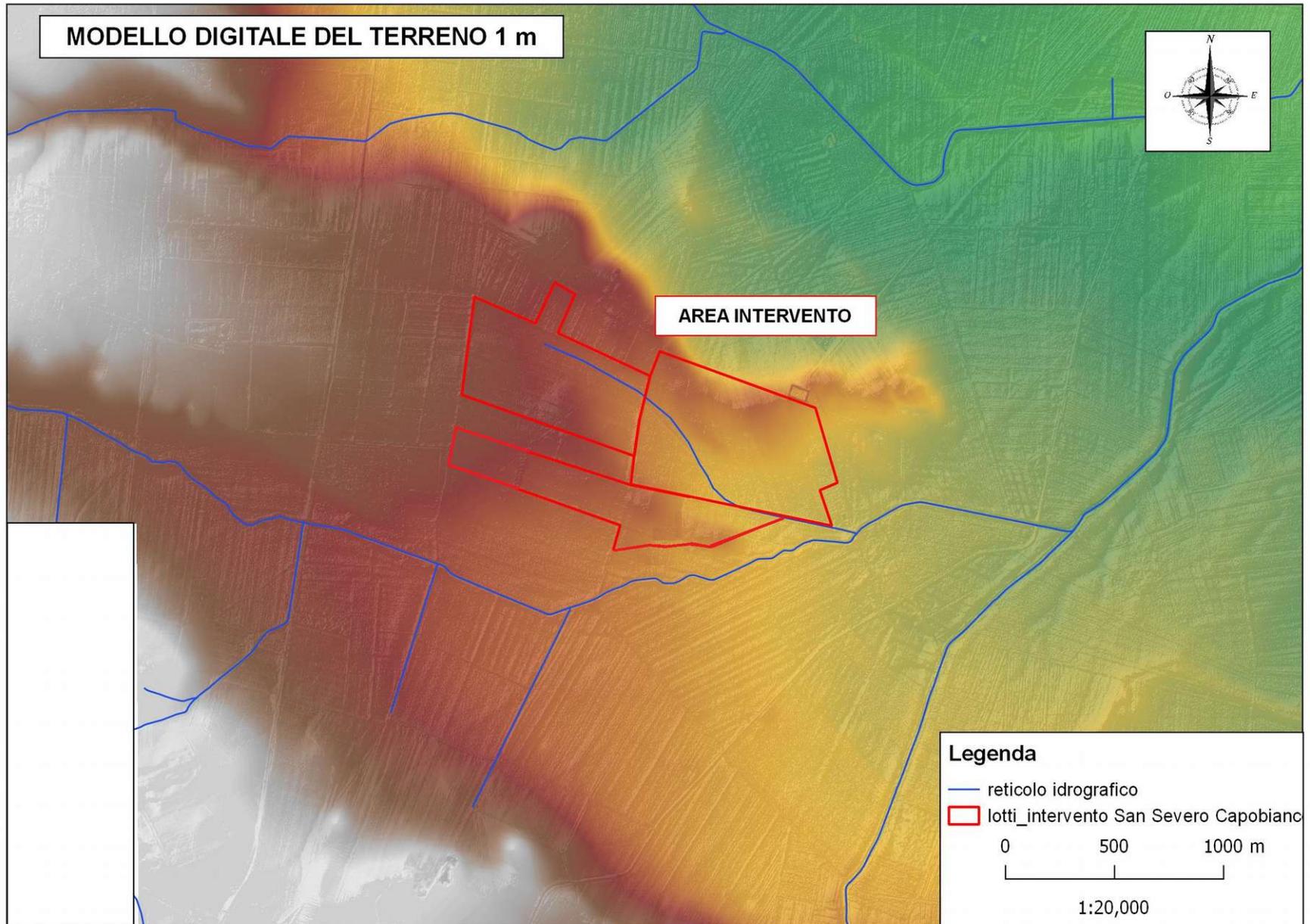


Fig. 11: Dettaglio del modello digitale del terreno con cella 1 m nell'area di intervento.

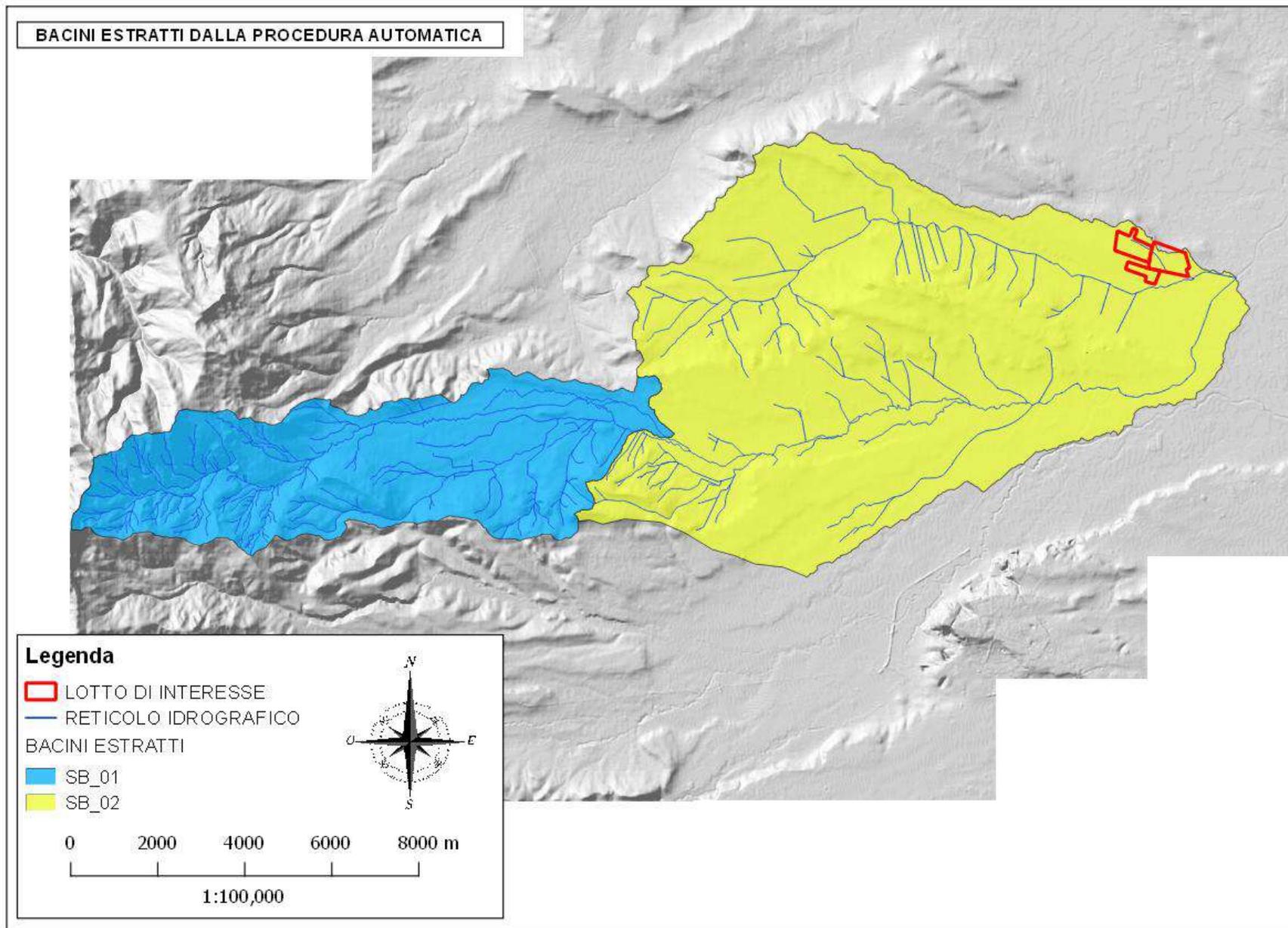


Fig. 12: Bacini idrografici estratti dalla procedura automatica.

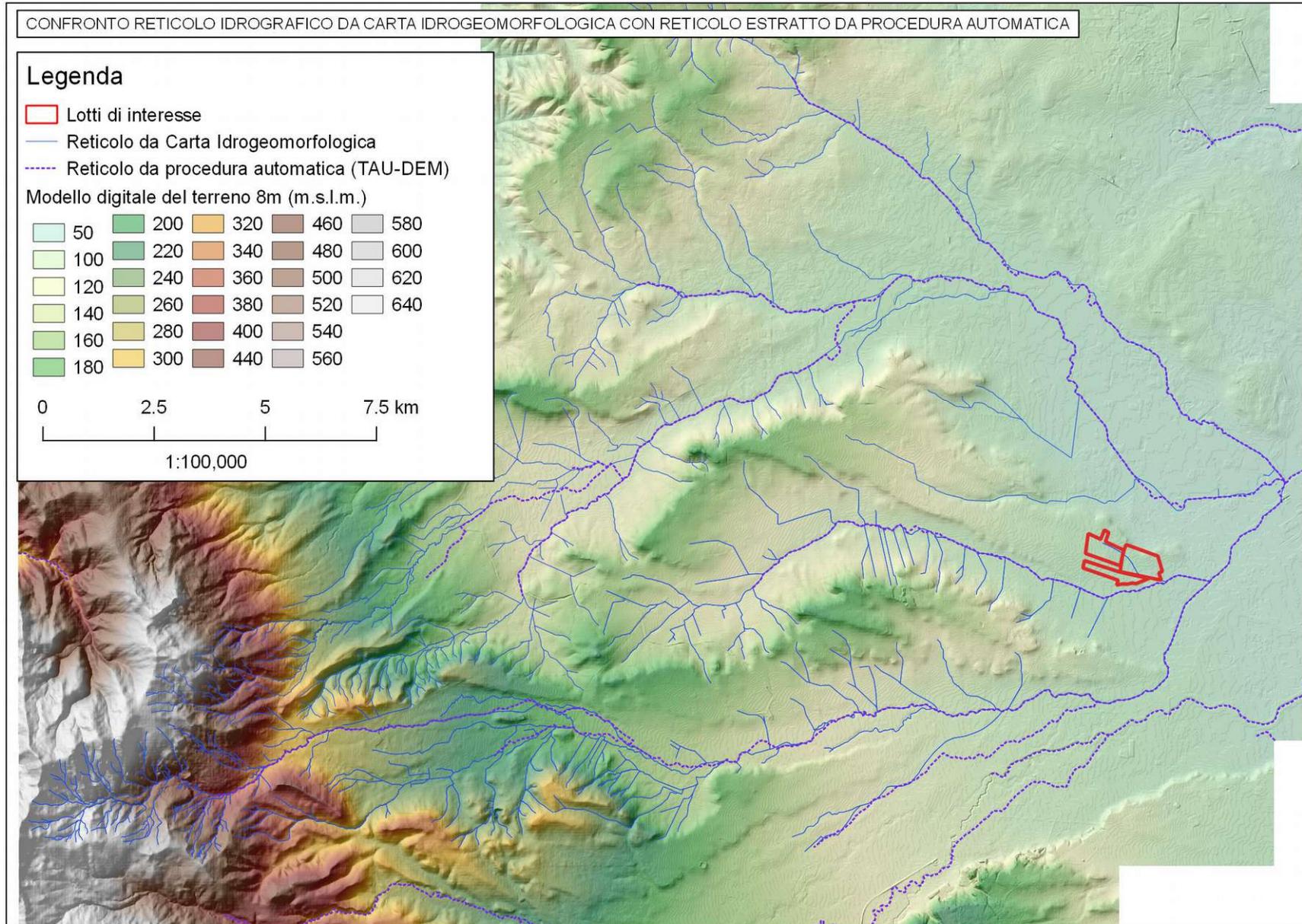


Fig. 13: Confronto tra reticolo idrografico da Carta Idrogeografica e Reticolo estratto da procedura automatica TAU-DEM

## 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 14.

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 nei sottobacini sia caratterizzato dalla presenza prevalente di aree seminative semplici in aree irrigue (49%) e non irrigue (38.6%) per una percentuale di circa l'88%. La porzione di territorio urbanizzato all'interno dei bacini d'interesse si mantiene al di sotto del 3% come mostrato in tabella 4. Le aree rimanenti sono caratterizzate da boschi di latifoglie e conifere, vigneti, frutteti, uliveti e aree a pascolo naturale.

CLC III LIV	DESCRIZIONE	AREA (KM2)	AREA (%)
111	tessuto residenziale continuo	0.37	0.293
112	tessuto residenziale sparso	0.10	0.078
121	insediamenti produttivi agricoli	1.25	0.989
122	reti stradali e spazi accessori	0.73	0.578
131	aree estrattive	0.11	0.087
132	depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	0.01	0.006
133	cantieri e spazi in costruzione e scavi	0.36	0.285
142	aree sportive	0.01	0.008
143	cimiteri	0.01	0.008
211	seminativi semplici in aree non irrigue	48.85	38.576
212	seminativi semplici in aree irrigue	62.04	48.990
221	vigneti	1.73	1.369
222	frutteti e frutti minori	0.04	0.032
223	uliveti	4.45	3.513
231	superfici a copertura erbacea densa	0.01	0.006
241	colture temporanee associate a colture permanenti	0.06	0.047
242	sistemi colturali e particellari complessi	0.01	0.006
243	aree prevalentemente occupate da coltura agrarie	0.02	0.016
311	boschi di latifoglie	2.55	2.010
312	boschi di conifere	0.40	0.317
314	prati alberati, pascoli alberati	0.43	0.340
321	aree a pascolo naturale, praterie, incolti	1.80	1.425
322	cespuglieti e arbusteti	0.83	0.657
511	fiumi, torrenti e fossi	0.44	0.348
512	bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui	0.02	0.016
<b>TOTALE</b>		<b>126.63</b>	<b>100.00</b>

Tab. 4: Classi di uso del suolo per i sottobacini considerati

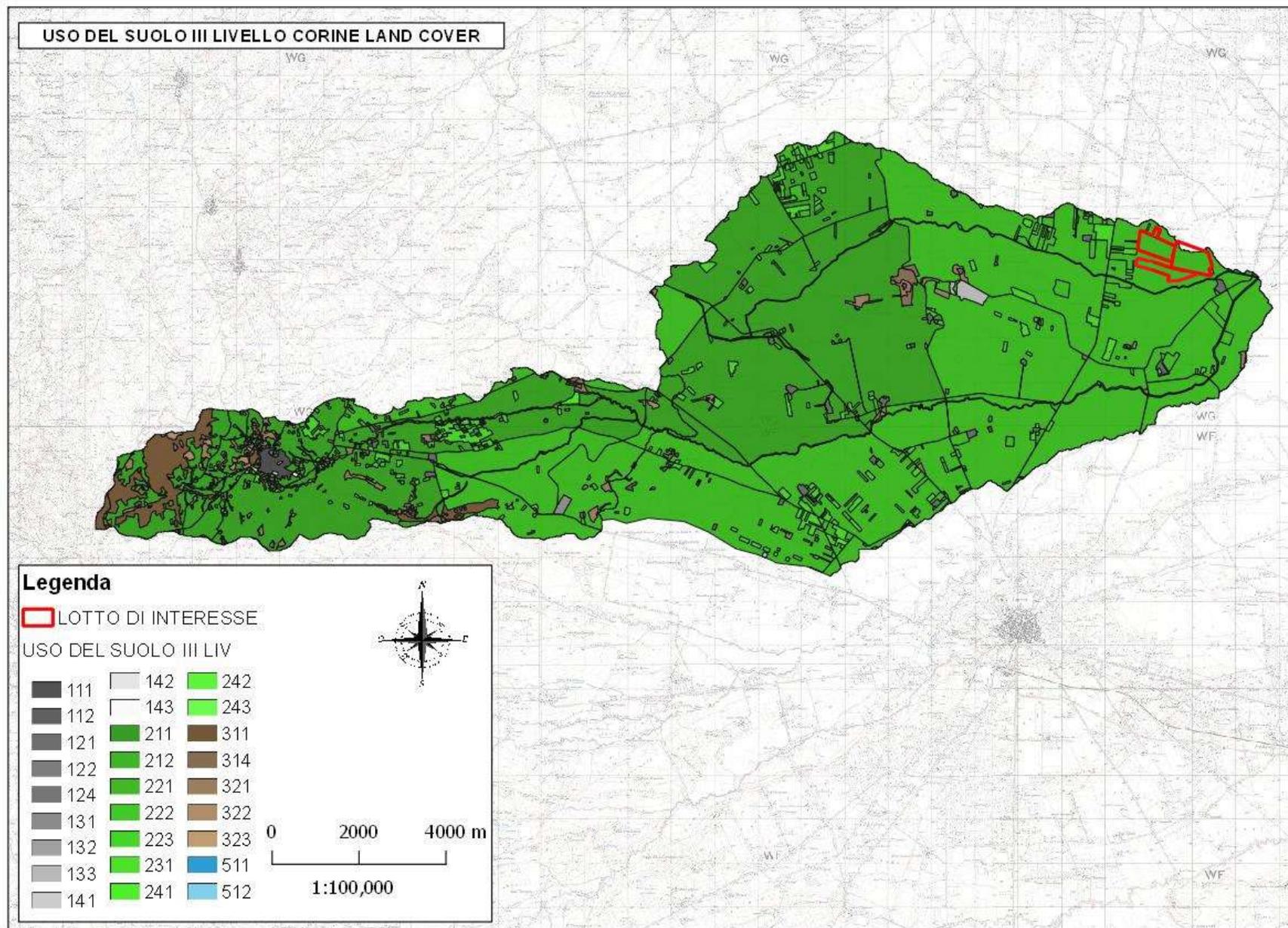


Fig. 14: Uso del suolo

## 2.5 – Litologia

Per l'individuazione della permeabilità dei suoli è stata utilizzata la litologia presente nella carta idrogeomorfologica, vedi fig. 15.

Dall'esame della carta litologica si evince che la maggior parte dell'area di interesse è costituita da depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa (per una percentuale di circa il 49%), da unità a prevalente componente ruditica (percentuale di circa il 25%) e da unità a prevalente componente argillosa. Ad ognuna delle classi litologiche riportate in Tab 6 è stato associato un valore di permeabilità coerentemente a quanto riportato nella Tab 5 .

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'
<p><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.</p>
<p><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.</p>
<p><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.</p>
<p><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.</p>

Tab. 5: Classi di permeabilità

TIPO	Area (Km <sup>2</sup> )	%
Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile	8.44	6.67
Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico	1.81	1.43
Unità a prevalente componente ruditica	31.83	25.14
Unità a prevalente componente argillosa	20.11	15.88
Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica	2.34	1.85
Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa	62.10	49.04
<b>TOTALE</b>	<b>126.63</b>	<b>100.00</b>

Tab. 6: Classi litologiche

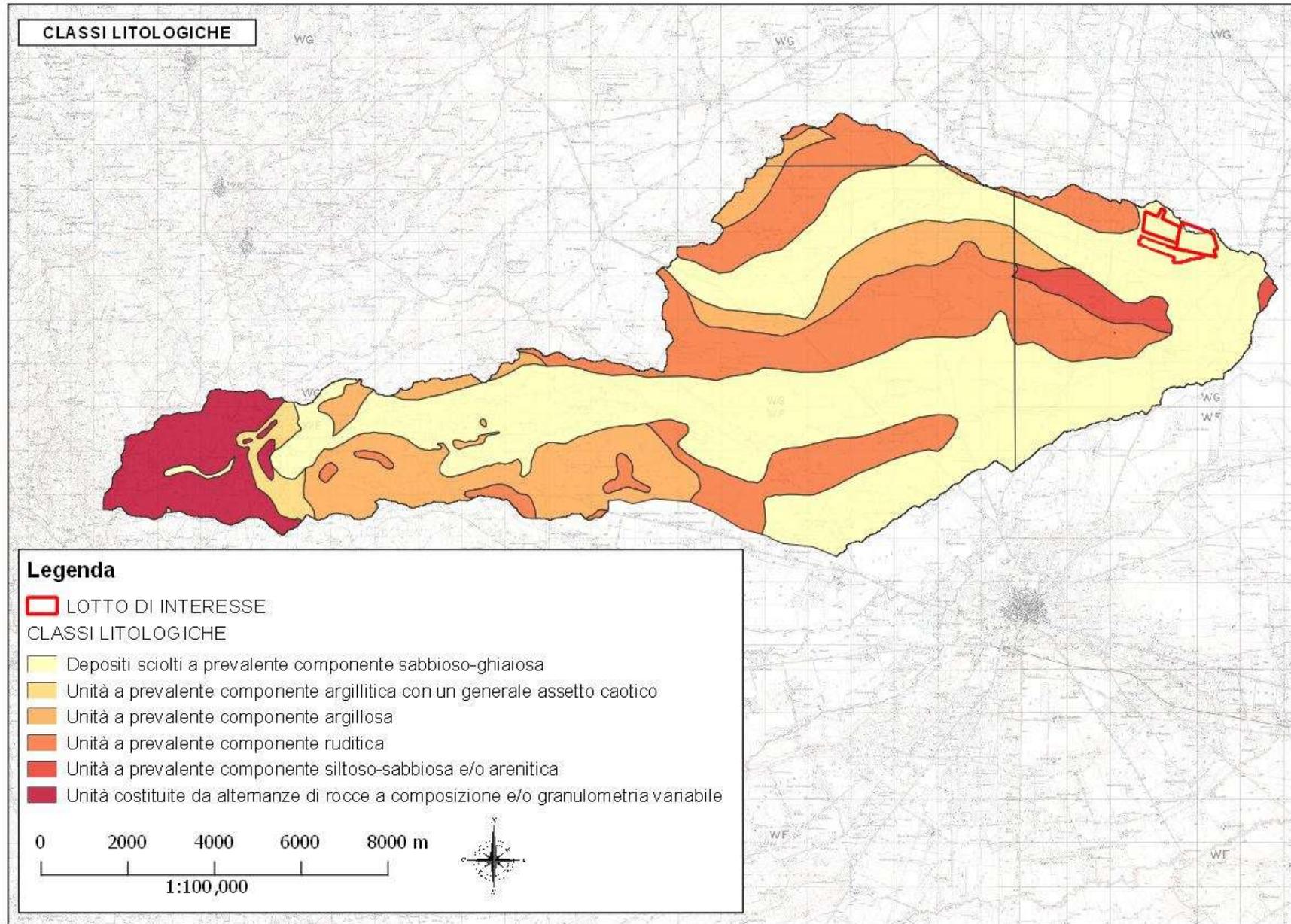


Fig. 15: Classi litologiche

## 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. 8 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 7.

<b>Cod</b>	<b>Nome</b>	<b>Area (Kmq)</b>	<b>CN</b>
1	SB_01	35.95	79.60
2	SB_02	90.68	76.82

Tab. 7: Valori del CN per ogni singolo sottobacino

N	CODICE CORINE (III LIV.)	DESCRIZIONE CORINE (III LIV.)	valori CN
1	111	Tessuto urbano continuo	77,85,90,92
2	112	Tessuto urbano discontinuo	61,75,83,87
3	121	Aree industriali o commerciali	89,92,94,95
4	122	Reti stradali e ferroviarie	89,92,94,95
5	131	Aree estrattive	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	72,81,88,91
11	212	Seminativi in aree irrigue	72,81,88,91
12	221	Vigneti	62,71,78,81
13	222	Frutteti e frutti minori	62,71,78,81
14	223	Oliveti	62,71,78,81
15	231	Prati stabili	72,81,88,91
16	241	Colture annuali associate a colture permanenti	62,71,78,81
17	242	Sistemi colturali e particellari complessi	62,71,78,81
18	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie	62,71,78,81
19	311	Boschi di latifoglie	45,66,77,83
20	312	Boschi di conifere	45,66,77,83
21	313	Boschi misti	45,66,77,83
22	314	Prati alberati, pascoli alberati	68,79,86,89
23	321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	68,79,86,89
24	322	Brughiere e cespuglieti	62,71,78,81
25	323	Aree a vegetazione sclerofila	45,66,77,83
26	324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	45,66,77,83
27	332	Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti	89,92,94,95
28	333	Aree con vegetazione rada	62,71,78,81
29	334	Aree percorse da incendi	62,71,78,81
30	511	Corsi d' acqua, canali e idrovie	100,100,100,100
31	512	Bacini d'acqua	100,100,100,100

Tab. 8: Valori del CN per classi di uso del suolo

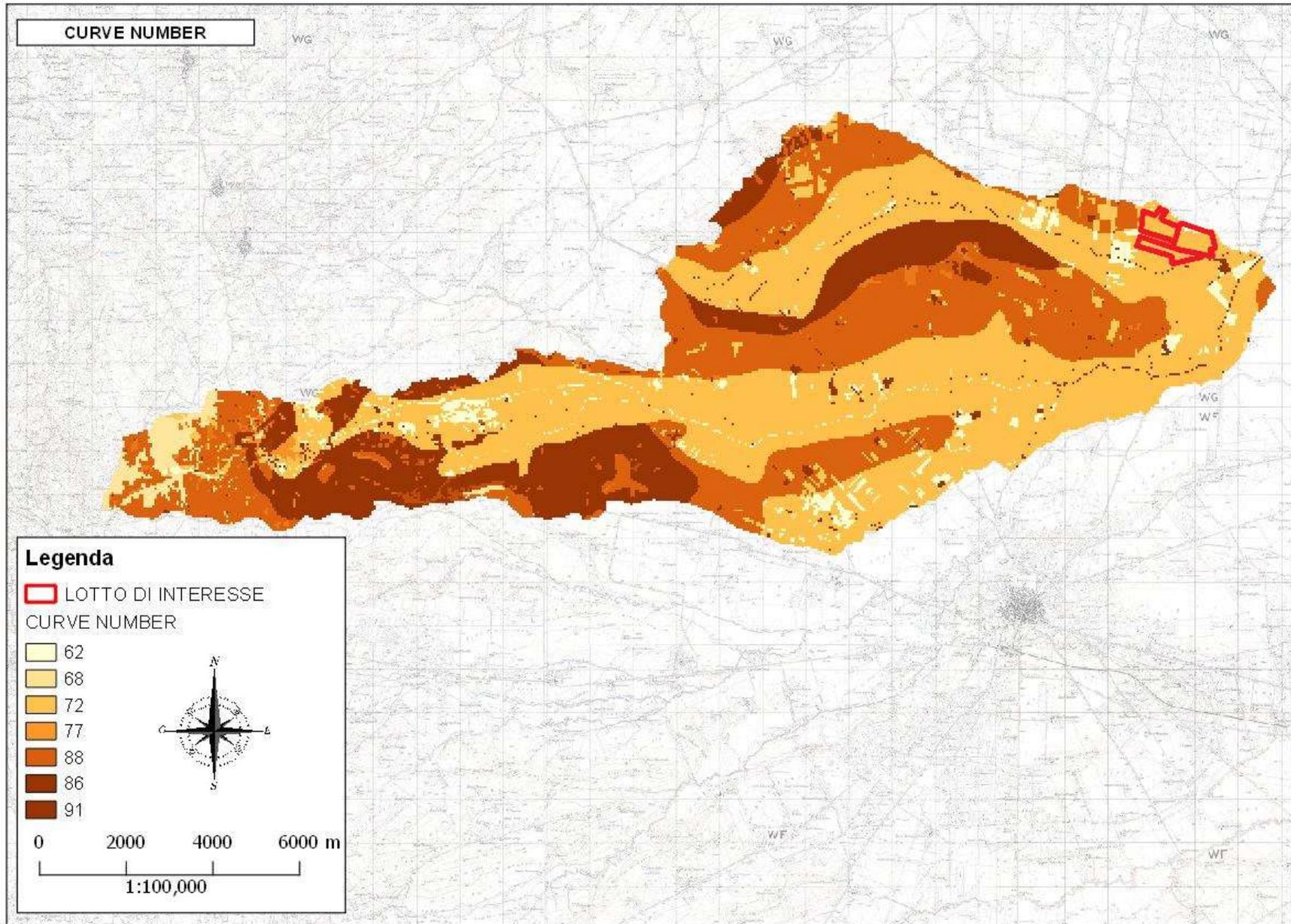


Fig. 16: Curve Number

## 2.7 – Rilievo topografico

L'analisi idraulica condotta nel presente studio è stata corredata da specifici e dettagliati rilievi topografici nonché da molteplici sopralluoghi sul campo allo scopo di ricostruire in maniera corretta lo stato dei luoghi e le sezioni idrauliche del corso d'acqua.

Pertanto, per la corretta definizione della geometria del modello idraulico da utilizzare per le verifiche idrauliche, è stato eseguito, in corrispondenza dell'area oggetto di studio individuata per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, un rilievo topografico di dettaglio finalizzato a caratterizzare i manufatti idraulici presenti nell'area di interesse. Nel corso delle attività di rilievo infatti particolare importanza è stata posta nel rilevare tutte le opere che interferiscono con il libero deflusso delle acque. A tal proposito sono stati rilevati i manufatti presenti nell'area secondo quanto riportato in Figura 17.

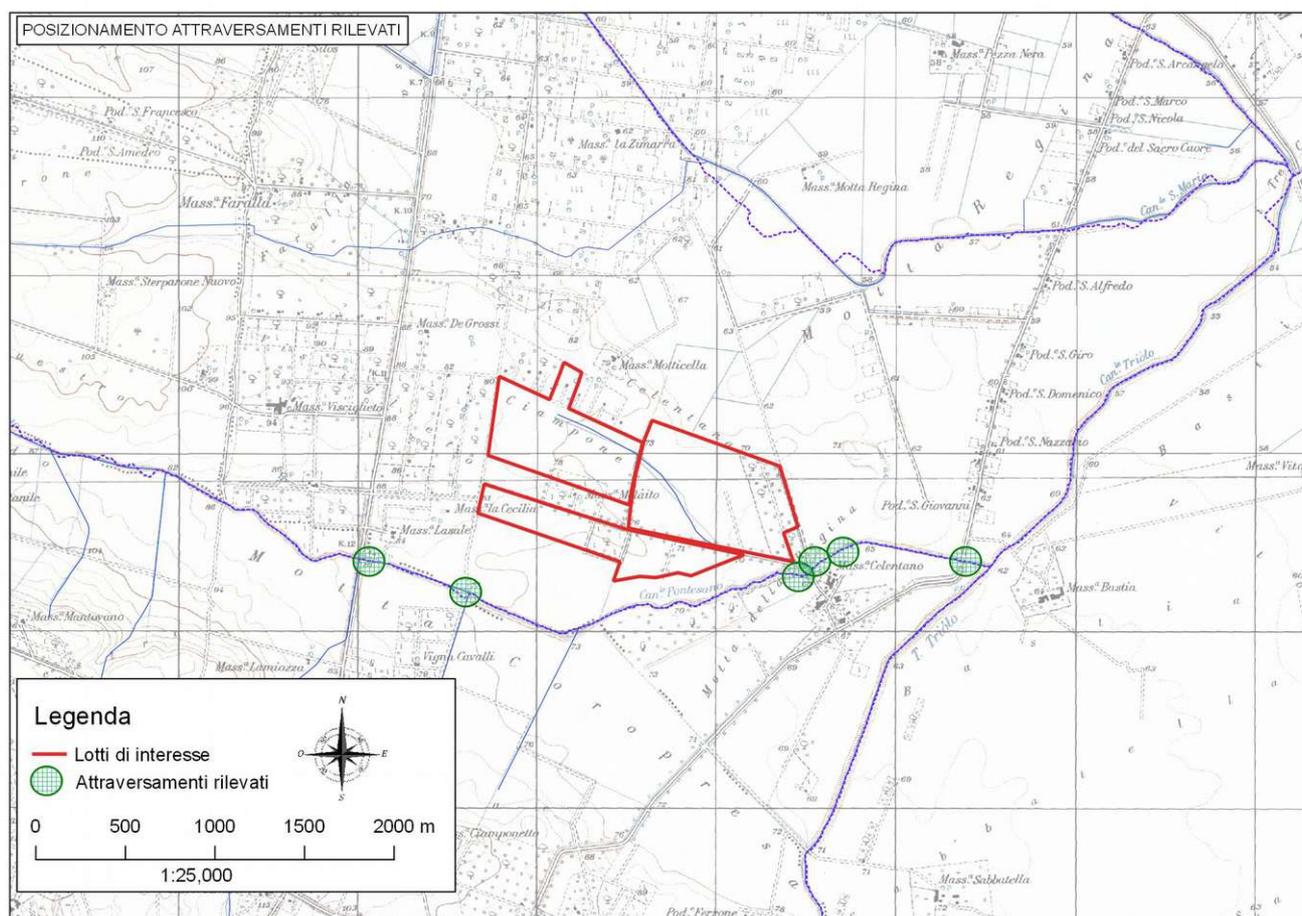


Fig. 17: Posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico di dettaglio

Nell'ambito del rilievo topografico di dettaglio sono stati rilevati nello specifico n° 6 attraversamenti al fine della loro implementazione nel modello idraulico. In Fig. 18 si riporta la foto di uno degli attraversamenti rilevati scattata monte verso valle, mentre in Fig. 19 è riportato il risultato del rilievo topografico. In Fig. 20 è invece riportata una foto di uno degli attraversamenti scattata dall'alto scattata durante il rilievo mediante l'utilizzo di un drone.



Fig. 18: Foto attraversamento scattata da monte verso valle

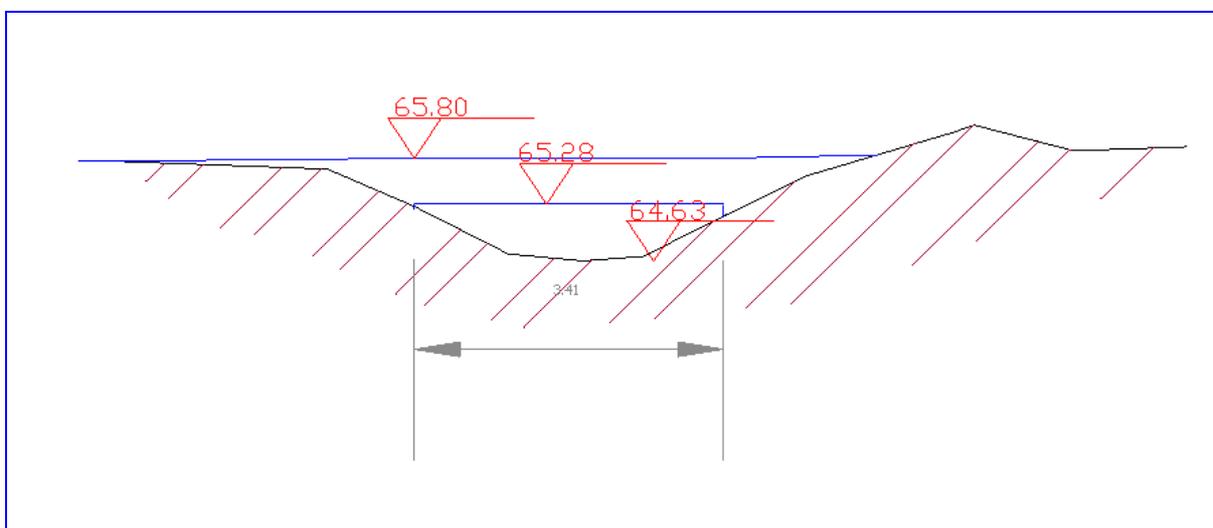


Fig. 19: Rappresentazione grafica dell'attraversamento a seguito del rilievo topografico di dettaglio



Fig. 20: Foto di uno degli attraversamenti rilevati scattata durante il rilievo mediante l'ausilio di un drone

## 2.8 - 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.2 per la quale il progetto Vapi propone la seguente formulazione per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica:

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

In Fig. 21 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°2.

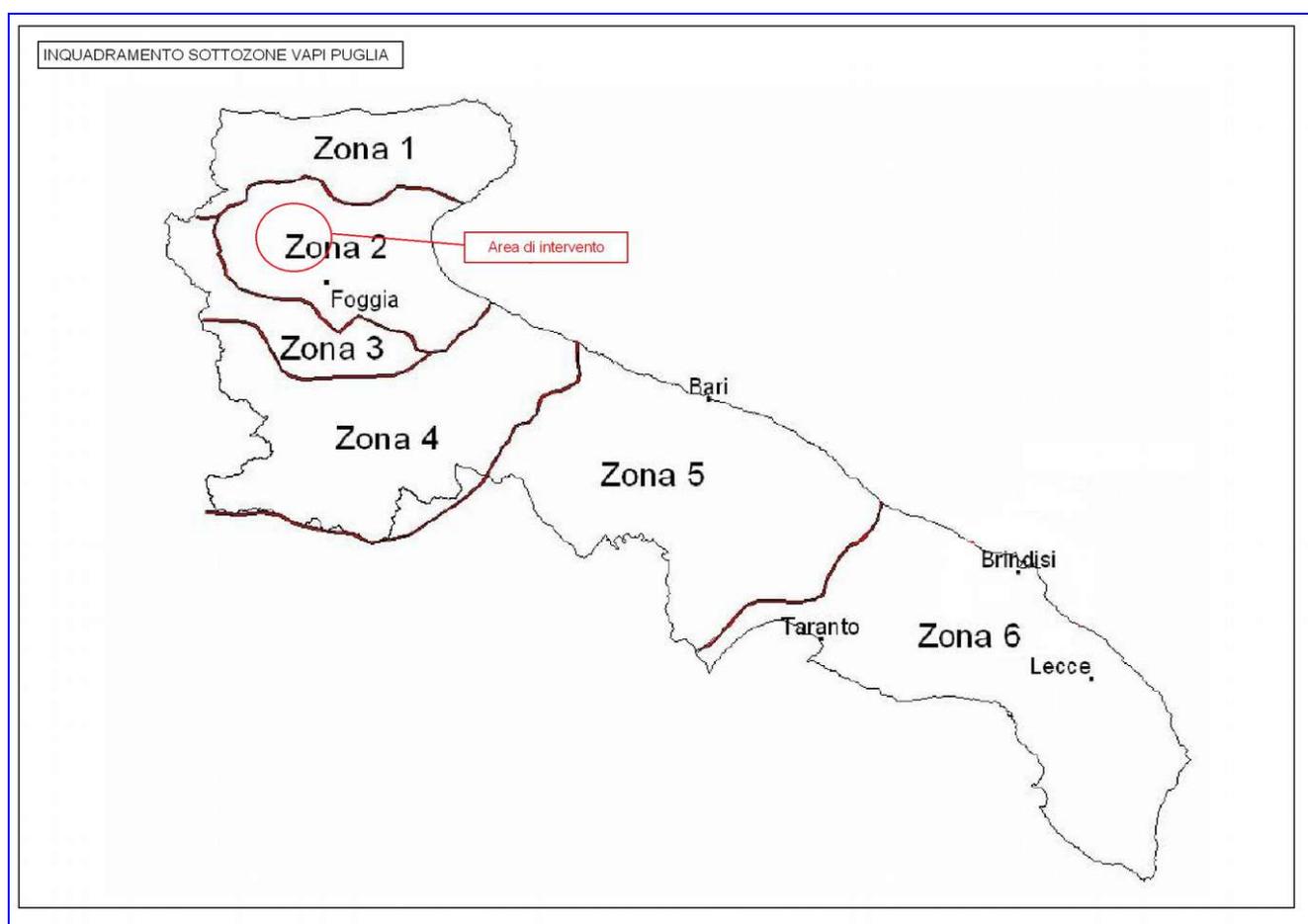


Fig. 21: Sottozone omogenee secondo il progetto Vapi Puglia.

	Tr=30 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
<b>a</b>	44.02	61.35	69.80
<b>n</b>	0.25	0.25	0.25
<b>t (h)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>h (mm)</b>
1	44.02	61.35	69.80
2	52.23	72.81	82.84
3	57.74	80.48	91.56
4	61.99	86.41	98.31
5	65.50	91.30	103.88
6	68.52	95.51	108.66
7	71.18	99.22	112.88
8	73.56	102.54	116.66
9	75.74	105.57	120.11
10	77.73	108.35	123.27
11	79.58	110.94	126.21
12	81.31	113.35	128.95

Tab. 9: Valori delle curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

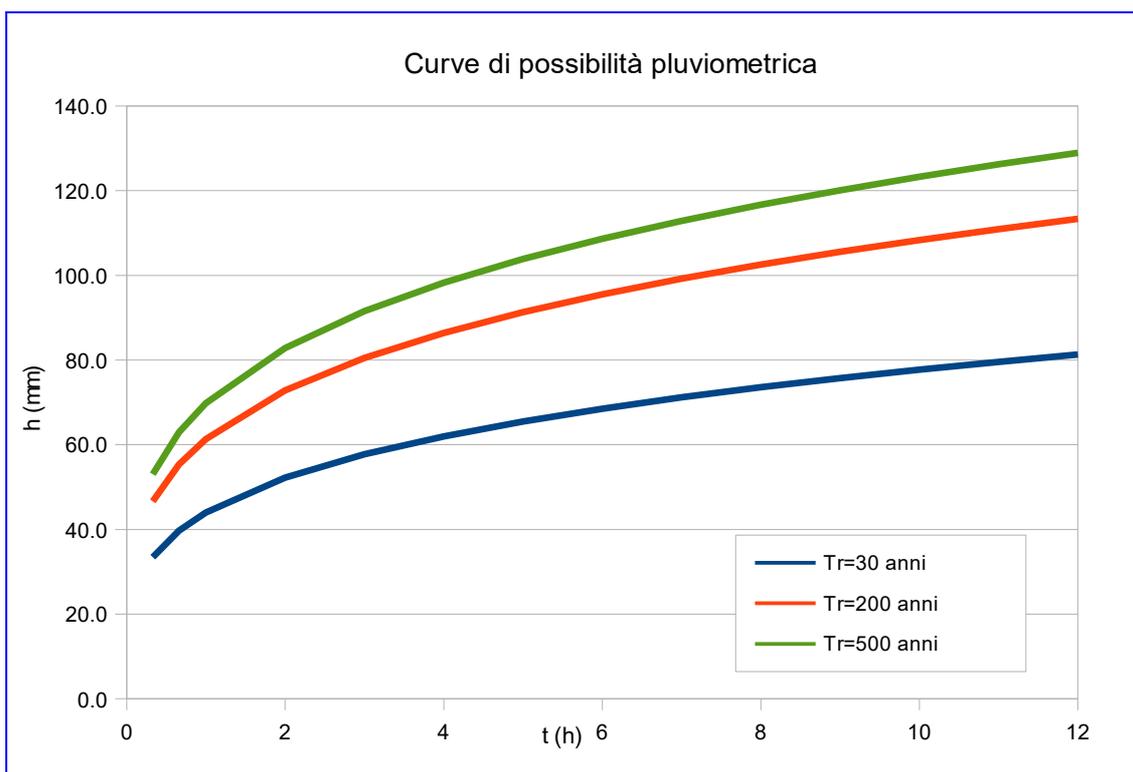


Fig. 22: Curve di possibilità pluviometrica per Tr = 30, 200, 500 anni

### 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 capace di utilizzare come condizioni al contorno di input due diversi idrogrammi di piena e uno ietogramma di pioggia netta. Il contributo di portata del sottobacino di valle (SB\_02) è stato, a sua volta, diviso in due contributi corrispondenti rispettivamente al canale Pontesano e al Torrente Triolo, eseguendo una media pesata ragguagliata alle aree, con una percentuale rispettivamente del 46% e del 54%. Altra condizione di input della modellazione è lo ietogramma di pioggia netta relativa al tempo di ritorno di 200 anni, per tener conto durante modellazione idraulica, dei deflussi all'interno dell'area di intervento

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, come peraltro precedentemente descritto.

Nel caso in esame è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione delle portate di piena dei bacini idrografici di interesse. La successiva 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) mentre per la propagazione della piena è stato utilizzato il metodo del "Muskingum-Cunge".

## 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
<b>TERRENO COLTIVATO</b>				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>TERRENO DA PASCOLO</b>				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
<b>PRATERIE</b>				
buone condizioni	30	58	71	78
<b>TERRENI BOSCOSI O FORESTATI</b>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI</b>				
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
<b>AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)</b>	89	92	94	95
<b>DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)</b>	81	88	91	93
<b>AREE RESIDENZIALI</b>				
Impermeabilità media	%	77	85	90
	65	61	75	83
	38	57	72	81
	30	54	70	80
	25	51	68	79
<b>PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI</b>	98	98	98	98
<b>STRADE</b>				
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

Tab. 10: 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

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

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

Tab. 11: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)

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

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

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

Tab. 12: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3

Nell'applicazione del metodo del CN al caso oggetto di studio considerando 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. 7.

### 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 stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'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.
5. 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;

6. 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, vedi figura 23.

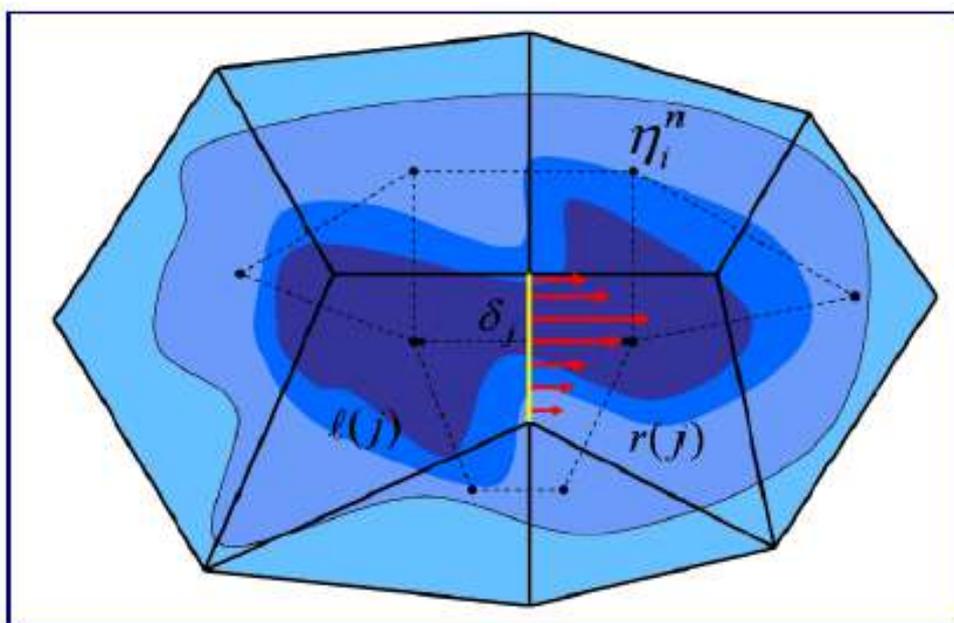


Fig. 23: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In fig. 23 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. 24 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.

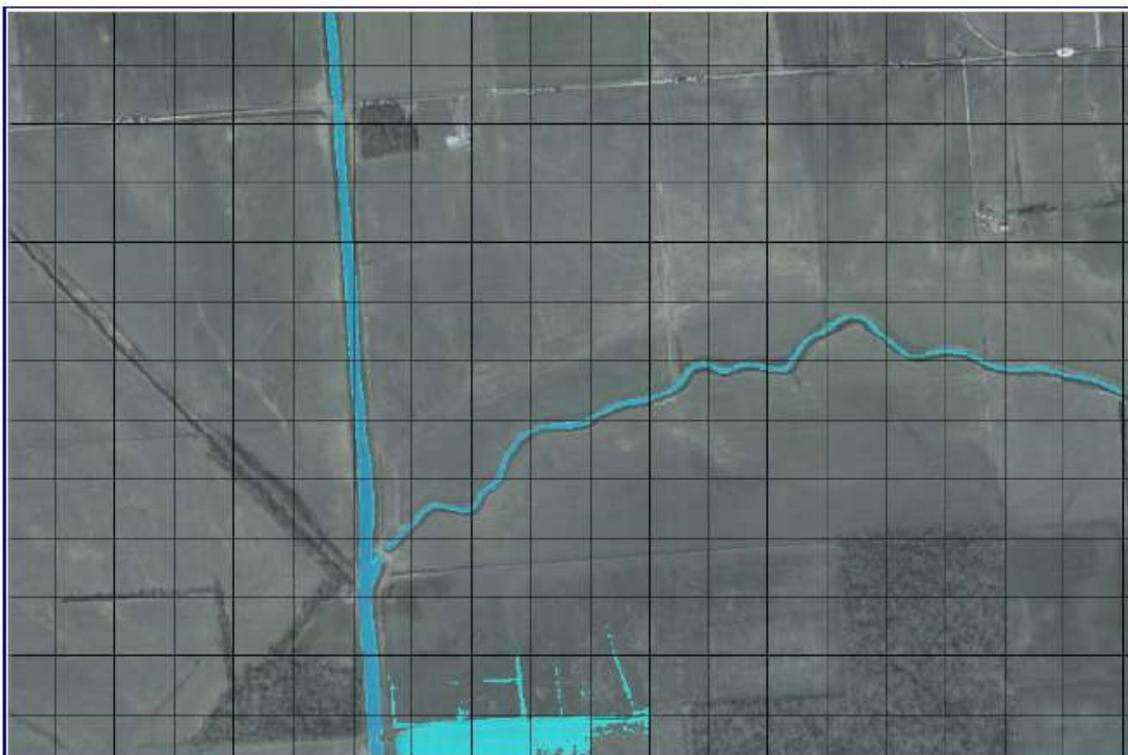


Fig. 24: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

7. 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;
8. 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.
9. 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.25);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (fig.26);
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.

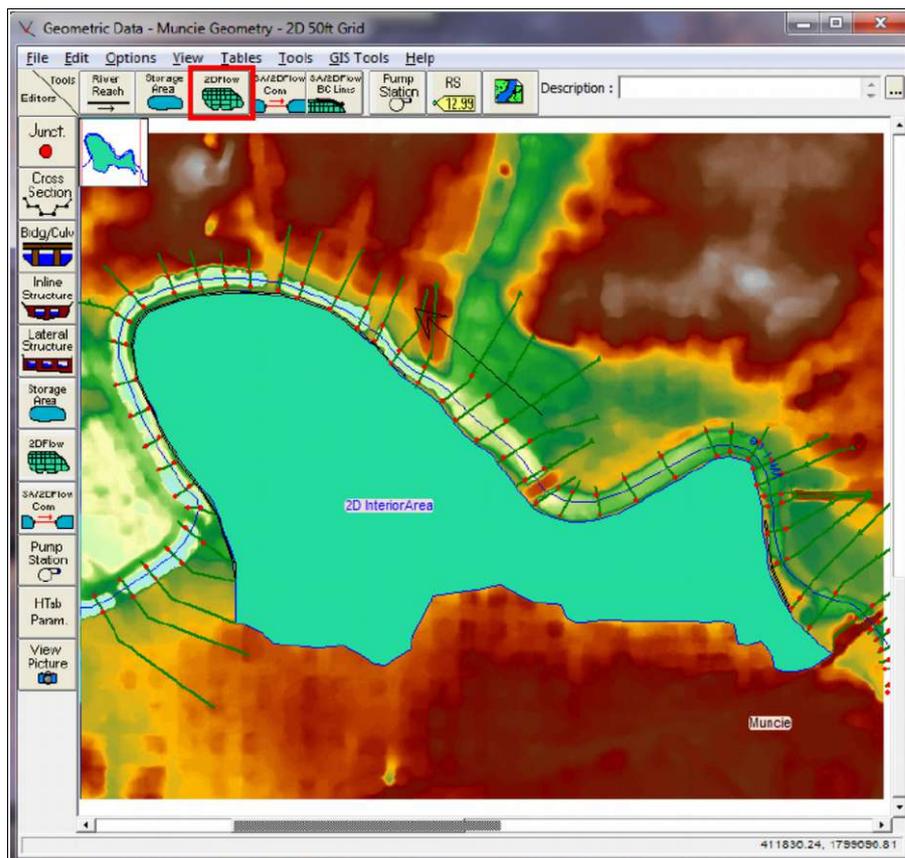


Fig. 25: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

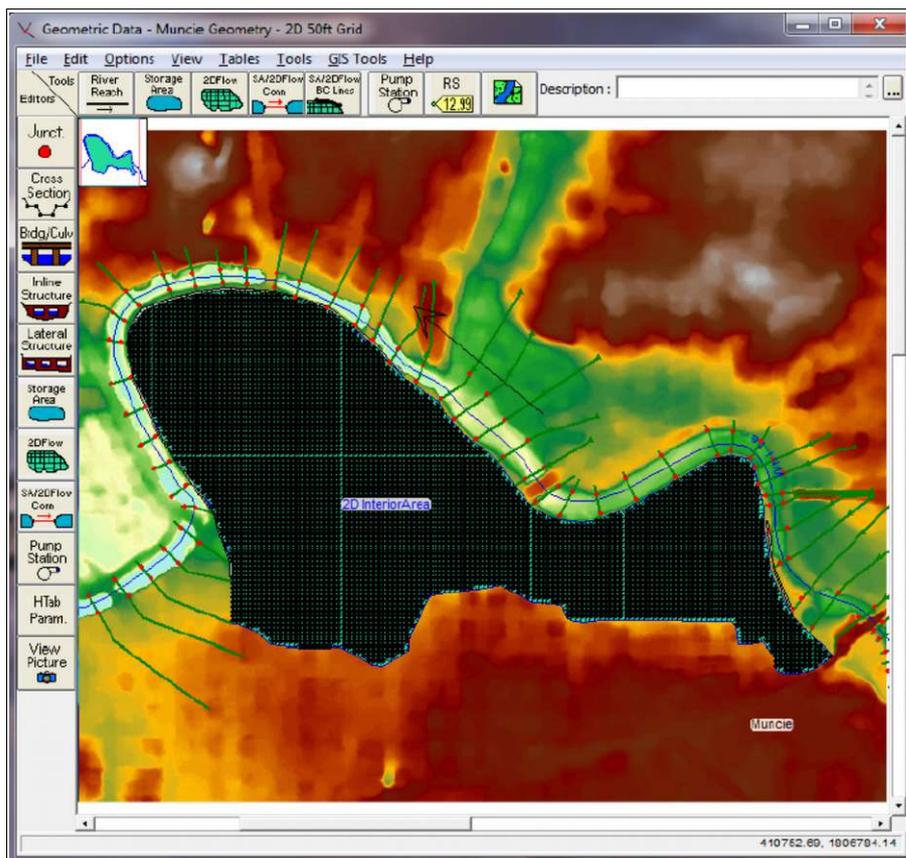


Fig. 26: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

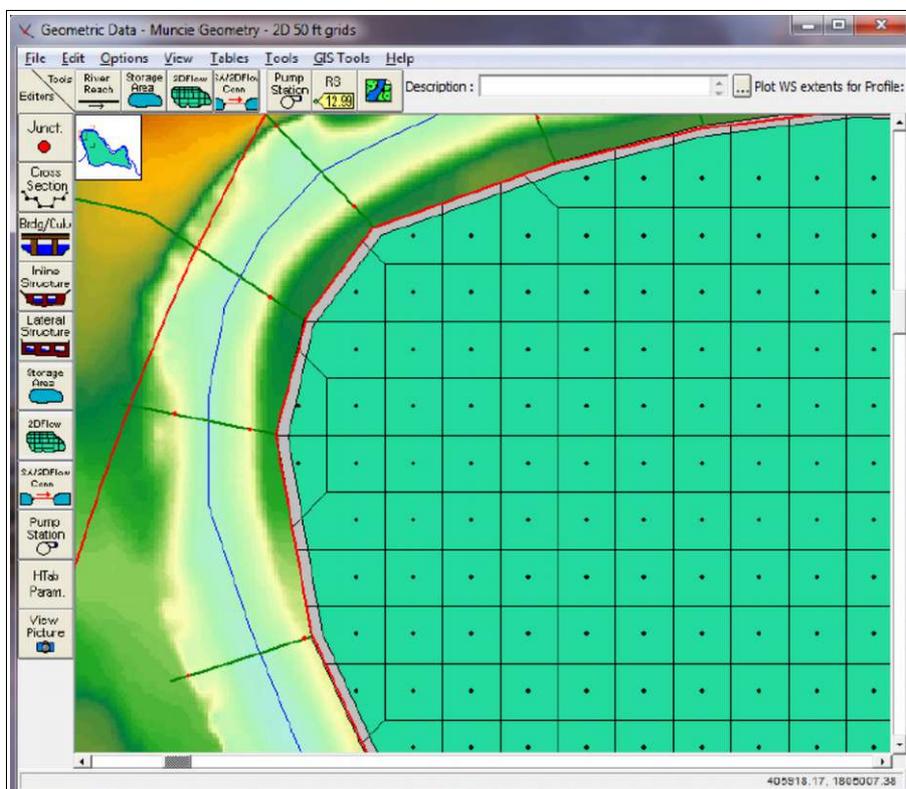


Fig. 27: Dettaglio della griglia di calcolo

### 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 12 e per un tempo di ritorno di 200 anni.

Ai fini della modellazione idrologica è stato quindi implementato un modello idrologico secondo lo schema riportato in fig 28.

Per ognuno dei sottobacini sono stati determinati i parametri caratteristici utili ai fini della modellazione idrologica, così come riportato nelle Tabb. 13 e 14.

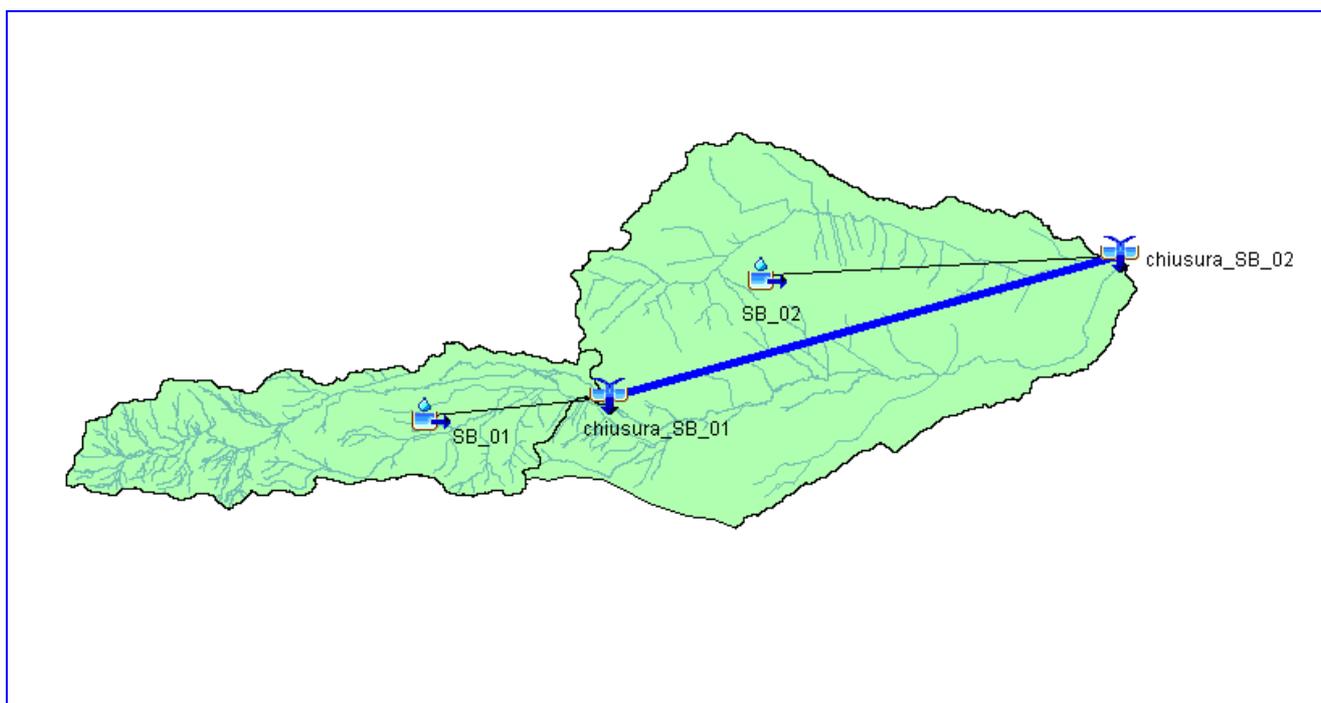


Fig. 28: Modellazione idrologica – Schematizzazione bacino idrografico nel software HEC-HMS

### 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

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

<b>Tempi di corrivazione [h]</b>		<b>SB_01</b>	<b>SB_02</b>
<i>Puglisi</i>	$t_c = 6 L^{0.67} * Hm^{(-0.33)}$	4.65	6.62
<i>Ogrosky</i>	$t_c = 0.914 L^{1.15} C^{(-0.38)}$	2.10	3.11
<i>Pasini</i>	$tp = 0.108 * (A * Lc)^{(1/3)} / i^{0.05}$	13.11	16.43
<i>Giandotti</i>	$tp = (4 * radq(A) + 1.5 * L) / (0.8 * radq(H))$	3.29	6.88
<i>Kirpich</i>	$tp = 0.066 Lc^{(0.77)} [1000 * Lc / 0.8 (Hm - Hf)]^{0.385}$	2.32	3.49
<i>Pezzoli</i>	$tp = 0.055 * Lc / i^{0.5}$	13.80	12.71
<i>Horton</i>	$tp = 3.6 * L / v$	5.94	5.94
<i>FAO</i>	$tp = L / 15 Hm^{0.38}$	1.27	1.90
<i>Kerby</i>	$tp = (0.342 * L * 0.8 * i^{0.5})^{-0.467}$	0.14	0.14

Tabella 13: Calcolo dei tempi di corrivazione per le varie formulazioni proposte

<b>Caratteristiche sottobacino</b>	<b>SB_01</b>	<b>SB_02</b>
<i>L</i> = max dist percorsa dall'acqua [Km]	17.82	11.89
<i>Lb</i> = lunghezza del bacino [Km]	13.37	13.60
<i>Lc</i> = lungh. dell'asta princ. [Km]	17.82	11.89
<i>Hf</i> = Quota della sezione di chiusura [m]	165.00	59.00
<i>C</i> = ΔH punto più lontano-foce [m]	681.00	236.00
<i>Hmax</i> = Quota max sulla foce [m]	846.00	295.00
<i>Hm</i> = Quota media del bacino [m]	370.94	138.60
<i>Vm</i> = vel media corrente nell'asta [Km/h]	3.60	3.60
<i>A</i> = Area del bacino [Kmq]	35.95	90.68
<i>i</i> = pendenza media asta	0.005	0.006
<i>Tc</i> (tempo di corrivazione) (h)	2.88	4.01
<i>Tlag</i> (tempo di ritardo) (min)	103.83	144.41
<i>CN</i> (AMCII)	79.60	76.82

Tabella 14: Caratteristiche principali dei sottobacini individuati per la modellazione idrologica.

### 3.2.1 – 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. 7

#### 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 15.

Sottobacino	Area (Kmq)	L (Km)	Tc (h)	Tlag (min)
Sottobacino monte (SB_01)	35.95	17.82	2.88	103.83
Sottobacino valle (SB_02)	90.68	11.89	4.01	144.41

Tabella 15: Tempi di ritardo dei sottobacini

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 di 200 anni. 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 200 anni in termini di portata massima, portata specifica, tempo di picco e volume ottenuti per i vari elementi del modello idrologico considerato, vedi tabella 16.

MODELLAZIONE IDROLOGICA Tr=200 ANNI					
Sottobacino	A (Kmq)	Q (mc/s)	Qspec (mc/s/Kmq)	Tpicco	V(mc)
Sottobacino 01	35.95	134.10	3.73	01gen2019, 03:30	1234.80
Sottobacino 02	90.68	194.20	2.14	01gen2019, 04:50	2954.20
Chiusura sottobacino 01	35.95	134.10	3.73	01gen2019, 03:30	1234.80
Chiusura sottobacino 02	126.63	315.60	2.49	01gen2019, 04:30	4191.20

Tabella 16: Modello idrologico - Risultati principali per tempo di ritorno 200 anni

Nella figura 29 è riportato lo schema di suddivisione del sottobacino di valle, per la determinazione degli idrogrammi di piena da assegnare come input per la modellazione idraulica. Nelle figure 30 e 31 sono riportati gli idrogrammi alle sezioni di chiusura dei due sottobacini. L'idrogramma del sottobacino di monte è caratterizzato da un solo contributo (SB\_01), mentre per il sottobacino di valle, l'idrogramma totale è stato scomposto in due contributi in modo da distinguere l'area relativa al Canale Pontesano rispetto all'area drenante relativa al Torrente Triolo e pari rispettivamente al 46% e al 54% del sottobacino di valle denominato SB\_02. Gli idrogrammi desunti dalla modellazione idrologica saranno utilizzati successivamente per effettuare l'analisi idraulica bidimensionale in regime di moto vario, per la quale è necessario fornire come input l'idrogramma di piena. Inoltre, al fine di tenere conto dei deflussi nelle aree distanti dal reticolo idrografico, si è ritenuto opportuno introdurre un'ulteriore condizione di input e nella fattispecie la precipitazione netta egualmente distribuita all'interno del dominio di calcolo, come riportato in Fig. 32 che mostra la ietogramma di pioggia netta, utilizzato nella simulazione.

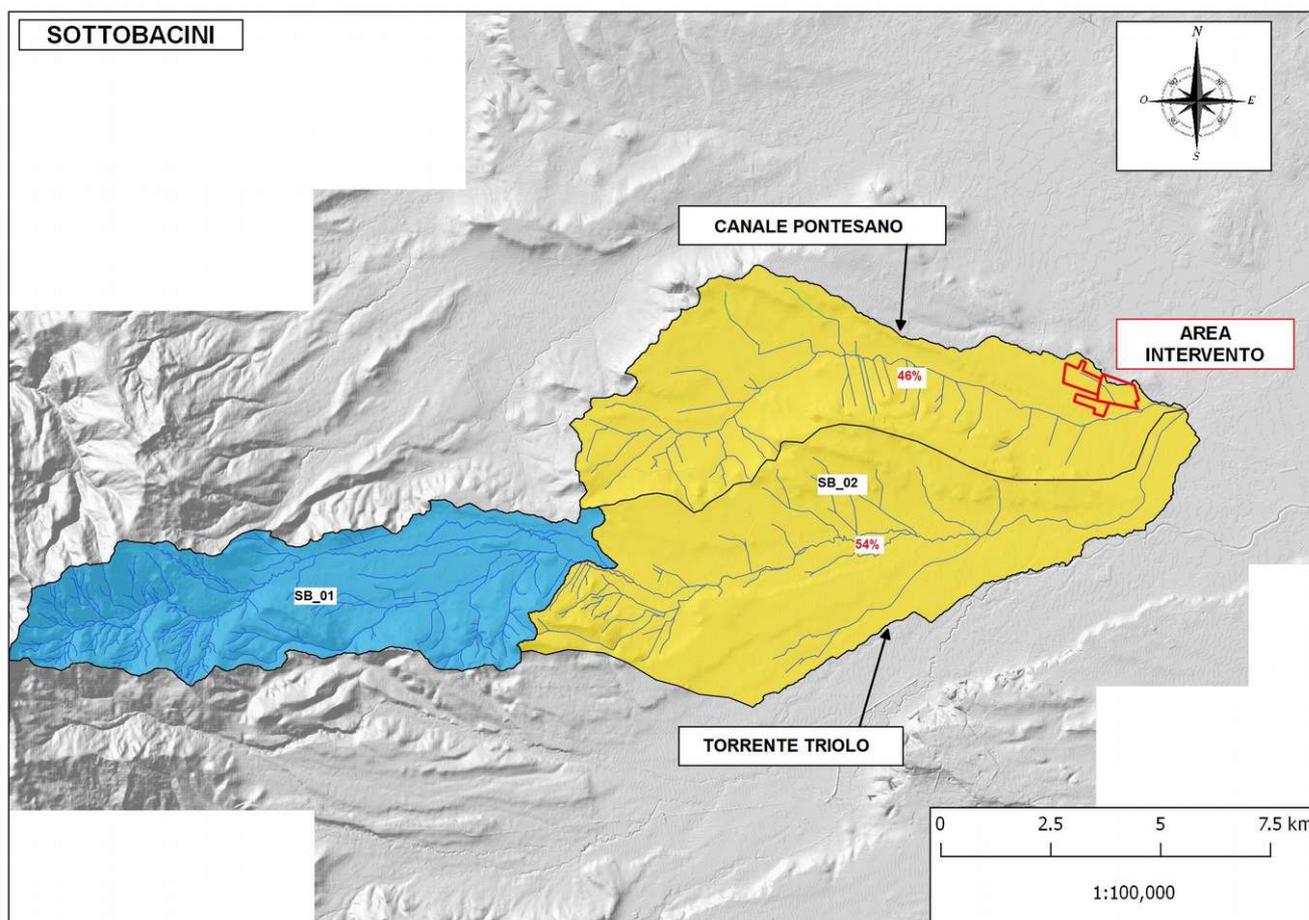


Fig. 29: Schema di suddivisione dei bacini.

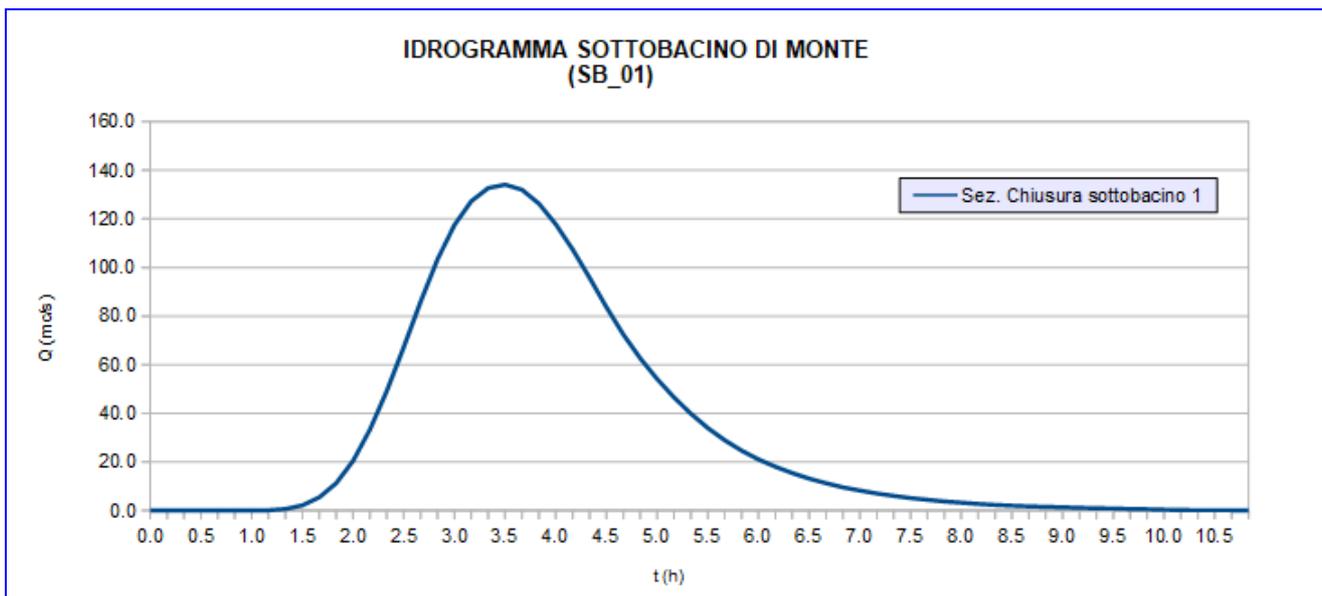


Fig. 30: Idrogramma alla sezione di chiusura del sottobacino di monte (SB\_01) per  $Tr = 200$  anni.

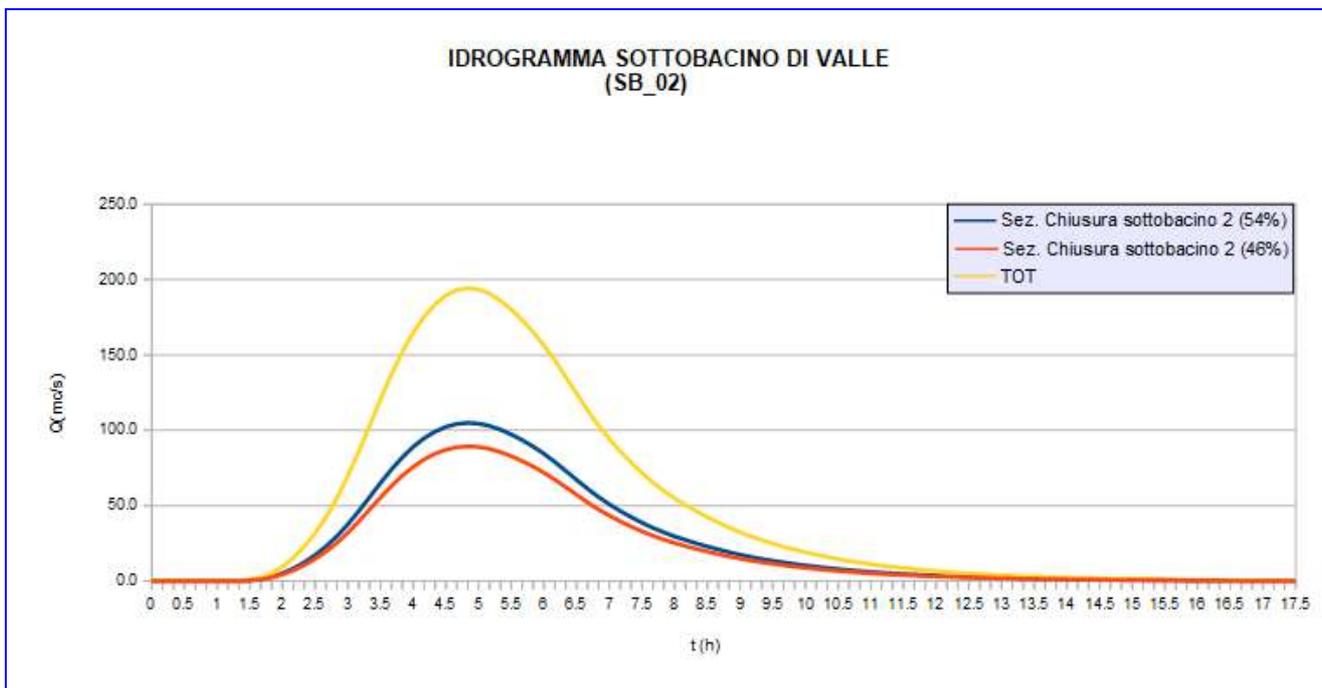


Fig. 31: Idrogramma del sottobacino di valle (SB\_02) per  $Tr = 200$  anni.

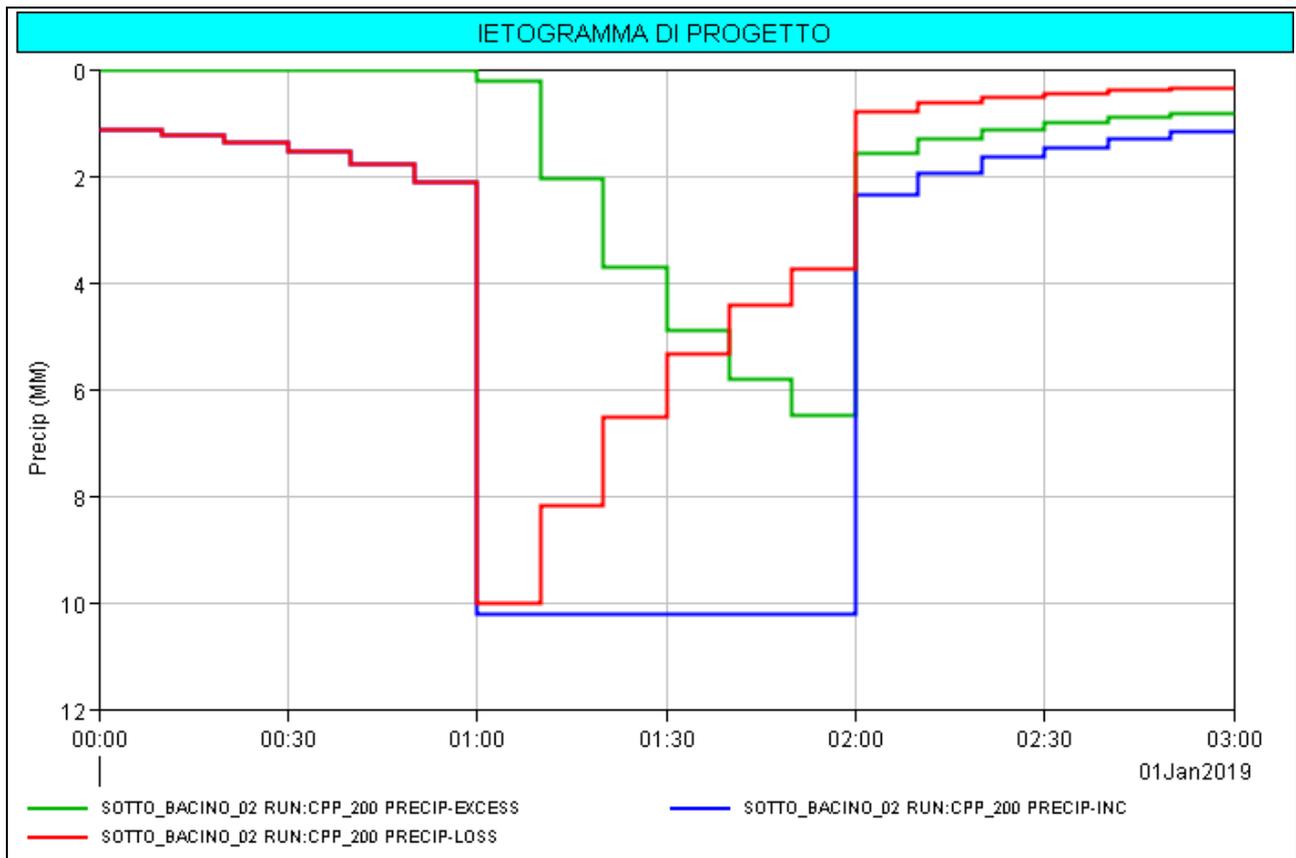


Fig. 32: Ietogrammi di pioggia totale, persa e netta – Tr 200 anni

### **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 calcolati con il metodo del CN del SCS come precedentemente specificato oltre che lo ietogramma di pioggia netta ricavato dalla simulazione idrologica. A tal proposito nelle tabelle 17, 18 e 19 si riportano i valori dei due idrogrammi utilizzati come input nella modellazione idraulica.

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 0.3%.

<b>Data</b>	<b>Ora</b>	<b>Torrente Triolo</b>	<b>Canale Pontesano</b>
01gen2019	12:00:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	12:10:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	12:20:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	12:30:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	12:40:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	12:50:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	01:00:00 AM	0.000	0.000
01gen2019	01:10:00 AM	0.100	0.000
01gen2019	01:20:00 AM	0.708	0.092
01gen2019	01:30:00 AM	2.586	0.414
01gen2019	01:40:00 AM	6.696	1.104
01gen2019	01:50:00 AM	13.954	2.346
01gen2019	02:00:00 AM	25.530	4.370
01gen2019	02:10:00 AM	41.616	7.084
01gen2019	02:20:00 AM	61.620	10.580
01gen2019	02:30:00 AM	84.480	14.720
01gen2019	02:40:00 AM	108.904	19.596
01gen2019	02:50:00 AM	133.208	25.392
01gen2019	03:00:00 AM	155.192	32.108
01gen2019	03:10:00 AM	173.740	39.560
01gen2019	03:20:00 AM	188.482	47.518
01gen2019	03:30:00 AM	199.278	55.522
01gen2019	03:40:00 AM	206.088	63.112
01gen2019	03:50:00 AM	208.434	69.966
01gen2019	04:00:00 AM	206.846	75.854
01gen2019	04:10:00 AM	202.170	80.730
01gen2019	04:20:00 AM	194.844	84.456
01gen2019	04:30:00 AM	185.930	87.170
01gen2019	04:40:00 AM	176.620	88.780
01gen2019	04:50:00 AM	167.468	89.332
01gen2019	05:00:00 AM	158.536	88.964
01gen2019	05:10:00 AM	149.424	87.676
01gen2019	05:20:00 AM	140.240	85.560
01gen2019	05:30:00 AM	131.100	82.800
01gen2019	05:40:00 AM	122.374	79.626
01gen2019	05:50:00 AM	113.808	75.992
01gen2019	06:00:00 AM	105.348	71.852
01gen2019	06:10:00 AM	96.948	67.252
01gen2019	06:20:00 AM	88.462	62.238
01gen2019	06:30:00 AM	80.168	57.132
01gen2019	06:40:00 AM	72.382	52.118
01gen2019	06:50:00 AM	65.282	47.518
01gen2019	07:00:00 AM	59.122	43.378
01gen2019	07:10:00 AM	53.440	39.560
01gen2019	07:20:00 AM	48.390	36.110
01gen2019	07:30:00 AM	43.764	32.936
01gen2019	07:40:00 AM	39.662	30.038

Tabella 17: Output modellazione idrologica e valori degli idrogrammi utilizzati come condizioni al contorno per  $Tr=200$  anni (1/3)

<b>Data</b>	<b>Ora</b>	<b>Torrente Triolo</b>	<b>Canale Pontesano</b>
01gen2019	08:10:00 AM	29.862	23.138
01gen2019	08:20:00 AM	27.248	21.252
01gen2019	08:30:00 AM	24.896	19.504
01gen2019	08:40:00 AM	22.652	17.848
01gen2019	08:50:00 AM	20.616	16.284
01gen2019	09:00:00 AM	18.796	14.904
01gen2019	09:10:00 AM	17.084	13.616
01gen2019	09:20:00 AM	15.534	12.466
01gen2019	09:30:00 AM	14.246	11.454
01gen2019	09:40:00 AM	12.912	10.488
01gen2019	09:50:00 AM	11.786	9.614
01gen2019	10:00:00 AM	10.614	8.786
01gen2019	10:10:00 AM	9.650	8.050
01gen2019	10:20:00 AM	8.740	7.360
01gen2019	10:30:00 AM	7.984	6.716
01gen2019	10:40:00 AM	7.282	6.118
01gen2019	10:50:00 AM	6.588	5.612
01gen2019	11:00:00 AM	6.048	5.152
01gen2019	11:10:00 AM	5.508	4.692
01gen2019	11:20:00 AM	5.076	4.324
01gen2019	11:30:00 AM	4.644	3.956
01gen2019	11:40:00 AM	4.266	3.634
01gen2019	11:50:00 AM	3.888	3.312
01gen2019	12:00:00 PM	3.564	3.036
01gen2019	12:10:00 PM	3.240	2.760
01gen2019	12:20:00 PM	2.970	2.530
01gen2019	12:30:00 PM	2.754	2.346
01gen2019	12:40:00 PM	2.484	2.116
01gen2019	12:50:00 PM	2.322	1.978
01gen2019	01:00:00 PM	2.106	1.794
01gen2019	01:10:00 PM	1.944	1.656
01gen2019	01:20:00 PM	1.782	1.518
01gen2019	01:30:00 PM	1.620	1.380
01gen2019	01:40:00 PM	1.458	1.242
01gen2019	01:50:00 PM	1.350	1.150
01gen2019	02:00:00 PM	1.242	1.058
01gen2019	02:10:00 PM	1.134	0.966
01gen2019	02:20:00 PM	1.080	0.920
01gen2019	02:30:00 PM	0.972	0.828
01gen2019	02:40:00 PM	0.918	0.782
01gen2019	02:50:00 PM	0.810	0.690
01gen2019	03:00:00 PM	0.756	0.644
01gen2019	03:10:00 PM	0.702	0.598
01gen2019	03:20:00 PM	0.648	0.552
01gen2019	03:30:00 PM	0.594	0.506

Tabella 18: Output modellazione idrologica e valori degli idrogrammi utilizzati come condizioni al contorno per  $Tr=200$  anni (2/3)

<b>Data</b>	<b>Ora</b>	<b>Torrente Triolo</b>	<b>Canale Pontesano</b>
01gen2019	04:00:00 PM	0.378	0.322
01gen2019	04:10:00 PM	0.324	0.276
01gen2019	04:20:00 PM	0.270	0.230
01gen2019	04:30:00 PM	0.216	0.184
01gen2019	04:40:00 PM	0.162	0.138
01gen2019	04:50:00 PM	0.108	0.092
01gen2019	05:00:00 PM	0.054	0.046
01gen2019	05:10:00 PM	0.054	0.046
01gen2019	05:20:00 PM	0.054	0.046
01gen2019	05:30:00 PM	0.000	0.000

Tabella 19: Output modellazione idrologica e valori degli idrogrammi utilizzati come condizioni al contorno per  $Tr=200$  anni (3/3)

In figura 33 è riportata una planimetria estratta dal software HEC-RAS che mostra il dominio di calcolo utilizzato per la modellazione idraulica bidimensionale in regime di moto vario, unitamente al posizionamento delle boundary condition e delle break-line, utilizzate per l'inserimento dei manufatti idraulici. Si può notare dalla figura come siano state inserite le due condizioni al contorno di monte (boundary condition) relative ai due idrogrammi di piena del sottobacino del Canale Pontesano (bc\_canale\_pontesano) e del Torrente Triolo (bc\_canale\_triolo) mentre a valle è stata inserita la condizione di uscita implementata utilizzando una pendenza media dello 0.3% (bc\_uscita\_triolo).

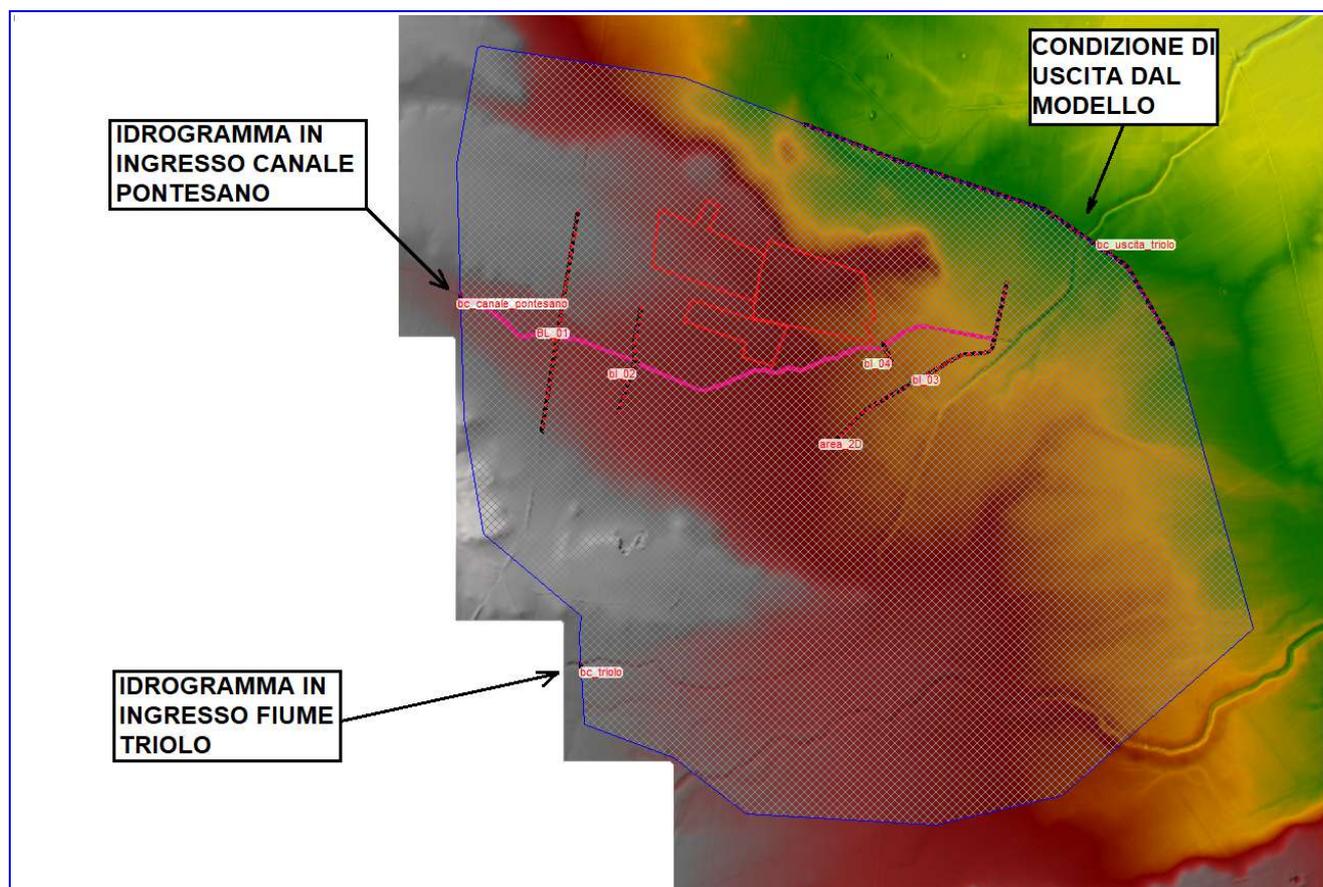


Fig. 33: Schermata estratta dal software HEC-RAS relativa al dominio di calcolo implementato.

Di seguito sono riportate alcune schermate estratte dal software Hec-Ras, che mostrano le

modalità di inserimento dei manufatti idraulici, rilevati nella campagna di rilievo topografico.

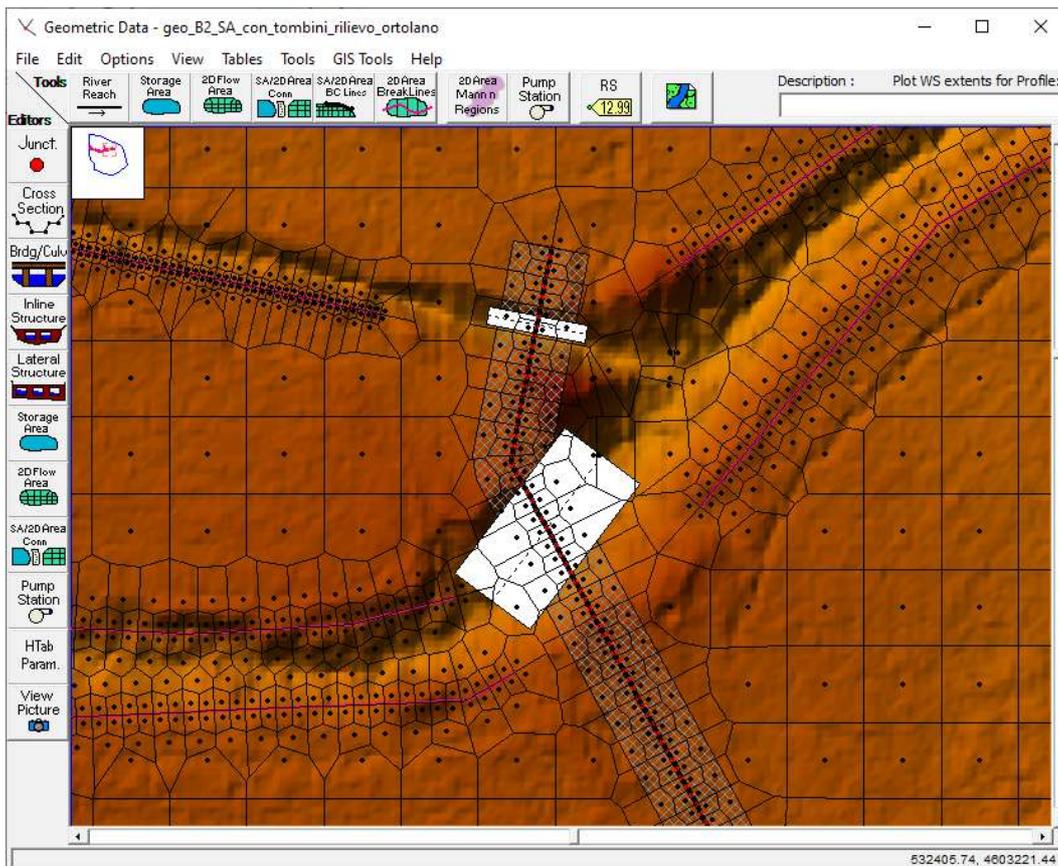


Fig. 34: Schermata di dettaglio da software HEC-RAS – inserimento connessione idraulica

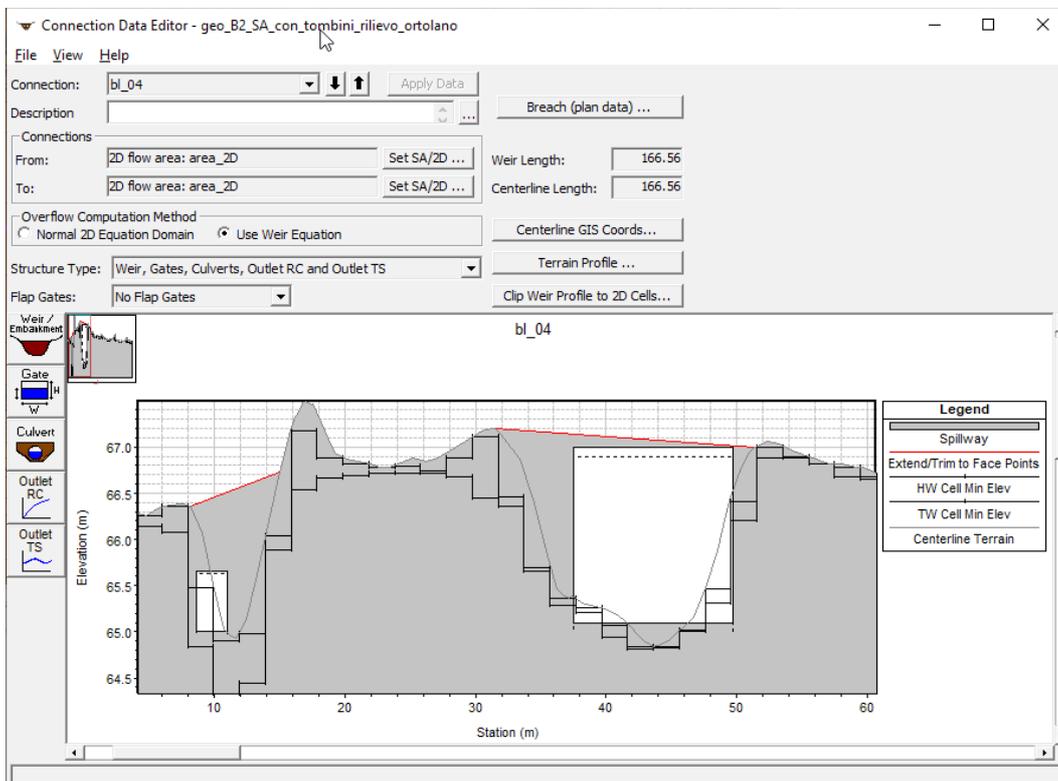


Fig. 35: Schermata implementazione attraversamenti

Nelle figure 36 e 37 sono riportati rispettivamente gli idrogrammi del Torrente Triolo e del Canale Pontesano. Il primo idrogramma, relativo al Torrente Triolo è composto da due contributi: l'idrogramma alla sezione di chiusura del sottobacino di monte (SB\_01) e una parte, relativa al 54% dell'idrogramma del bacino di valle (SB\_02), mentre il secondo idrogramma è costituito solo da una percentuale pari al 46 % del bacino di valle.

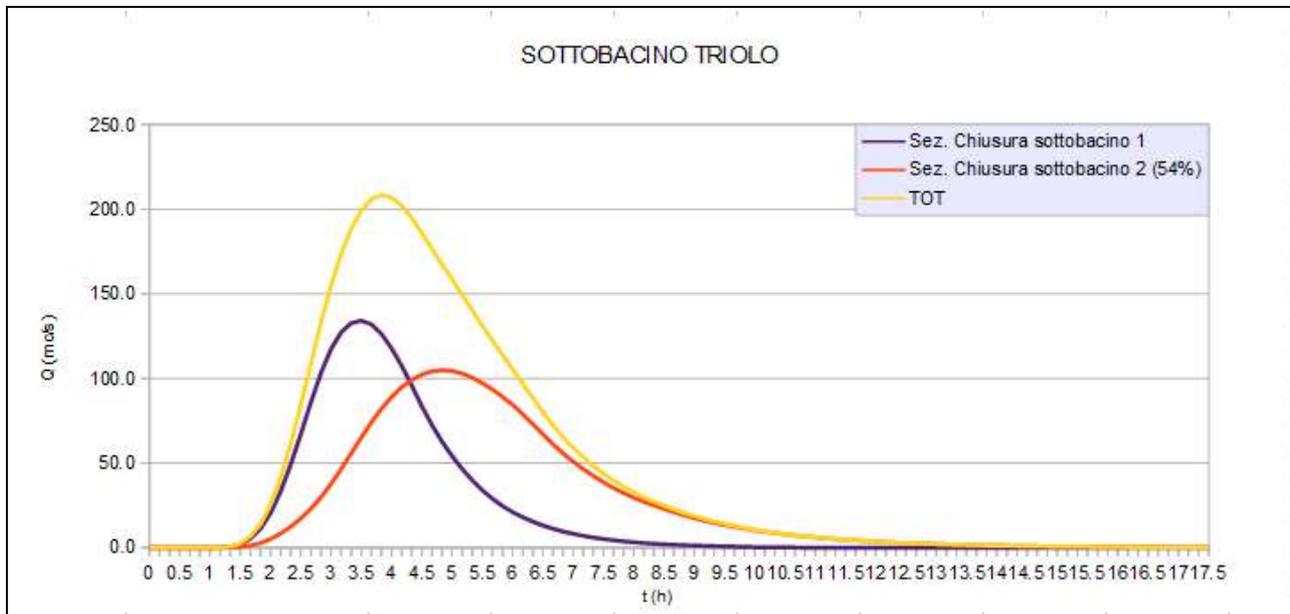


Fig. 36: Idrogramma totale del sottobacino del Torrente Triolo e suoi contributi - Tr 200 anni

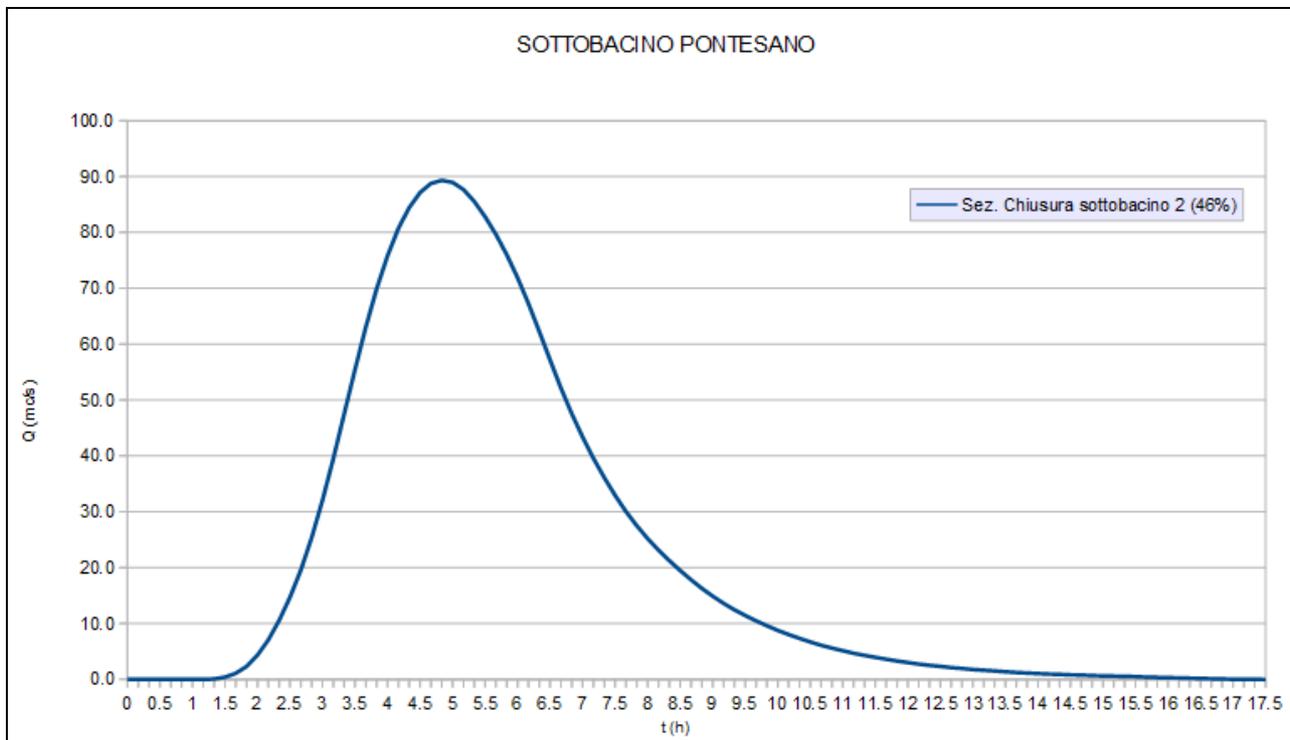


Fig. 37: Idrogramma totale del sottobacino del Canale Pontesano - Tr 200 anni

### **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 ricade le area 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 un deflusso generalizzato sul piano campagna in quanto il reticolo idraulico presente nella zona, date le sue ridotte dimensioni, non riesce a smaltire in modo adeguato i deflussi.

Nelle figure 38 e 39 sono riportate le mappe di dettaglio dei battenti, rispettivamente su base CTR e ortofoto satellitare, relative alla simulazione con tempo di ritorno di 200 anni sull'area di interesse. Dai risultati ottenuti è possibile notare come gli allagamenti interessino parzialmente l'area su cui verranno realizzati gli impianti fotovoltaici. In particolare si evince come i massimi battenti che si instaurano, relativamente alla piena duecentennale, siano compresi tra 10 e 30 cm (colore verde) mentre solo in alcune piccole porzioni di territorio si instaurano battenti superiori a 50 cm (colore blu) e più precisamente in corrispondenza del reticolo idrografico che attraversa i lotti di interesse.

Nelle Figg. 40 e 41 sono invece riportate le mappe degli allagamenti, rispettivamente su base CTR e ortofoto satellitare, questa volta in termini di velocità massime che si instaurano durante la simulazione. Dall'analisi delle figure si può notare come le velocità massime che si instaurano sono generalmente caratterizzate da valori inferiori a 0.5 m/s mentre in corrispondenza del reticolo idrografico che attraversa il lotto di interesse si raggiungono velocità massime di 1 m/s.

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

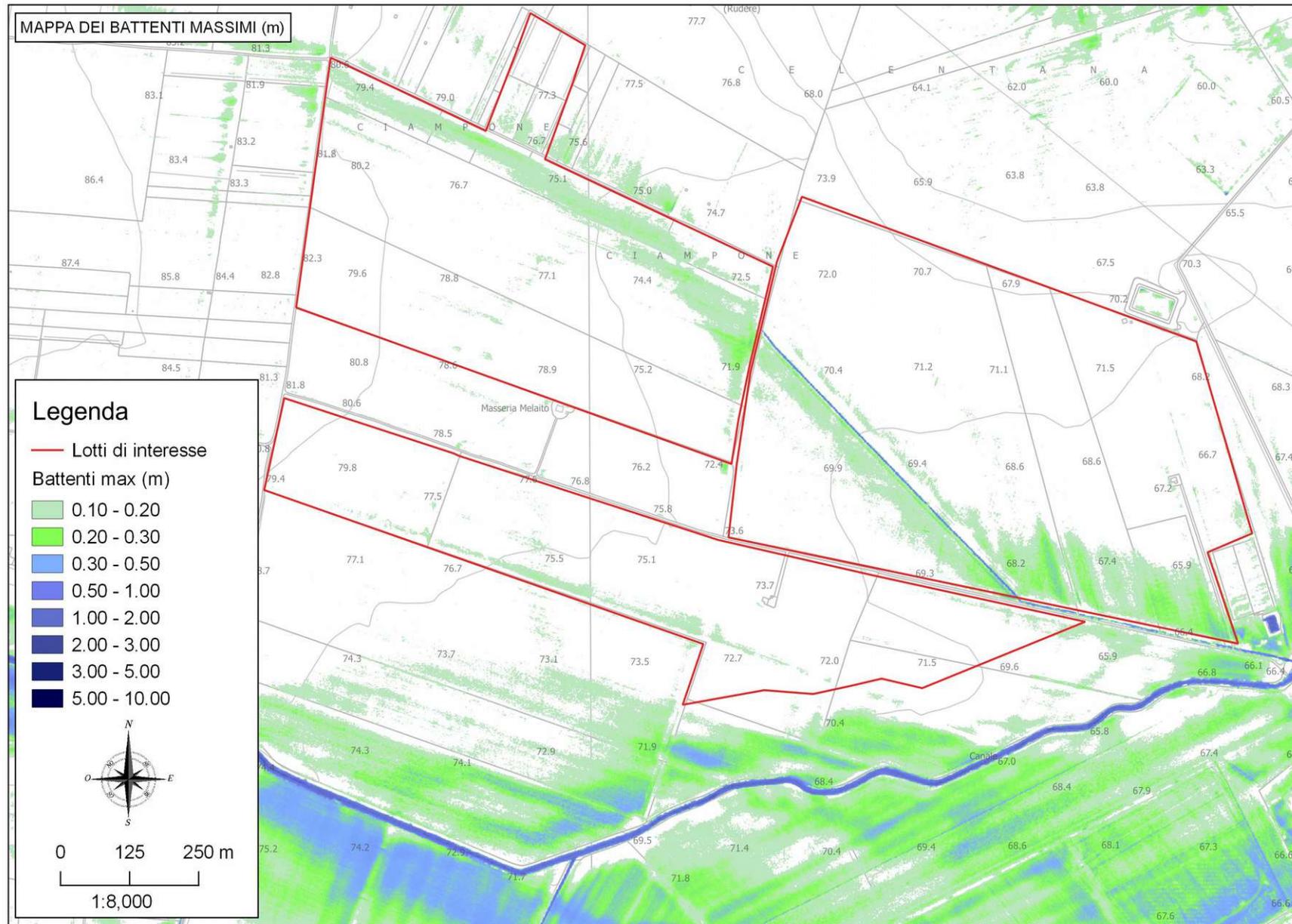


Fig. 38: Mappa degli allagamenti in termini di battenti in metri relativi al Tempo di Ritorno di 200 anni – Carta Tecnica Regionale

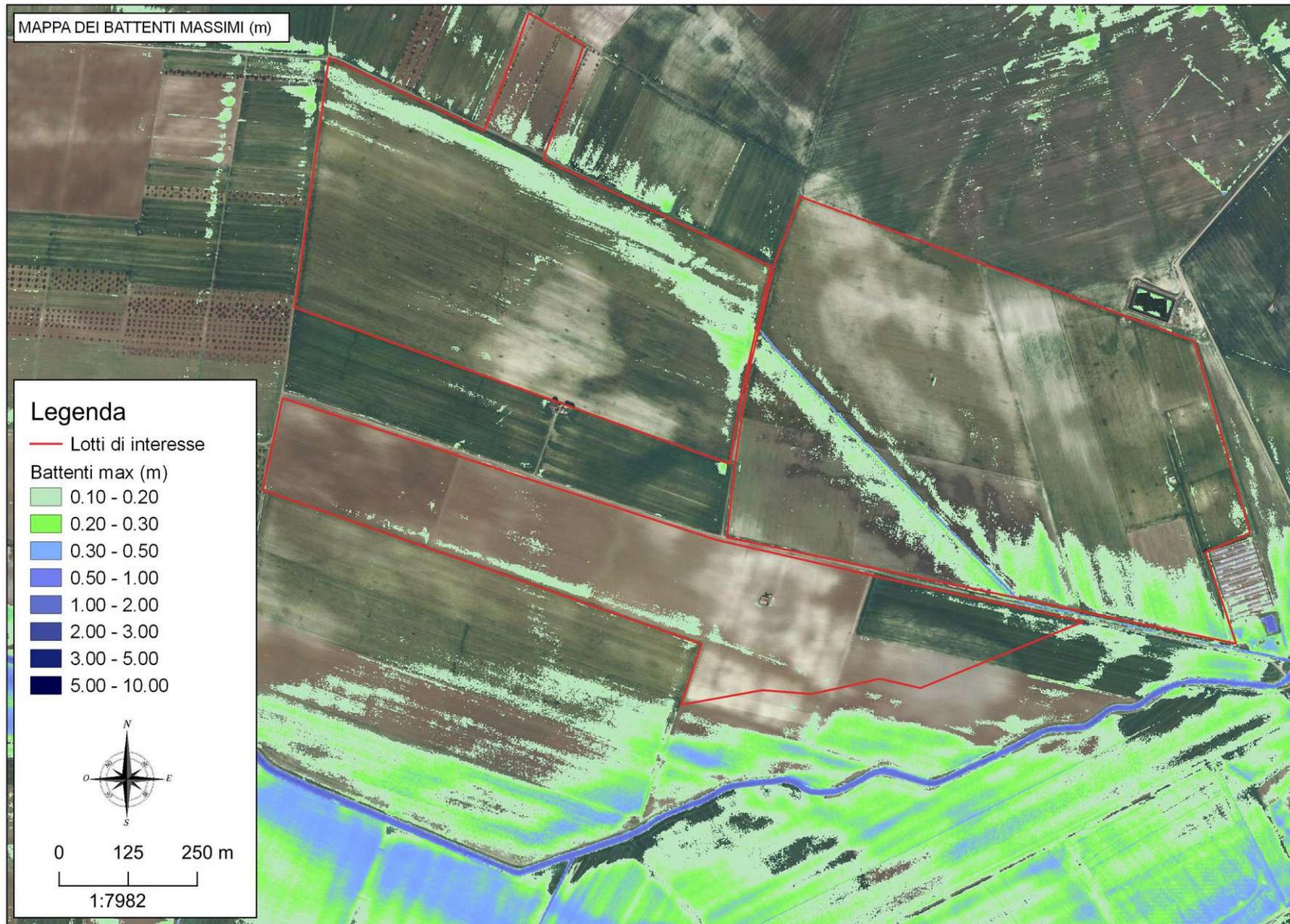


Fig. 39: Mappa degli allagamenti in termini di battenti in metri relativi al Tempo di Ritorno di 200 anni - Ortofoto

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico

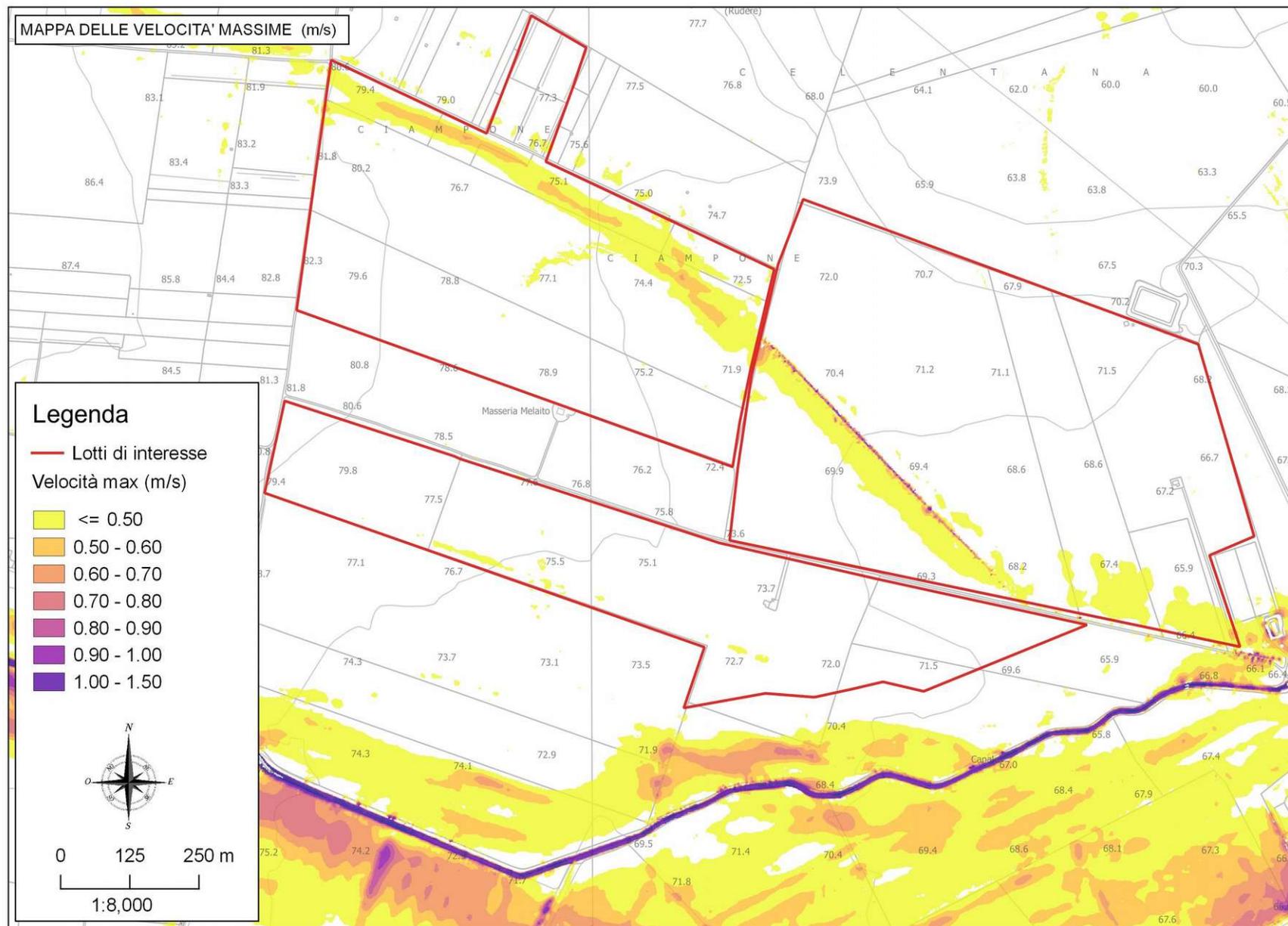


Fig. 40: Mappa degli allagamenti in termini di velocità massime in m/s relativi al Tempo di Ritorno di 200 anni – Carta Tecnica Regionale

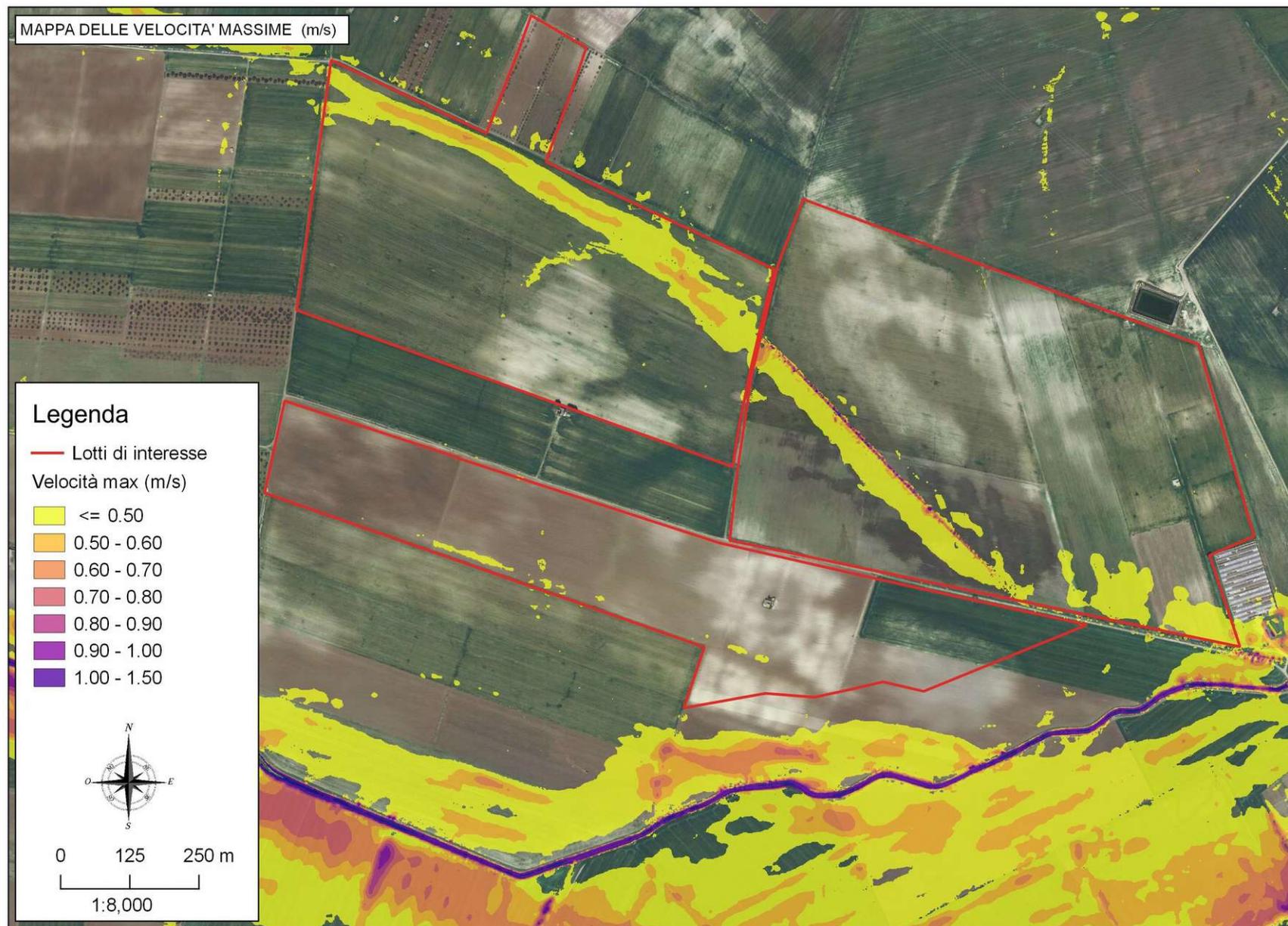


Fig. 41: Mappa degli allagamenti in termini di velocità massime in m/s relativi al Tempo di Ritorno di 200 anni – Ortofoto

### 3.4.– Descrizione interventi in progetto

L'area su cui verrà realizzato l'impianto fotovoltaico in progetto è posta nel Comune di San Severo (FG) in una zona posta a Sud rispetto al Comune di San Severo e a Nord-Est rispetto al Comune di Lucera, posizionata al confine amministrativo tra i due Comuni in una zona pianeggiante posta in sinistra idraulica rispetto al Canale Pontesano, affluente in sinistra del Torrente Triolo. Dall'esame delle classi di uso del suolo si può notare come il territorio nei sottobacini sia caratterizzato dalla presenza prevalente di aree seminative semplici in aree irrigue (49%) e non irrigue (38.6%) per una percentuale di circa l'88%. La porzione di territorio urbanizzato all'interno dei bacini d'interesse si mantiene al di sotto del 3%. Le aree rimanenti sono caratterizzate da boschi di latifoglie e conifere, vigneti, frutteti, uliveti e aree a pascolo naturale.

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.

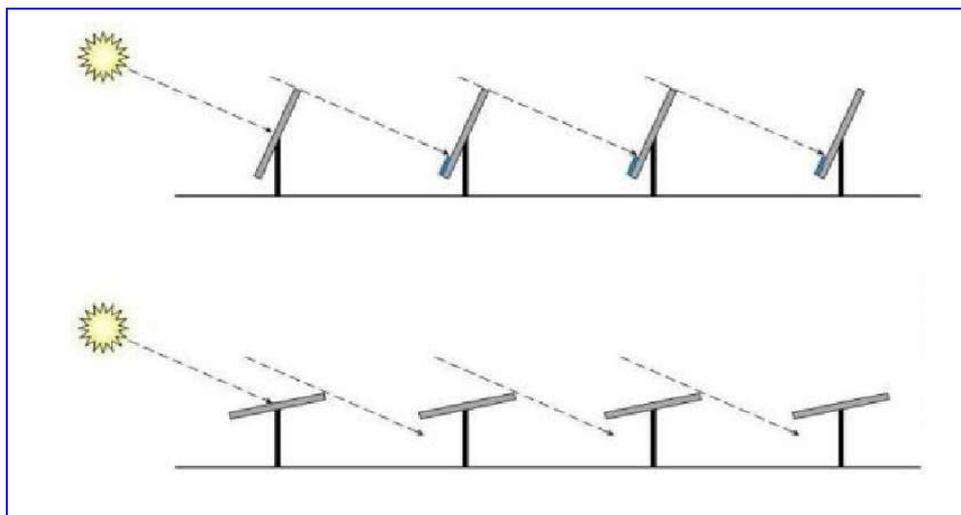
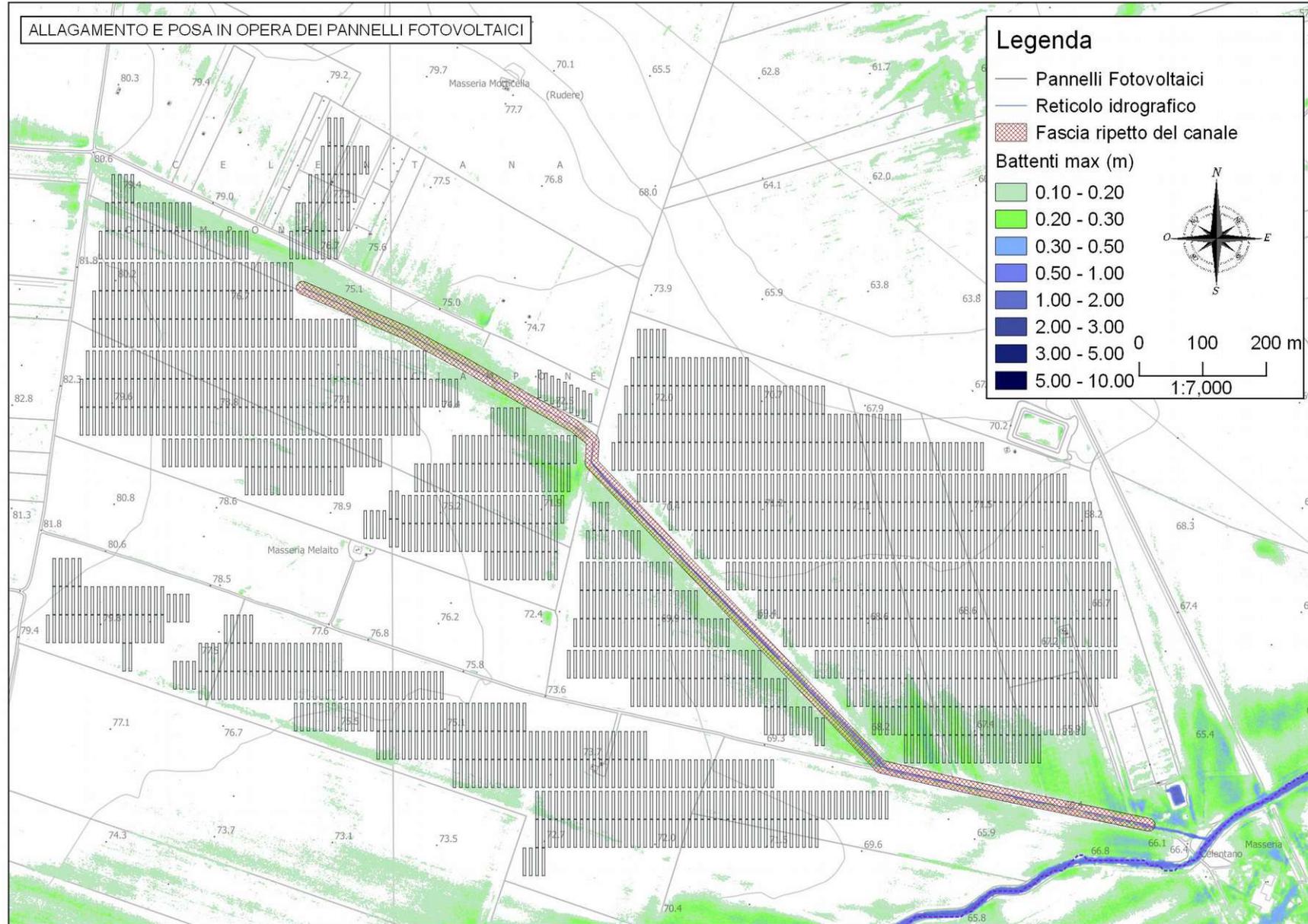


Fig. 42: Schema installazione batterie di pannelli fotovoltaici.

Nella Fig. 43 è stata riportata la mappa degli allagamenti in termini di battenti massimi corrispondente alla piena duecentennale su cui è stata sovrapposta la planimetria relativa alla posa in opera dei pannelli fotovoltaici in progetto. Esaminando la figura è possibile constatare come gli impianti fotovoltaici in progetto ricadano in aree nelle quali l'allagamento corrispondente alla piena duecentennale è caratterizzato da battenti massimi inferiori a 0.30 m, valori del tutto compatibili con l'intervento in oggetto. In aggiunta nella figura è stata riportata la fascia di rispetto da mantenere nell'intorno del canale che attraversa il lotto in esame. Si può notare come l'intervento in progetto non ricada all'interno della fascia di rispetto.

Comune di San Severo (FG) – Studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto fotovoltaico



### 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 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 verrà realizzato osservando le seguenti prescrizioni:

- le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 0.50 m 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;
- 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.
- 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.

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.

Per accertare la compatibilità idraulica dell'intervento in oggetto si è quindi passati a verificare le condizioni di rischio idraulico, emerse a seguito delle modellazioni effettuate, a cui sono soggetti l'impianto in progetto e le aree contermini. Da tale verifica risulta che :

- una ristretta fascia dell'impianto risulta allagabile con battenti inferiori a 0.30 m;
- in corrispondenza del reticolo idrografico che attraversa l'area in oggetto si instaurano battenti con valori massimi superiori a 0.5 m per le quali aree non è in alcun caso da considerare possibile la posa in opera dei pannelli fotovoltaici per una fascia di rispetto di 20 m in asse;

Considerando inoltre che:

- le batterie di pannelli saranno installate su pali e poste ad una quota dal piano di posa tale da non interferire con il libero deflusso delle acque e che gli stessi pali non provocano ostacolo al deflusso delle acque;
- le cabine di trasformazione saranno posizionate in una zona lontana dal reticolo e non interferiranno con il libero deflusso delle acque;
- le recinzioni saranno realizzate utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 0.20 m 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.

## 4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha avuto lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud del centro abitato di San Severo (FG) dove il committente, MY SUN del gruppo METKA EGN, ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico. Il lotto in cui si vuole realizzare l'impianto ricade a Sud rispetto al Comune di San Severo e a nord-est rispetto al Comune di Lucera posizionato al confine amministrativo tra i due Comuni in una zona pianeggiante posta in sinistra idraulica rispetto al Canale Pontesano, affluente in sinistra del Torrente Triolo, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi Fig. 1) e sulla planimetria di dettaglio riportata in Fig. 2 in cui è presente il reticolo idrografico estratto dalla Carta Idrogeomorfologica e la perimetrazione del PAI.

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 ricade in piccola percentuale in area ad alta pericolosità (come evidenziato nella planimetria riportata in Fig. 2); di conseguenza, si fa riferimento a quanto prescritto dall'articolo 7 *“Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica”* delle NTA del PAI della Regione Puglia. Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

- a) interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;
- b) interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla
- c) natura dell'intervento e al contesto territoriale; interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;
- d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;
- e) interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;
- f) interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non concorrano ad incrementare

il carico urbanistico;

**g)** adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;

**h)** ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

**i)** realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;

2. Per tutti gli interventi 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. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h) e i)

Inoltre, 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”* delle 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 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.

Lo scrivente nell'ambito della redazione dello studio di compatibilità idraulica sopra citato ha predisposto quindi un'analisi del rischio idraulico basata a monte su uno studio idrologico attraverso una modellazione afflussi–deflussi per la determinazione della pioggia netta e degli idrogrammi che sono stati utilizzati successivamente come input per la modellazione idraulica bidimensionale per la propagazione dei deflussi con tempo di ritorno pari a 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.

Con riferimento al punto I, alla luce dei risultati ottenuti nell'ambito delle verifiche idrauliche condotte in questa sede che prevedono uno scenario di allagamenti dovuto unicamente all'insufficienza del reticolo idrografico minore, è necessario rispettare alcune precauzioni in ordine alla quota d'imposta delle cabine di trasformazione e delle batterie di pannelli fotovoltaici ed in particolare:

- le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 0.50 m 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;
- 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;
- 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 e che gli stessi pali non provocano ostacolo al deflusso delle acque;

Con riferimento al punto II considerato che:

- in corrispondenza del reticolo idrografico che attraversa l'area in oggetto si instaurano battenti

con valori massimi superiori a 0.50 m per le quali aree non è in alcun caso da considerare possibile la posa in opera dei pannelli fotovoltaici per una fascia di rispetto di 20 m in asse del canale;

- le cabine di trasformazione saranno posizionate in una zona lontana dal reticolo e non interferiranno con il libero deflusso delle acque;
- le recinzioni saranno realizzate utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 0.20 m 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.

Novembre 2019

Ing. Dario Tricoli



## ALLEGATI

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

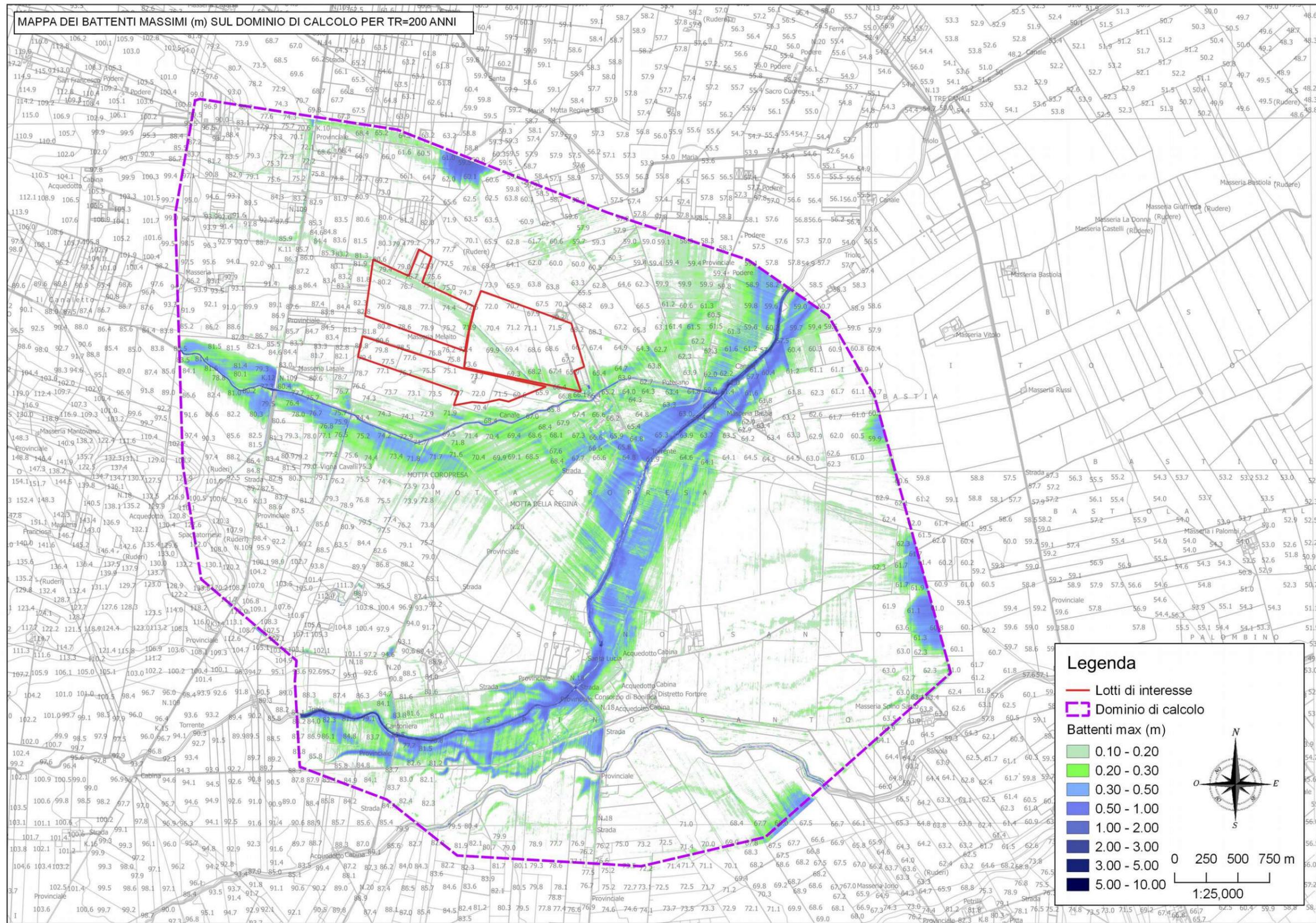


Fig. A1: Mappa Battenti massimi (m) per TR = 200 anni

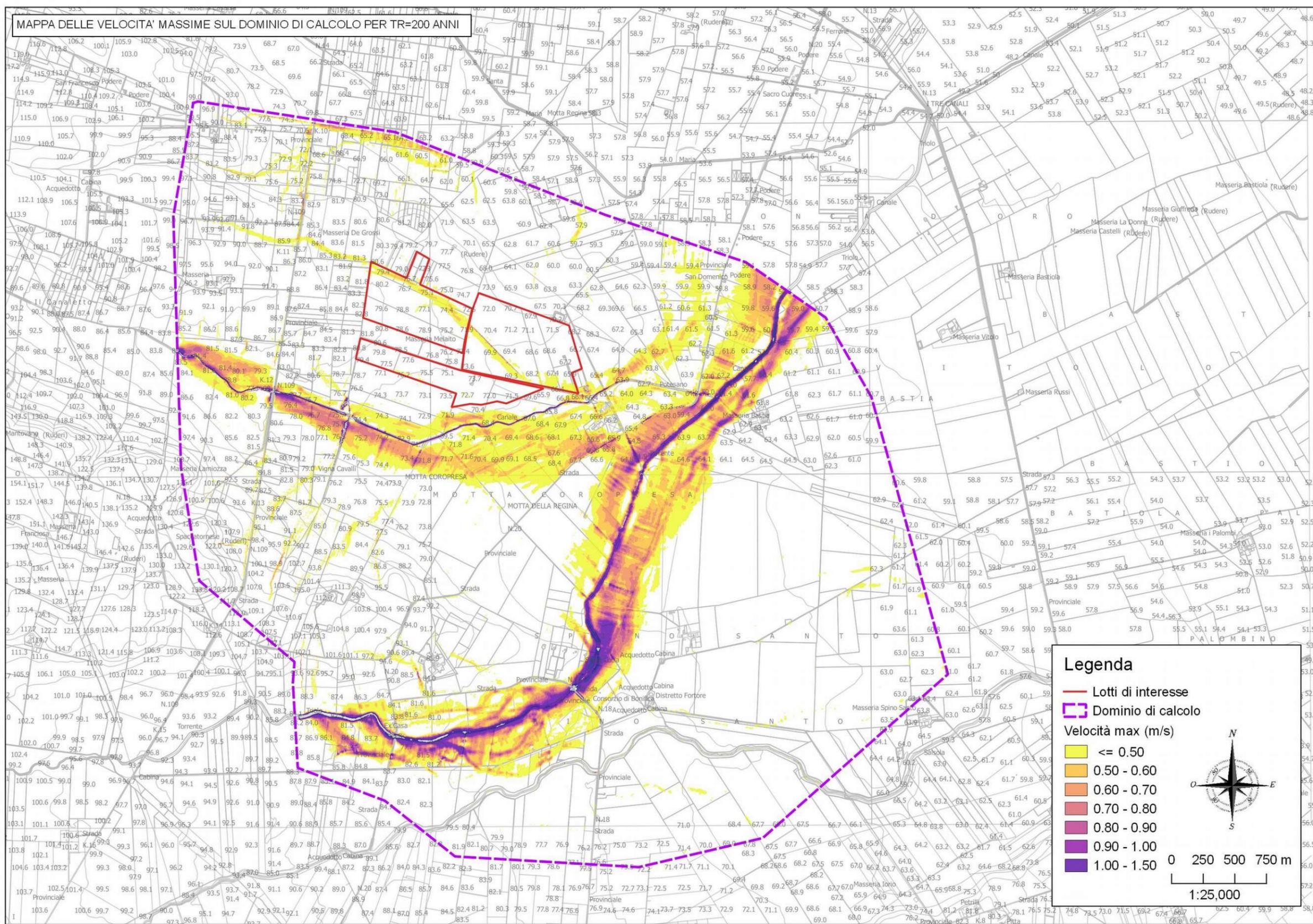


Fig. A2: Mappa velocità massime (m/s) per TR = 200 anni