



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
B.A.T.

SPINAZZOLA
56.307 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	Progetto di un impianto fotovoltaico di 56.307 kWp nel comune di SPINAZZOLA			
Oggetto	Folder A - Progetto Definitivo			
	Nome elaborato Spinazzola_Doc_A05			Scala
Revisione	Descrizione elaborato Studio Idraulico			
	00/00/2021	Oggetto revisione	Elaborazione	Verifica
	00/00/2021	Oggetto revisione		
	00/00/2021	Oggetto revisione		
	Codice Pratica "Spinazzola"			

COMUNE DI SPINAZZOLA

Provincia di Barletta – Andra - Trani

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA A CORREDO DELLA
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI
SPINAZZOLA (BAT)**



Luglio 2019



Ing Dario Tricoli

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

COMUNE DI SPINAZZOLA
Provincia di Barletta Andria Trani

Committente:

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI
SPINAZZOLA (BAT)**

Studio di compatibilità idraulica

Luglio 2019

Ing. Dario Tricoli



Indice generale

1 – Premessa.....	4
2 – Ricostruzione quadro conoscitivo.....	6
2.1 - Inquadramento area di studio.....	6
2.2 - Eventi alluvionali storici.....	12
2.3 – Modello digitale del terreno (DTM).....	14
2.4 - Uso del suolo.....	21
2.5 – Litologia.....	23
2.6 – Curve Number.....	25
2.7 – Rilievo topografico.....	28
2.8 - Definizione caratteristiche pluviometriche.....	31
3 – Analisi del rischio idraulico.....	33
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.....	46
3.3.– Verifiche idrauliche stato attuale.....	48
3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale.....	48
3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale.....	51
3.4 – Descrizione interventi in progetto.....	56
3.5 – Valutazione effetto intervento in progetto.....	57
4 – Conclusioni e raccomandazioni.....	59
ALLEGATI.....	61
ALLEGATO A – Modellazione idraulica bidimensionale - Carte dei battenti e delle velocità.....	62

1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud-ovest del centro abitato di Spinazzola (BAT) dove il committente, MY SUN del gruppo METKA EGN , ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico su più lotti di terreno. I lotti su cui si vuole realizzare l'impianto insistono su una porzione di territorio situata a valle della Strada Provinciale 25 in una zona posta a nord del Torrente Basentello nel quale confluiscono diversi reticoli idrografici che attraversano la zona di interesse, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), e sulla Carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (vedi fig. 5). Da notare che anche se amministrativamente l'area d'intervento ricade in Puglia, l'Autorità di Bacino competente territorialmente era quella della Basilicata in quanto l'area ricade nel bacino del Fiume Basento, con l'attuale assetto normativo l'area ricade nella competenza del Distretto dell'Appennino Meridionale che ha ricompreso entrambe le Autorità di Bacino sopra menzionate.

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area a pericolosità idraulica come evidenziato nella planimetria riportata in Fig.1; Considerata la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella Carta Idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall' *art. 6 “Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”* 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 dapprima uno studio idrologico basato su una modellazione afflussi–deflussi volta a determinare lo ietogramma di pioggia netto da inserire come input nel modello idraulico, quindi successivamente è stato implementato un modello idraulico 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 8 m disponibile per la

zona sul portale del Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia. Di seguito sono dapprima descritte le varie fasi del lavoro di ricostruzione ed aggiornamento del quadro conoscitivo e quindi di individuazione delle aree allagabili con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni.

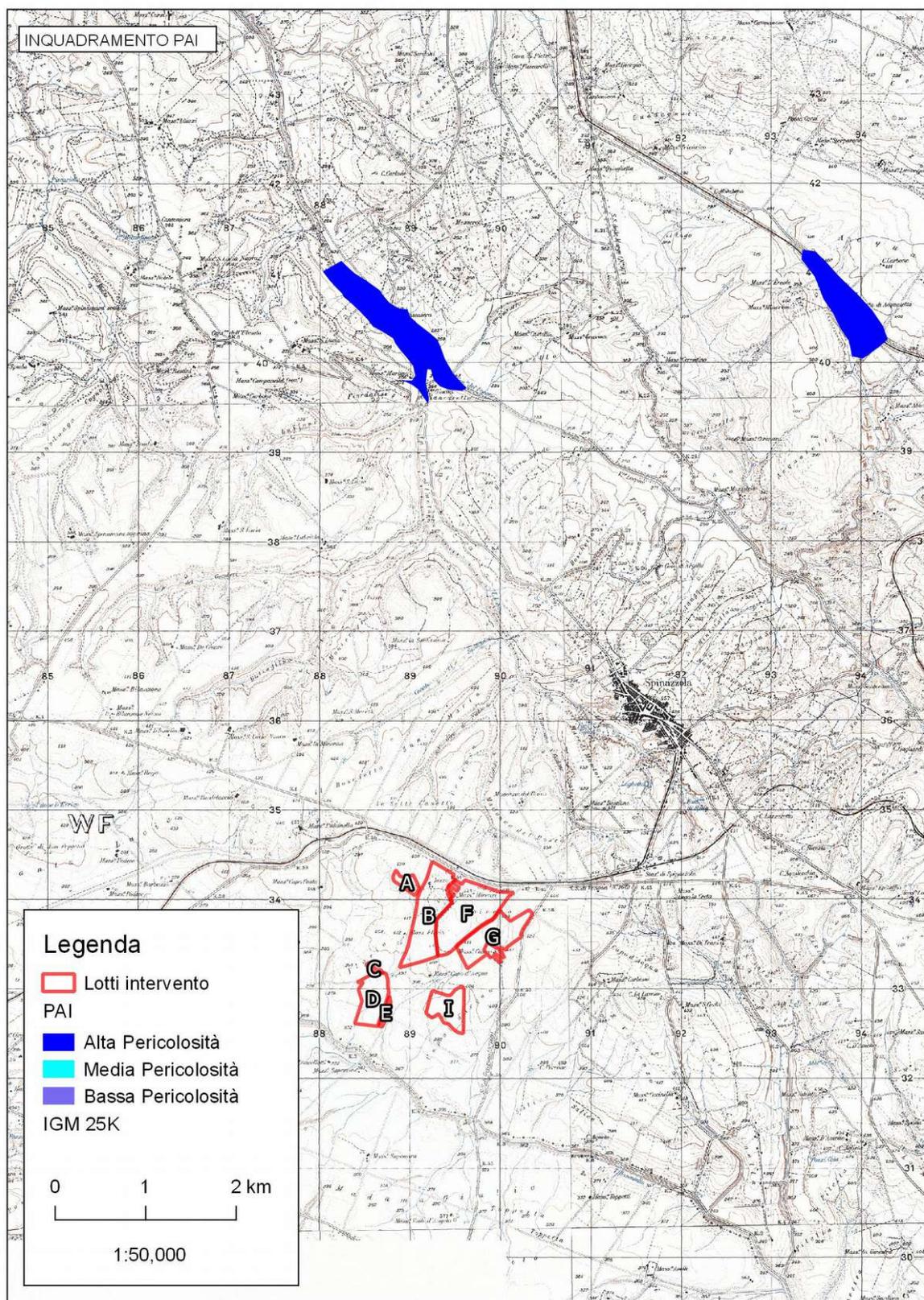


Fig. 1: Inquadramento area oggetto di studio su ortofoto con reticolo idrografico da carta idrogeomorfologica

2 – Ricostruzione quadro conoscitivo

2.1 - Inquadramento area di studio

Nella figura 2 è riportato, su base cartografica IGM, il centro abitato di Spinazzola con l'individuazione dell'area oggetto di intervento (in rosso) situata a sud-ovest dello stesso centro; nelle figure 3 e 4 è invece riportato un dettaglio della zona di interesse rispettivamente su Cartografia Tecnica Regionale e su ortofoto.

L'area oggetto di intervento ricade a monte del Torrente Basentello in cui confluiscono i corsi d'acqua secondari che lambiscono le zone che saranno oggetto di intervento; dalla cartografia si evince come l'area oggetto di interesse sia morfologicamente inquadrata in un'area a prevalente componente arenitica e ruditica, così come rappresentato nella Carta Idrogeomorfologica in fig. 5

Sulla base del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico la zona di interesse non risulta perimetrata come area a diversa pericolosità idraulica, vedi fig.6.

Il dominio di calcolo utilizzato nell'ambito della modellazione idraulica è stato opportunamente tracciato in modo da comprendere un'area più ampia rispetto a quella occupata dai bacini idrografici che drenano nell'area di intervento in modo tale da svincolare i deflussi dalle condizioni al contorno del dominio.

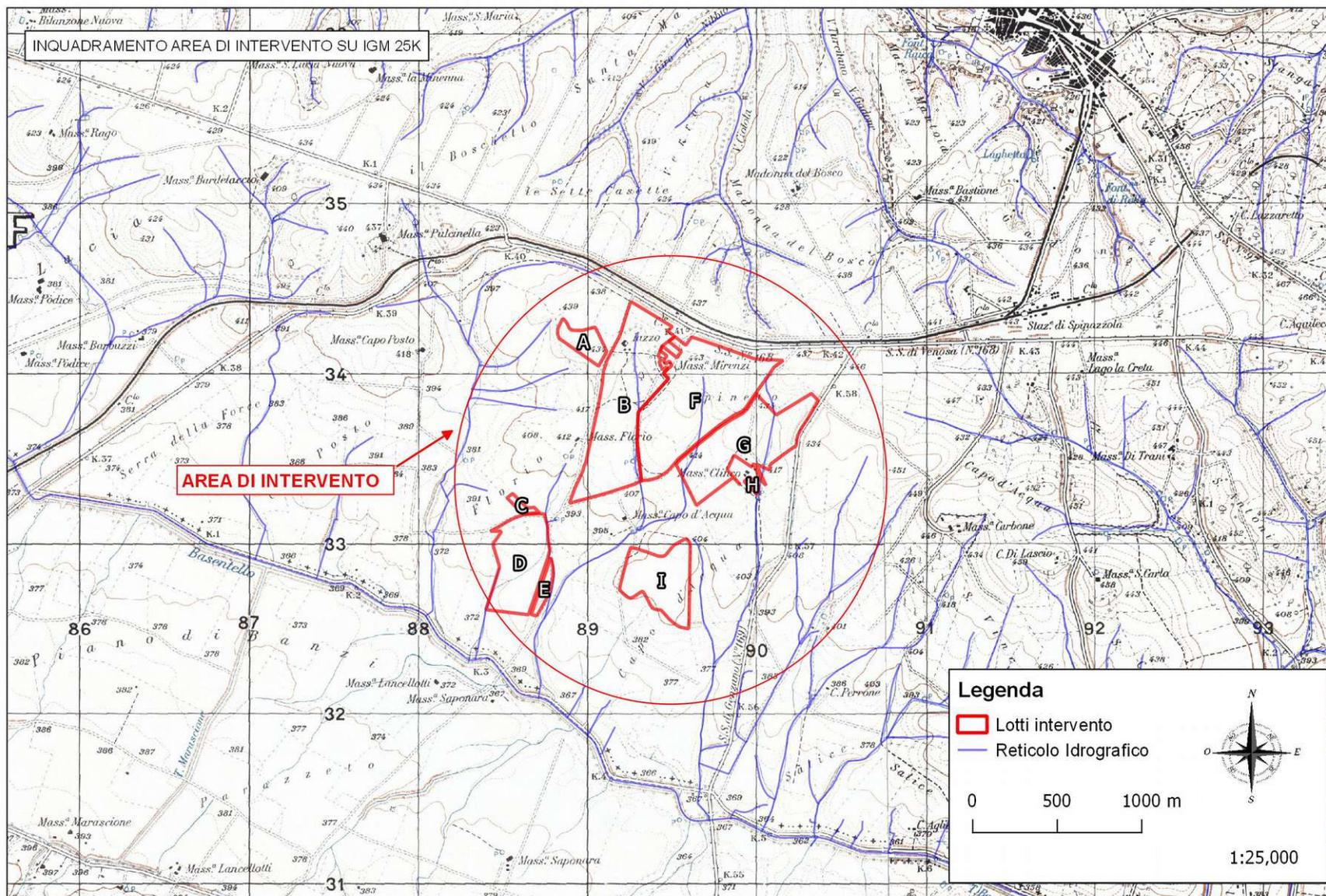


Fig. 2: Inquadramento area studio su cartografia IGM

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

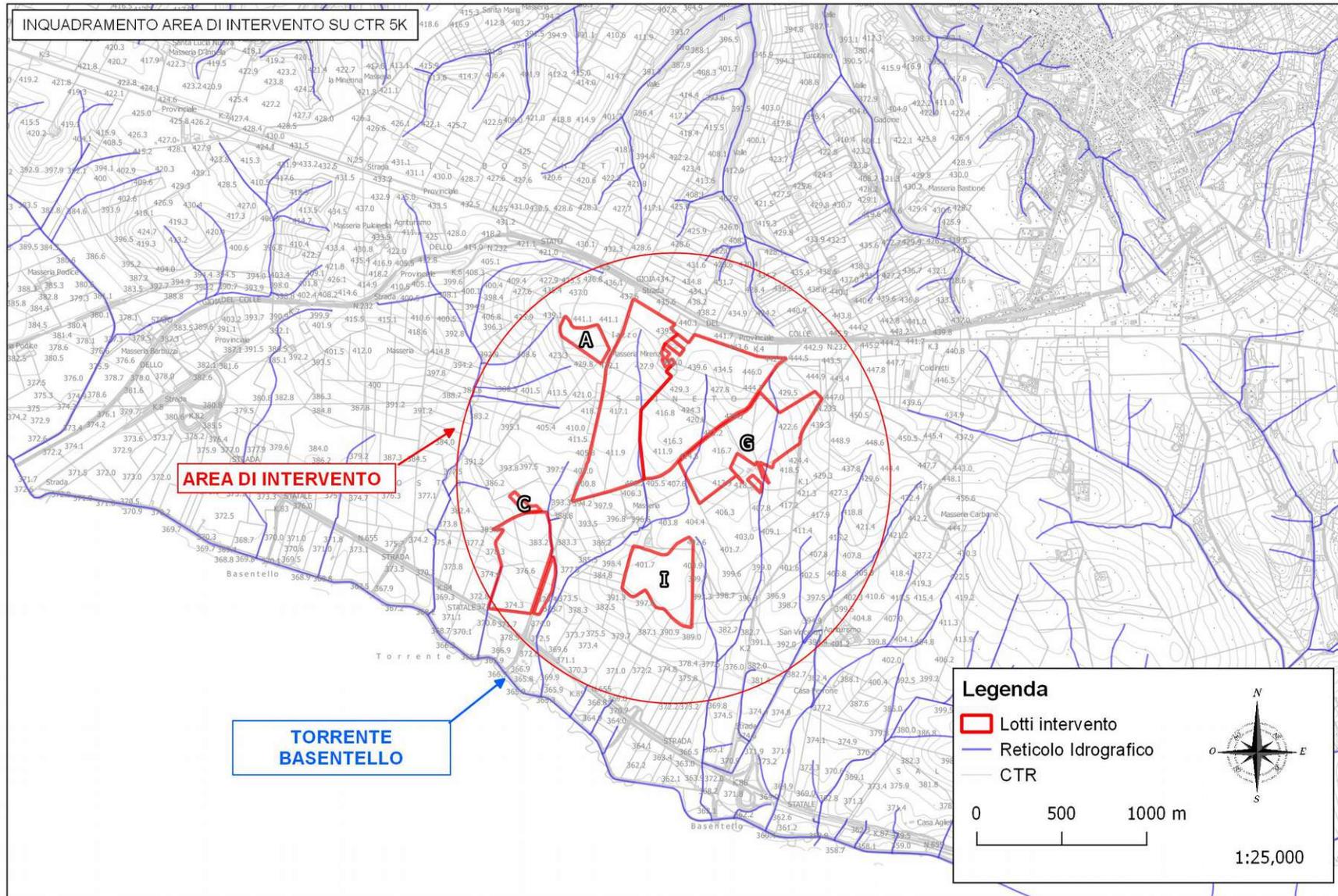


Fig. 3: Area di interesse - CTR

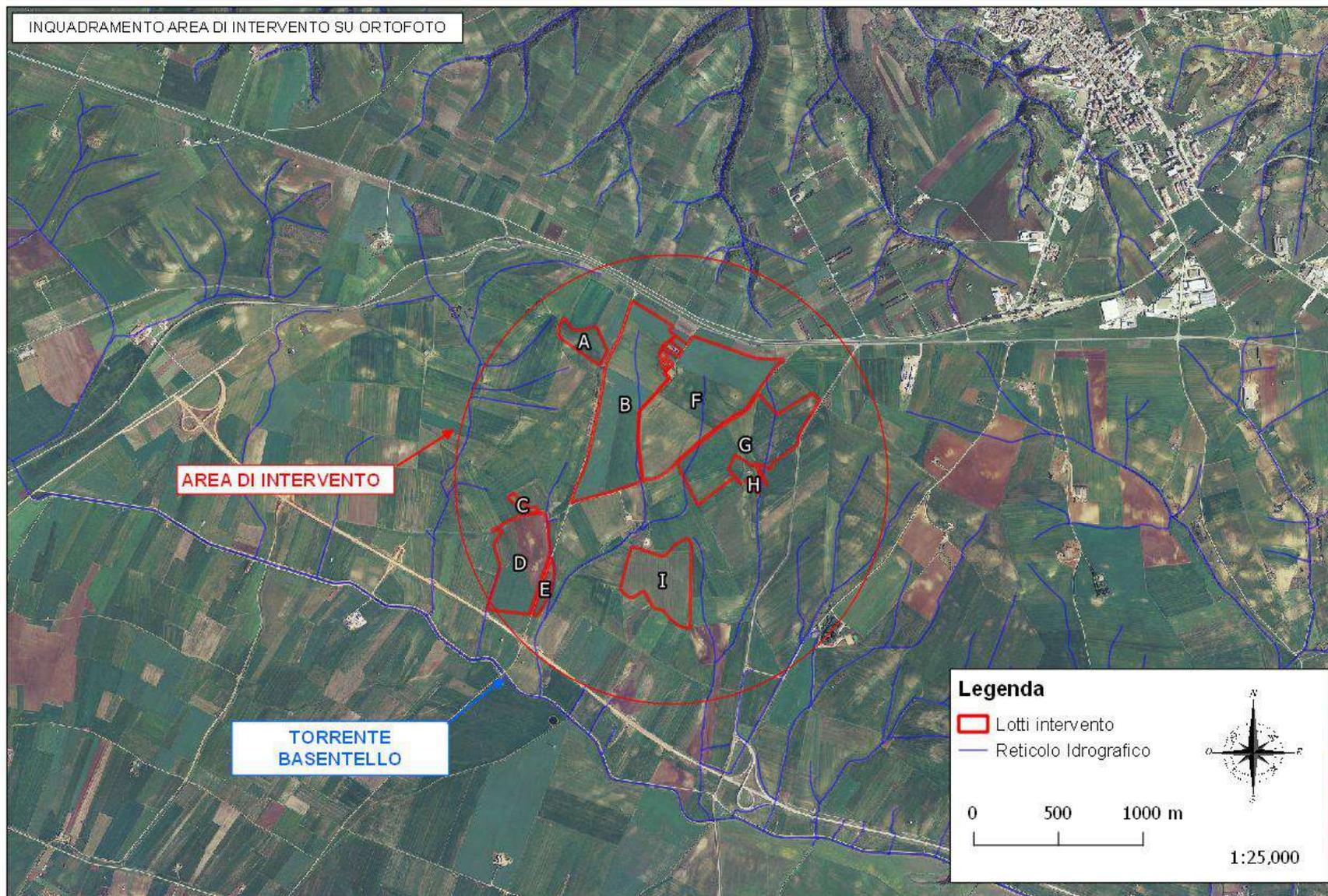


Fig. 4: Area interesse - Ortofoto

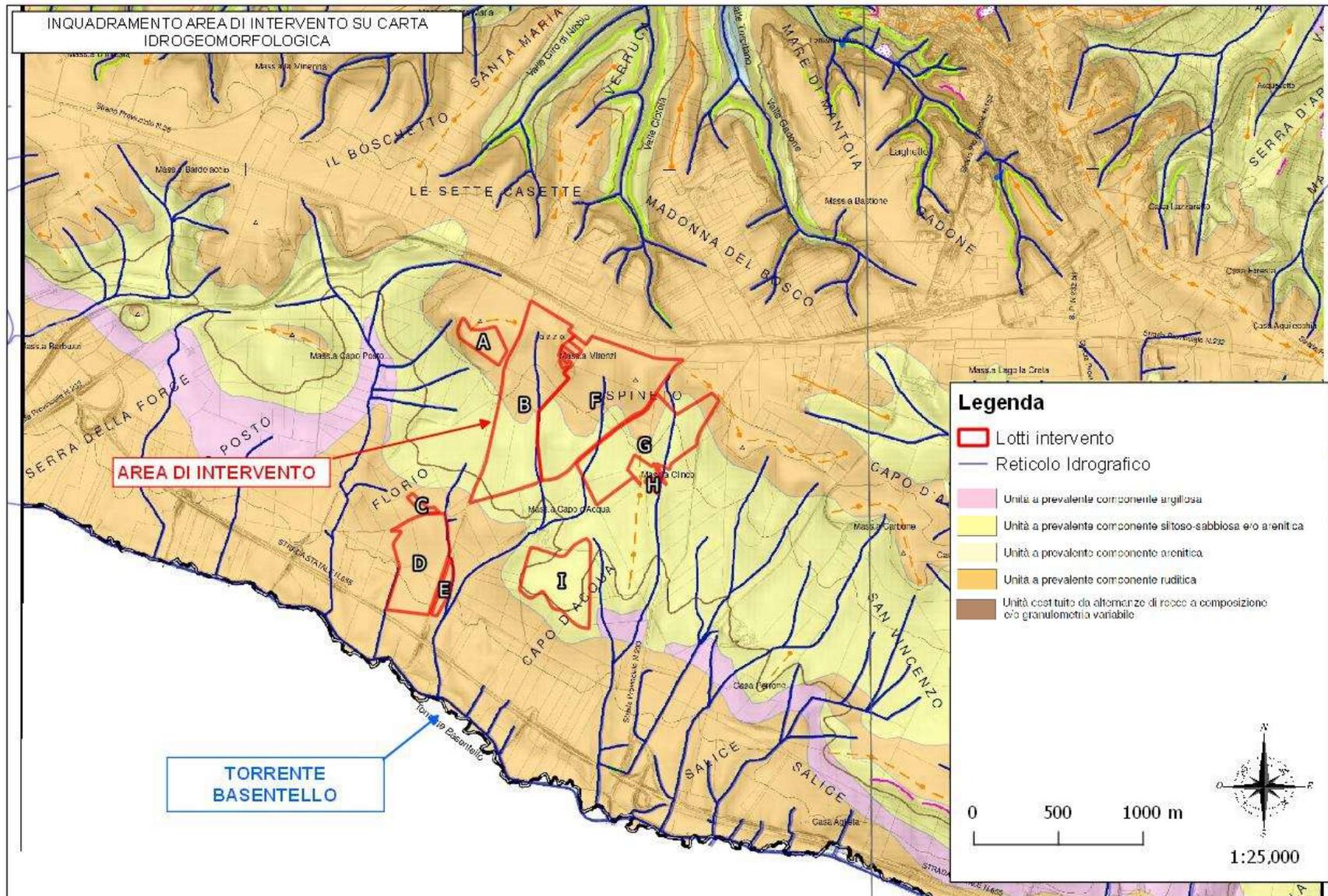


Fig. 5: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeomorfológica

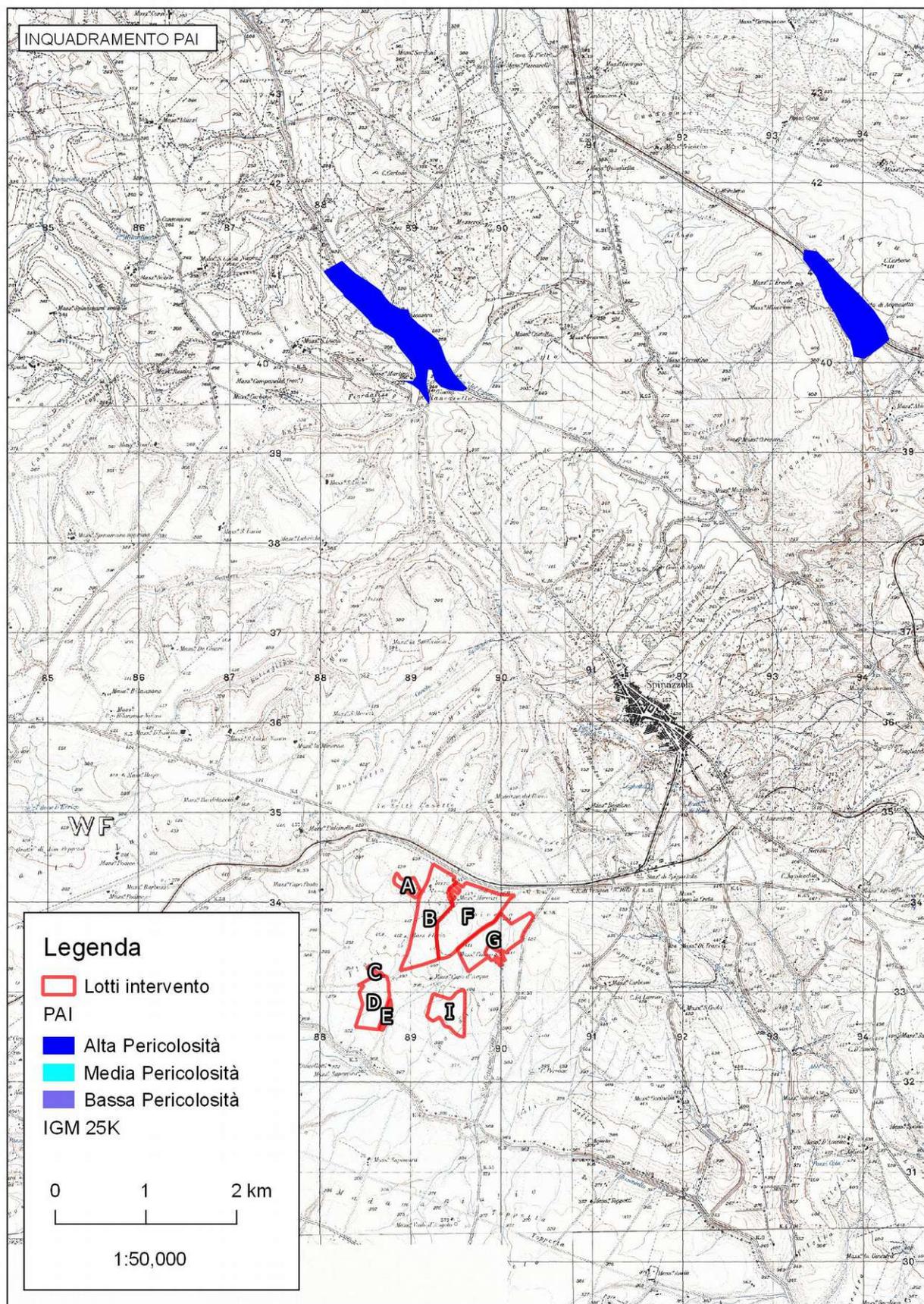


Fig. 6: Perimetrazione rischio idraulico

2.2 - Eventi alluvionali storici

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino perimetra le aree storicamente inondate attraverso una metodologia basata sull'utilizzo delle informazioni raccolte, organizzate e rese disponibili dal progetto AVI e dal progetto VAPI, nonché tutte le informazioni storiche rese disponibili dalle istituzioni territoriali o da altre fonti di informazioni. La metodologia di base adottata ha previsto le seguenti fasi operative:

- Censimento degli eventi storici alluvionali e di piena;
- Validazione di ogni singolo evento censito;
- Perimetrazione preliminare;
- Perimetrazione definitiva.

Dall'analisi delle cartografie ufficiali l'area oggetto di intervento non risulta perimetrata come area a pericolosità idraulica come peraltro si evince esaminando la Fig. 6.

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni offre una ricostruzione storico/geografica degli eventi alluvionali “post AVI” dalla quale è possibile ricavare informazioni per studi idrologico/idraulici finalizzati alla mappatura di nuove aree a pericolosità idraulica.

Nessuno degli eventi alluvionali censiti in tale Piano ricade nei pressi dell'area in esame come mostrato nella Fig. 7 che riporta un estratto della carta degli “Eventi alluvionali 'post – AVI' per ambito territoriale omogeneo”, allegato 2.3 del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Si è consapevoli del fatto che tale individuazione delle aree storicamente allagate non può considerarsi esaustiva delle aree effettivamente allagate e/o allagabili sostanzialmente perché nel passato difficilmente venivano segnalati allagamenti di aree non abitate e non sfruttate da un'agricoltura intensiva.

2.3 – Modello digitale del terreno (DTM)

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.8).

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

Da una prima verifica risulta inoltre una sostanziale coerenza tra il reticolo estratto con tecniche automatiche dal DEM in ambiente GIS (linea ciano tratteggiata) ed il reticolo della carta idrogeomorfologica (linea blu continua), vedi fig. 10.

Sulla base dei bacini idrografici che afferiscono all'area di interesse è stato quindi tracciato il dominio di calcolo, che ha una forma poligonale irregolare per una superficie di circa 7 Km², vedi fig.11, tracciato in modo da prendere anche un intorno significativo dei bacini di interesse per valutarne le condizioni di deflusso.

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 (vedi Fig. 12) 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.

COD.	Area (Kmq)
1	0.317
2	0.298
3	0.144
4	0.287
5	0.374
6	0.312
7	0.273
8	0.297
9	0.249
10	0.239
11	0.416
12	0.709
13	0.383
14	0.431
15	1.310
16	0.546
17	0.499

Tabella 1: Valori delle aree in Kmq dei singoli sottobacini

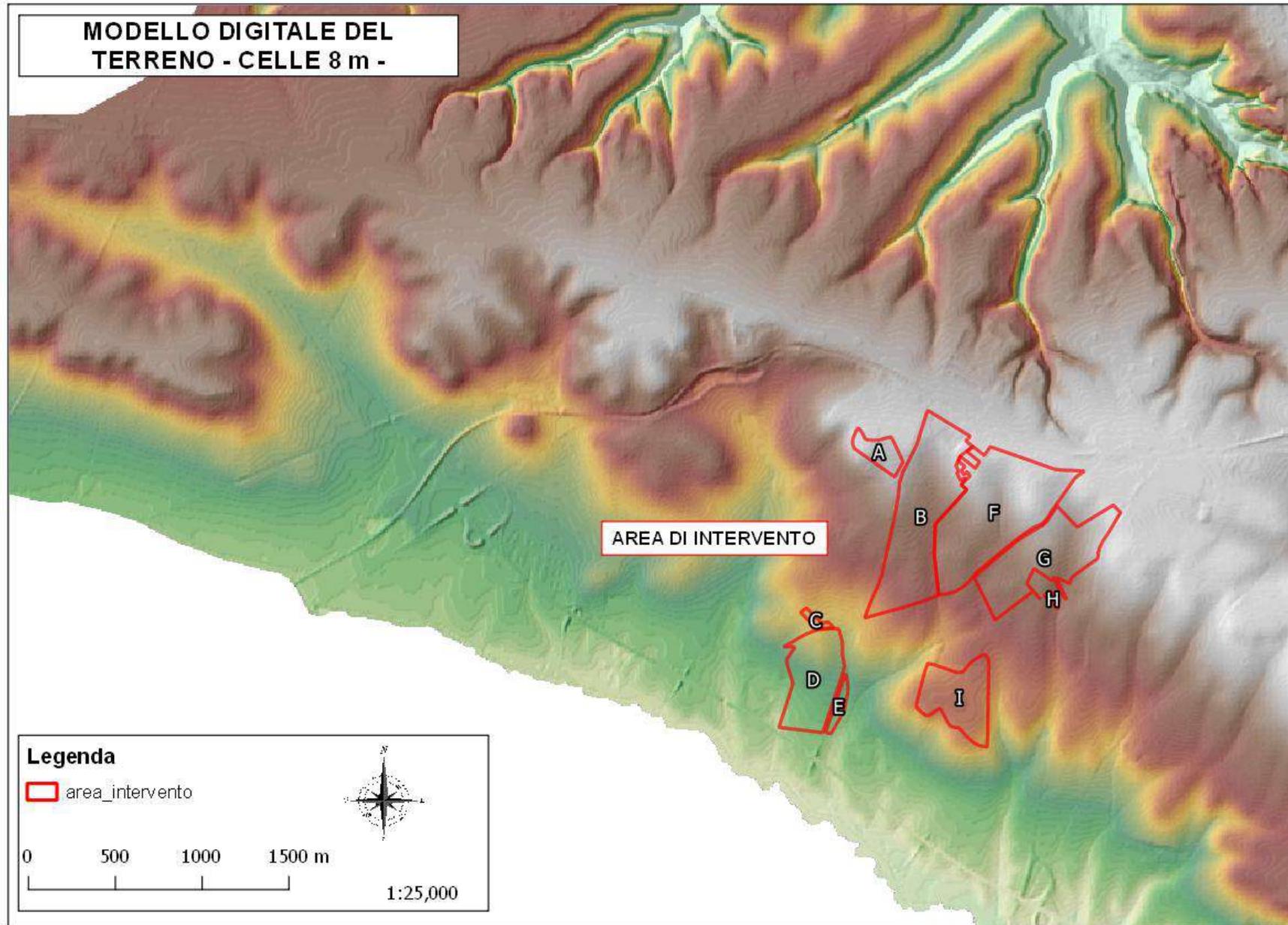


Fig. 8: Modello digitale del terreno con cella a 8m con sovrapposta l'area di intervento

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

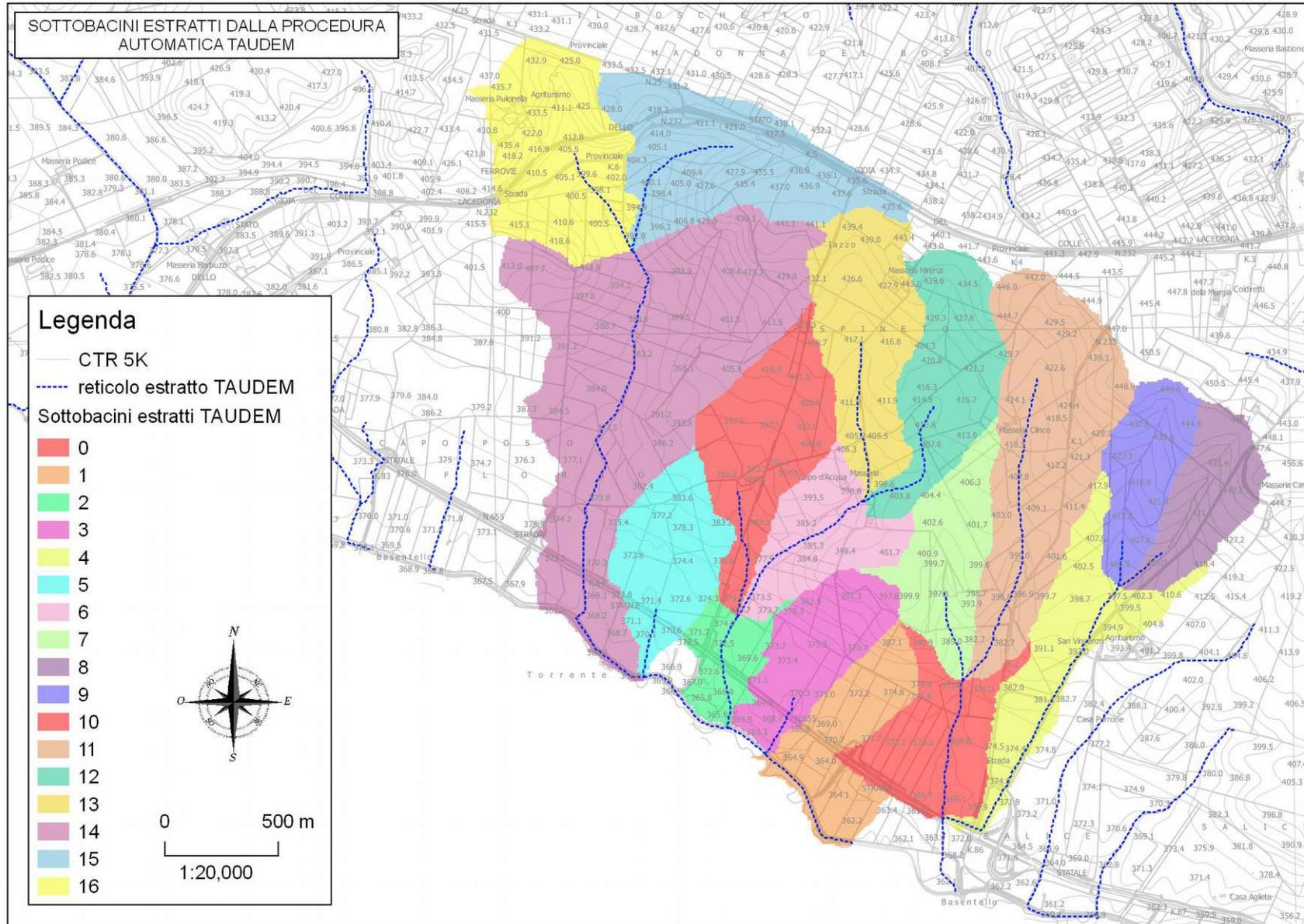


Fig. 9: Reticolo idrografico su DEM con cella a 8m

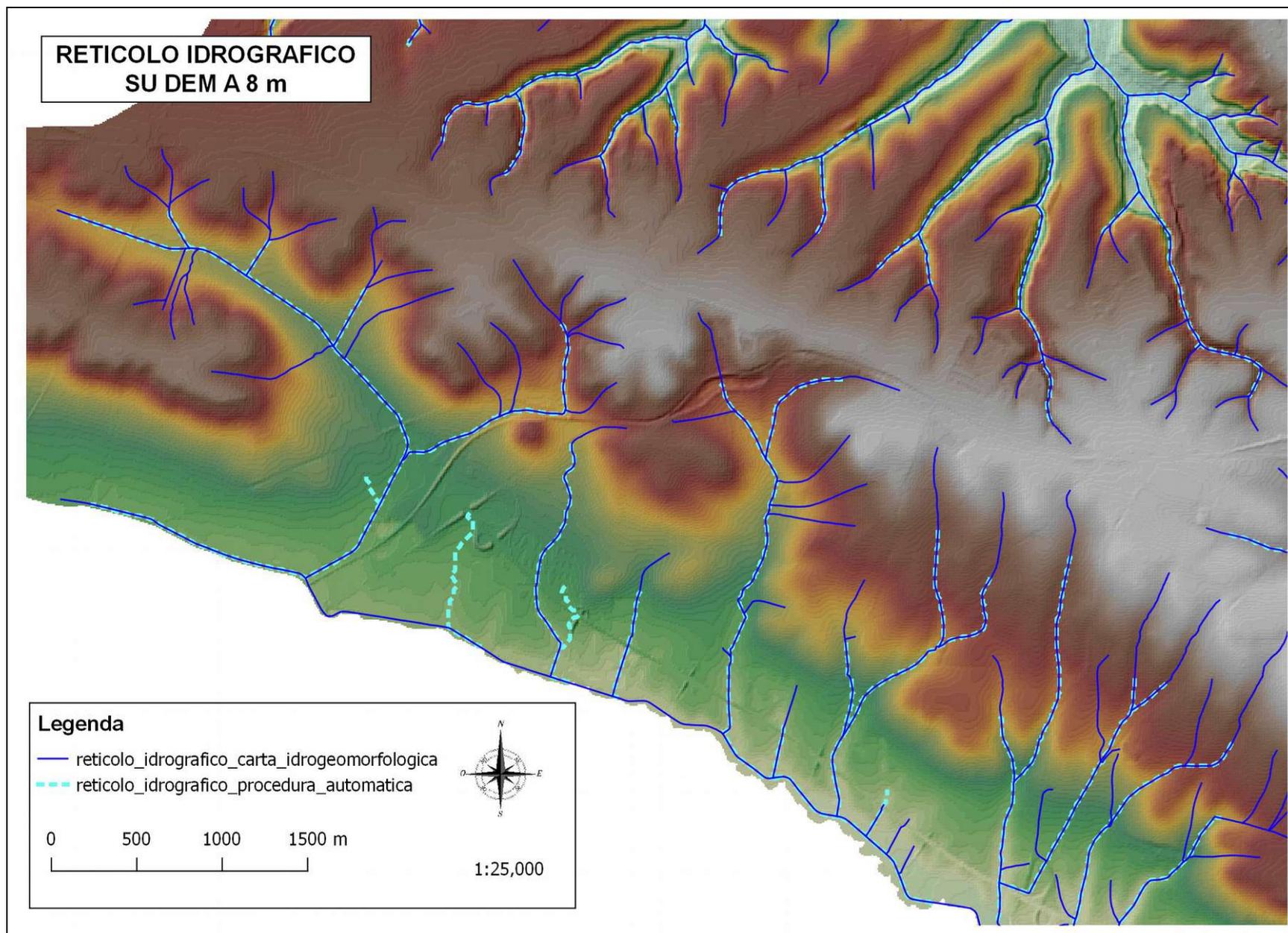


Fig. 10: Confronto tra il reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica con il reticolo dalla procedura automatica.

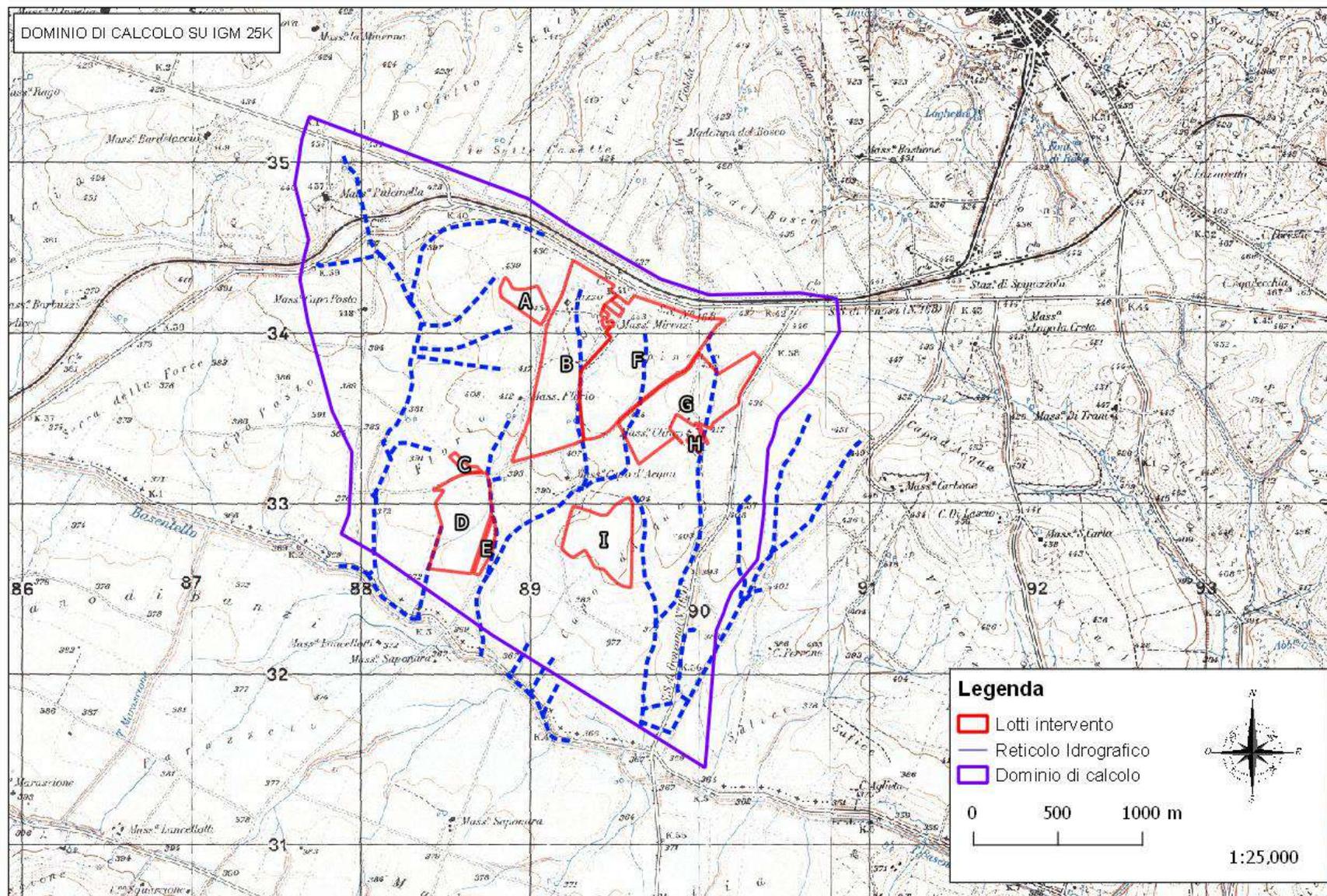


Fig. 11: Individuazione dominio di calcolo su cartografia IGM

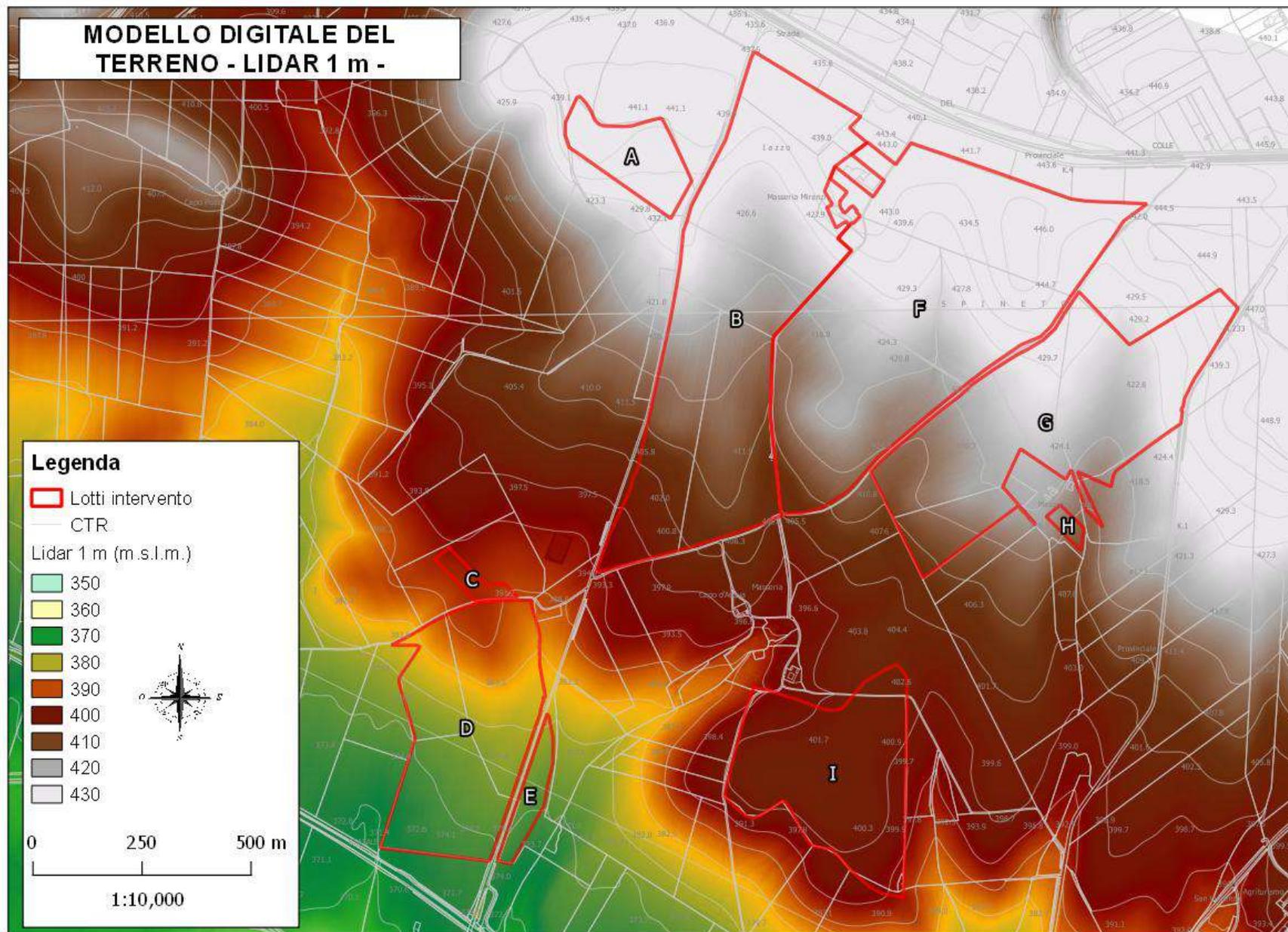


Fig. 12: Modello digitale del terreno con cella 1 m

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 13.

Si fa notare che ai fini della modellazione la classificazione utilizzata per l'uso del suolo si ferma al III livello della legenda del Corine Land Cover, non si è ritenuto opportuno infatti utilizzare un maggiore dettaglio a causa delle difficoltà di attribuzione dei parametri per il metodo di trasformazione afflussi – deflussi che si intende adottare. Si ritiene peraltro che tale semplificazione non altera in modo significativo i risultati del presente studio.

Dall'esame delle classi di uso del suolo si può notare come il territorio nel dominio di calcolo sia sfruttato quasi esclusivamente ad uso agricolo, con la presenza prevalente di seminativi semplici in aree non irrigue, per una percentuale di circa il 96%. La porzione di territorio urbanizzato all'interno dei bacini d'interesse si mantiene al di sotto del 2%.

CODICE	DESCRIZIONE	Area (kmq)	%
321	aree a pascolo naturale, praterie, incolti	0.12	1.66
311	boschi di latifoglie	0.03	0.47
121	insediamenti produttivi agricoli	0.01	0.14
121	insediamento commerciale	0.01	0.18
122	reti ferroviarie comprese le superfici annesse	0.01	0.09
122	reti stradali e spazi accessori	0.10	1.39
211	seminativi semplici in aree non irrigue	6.78	95.79
223	uliveti	0.02	0.28
TOTALE		7.07	100

Tabella 2: Classi di uso del suolo per i sottobacini considerati

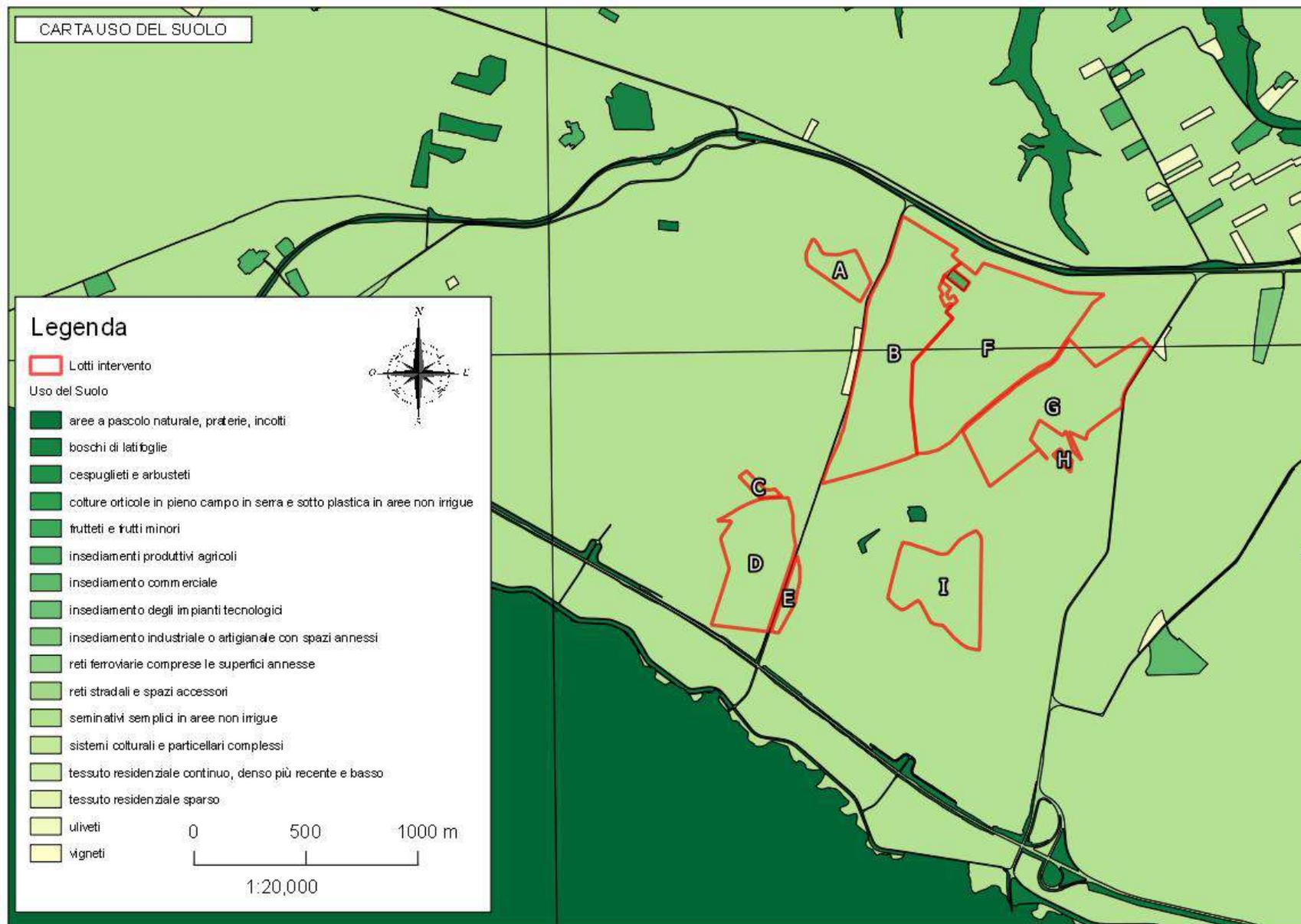


Fig. 13: Uso del suolo

2.5 – Litologia

Per l'individuazione della permeabilità dei suoli è stata utilizzata la litologia presente nella carta idrogeomorfologica, vedi fig. 14.

Dall'esame della carta litologica e della tabella 4 risulta che quasi tutta l'area oggetto di studio ricade in una zona omogenea dal punto di vista litologico costituita da unità a prevalente componente ruditica e da unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica. Per caratterizzare la permeabilità del suolo sono stati utilizzati i valori presenti in letteratura, e trattandosi di terreni che presentano una moderata potenzialità di deflusso, si è ritenuto opportuno assegnare all'intero dominio la classe di permeabilità B che corrisponde ad elevata permeabilità, vedi tab. 3

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'	
GRUPPO A -	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.
GRUPPO 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.
GRUPPO C -	Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
GRUPPO D -	Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Tabella 3: Classi di permeabilità

ID	TIPO	Area (kmq)	%
5	Unità a prevalente componente ruditica	3.58	50.65
6	Unità a prevalente componente argillosa	0.24	3.43
7	Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica	3.25	45.93
TOTALE		7.07	100.00

Tabella 4: Classi litologiche

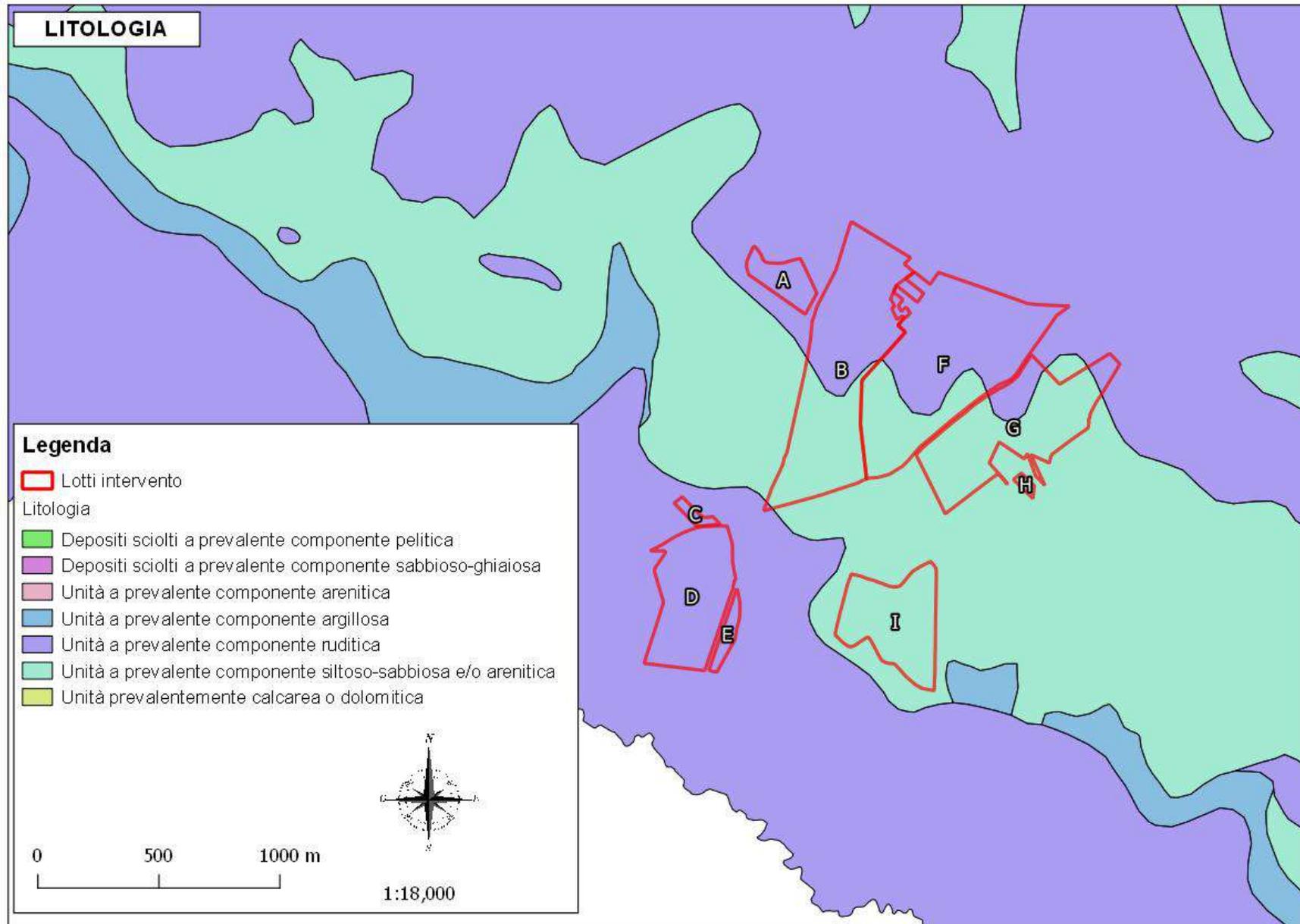


Fig. 14: Classi litologiche

2.6 – Curve Number

Per l'individuazione del valore del Curve Number per i diversi sottobacini idrografici individuati come visto in precedenza e per l'intero dominio sono stati utilizzati i dati sull'uso del suolo, con riferimento al III livello della legenda del Corine Land Cover, e i dati riguardanti la permeabilità del terreno (litologia). Secondo la teoria sviluppata dal Soil Conservation Service, il Curve Number, che caratterizza ogni suolo dal punto di vista della sua risposta idrologica, è funzione infatti dell'uso del suolo e della classe di permeabilità del terreno. Nel caso oggetto di studio la tabella di equivalenza utilizzata per ricavare il valore del Curve Number dai sopra citati parametri è riportata in tab.5 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 6.

Poiché sia il bacino idrografico di interesse che l'intero dominio di calcolo sono caratterizzati dal medesimo uso del suolo, costituito prevalentemente da aree seminative, e da una classe di permeabilità così come individuata in precedenza, si è scelto di considerare un unico valore del Curve Number pari a 83, valore che è stato aumentato a vantaggio di sicurezza e che permette di massimizzare la risposta idrologica tanto del bacino idrografico quanto del dominio di calcolo.

CODICE CORINE (III LIV.)	DESCRIZIONE CORINE (III LIV.)	classe CN (MAIONE)	valori CN
121	Aree industriali o commerciali	F	89,92,94,95
122	Reti stradali e ferroviarie		89,92,94,95
211	Seminativi in aree non irrigue	A1	72,81,88,91
223	Oliveti	A2	62,71,78,81
311	Boschi di latifoglie	D1	45,66,77,83
321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	B1	68,79,86,89

Tabella 5: Valori del CN per per classe di permeabilità e uso del suolo

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

SOTTOBACINO	Area Km ²	CN
1	0.32	81.20
2	0.30	81.56
3	0.14	81.33
4	0.29	81.10
5	0.37	81.20
6	0.31	81.10
7	0.27	80.97
8	0.30	80.29
9	0.25	81.15
10	0.24	81.00
11	0.42	80.90
12	0.71	80.82
13	0.38	81.04
14	0.43	81.08
15	1.31	79.96
16	0.55	81.23
17	0.50	80.22
VALORE MEDIO		80.95

Tabella 6: Valori del CN per ogni singolo sottobacino

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

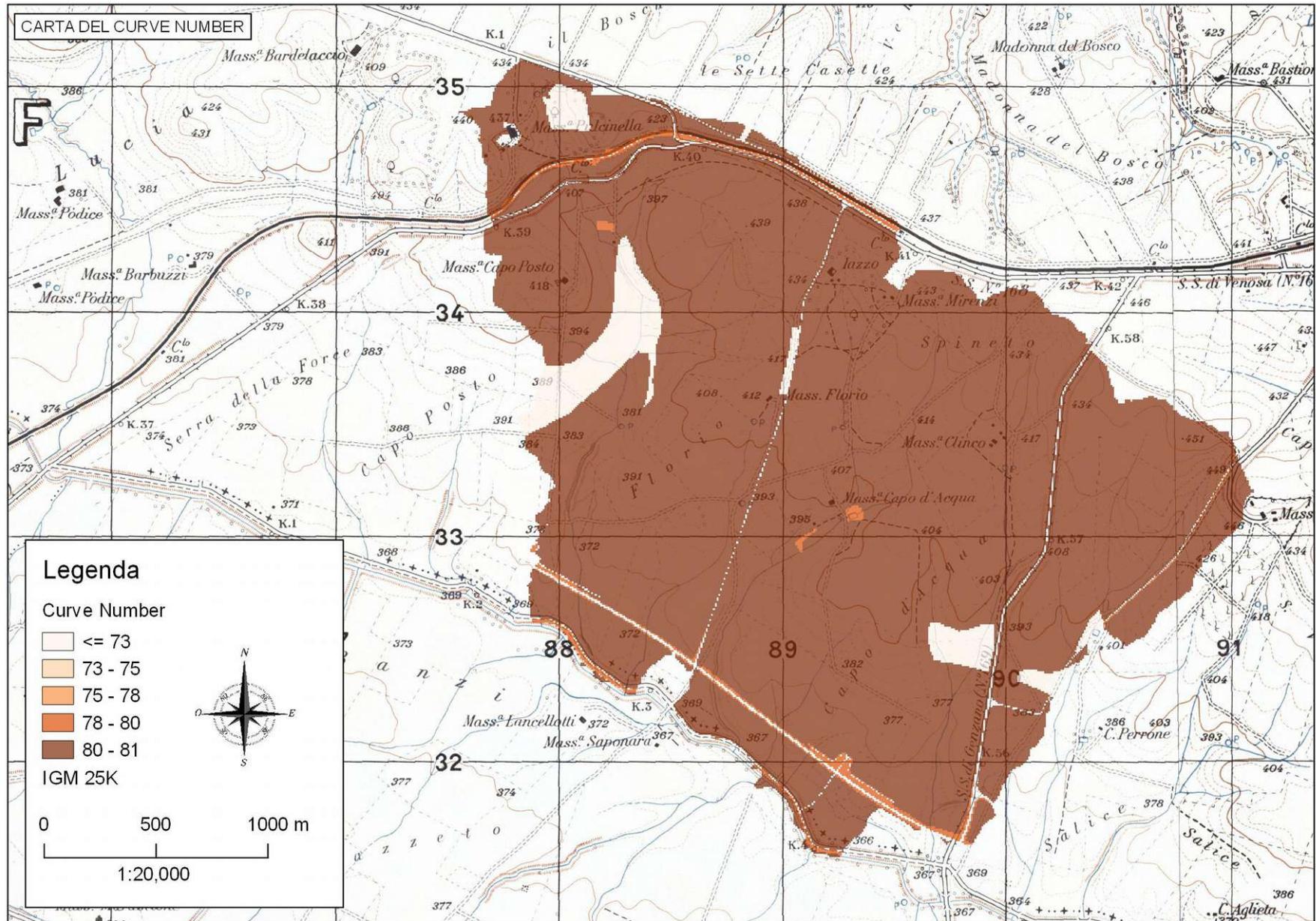


Fig. 15: Curve Number

2.7 – Rilievo topografico

L'analisi idraulica condotta nel presente studio è stata corredata da specifici e dettagliati rilievi topografici allo scopo di ricostruire in maniera corretta lo stato dei luoghi e le eventuali opere che interferiscono con il libero deflusso delle acque.

Pertanto, per la corretta definizione della geometria del modello idraulico utilizzato per le verifiche idrauliche, è stato eseguito, in corrispondenza dell'area di intervento, un rilievo topografico di dettaglio finalizzato a caratterizzare l'orografia del terreno e di tutte le opere che vanno ad interferire con il deflusso delle acque.

In figura 16 si riporta un dettaglio planimetrico con l'individuazione dei punti dove sono collocati i manufatti idraulici rilevati.

Nel corso delle attività di rilievo, 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 13 tombini sopra menzionati dei quali a titolo di esempio è stato riportato un dettaglio del tombino n°1 posto a monte dell'area di interesse, rappresentato in fig. 17. In particolare, dei tredici attraversamenti, sono stati rilevati n° 5 tombini lungo la SS di Genzano n°169, n° 4 lungo la strada statale SS 655 e i successivi n° 4 tombini posti lungo le strade sterrate interne all'area.

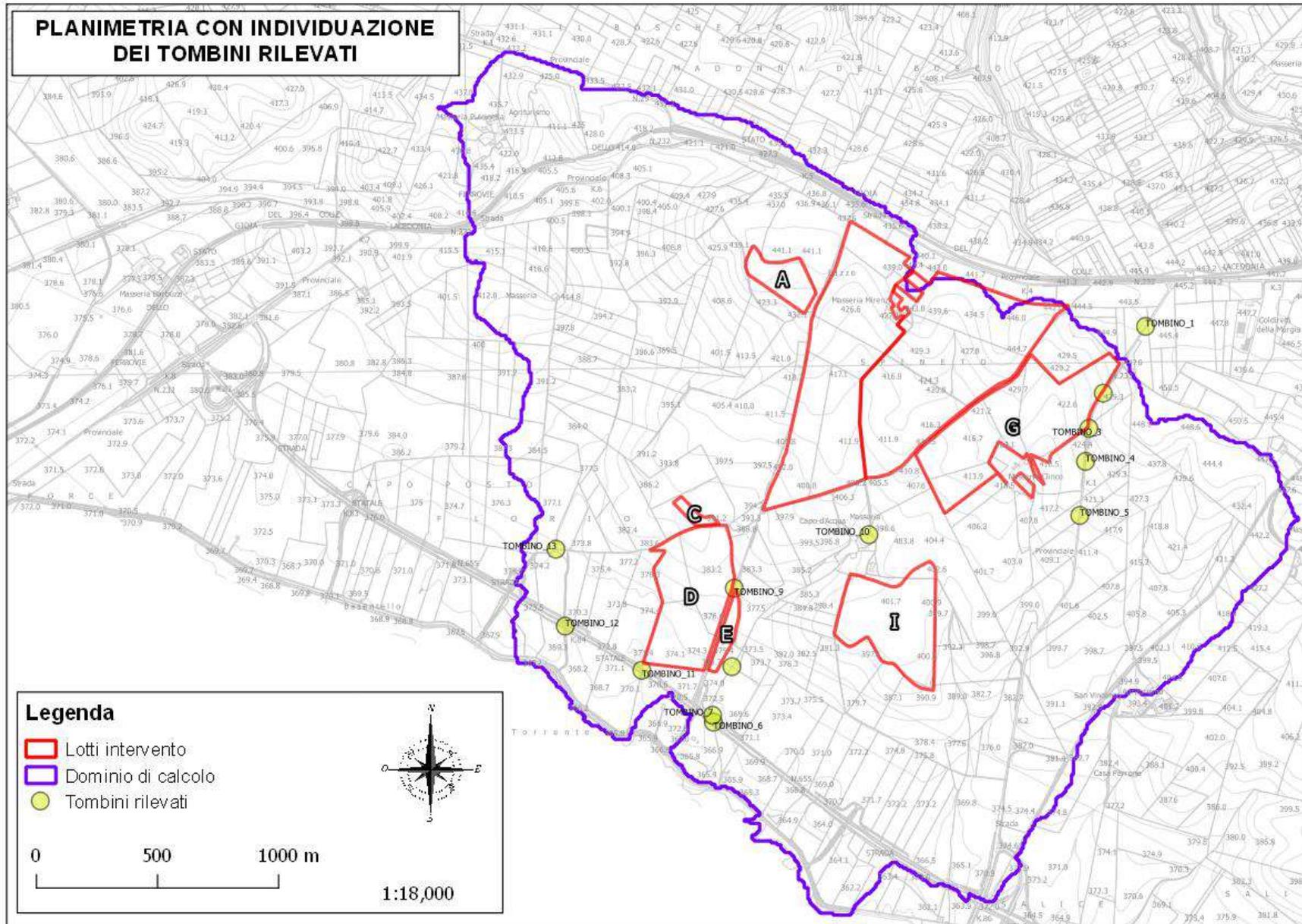


Fig. 16: Planimetria con individuazione dei tombini rilevati

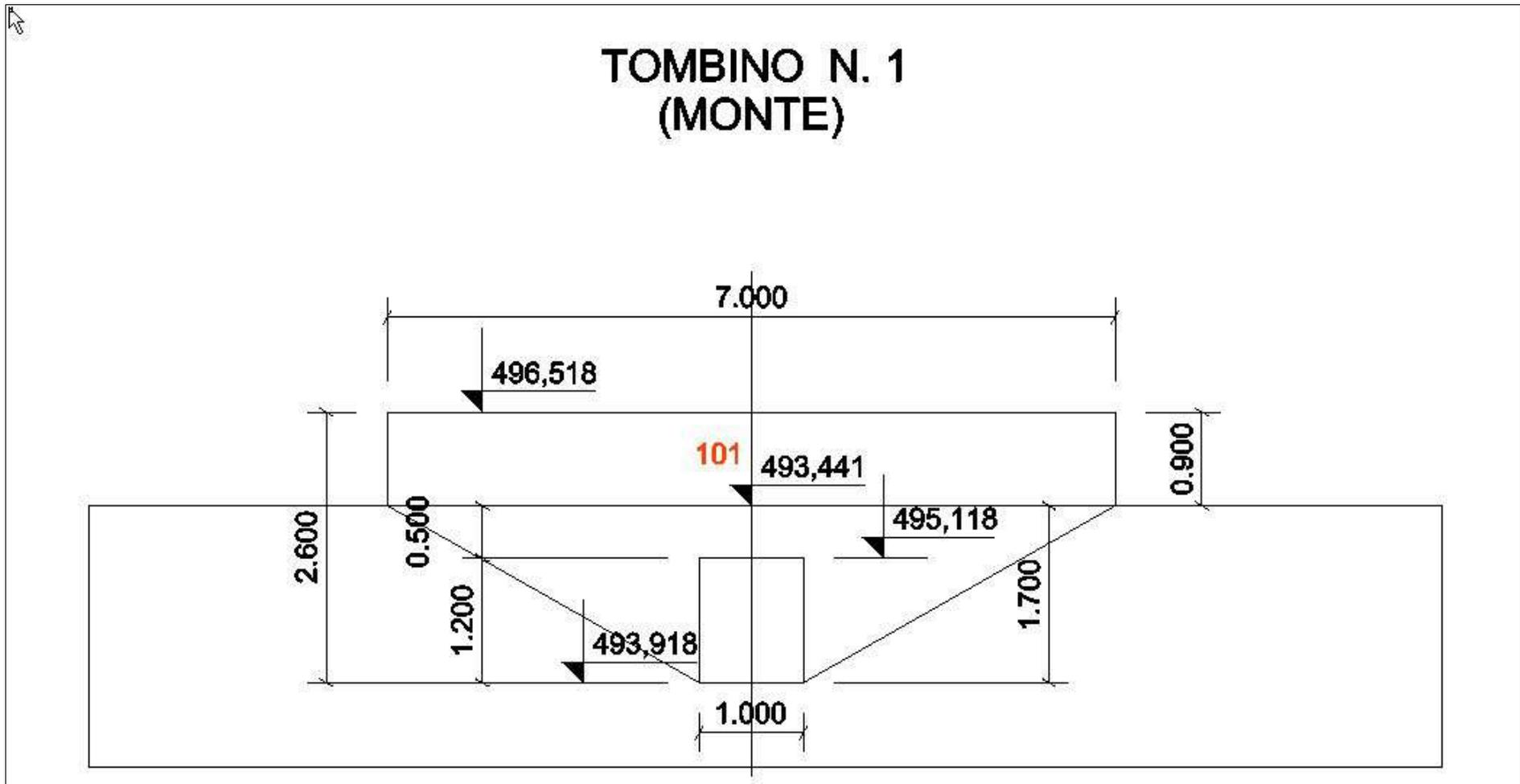


Fig. 17: Dettaglio rilievo tombino di monte -n.1

2.8 - Definizione 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.4 come mostrato in Fig. 18 per la quale il progetto VaPi propone la seguente formulazione per il calcolo delle Curve di Possibilità Pluviometrica.

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

Sono stati quindi ricavati i valori dei parametri “a” e “n” delle Curva di Possibilità Pluviometrica per i tre differenti tempi di ritorno (30, 200, 500 anni), vedi tabella 7 e Fig. 19.

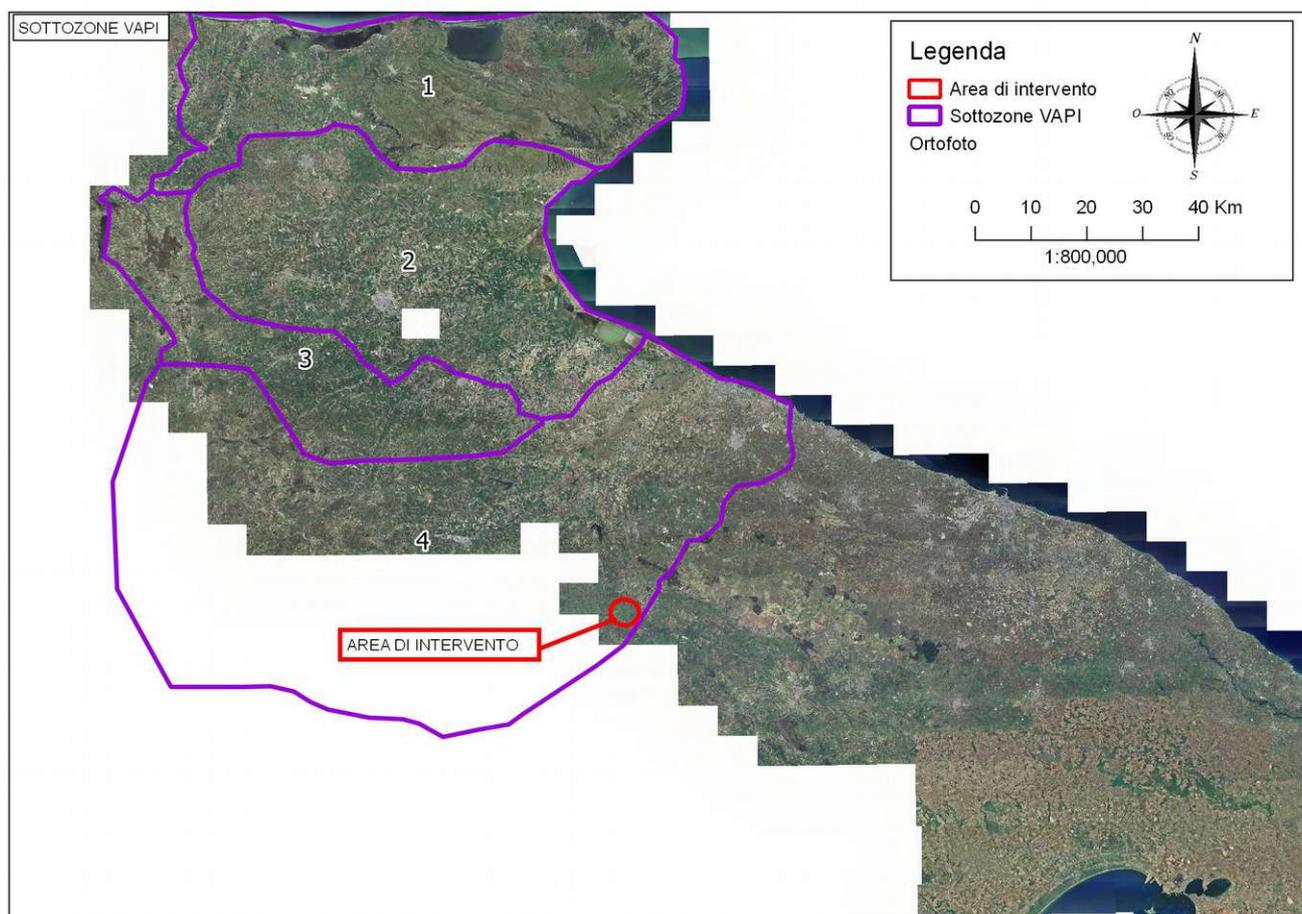


Fig. 18: Curve di possibilità pluviometrica per $T_r = 30, 200, 500$ anni

	hmedio	Tr=30 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
a	24.7	48.9	68.4	77.8
n	0.256	0.256	0.256	0.256
t (h)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
0.25	17.32	34.30	47.98	54.56
1	24.70	48.91	68.42	77.81
2	29.50	58.40	81.70	92.91
3	32.72	64.79	90.64	103.07
4	35.22	69.74	97.57	110.95
5	37.29	73.84	103.30	117.47
6	39.08	77.37	108.24	123.09
7	40.65	80.48	112.60	128.04
8	42.06	83.28	116.51	132.49
9	43.35	85.83	120.08	136.55
10	44.53	88.18	123.36	140.28
11	45.63	90.36	126.41	143.75
12	46.66	92.39	129.25	146.99
24	55.72	110.33	154.35	175.53

Tabella 7: Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica per $Tr = 30, 200, 500$ anni

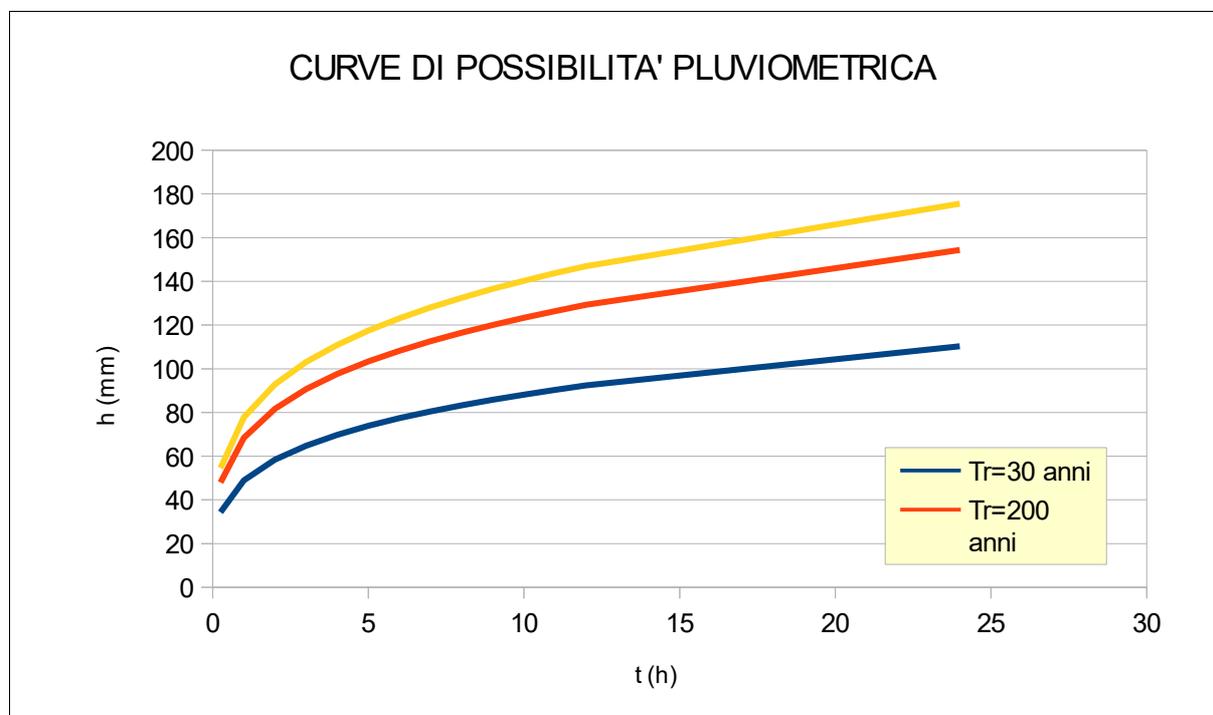


Fig. 19: Curve di possibilità pluviometrica per $Tr = 30, 200, 500$ anni

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 condizione al contorno di input lo ietogramma di pioggia netta corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

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

Nel caso in esame è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione dello ietogramma di pioggia netta corrispondente all'evento duecentennale.

L'analisi idraulica dei reticoli idrografici ha previsto l'implementazione di una modellazione idraulica con schema bidimensionale 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 idrologica ed idraulica condotte nell'ambito del presente studio.

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 "Lag" ovvero del ritardo.

Separazione delle piogge

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

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

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

$$Ia = 0.2 \times S$$

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

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

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

Tab. 8: Tipo di copertura e uso del suolo

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

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

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

Tab. 9: 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. 10: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3

Nell'applicazione del metodo del CN al caso oggetto di studio considerando l'uniformità in termini di valore del Curve Number nei sottobacini individuati all'interno del dominio di calcolo, si è ritenuto opportuno assumere un unico valore del CN e pari nello specifico al valore 83.

Propagazione delle piene

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

3.1.2 - Modellazione idraulica

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

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

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

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

– equazione del moto:

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

– equazione di continuità:

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

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

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

Il metodo di soluzione adottato è un metodo di tipo semi-implicito in cui in pratica la portata ed il livello in ogni nodo, in un determinato istante di tempo, sono espressi in funzione di portata e livello nelle sezioni adiacenti nello stesso istante di tempo oltre che della portata e del livello della stessa sezione nell'intervallo di tempo precedente. In pratica, considerando un corso d'acqua schematizzato

da N sezioni, si hanno $2N$ incognite (portata e livello in ogni sezione), si applicano le due equazioni (di moto e di continuità) per ogni tronco, si ottengono quindi $2(N-1)$ equazioni. Aggiungendo poi le due condizioni al contorno (a valle e a monte), si ottiene un sistema di $2N$ equazioni che può essere risolto uno dopo l'altro per tutti gli intervalli di tempo.

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

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

1. modellazione combinata 1D e 2D: La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi;
2. equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le

equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;

3. algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai volumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica critica, come per esempio in un risalto idraulico);
4. algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra 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 20.

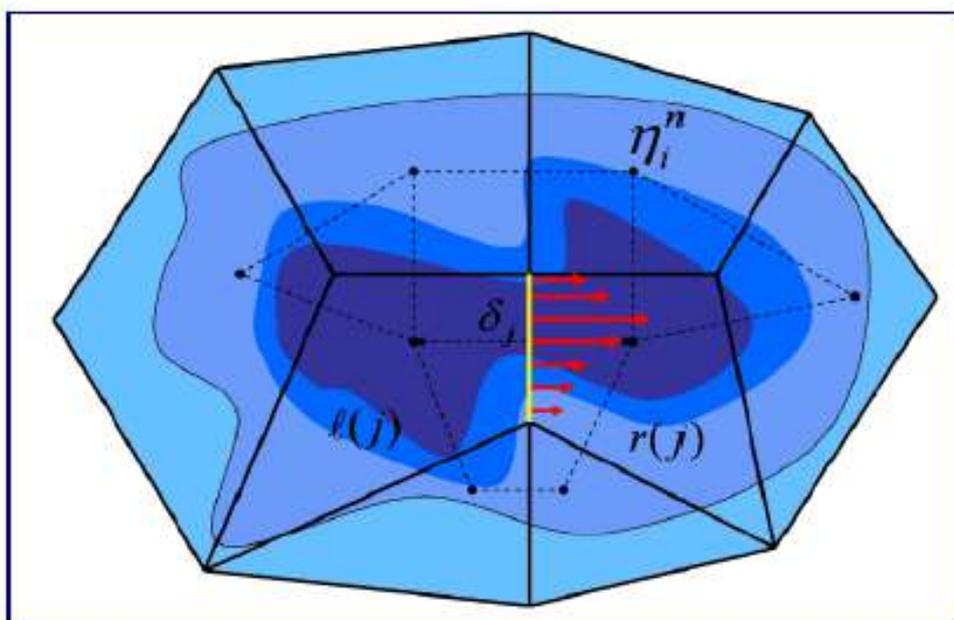


Fig. 20: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In fig. 20 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. 21 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.

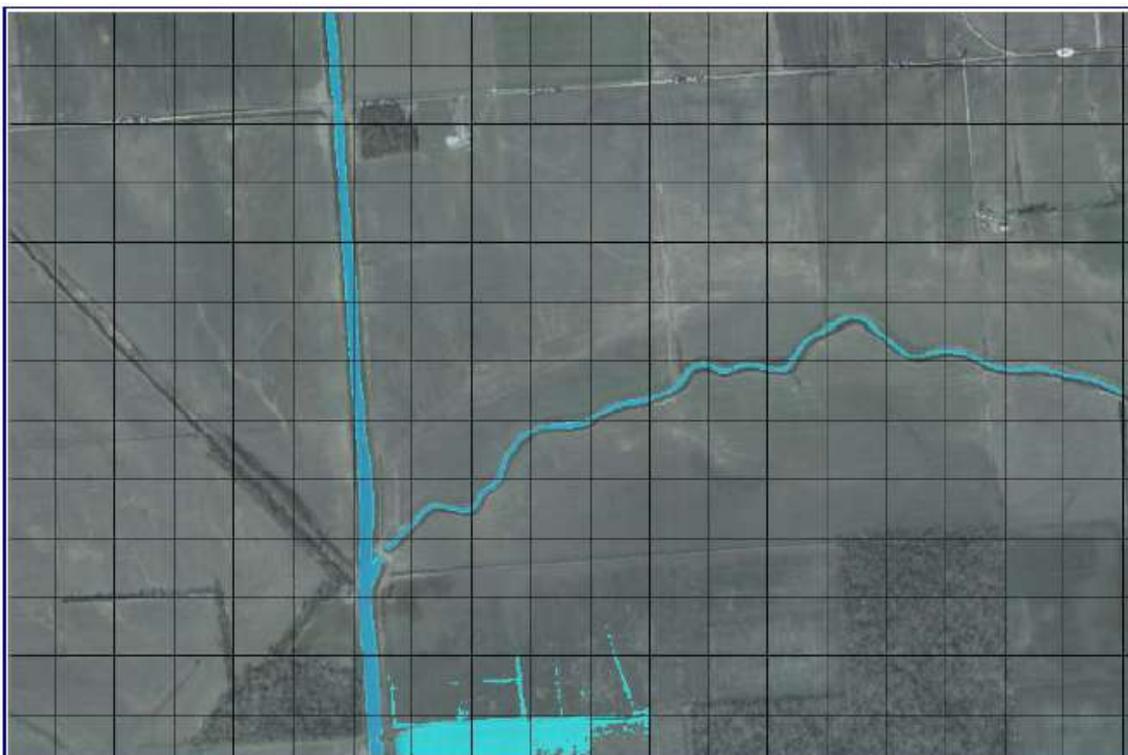


Fig. 21: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

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.22);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (figg.23 e 24);
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.

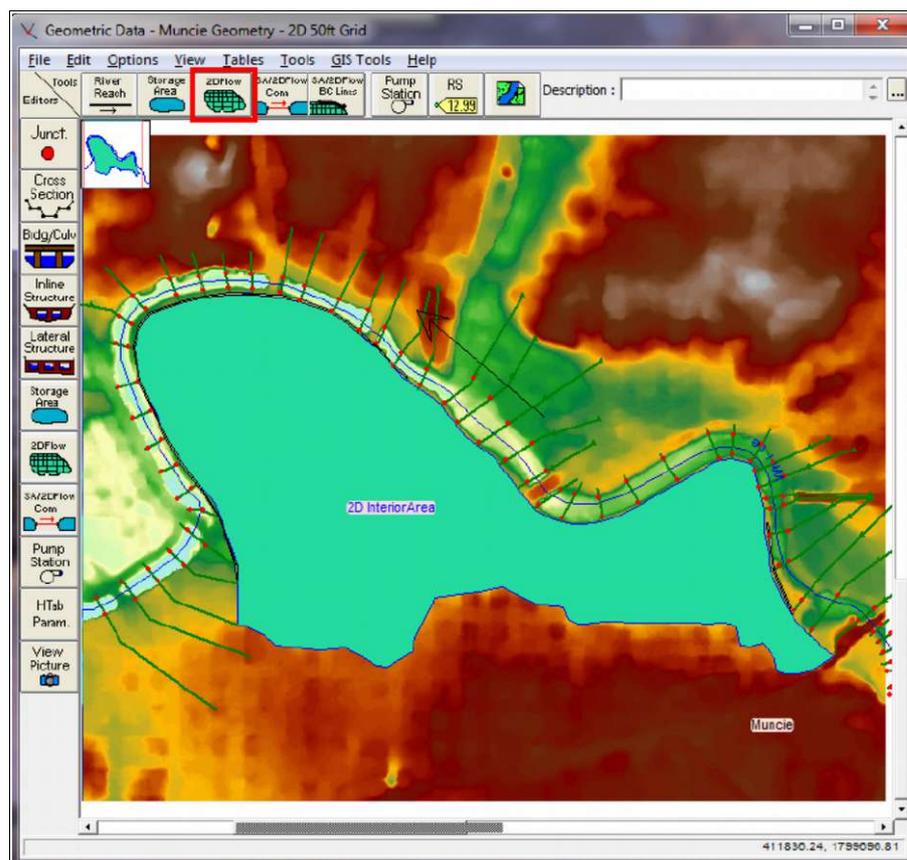


Fig. 22: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

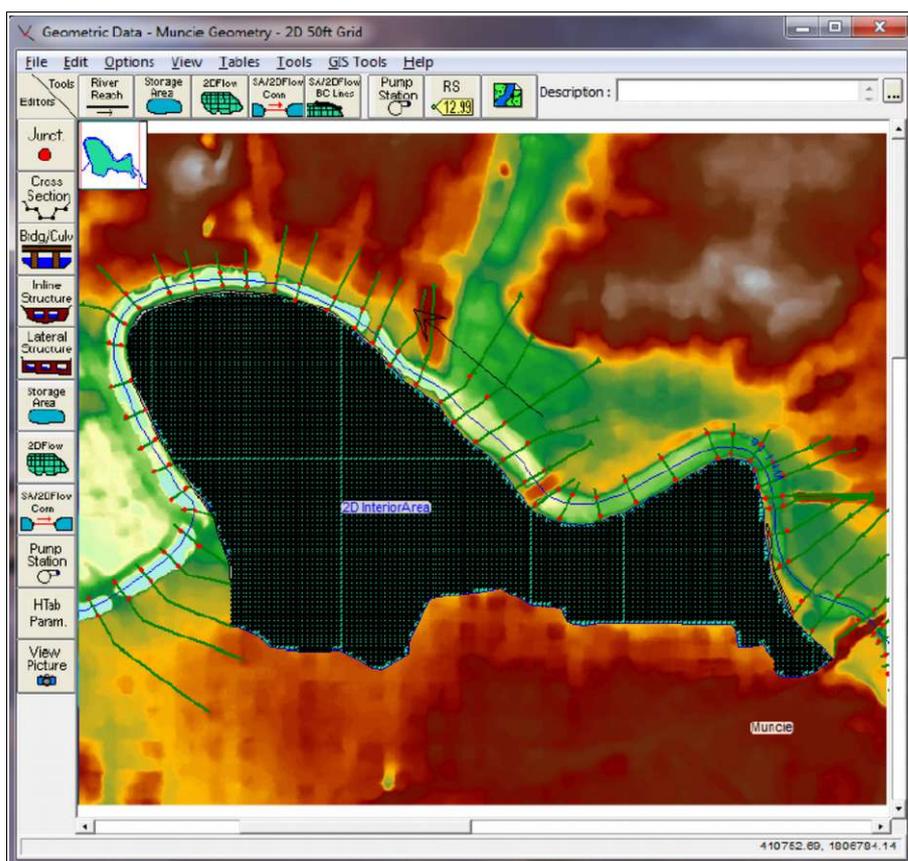


Fig. 23: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

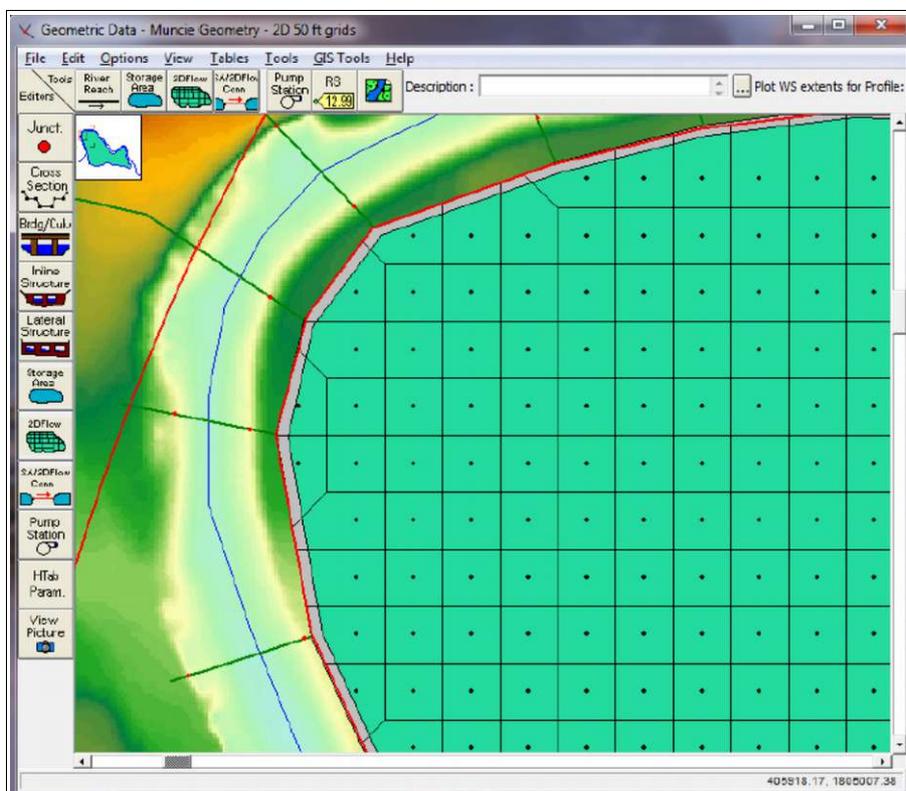


Fig. 24: Dettaglio della griglia di calcolo

3.2.– Studio idrologico

Come precedentemente accennato è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione degli ietogrammi di pioggia netta corrispondenti ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Ai fini della modellazione idrologica è stato quindi implementato un modello idrologico secondo lo schema riportato in fig 25.

Come si può notare dall'immagine, per la caratterizzazione del modello idrologico è stato considerato un solo sottobacino in quanto l'obiettivo della modellazione è in questo caso quello di determinare lo ietogramma di pioggia netta. Questa semplificazione è giustificata dall'omogeneità dei parametri del Curve Number e dei parametri della CPP sull'area di interesse poiché i sottobacini in esame hanno un'estensione limitata e rientrano tutti all'interno della sottozona omogenea n° 4.

In Tab 11 sono riportati i parametri caratteristici dei sottobacini di interesse in termini di valore del Curve Number e dei parametri "a" ed "n" della curva di possibilità pluviometrica relativa al tempo di ritorno di 200 anni.

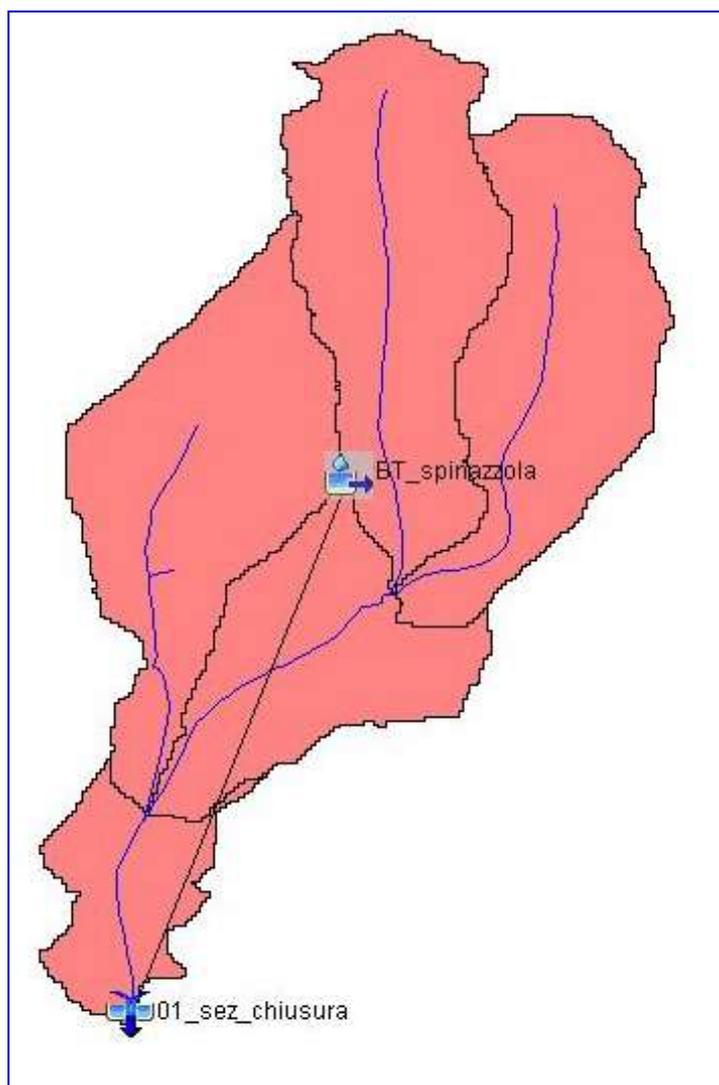


Fig. 25: Modellazione idrologica – Schematizzazione bacino idrografico nel software HEC-HMS

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

SOTTOBACINO	Area Km ²	CN	a	n
SB_01	0.32	81.20	68.40	0.26
SB_02	0.30	81.56	68.40	0.26
SB_03	0.14	81.33	68.40	0.26
SB_04	0.29	81.10	68.40	0.26
SB_05	0.37	81.20	68.40	0.26
SB_06	0.31	81.10	68.40	0.26
SB_07	0.27	80.97	68.40	0.26
SB_08	0.30	80.29	68.40	0.26
SB_09	0.25	81.15	68.40	0.26
SB_10	0.24	81.00	68.40	0.26
SB_11	0.42	80.90	68.40	0.26
SB_12	0.71	80.82	68.40	0.26
SB_13	0.38	81.04	68.40	0.26
SB_14	0.43	81.08	68.40	0.26
SB_15	1.31	79.96	68.40	0.26
SB_16	0.55	81.23	68.40	0.26
SB_17	0.50	80.22	68.40	0.26

Tabella 11: Valori del CN e dei parametri “a” ed “n” della CPP per un tempo di ritorno $T_r=200$ anni per i sottobacini di interesse.

3.2.1 – Risultati ottenuti

Si riportano in tab. 12 i principali risultati in termini di altezza di pioggia totale, pioggia persa e pioggia netta ottenuti nell'ambito della modellazione idrologica condotta come sopra descritto considerando come input nella modellazione afflussi – deflussi un valore del CN pari a 83. E' stato inoltre calcolato il coefficiente di deflusso come rapporto tra la pioggia netta e quella totale. Nelle figure 26, 27 e 28 è riportato il confronto in forma grafica tra lo ietogramma di pioggia totale (di colore blu) e gli ietogrammi di pioggia netta (in verde) e persa (in rosso) ottenuti come risultati per i tre tempi di ritorno considerati.

TEMPO DI RITORNO	PIOGGIA TOTALE (mm)	PIOGGIA PERSA (mm)	PIOGGIA NETTA (mm)	COEFF. DEFLUSSO
30	58.40	35.37	23.03	0.39
200	81.70	40.48	41.22	0.50
500	92.91	42.31	50.60	0.54

Tabella 12: : Output modellazione idrologica

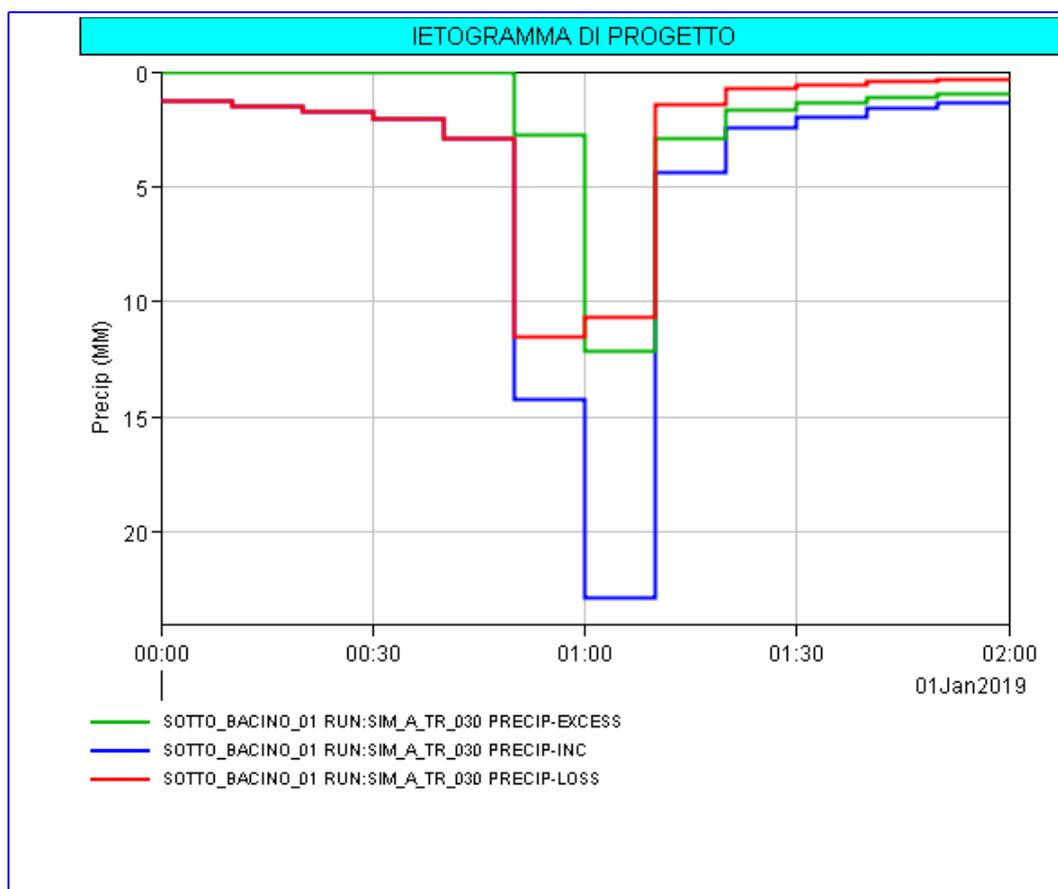


Fig. 26: Modellazione idrologica: Ietogrammi di pioggia totale, persa e netta per TR 30 anni

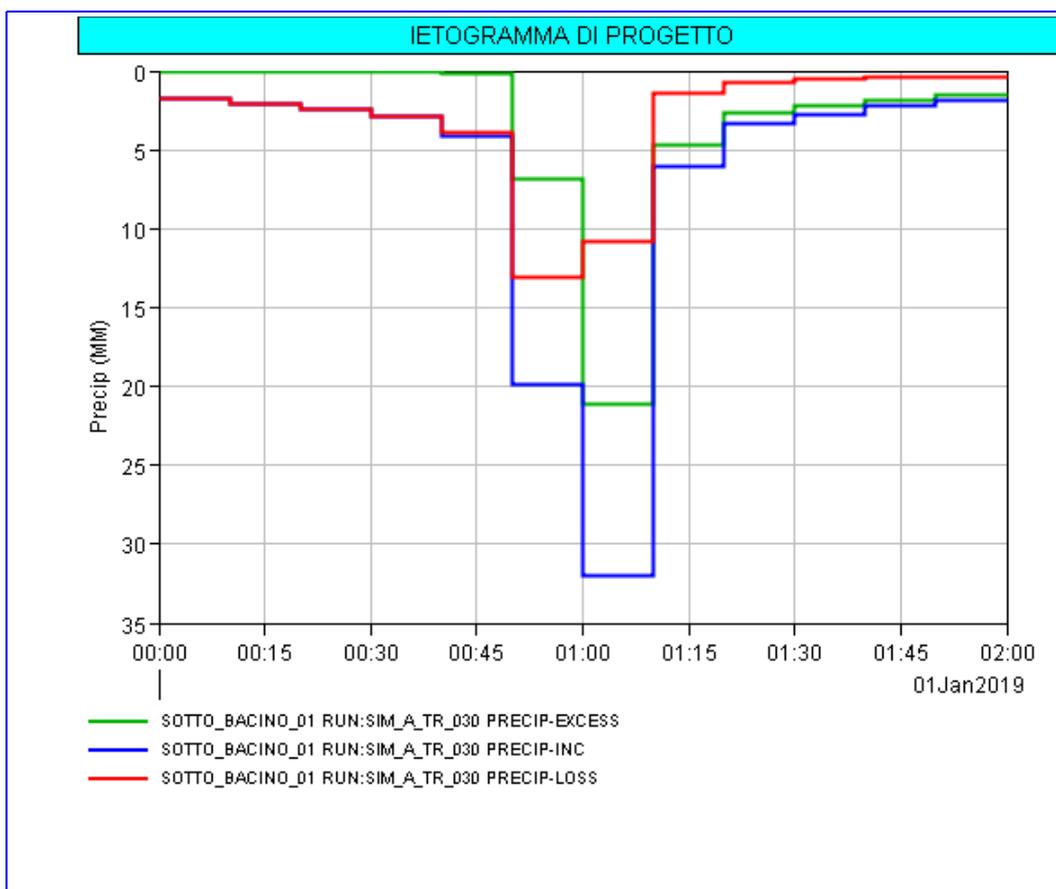


Fig. 27: Modellazione idrologica: letogrammi di pioggia totale, persa e netta per TR 200 anni

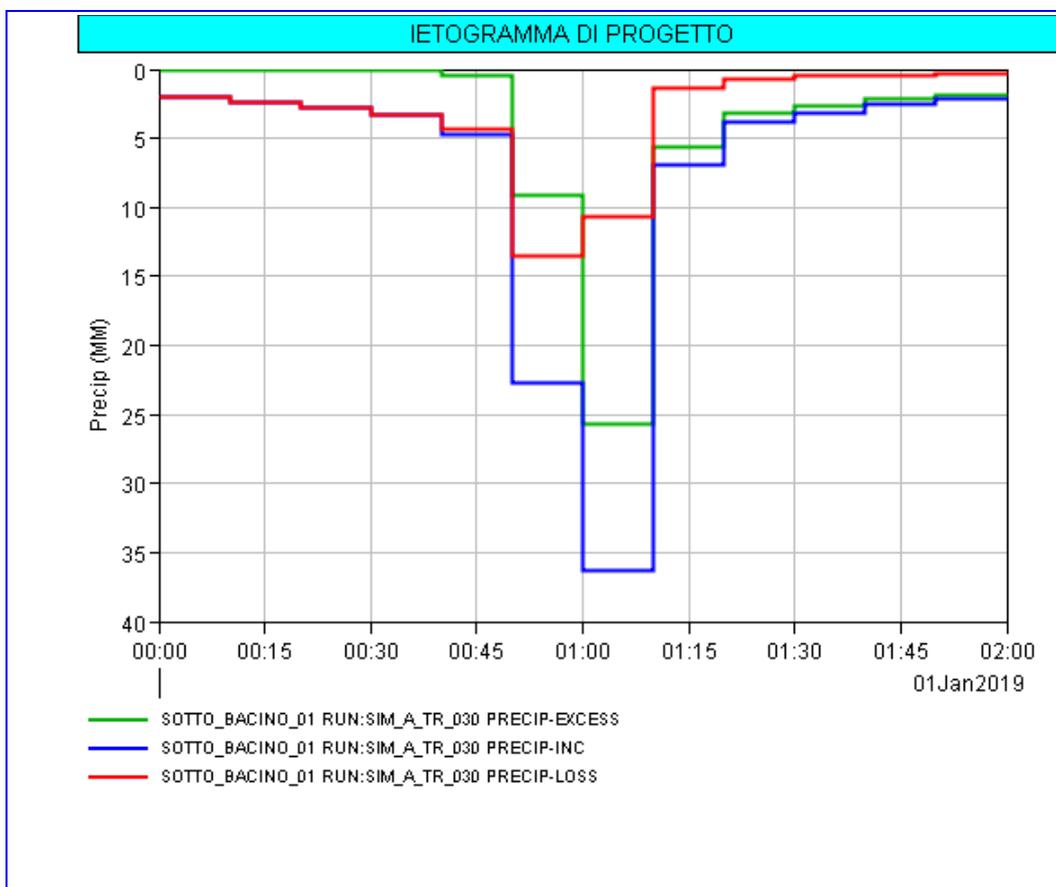


Fig. 28: Modellazione idrologica: letogrammi di pioggia totale, persa e netta per TR 500 anni

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 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 possibile 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 si è prestata particolare attenzione alla definizione del dominio di calcolo in modo che fosse sufficientemente esteso, sia a monte che a valle della zona oggetto di studio.

Come condizione al contorno in ingresso al modello è stato utilizzato lo ietogramma di pioggia netta ricavato dalla modellazione idrologica di cui al capitolo 3.2 facendo riferimento ad un valore del CN pari a 83.

A tal proposito nella tabella 13 si riportano i valori dello ietogramma di pioggia totale (Precip), persa (Loss) e netta (Excess) relativi ad un tempo di ritorno di 200 anni. Il valore di pioggia netta è stato utilizzato come input nella modellazione idraulica implementata con il software HEC-RAS.

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 pari a 0.1%.

Data	Ora	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)
01gen2019	00:00	0.00	0.00	0.00
01gen2019	00:10	1.80	1.80	0.00
01gen2019	00:20	2.07	2.07	0.00
01gen2019	00:30	2.47	2.47	0.00
01gen2019	00:40	2.91	2.91	0.00
01gen2019	00:50	4.12	3.96	0.16
01gen2019	01:00	19.92	13.09	6.84
01gen2019	01:10	31.99	10.81	21.18
01gen2019	01:20	6.09	1.36	4.72
01gen2019	01:30	3.39	0.70	2.70
01gen2019	01:40	2.75	0.54	2.22
01gen2019	01:50	2.25	0.42	1.83
01gen2019	02:00	1.93	0.35	1.58

Tabella 13: : Input modellazione idraulica

In figura 29 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 dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico.

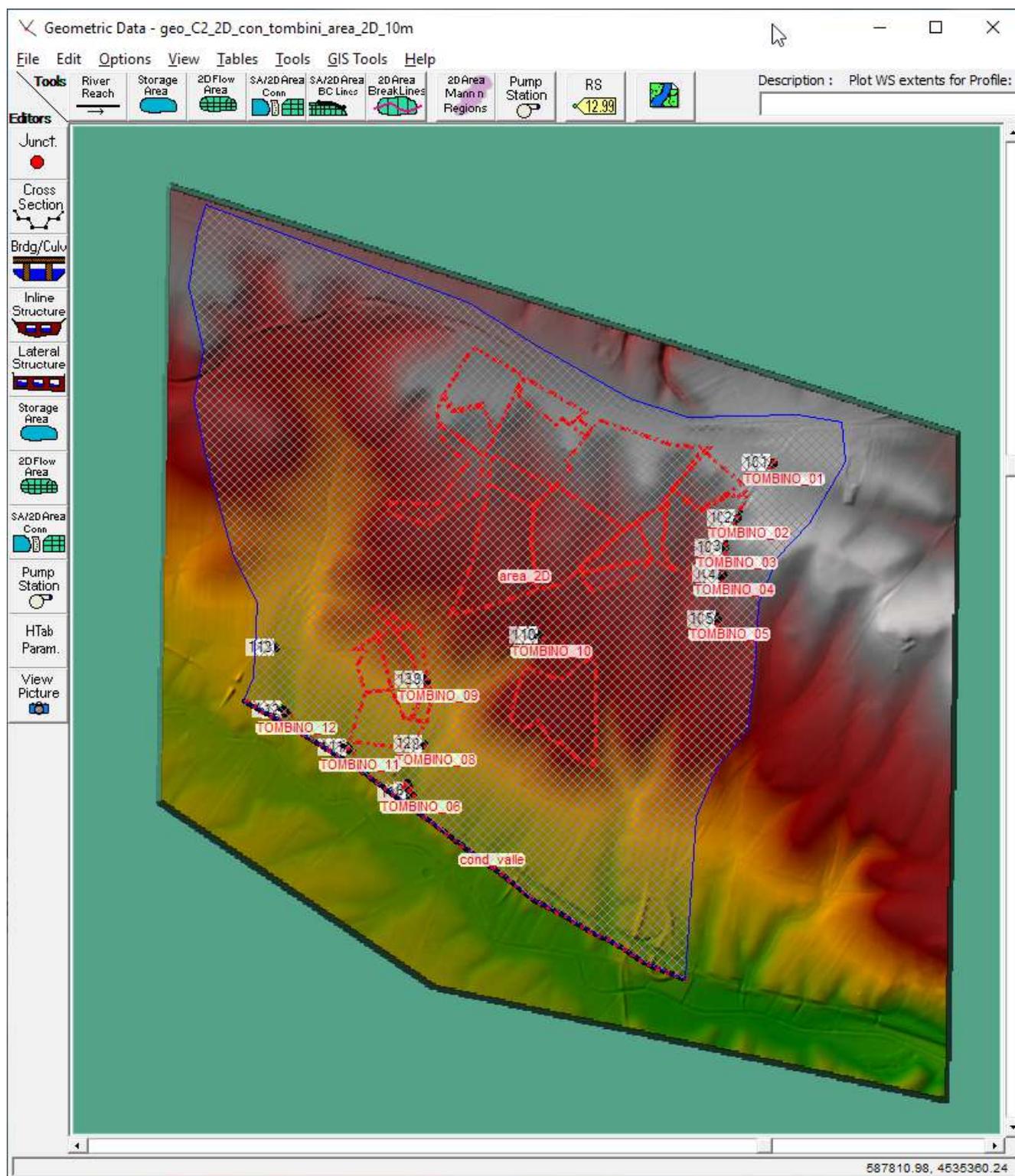


Fig. 29: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

Nelle Figg. 30 e 31 sono riportate alcune schermate estratte dal software HEC-RAS che mostrano la modalità di inserimento dei manufatti idraulici rilevati nella campagna di rilievo topografico.

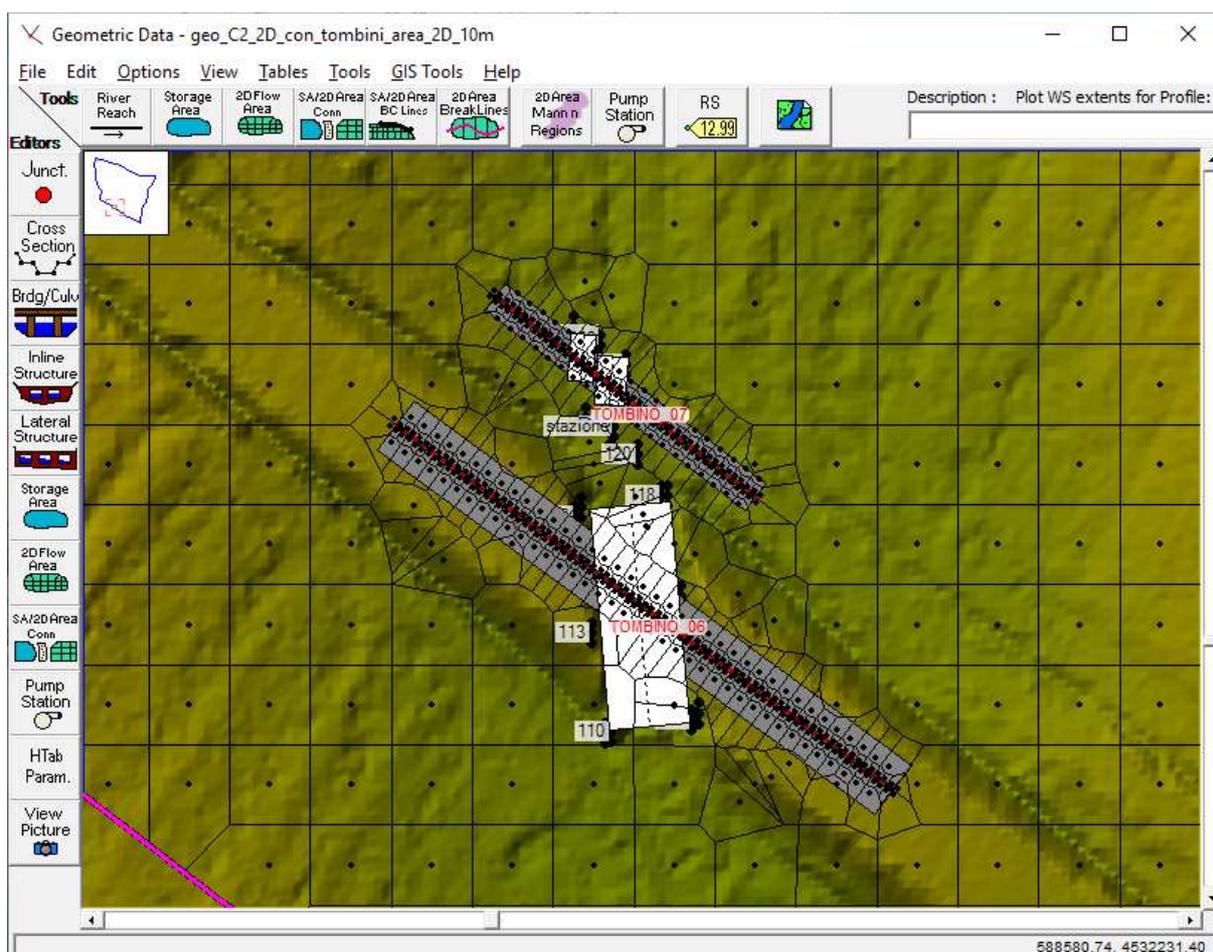


Fig. 30: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

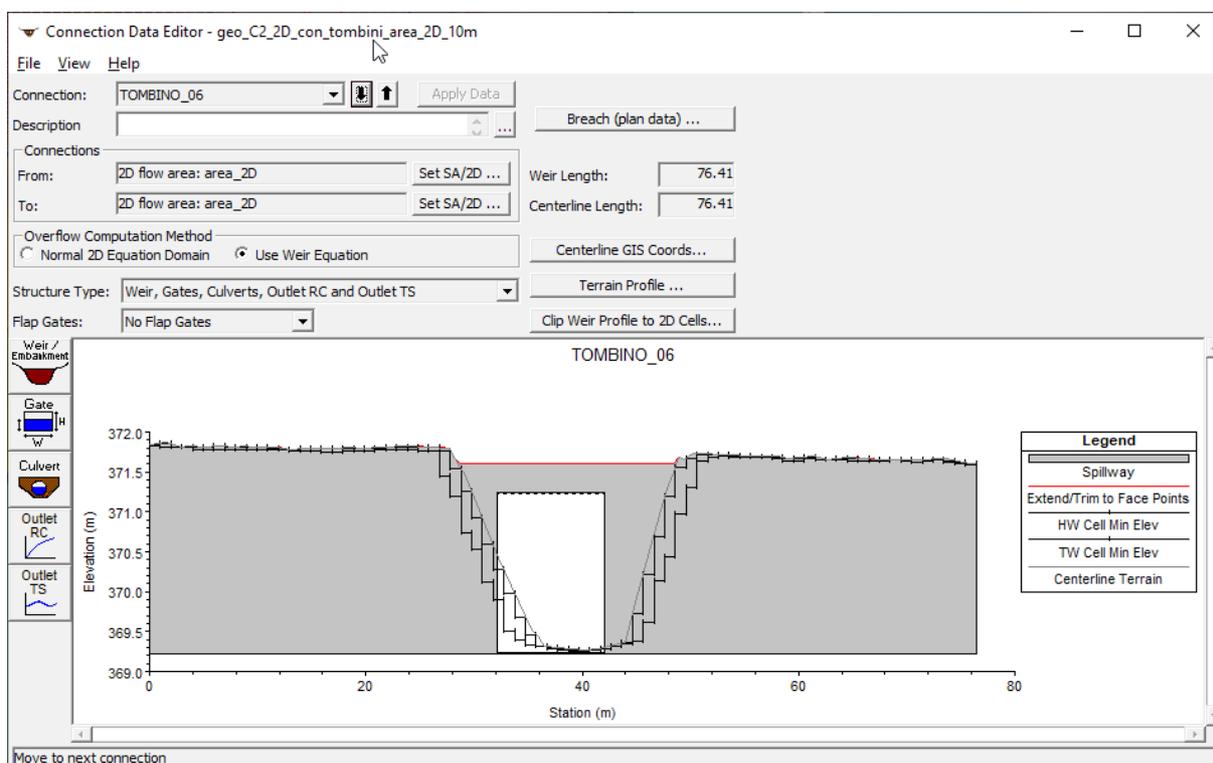


Fig. 31: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale

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

I risultati ottenuti nello stato attuale mostrano sostanzialmente che lo scenario considerato è caratterizzato da 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.

In Fig. 32 è riportata la mappa degli allagamenti sull'area di interesse relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni. Per meglio comprendere l'andamento dei battenti sulle aree di intervento sono stati inseriti dei punti di controllo per ognuno dei quali sono stati riportati in Tab. 14 i valori dei battenti massimi (m) e delle velocità massime (m/s).

Nelle figure 33 e 34 sono riportati i dettagli planimetrici della mappa dei battenti relativa alla simulazione con tempo di ritorno di 200 anni per le diverse aree d'intervento. Dai risultati ottenuti è possibile notare come i principali allagamenti si verificano solo nell'intorno dei reticoli idraulici minori i quali risultano insufficienti a smaltire i deflussi di piena. Con riferimento alla fig. 33, dove si riscontrano le aree maggiormente allagate (confine tra i lotti B ed F), si verificano battenti dell'ordine massimo di 50 – 75 cm nell'intorno del reticolo idraulico per una fascia massima di allagamento pari tra circa 20 - 30 m. All'interno dei lotti G e H (punti di controllo 8, 9, 10 e 11) si instaurano battenti massimi tra i 30 e i 50 cm per una fascia intorno al reticolo idrografico pari a circa 20 – 30 m. Con riferimento alla fig. 34 risulta che il lotto E presenta valori massimi del battente compresi tra 40 e 65 cm per una fascia intorno al reticolo idrografico pari a circa 20 – 30 m.

Nelle altre aree, con riferimento alle figure suddette, l'allagamento non supera valori di battente di 30 cm con fasce di allagamento che non superano i 10 – 20 m. In alcuni punti del perimetro del dominio di calcolo si verificano valori maggiori dei battenti in quanto, come specificato in precedenza, non è stata inserita la possibilità di avere fuoriuscite dal modello a vantaggio della sicurezza.

ID	BATTENTE MAX (m)	VELOCITA' MAX (m/s)
1	0.31	0.81
2	0.54	1.04
3	0.74	1.16
4	0.64	1.11
5	0.50	0.86
6	0.26	1.31
7	0.33	0.94
8	0.35	0.75
9	0.31	1.11
10	0.49	1.19
11	0.47	0.98
12	0.20	0.86
13	0.28	0.96
14	0.44	1.00
15	0.62	0.71

Tabella 14: Valori dei battenti massimi (m) e delle velocità massime (m/s) per i 15 punti di controllo.

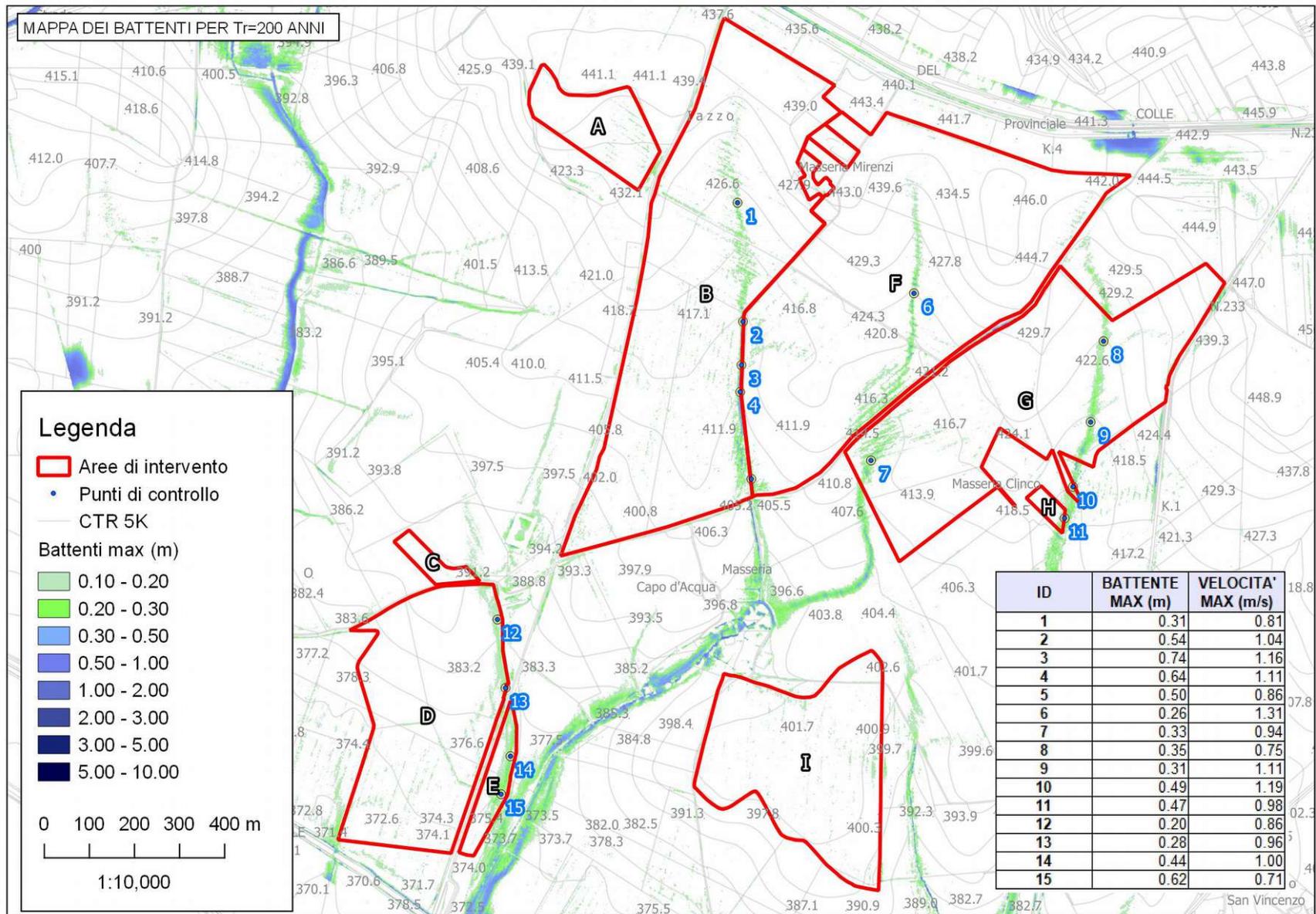


Fig. 32: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

Comune di Spinazzola – Studio compatibilità idraulica

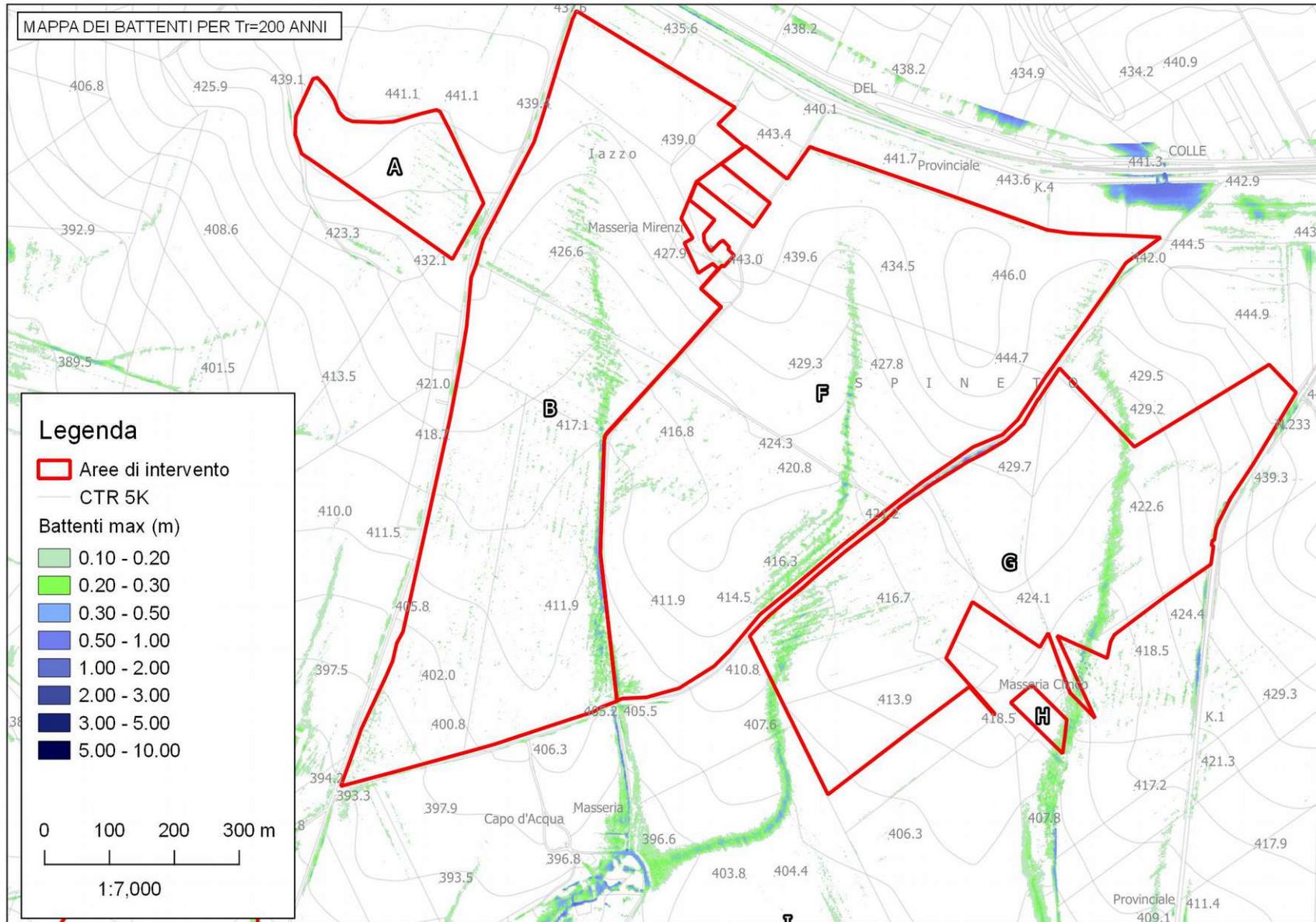


Fig. 33: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

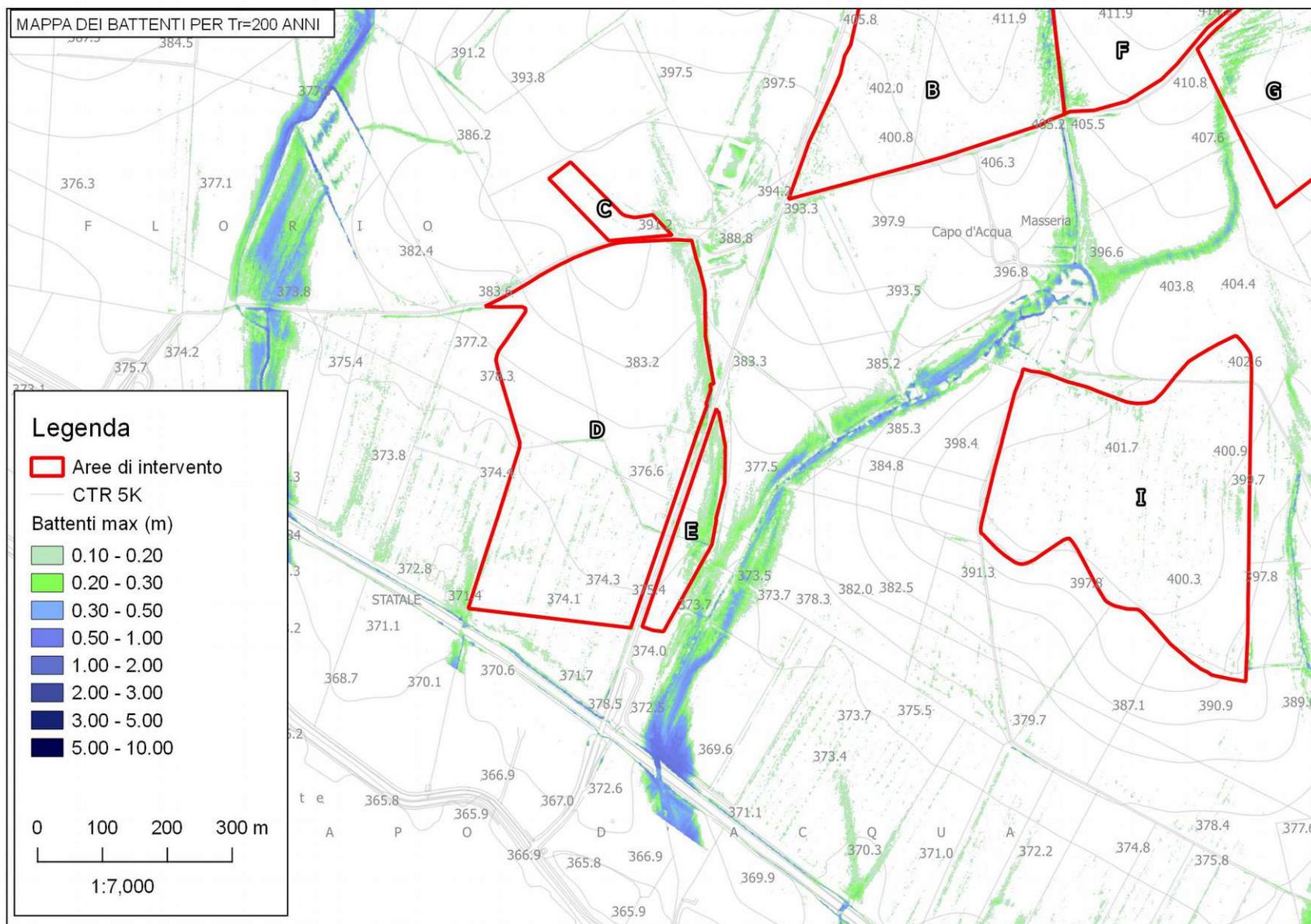


Fig. 34: Modellazione idraulica: Implementazione del dominio dell'area 2D e posizionamento dei manufatti idraulici rilevati nell'ambito del rilievo topografico

3.4 – Descrizione interventi in progetto

I terreni sui quali verranno realizzati gli impianti fotovoltaici in progetto sono ubicati nel Comune di Spinazzola (BAT) in una zona posta a monte del Torrente Basentello nel quale confluiscono diversi reticoli idrografici minori. I terreni in esame hanno una destinazione d'uso prevalentemente caratterizzata da aree seminative semplici non irrigue.

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

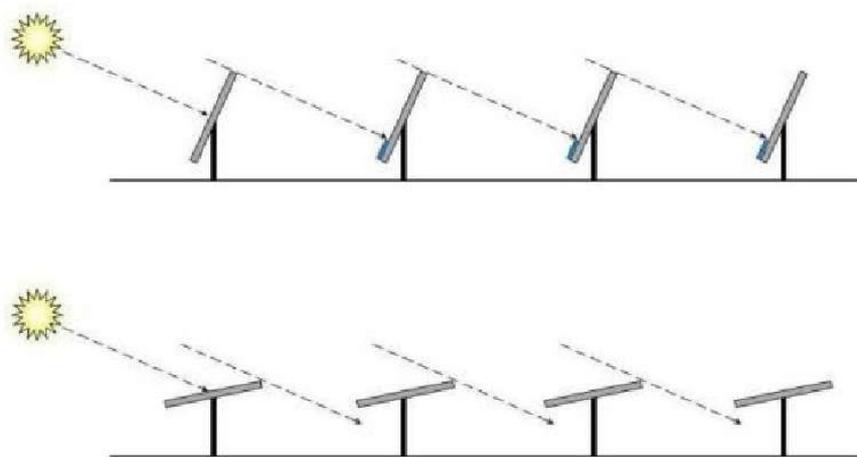


Fig. 35: Schema installazione batterie di pannelli fotovoltaici.

3.5 – Valutazione effetto intervento in progetto

Considerato che una porzione di alcune aree d'intervento ricade in prossimità del reticolo idrografico e che le Norme di Attuazione del PAI Puglia con riferimento agli alvei fluviali in modellamento attivo e alle aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità.”, al comma 7 richiedono 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.” Per verificare la compatibilità idraulica degli impianti fotovoltaici in progetto con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona è necessario accertare che:

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

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

- le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 50 cm al di sopra del battente 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 battente massimo corrispondente alla piena duecentennale;
- nelle aree con allagamenti minori in cui si registrano battenti massimi dell'ordine di 30 cm, per la realizzazione degli impianti dovrà essere lasciata una fascia di 10 – 20 m dall'asse del reticolo idrografico allo scopo di consentire il libero deflusso delle acque di ruscellamento;
- nelle aree maggiormente allagate, quelle in cui si verificano battenti massimi dell'ordine di 50 – 75 cm, nell'intorno del reticolo idrografico per una fascia di circa 20 - 30 m non sarà consentita l'installazione di alcuna apparecchiatura elettronica nè tanto meno di strutture a corredo dell'impianto;
- sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione dovranno essere installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- la realizzazione di recinzioni dovrà avvenire comunque utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 20 cm al di sopra del piano campagna.

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

- la tipologia delle batterie di pannelli fotovoltaici di progetto, che prevede una certa distanza tra le varie batterie, permette di affermare che l'installazione dei pannelli non costituisca consumo

di suolo in quanto non viene sottratta allo stesso superficie permeabile, in questo caso infatti l'acqua piovana intercettata dai pannelli non tende a concentrarsi sui pannelli stessi, come farebbe invece sulla falda di un tetto di un edificio di grandi o medie dimensioni, ma ricade subito sul suolo posto al di sotto dei pannelli stessi, le caratteristiche del suolo al di sotto dei pannelli non vengono in alcun modo alterate per cui permane la permeabilità originaria della zona;

- le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle eventuali cabine di trasformazione e le recinzioni, realizzate secondo le prescrizioni sopra riportate, non interferiscono in maniera rilevabile con il libero deflusso delle acque per cui i profili di corrente risultano invariati;

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

4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud-ovest del centro abitato di Spinazzola (BAT) dove il committente, MY SUN del gruppo METKA EGN , ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico su più lotti di terreno. I lotti su cui si vuole realizzare l'impianto insistono su una porzione di territorio situata a valle della Strada Provinciale 25 in una zona posta a nord del Torrente Basentello nel quale confluiscono diversi reticoli idrografici che attraversano la zona di interesse, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), e sulla Carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (vedi fig. 5).

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area a pericolosità idraulica come evidenziato nella planimetria riportata in Fig.1; Considerata la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella Carta Idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall' *art. 6 “Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”* 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, 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.

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

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

Con riferimento al punto I, alla luce dei risultati ottenuti nell'ambito delle verifiche idrauliche, si rende necessario rispettare alcune prescrizioni in ordine al posizionamento planimetrico ed altimetrico 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 50cm al di sopra del massimo battente corrispondente alla piena duecentennale;

- i manufatti devono essere realizzati su strutture poggiate su pali che non devono interferire con il libero deflusso delle acque con adeguato franco di sicurezza per cui la quota d'intradosso deve essere posta almeno 0.50 m sopra il massimo battente corrispondente alla piena duecentennale;
- nelle aree maggiormente allagate, quelle in cui si verificano battenti massimi dell'ordine di 50 – 75 cm nell'intorno del reticolo idrografico per una fascia di circa 20 - 30 m, non sarà consentita l'installazione di alcuna apparecchiatura elettronica né tanto meno di strutture a corredo dell'impianto;
- nelle aree con allagamenti minori in cui si registrano battenti massimi dell'ordine di 30 cm, per la realizzazione degli impianti dovrà essere lasciata una fascia di 10 – 20 m dall'asse del reticolo idrografico allo scopo di consentire il libero deflusso delle acque di ruscellamento.

Con riferimento al punto II considerato che:

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

si può affermare che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto non altera le condizioni di rischio idraulico già presenti nella 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.

Luglio 2019

Ing. Dario Tricoli



ALLEGATI

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

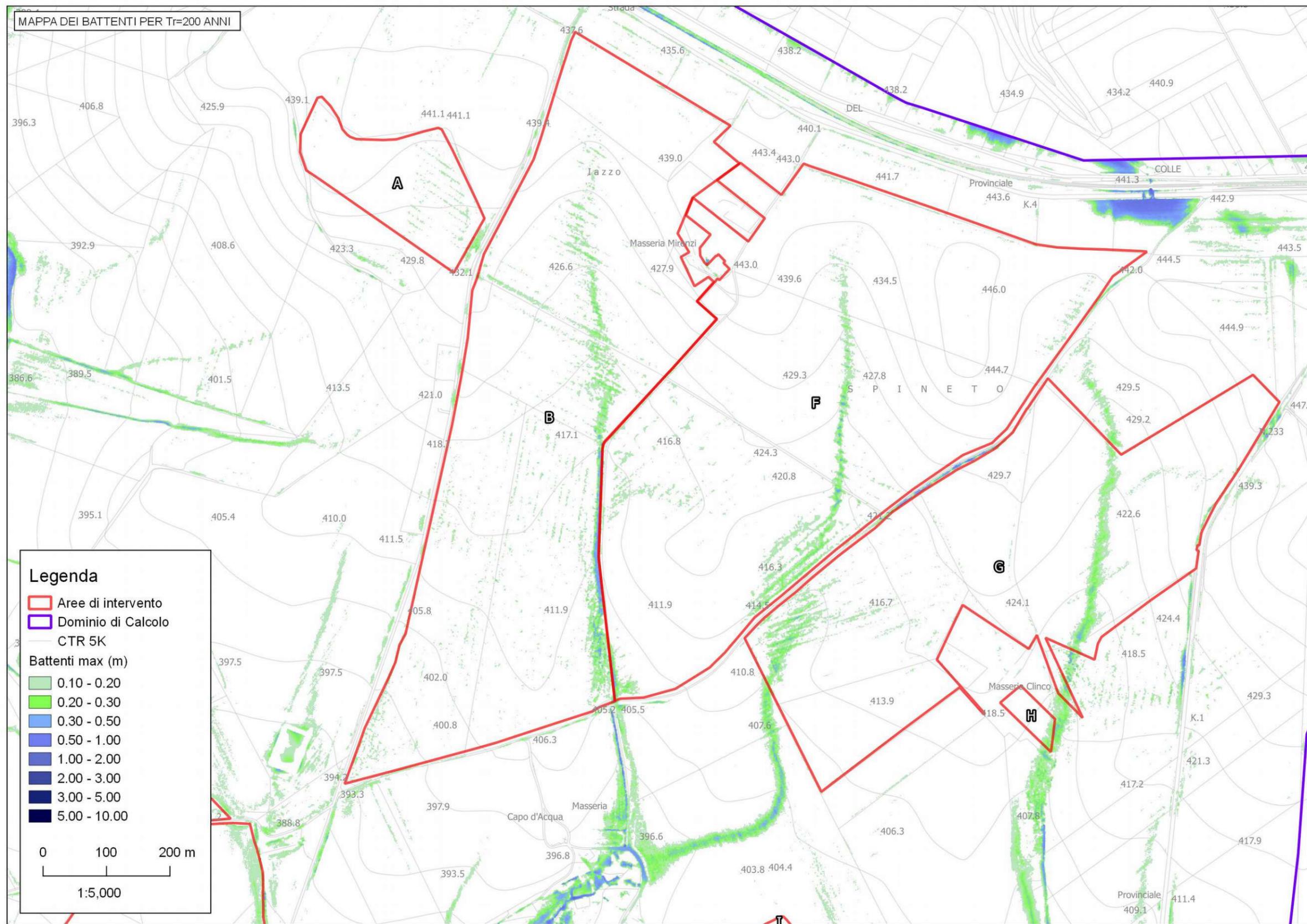


Fig. A1: Mappa Battenti massimi per TR = 200 anni – area nord

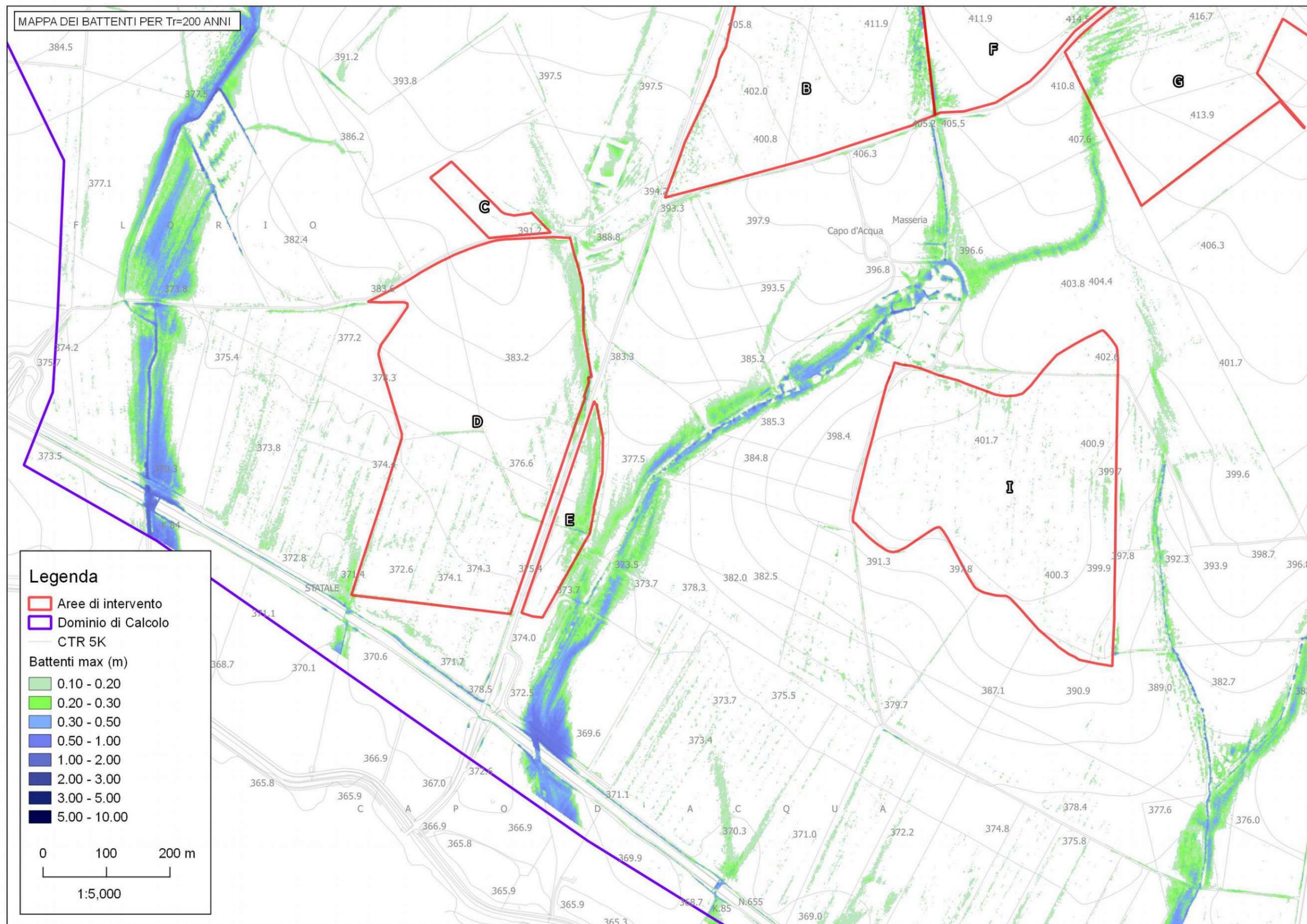


Fig. A2: Mappa Battenti massimi per TR = 200 anni – area sud

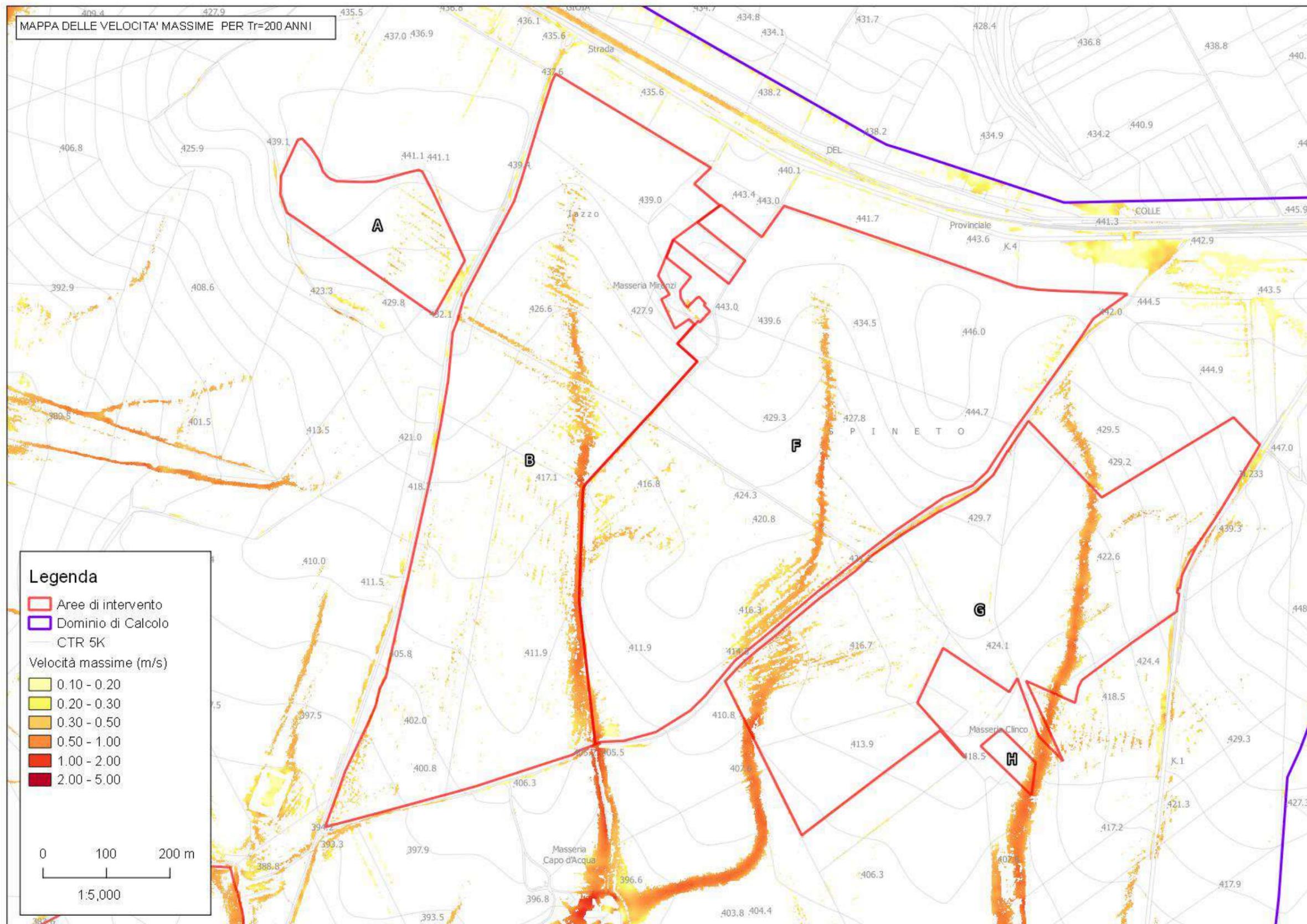


Fig. A3: Mappa Velocità massime per TR = 200 anni – area nord

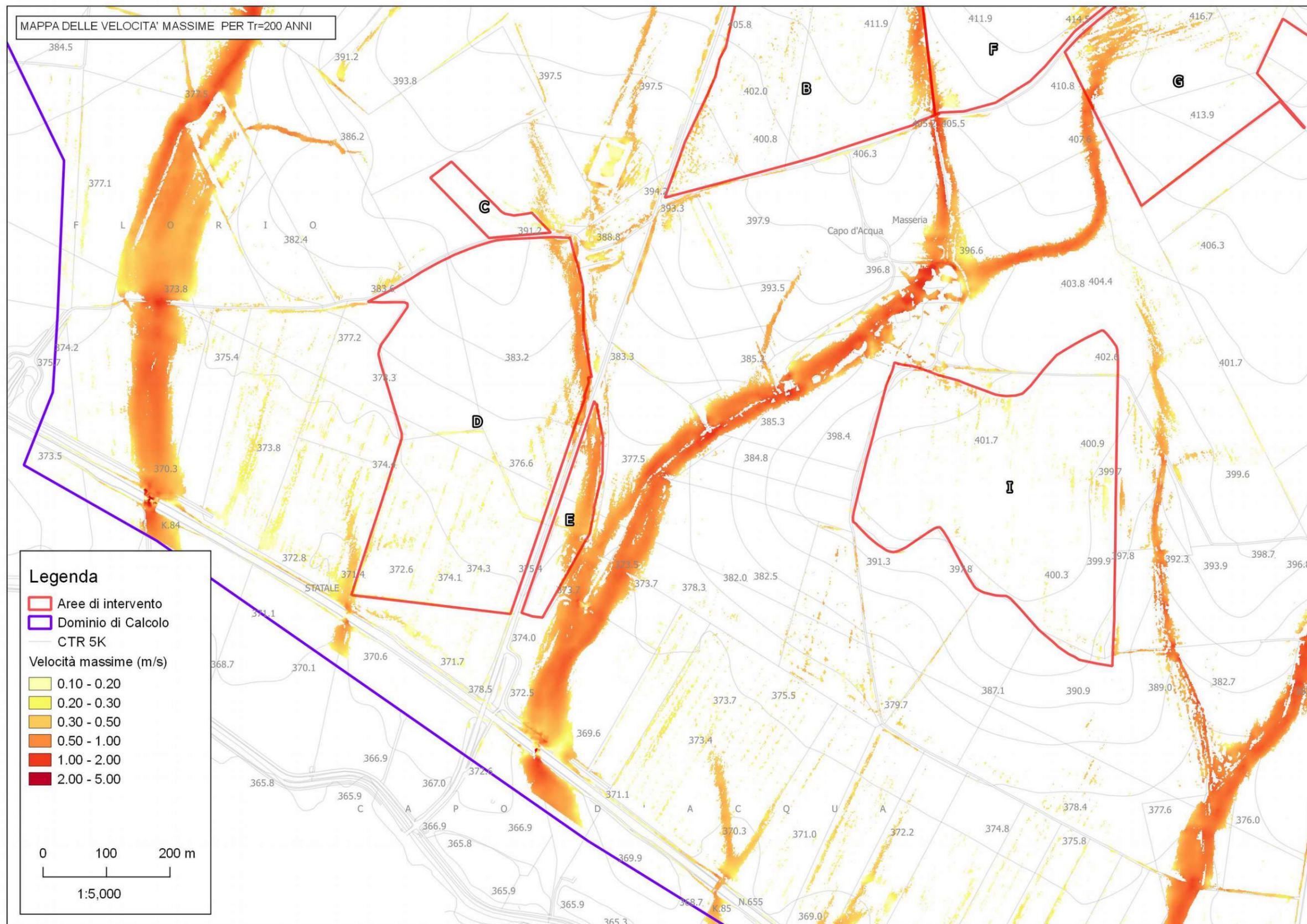


Fig. A4: Mappa Velocità massime per TR = 200 anni – area sud