



REGIONE SICILIA



PROVINCIA DI TRAPANI






COMUNE DI MAZARA DEL VALLO



COMUNE DI SANTA NINFA



COMUNE DI CASTELVETRO

Proponente	<b>Solar Tier S.r.l.</b>				
Progettista:					Partnered by: 
Progettazione	<p><b>Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco</b> Via A. Ognibene n. 107 92013 - Menfi (AG) seawindpower@pec.it</p>	<p>Studio Botanico Faunistico e Agronomico</p>	<p><b>Dott. For. Giuseppe D'Angelo</b> Corso Umberto I n. 140 90010 - Gratteri (PA) g.dangelo@conafpec.it</p>		
SIA PMA	<p><b>Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco</b> Via A. Ognibene n. 107 92013 - Menfi (AG) seawindpower@pec.it</p>	<p>V.I. ARCH.</p>	<p><b>Dott. Sebastiano Muratore</b> Via G. P. Giraldi n. 16 90123 - Palermo (PA) mutatore@pec.paropos.com</p>		
Studio Idraulico	<p><b>Ing. Dario Tricoli</b> Via Carlo Pisacane n. 25/F 88100 - Catanzaro (CZ) ruwa@pec.ruwa.it</p>	<p>Studio Geologico Geofisico ed Idrogeologico</p>	<p><b>Dott. Leonardo Mauceri</b> Via Olanda n. 15 92010 - Montevago (AG) geologomauceri@epap.sicurezzapostale.it</p>		
Opera	<p>Progetto di realizzazione di un impianto agrovoltaico e opere connesse nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Santa Ninfa (TP) e Castelvetro (TP), denominato <b>Aurora</b></p>				
Oggetto	<p>Codice elaborato interno - Titolo elaborato: ARRSS0R06-00 – RELAZIONE IDRAULICA</p>				
00	20/05/2022	Emissione per progetto definitivo	Ing. D. Tricoli	Ing. P. Ferro	Solar Tier S.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

**COMUNE DI MAZARA DEL VALLO**  
**Provincia di Trapani**

***Proponente: SOLAR TIER S.r.l.***

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL COMUNE DI  
MAZARA DEL VALLO (TP)**

**Studio di compatibilità idraulica**

**Maggio 2022**

**Ing. Dario Tricoli**



## Indice generale

1 – Premessa.....	3
2 – Ricostruzione quadro conoscitivo.....	5
2.1 - Inquadramento area di studio.....	5
2.2 – Inquadramento Piano di Bacino e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	10
2.3 – Modello digitale del terreno (DTM).....	12
2.4 - Uso del suolo.....	17
2.5 – Litologia.....	20
2.6 – Curve Number.....	22
2.7 - Definizione caratteristiche pluviometriche.....	25
3 – Analisi del rischio idraulico.....	29
3.1.– Modellistica utilizzata.....	30
3.1.1 – Modellazione Idrologica.....	30
3.1.2 - Modellazione idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D).....	33
3.2.– Studio idrologico.....	40
3.2.1– Caratteristiche bacini idrografici.....	41
3.2.2– Risultati ottenuti.....	44
3.3 – Verifiche idrauliche dello stato attuale.....	54
3.3.1 – Verifica idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D).....	54
3.4 – Descrizione interventi in progetto.....	66
3.5 – Verifiche idrauliche dello stato di progetto.....	68
3.6 – Valutazione effetto intervento in progetto.....	80
3.7 – Invarianza idraulica .....	82
3.7.1 – Descrizione del fenomeno.....	82
3.7.2 – Implementazione modello stato attuale.....	85
3.7.3 – Implementazione modello stato progetto.....	89
4 – Conclusioni e raccomandazioni.....	94

## 1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a nord-est rispetto al centro abitato di Mazara del Vallo (TP) e a nord-ovest rispetto il centro abitato di Castelvetro e di Campobello di Mazara (TP) (vedi Fig.1) dove il proponente, SOLAR TIER S.r.l., ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto agrofotovoltaico, denominato “Aurora”, su un'area che insiste su una porzione di territorio situata a Nord del Fiume Delia nei pressi della Contrada Dagala. La realizzazione dell'impianto fotovoltaico è prevista su più lotti di terreno a volte non adiacenti e distanti. L'area è inoltre adiacente a dei corsi d'acqua e nella fattispecie il Torrente Giardinazzo e il Torrente Madonna Giovanna, entrambi affluenti di destra del Fiume Delia che scorre più a sud dell'area di intervento, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), su Carta Tecnica Regionale (Fig. 3), su ortofoto satellitare (Fig.4) e sulla Carta Idrogeomorfologica (vedi fig. 5). Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali della Sicilia, la zona oggetto d'intervento non risulta perimetrata come area a pericolo d'inondazione (vedi planimetria riportata in Fig. 6).

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico, 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 Regione Sicilia.

Per le motivazioni sopra riportate, nell'ambito dell'incarico ricevuto, è stato dapprima ricostruito il quadro conoscitivo che ha riguardato tutte le problematiche afferenti al rischio idrogeologico, in questo contesto è stata eseguita anche un'analisi sulle caratteristiche meteorologiche della zona in cui ricade l'intervento al fine di ricostruire lo ietogramma di pioggia di progetto con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni.

In una seconda fase è stata condotta l'analisi del rischio idraulico composta da uno studio idrologico basato su una modellazione afflussi–deflussi volta a determinare l'idrogramma di piena per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni, da inserire come input nel modello idraulico, quindi in una terza fase, sono state condotte le verifiche idrauliche sulla base di modello idraulico bidimensionale di maggior dettaglio in grado di simulare al meglio la propagazione dei deflussi sul territorio ed individuare quindi le aree allagabili. I modelli idraulici sono stati implementati sulla base di modello digitale del terreno con cella di 2 m disponibile per la zona, rilevato con tecnica lidar e reso disponibile dal portale open-data della Regione Sicilia

Di seguito sono dapprima descritte le varie fasi del lavoro di ricostruzione ed aggiornamento del quadro conoscitivo e quindi le attività condotte al fine dell'individuazione delle aree allagabili con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni.

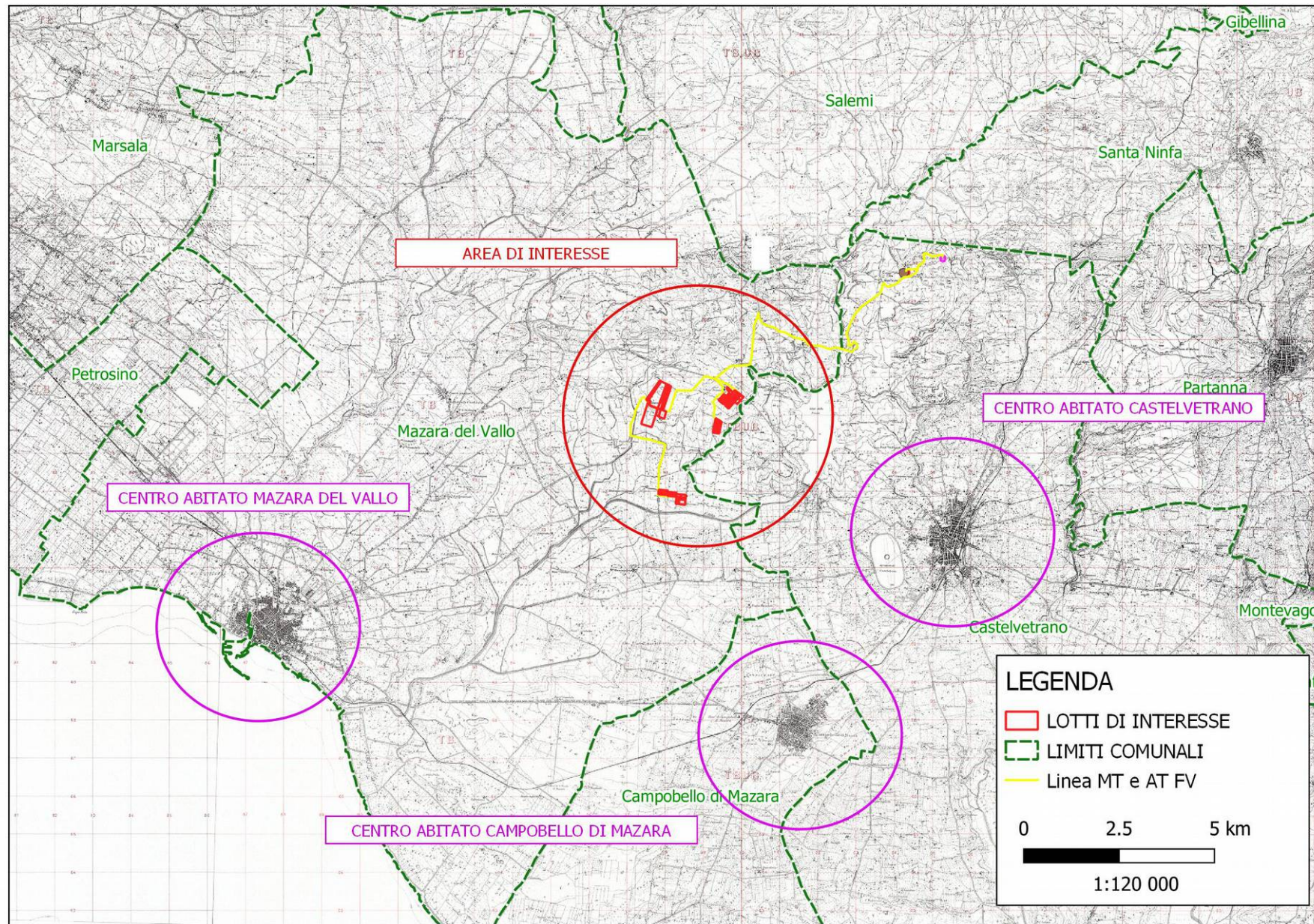


Fig. 1: Inquadramento area oggetto di studio su IGM

## **2 – Ricostruzione quadro conoscitivo**

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

Nella Fig. 2 è riportato, su base cartografica IGM, l'inquadramento di dettaglio dell'area oggetto di intervento (in rosso) situata all'interno del territorio comunale di Mazara; nelle figure 3, 4 e 5 è invece riportato l'inquadramento della zona di interesse rispettivamente su Cartografia Tecnica Regionale, su Ortofoto Satellitare e sulla Carta Idrogeomorfologica.

L'area oggetto di intervento ricade tra il Torrente Giardinazzo, che drena al di fuori dell'area di interesse, e il Torrente Madonna Giovanna in cui confluiscono i corsi d'acqua secondari e gli impluvi che lambiscono le zone che saranno oggetto di intervento.

Il dominio di calcolo da utilizzare nell'ambito della modellazione idraulica sarà opportunamente esteso a monte e a valle dell'area di intervento 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.

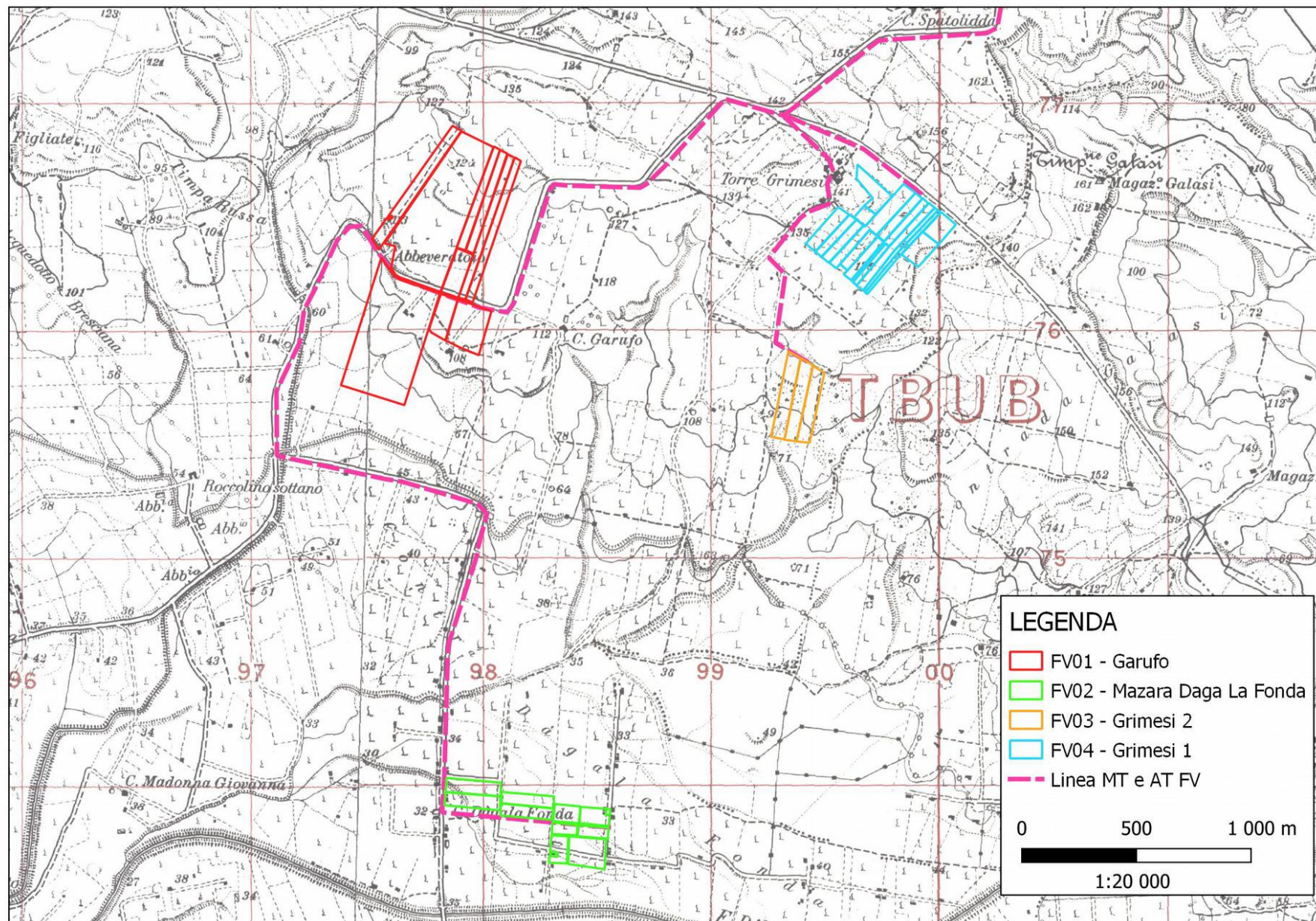


Fig. 2: Inquadramento area studio su cartografia IGM

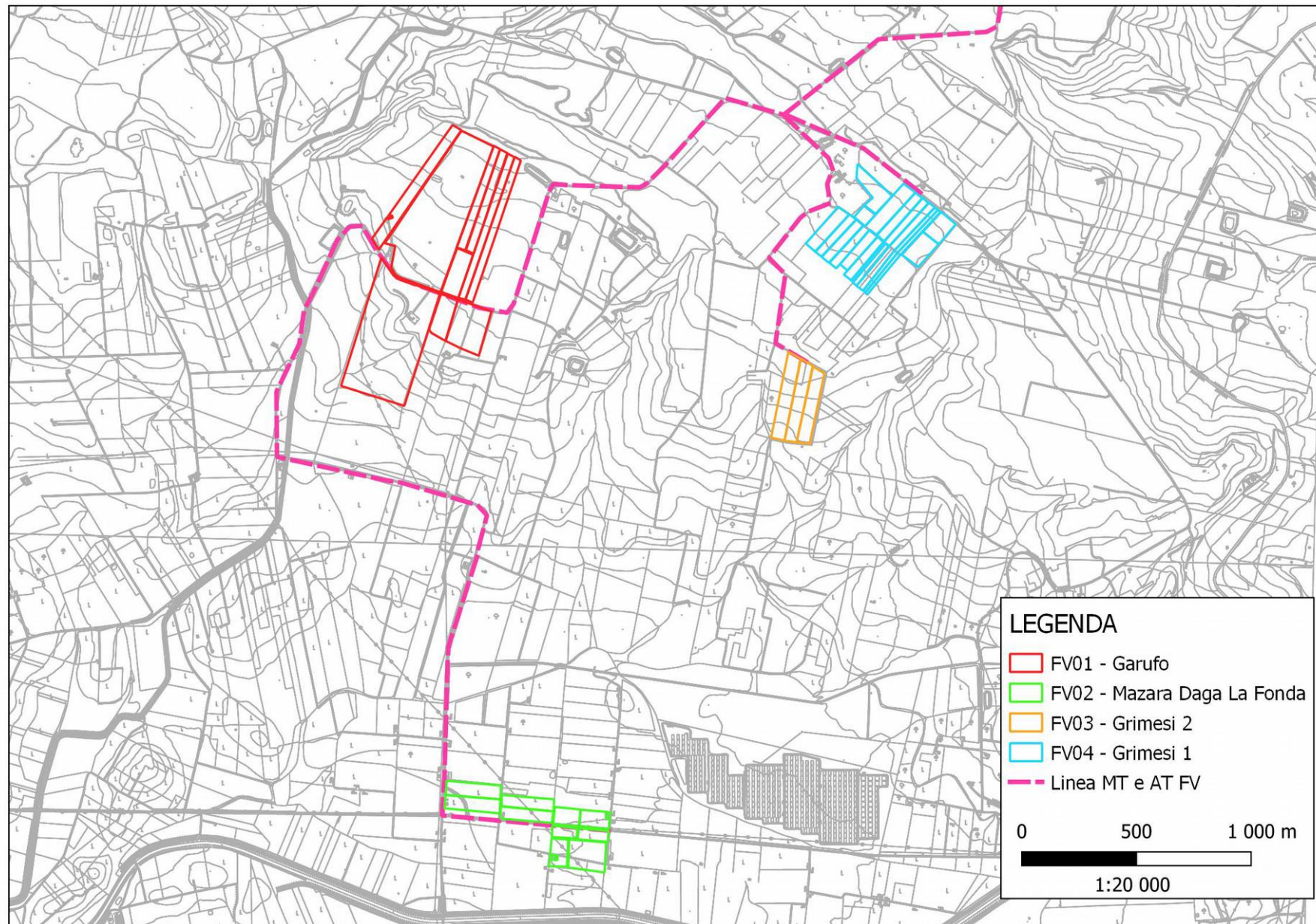


Fig. 3: Inquadramento area studio su CTR



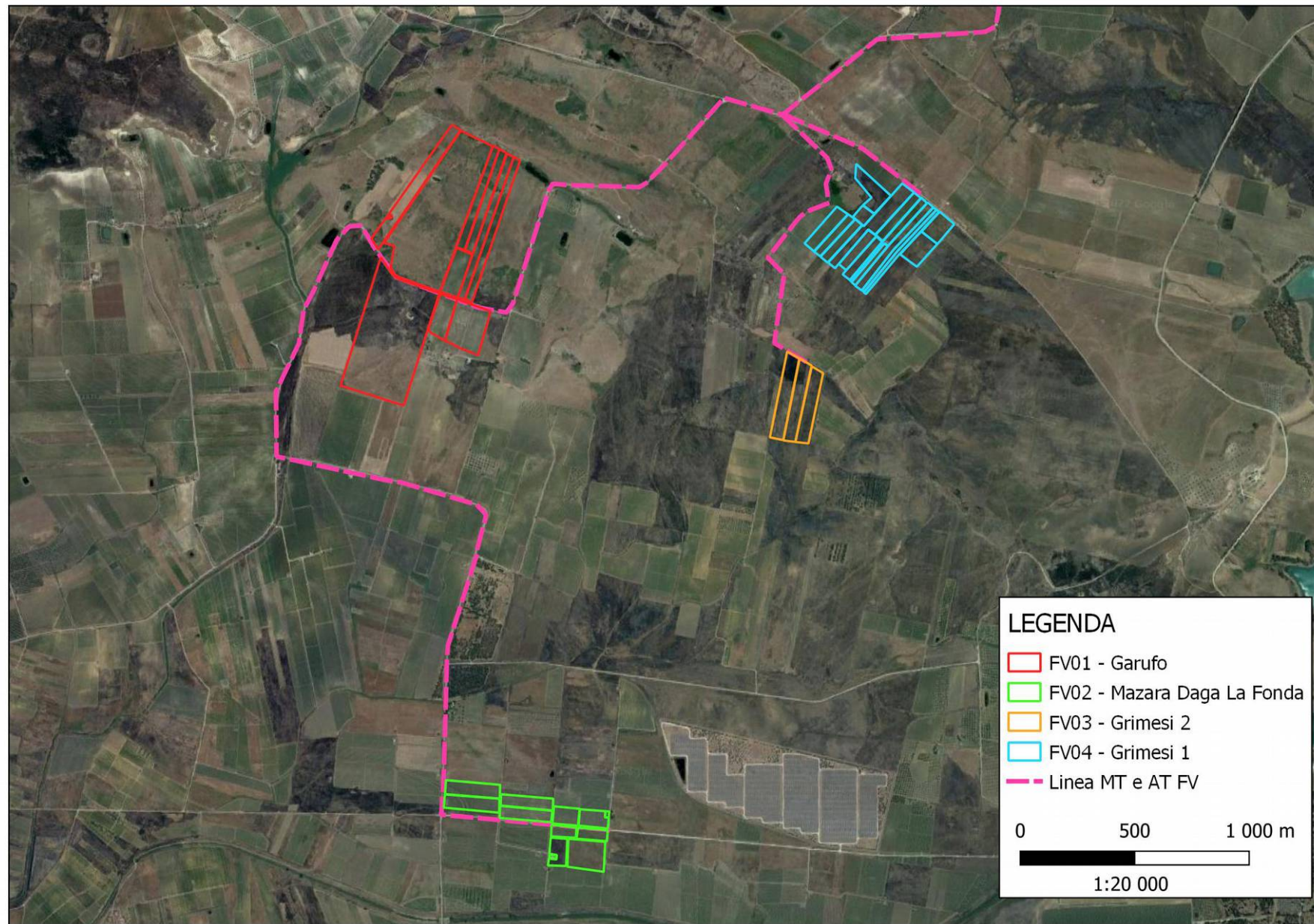


Fig. 4: Inquadramento area studio su Ortofoto

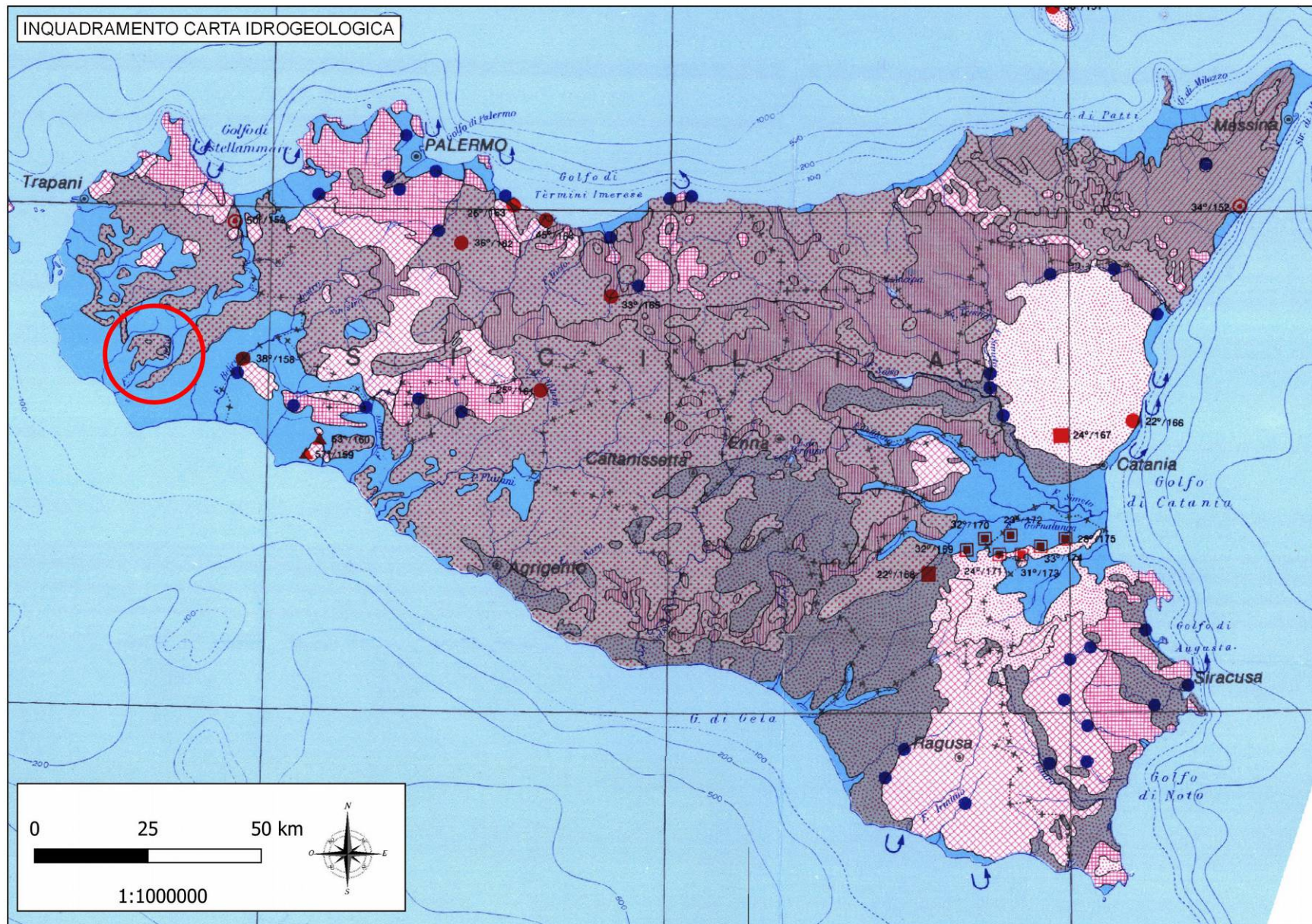


Fig. 5: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeologica

## **2.2 – Inquadramento Piano di Bacino e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni**

Con riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sicilia, ed in particolare sulla base delle aree a diversa pericolosità idraulica individuate, la zona di interesse non risulta di fatto perimetrata come area a pericolosità idraulica come si evince nel dettaglio planimetrico riportato in Fig. 6.

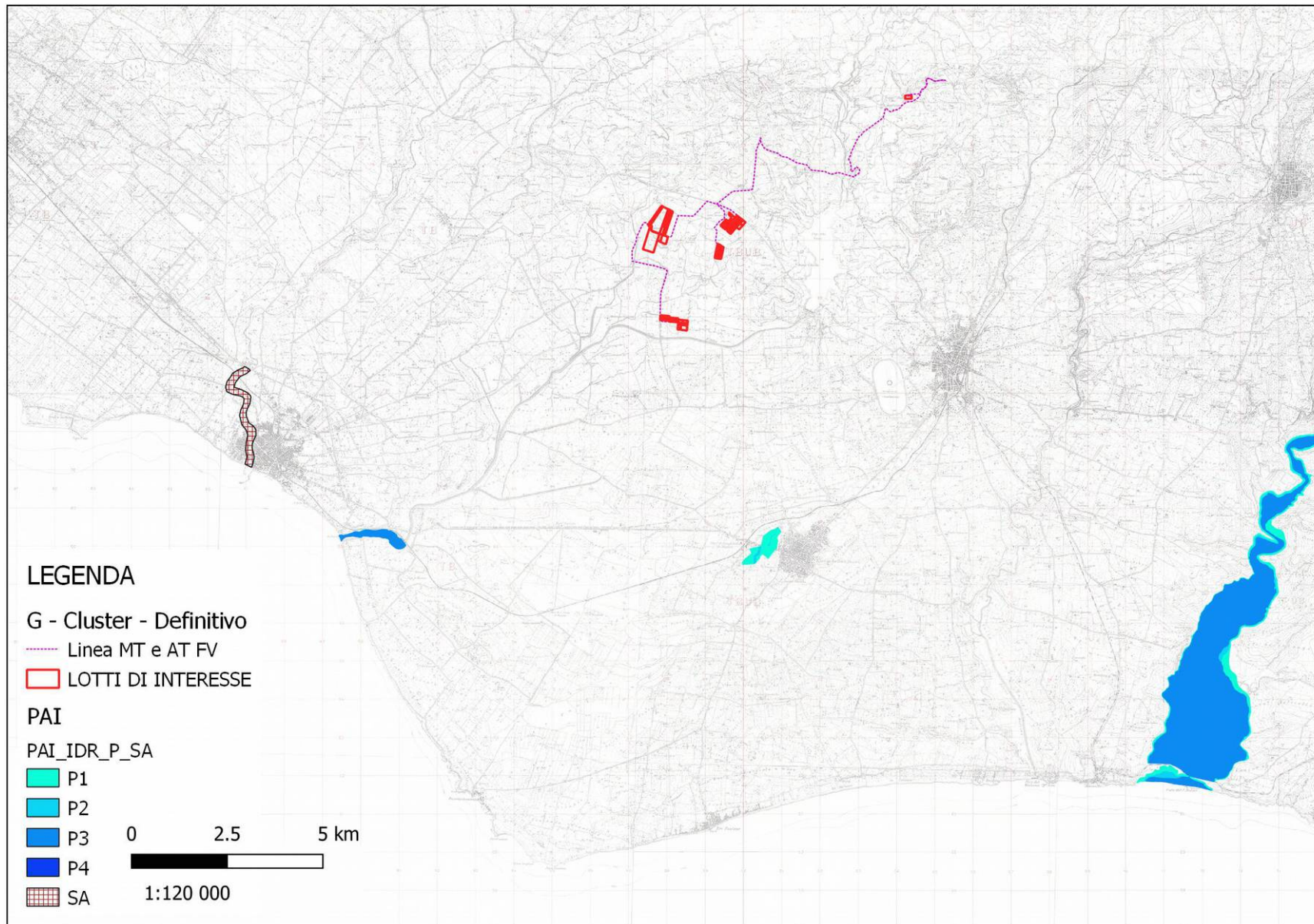


Fig. 6: Perimetrazione pericolosità idraulica

## 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 20 m messo a disposizione dal Portale Cartografico Nazionale (vedi fig.7).

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 20 metri, è stata eseguita la procedura automatica Tau-DEM per la delimitazione dei bacini idrografici di interesse chiusi a valle della zona di interesse. Il risultato della procedura è riportato in fig. 8 che mostra la delimitazione dei bacini idrografici estratti dal DEM mentre in tab 1 sono riportati i valori delle aree dei singoli sottobacini.

SOTTOBACINO	S (Kmq)
SB_01	6.49
SB_02	1.37
SB_03	1.62
SB_04	1.47
SB_05	1.41
SB_06	1.69
SB_07	2.37
SB_08	1.96
SB_09	0.40
SB_10	0.37
SB_11	1.82
SB_12	0.17
SB_13	0.83
F.DELIA	202

Tabella 1: Valori delle aree in Kmq 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 verde tratteggiata) ed il reticolo della carta idrogeomorfologica (linea blu continua), vedi Fig. 9.

Per completare e meglio dettagliare l'informazione topografica nel dominio di calcolo si è reso necessario il reperimento dei dati Lidar con cella 2 m dal sistema informativo territoriale della Regione Sicilia (vedi Fig. 10) 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.

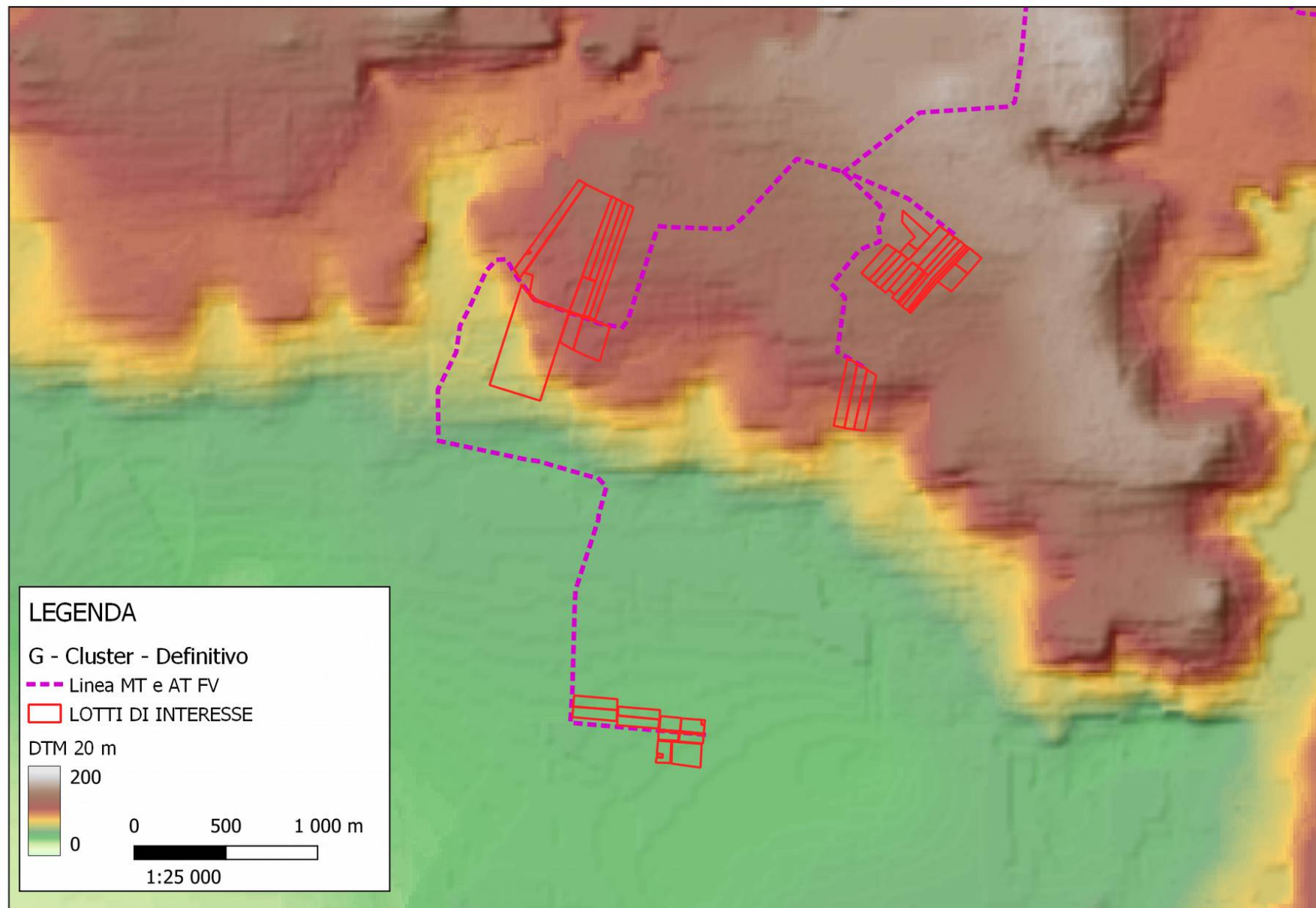


Fig. 7: Modello digitale del terreno con cella a 20m con sovrapposta l'area di intervento

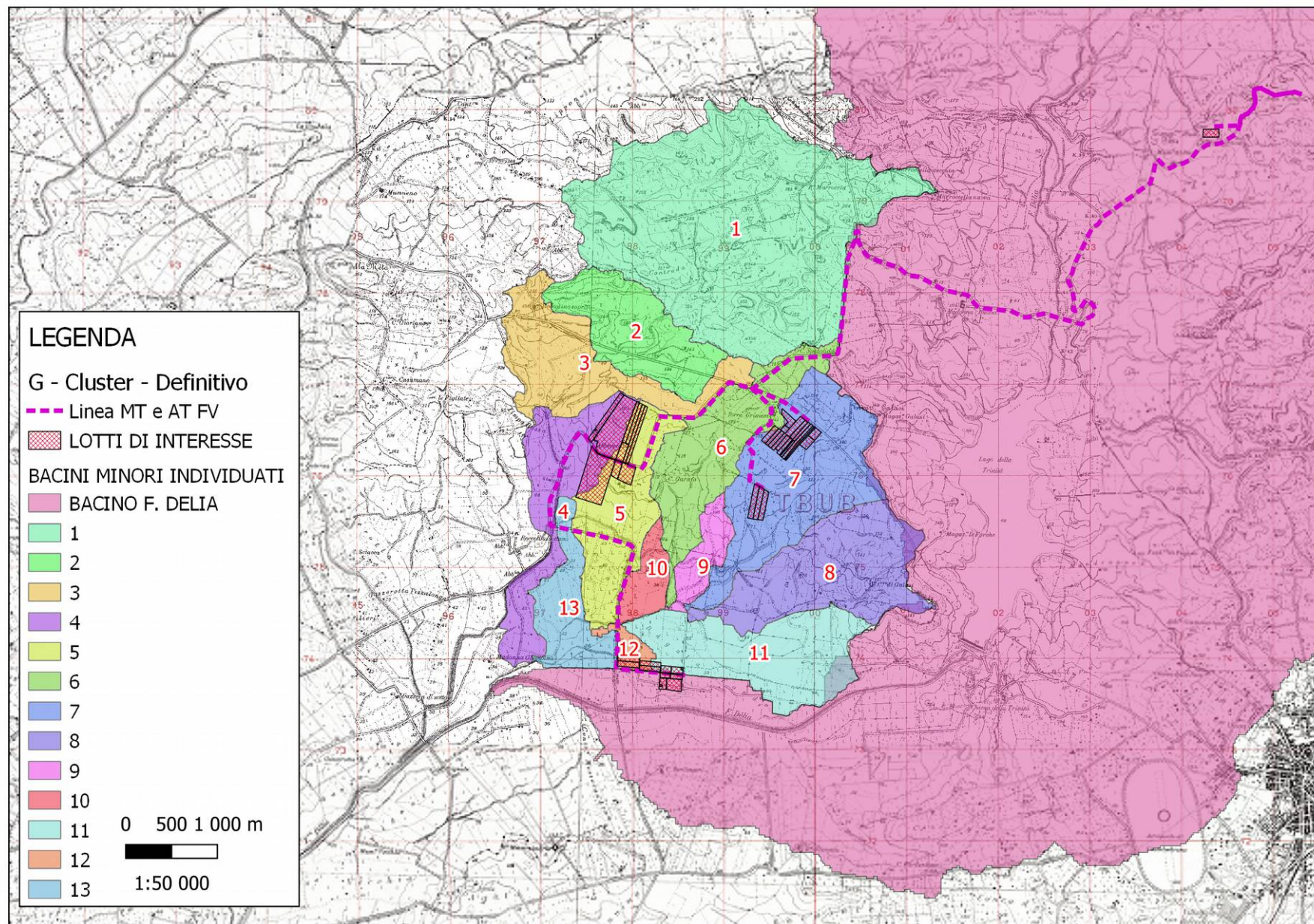


Fig. 8: Bacini idrografici estratti con procedura automatica da DEM con cella a 20m

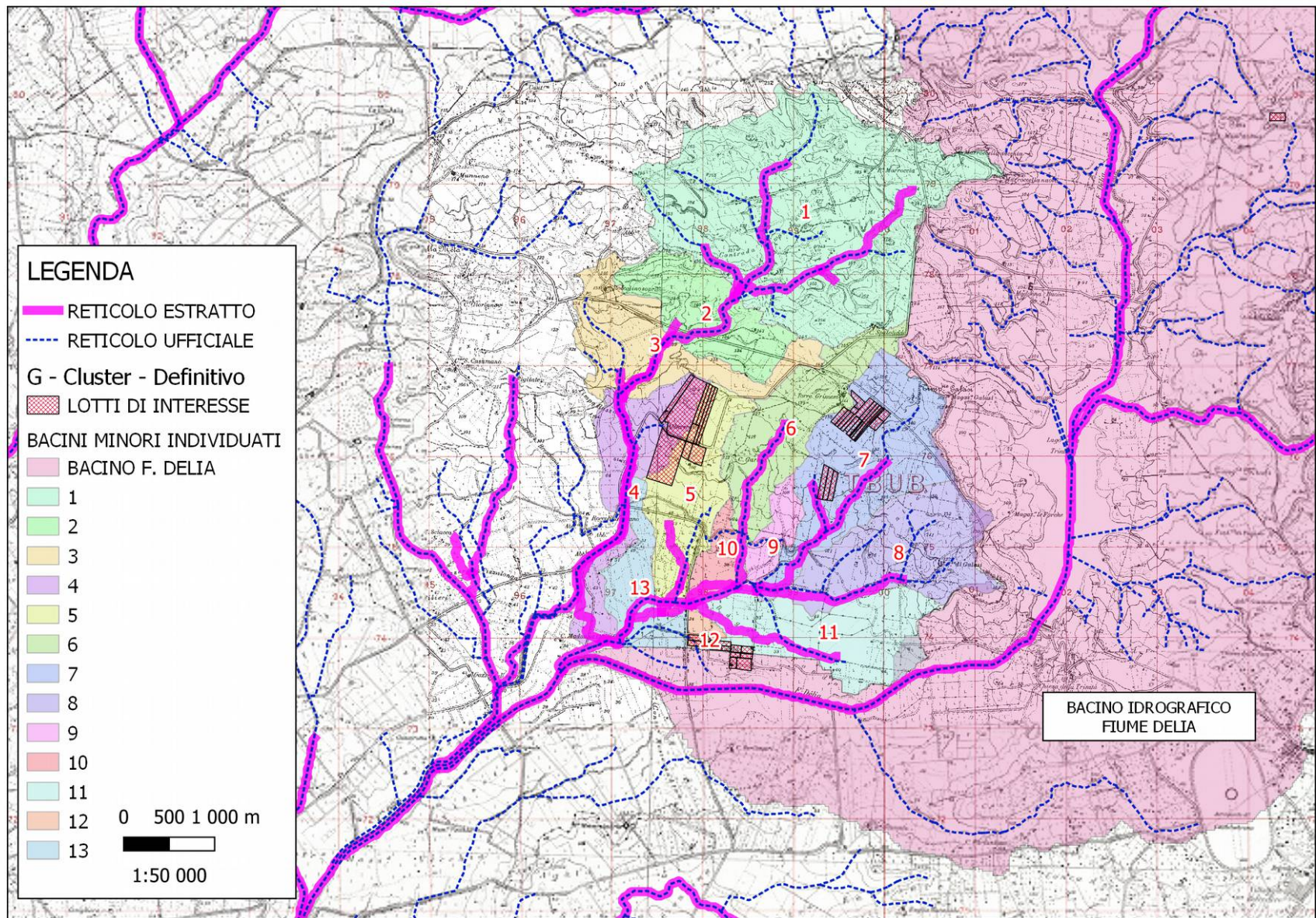


Fig. 9: Confronto tra il reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica (in blu) con il reticolo estratto dalla procedura automatica (in verde tratteggiato).



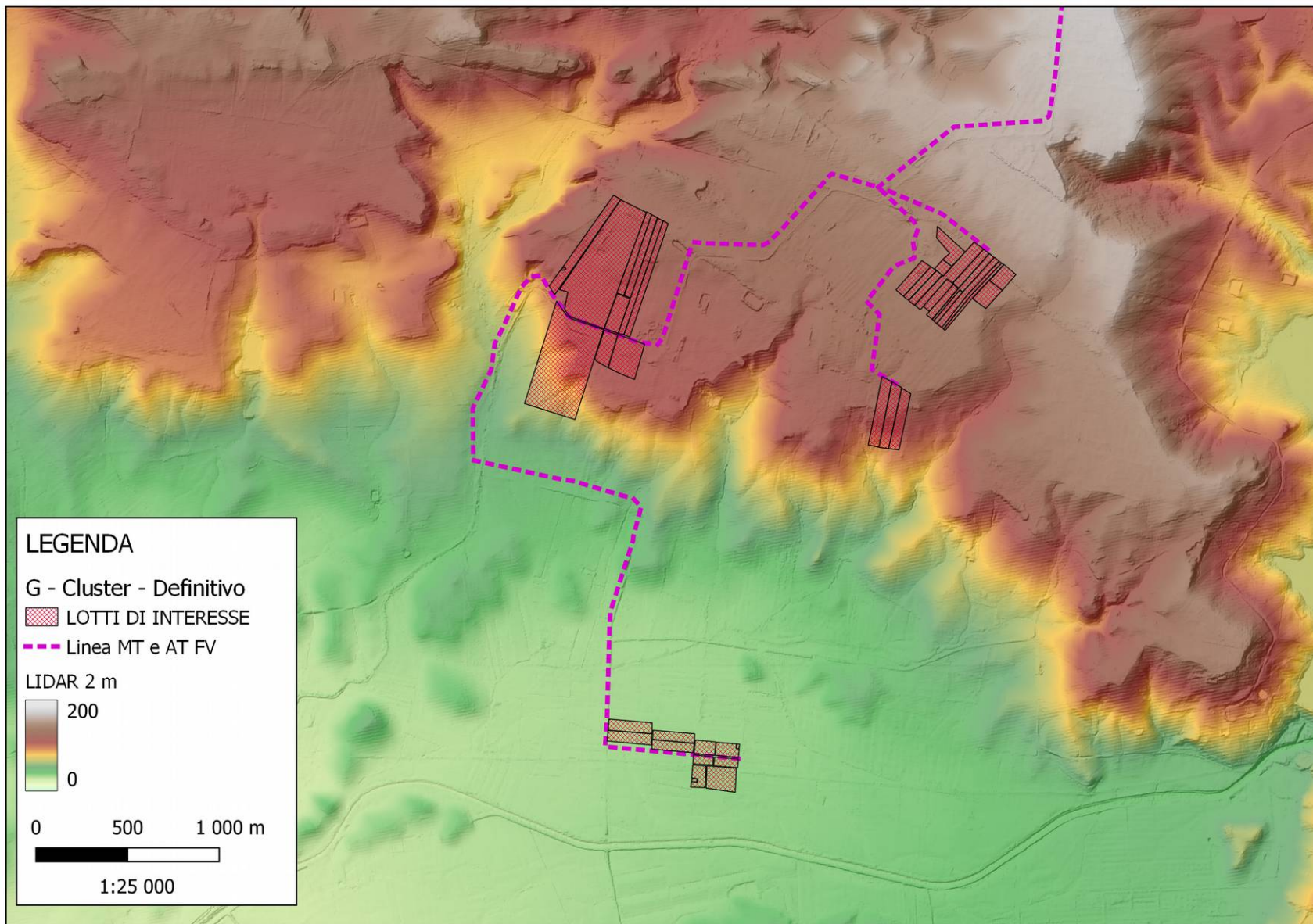


Fig. 10: Modello digitale del terreno con cella 2 m

## 2.4 - Uso del suolo

Ai fini della ricostruzione dell'uso del suolo sono stati utilizzati i dati disponibili per il territorio della Regione Sicilia, vedi Fig. 11.

Si fa notare che ai fini della modellazione la classificazione utilizzata per l'uso del suolo si ferma al III livello della legenda del Corine Land Cover (CLC), 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 per il bacino del Fiume Delia si può notare che circa il 50% del territorio è occupato da frutteti e frutti minori, il 14% circa dell'area complessiva è occupata da altre colture permanenti mentre quasi il 12% del territorio è adibito a seminativi in aree non irrigue.

Dall'esame delle classi di uso del suolo, per gli altri bacini minori oggetto di studio, si può notare come più della metà del territorio oggetto di studio sia sfruttato per Frutteti e frutti minori per una percentuale dell'area totale pari a 50.53%. Una porzione dell'area pari al 19% è occupata da superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo comunemente non lavorata e il 20% da superfici a copertura erbacea; segue il 11% dell'area destinata a seminativi in aree non irrigue e una piccola percentuale di aree a pascolo naturale e praterie.

CLC III LIV	DESCRIZIONE	AREA (mq)	AREA (kmq)	AREA (%)
111	Tessuto residenziale continuo	4823055.50	4.82	2.38
112	Tessuto residenziale discontinuo	293567.17	0.29	0.15
124	Aeroporti	761725.00	0.76	0.38
211	Seminativi in aree non irrigue	23789062.57	23.79	11.76
221	Vigneti	3061061.38	3.06	1.51
222	Frutteti e frutti minori	106123601.41	106.12	52.44
223	Uliveti	5850513.54	5.85	2.89
226	Altre colture permanenti	28363980.77	28.36	14.02
231	Superfici a copertura erbacea: graminacee non soggette a rotazione	7404859.89	7.40	3.66
232	Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorata	18162548.94	18.16	8.98
311	Boschi di latifoglie	212801.74	0.21	0.11
312	Boschi di conifere	420051.55	0.42	0.21
321	Aree a pascolo naturale e praterie	852990.94	0.85	0.42
323	Brugliere e Cespuglieti	1527776.70	1.53	0.75
512	Bacini d'acqua	720507.89	0.72	0.36
		<b>202368104.99</b>	<b>202.37</b>	<b>100.00</b>

Tabella 2: Classi di uso del suolo per il bacino idrografico del Fiume Delia

CLC III LIV	DESCRIZIONE	AREA (mq)	AREA (kmq)	AREA (%)
211	Seminativi in aree non irrigue	2427373.24	2.43	11.05
222	Frutteti e frutti minori	11103967.87	11.10	50.53
231	Superfici a copertura erbacea: graminacee non soggette a rotazione	4290935.56	4.29	19.53
232	Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorata	4144263.70	4.14	18.86
321	Aree a pascolo naturale e praterie	6727.63	0.01	0.03
		<b>21973268.00</b>	<b>21.97</b>	<b>100.00</b>

Tabella 3: Classi di uso del suolo per i sottobacini considerati

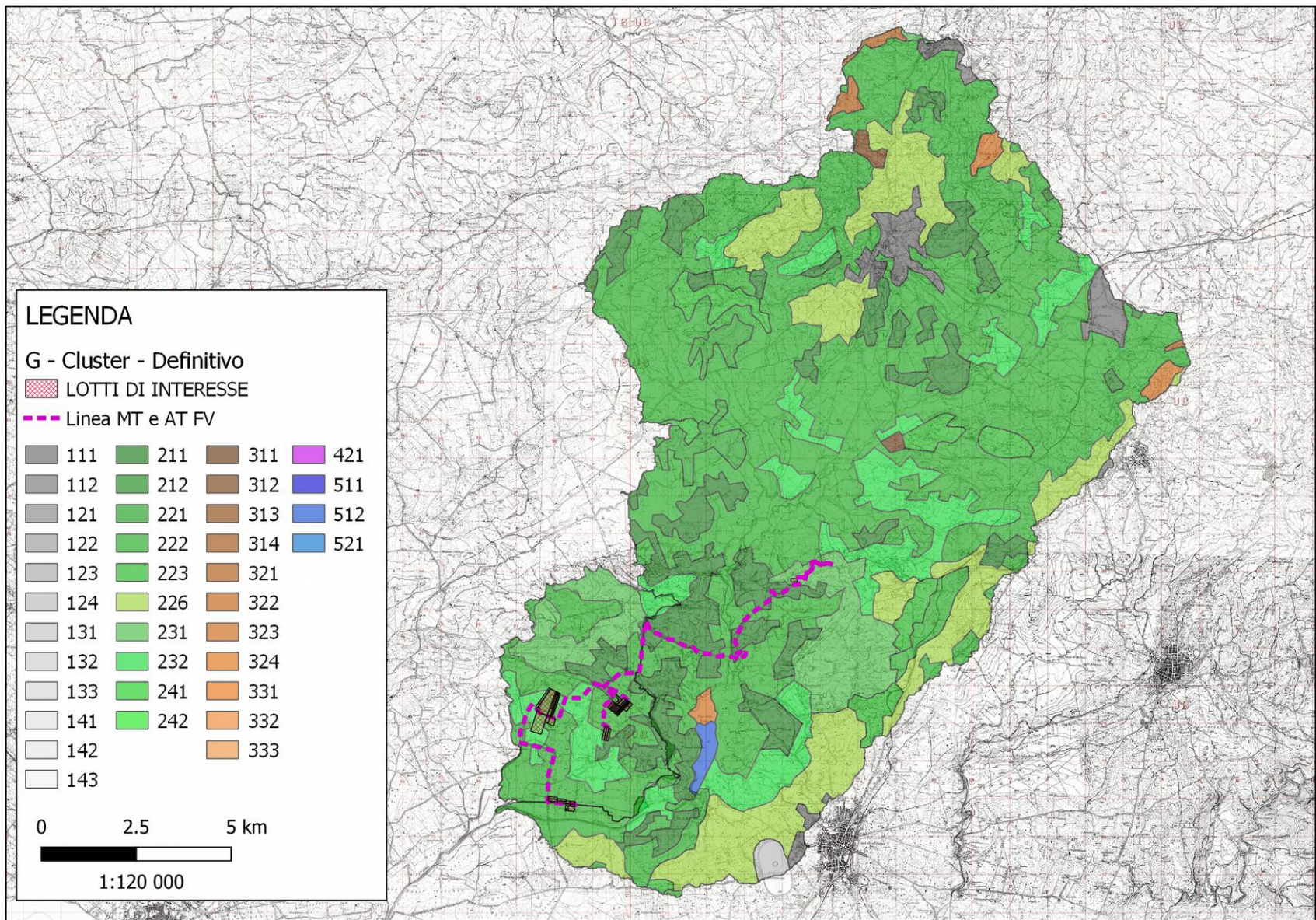


Fig. 11: Uso del suolo – CORINE LAND COVER III LIVELLO

## 2.5 – Litologia

Per l'individuazione della permeabilità dei suoli è stata utilizzata la litologia presente nella carta idrogeomorfologica, vedi fig. 12. Dall'esame della carta litologica risulta che i bacini di interesse sono caratterizzati prevalentemente da sabbie e conglomerati, per una percentuale di circa il 35 %, e da argille e marne per una percentuale poco superiore al 30%. Si riscontra inoltre una porzione dei bacini pari al 20% dell'area totale costituita da detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali una porzione pari al 14% da una formazione gessoso-solfifera.

Per caratterizzare la permeabilità del suolo sono stati utilizzati i valori presenti in letteratura, e trattandosi di terreni che presentano una scarsa potenzialità di deflusso, si è ritenuto opportuno assegnare all'intero dominio la classe di permeabilità A che corrisponde a permeabilità molto elevata, vedi tab. 4

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

Tabella 4: Classi di permeabilità

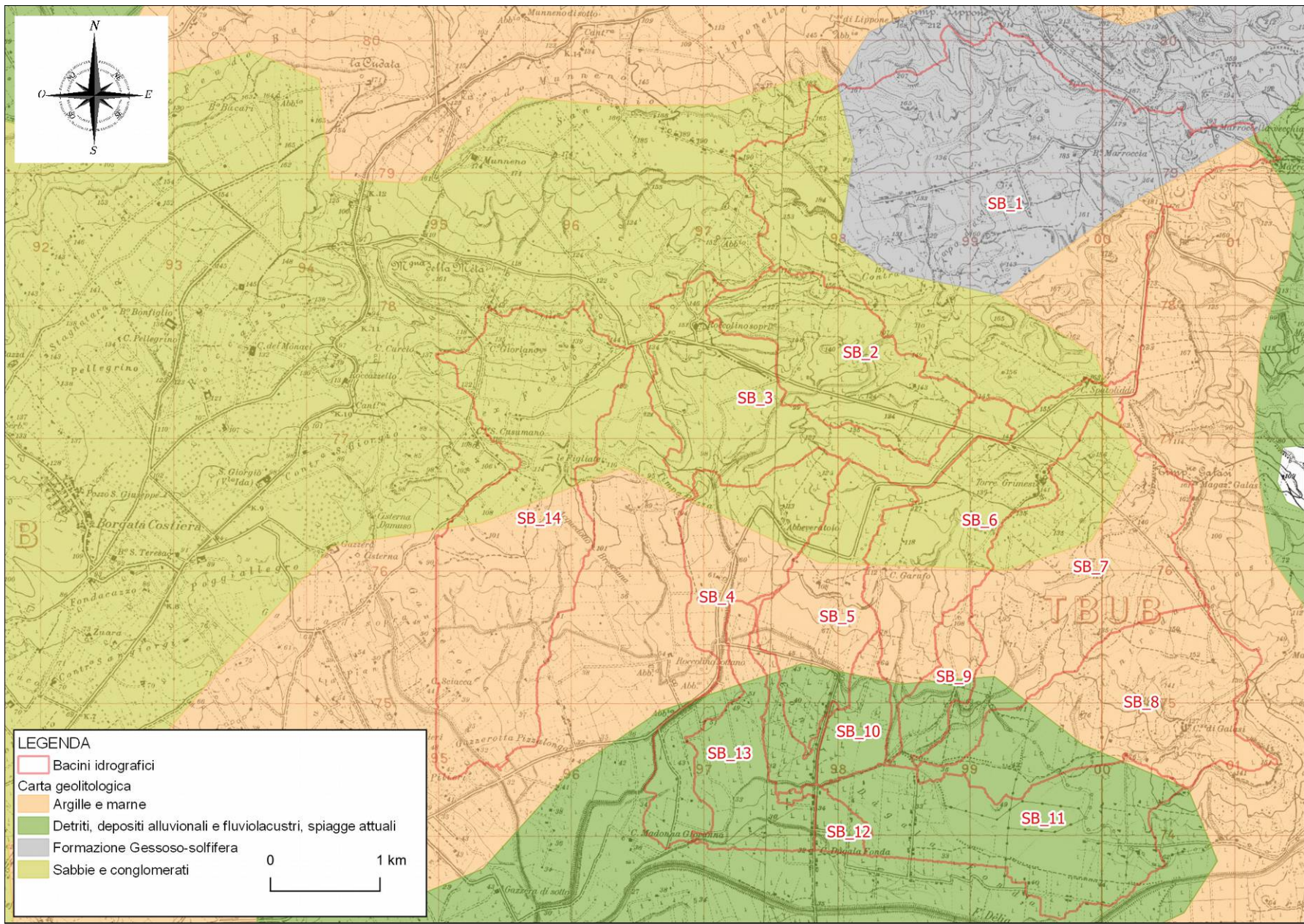


Fig. 12: Classi litologiche

## 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.6 ricavata dalle analoghe tabelle reperite in letteratura adattandola al contesto territoriale laziale 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 5. Nel caso specifico, considerata la distribuzione omogenea delle classi di uso del suolo e delle classi di permeabilità dei suoli, è stato possibile attribuire a tutti i sottobacini di interesse lo stesso valore del CN pari a 88 al fine di massimizzare la risposta idrologica dei bacini.

SOTTOBACINO	S (Kmq)	CN
SB_01	6.49	88
SB_02	1.37	88
SB_03	1.62	88
SB_04	1.47	88
SB_05	1.41	88
SB_06	1.69	88
SB_07	2.37	88
SB_08	1.96	88
SB_09	0.40	88
SB_10	0.37	88
SB_11	1.82	88
SB_12	0.17	88
SB_13	0.83	88
F. DELIA	202	88

Tabella 5: 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	123	Aree portuali	89,92,94,95
6	124	Aeroporti	89,92,94,95
7	131	Aree estrattive	89,92,94,95
8	132	Discariche	89,92,94,95
9	133	Cantieri	89,92,94,95
10	141	Aree verdi urbane	77,85,90,92
11	142	Aree sportive e ricreative	77,85,90,92
12	143	Cimiteri	77,85,90,92
13	211	Seminativi in aree non irrigue	72,81,88,91
14	212	Seminativi in aree irrigue	72,81,88,91
15	221	Vigneti	62,71,78,81
16	222	Frutteti e frutti minori	62,71,78,81
17	223	Oliveti	62,71,78,81
18	231	Prati stabili	72,81,88,91
19	241	Colture annuali associate a colture permanenti	62,71,78,81
20	242	Sistemi colturali e particellari complessi	62,71,78,81
21	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie	62,71,78,81
22	311	Boschi di latifoglie	45,66,77,83
23	312	Boschi di conifere	45,66,77,83
24	313	Boschi misti	45,66,77,83
25	314	Prati alberati, pascoli alberati	68,79,86,89
26	321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	68,79,86,89
27	322	Brughiere e cespuglieti	62,71,78,81
28	323	Aree a vegetazione sclerofila	45,66,77,83
29	324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	45,66,77,83
30	332	Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti	89,92,94,95
31	333	Aree con vegetazione rada	62,71,78,81
32	334	Aree percorse da incendi	62,71,78,81
33	411	Paludi	100,100,100,100
34	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100,100,100,100
35	512	Bacini d'acqua	100,100,100,100

Tabella 6: Valori del CN per per classe di permeabilità e uso del suolo



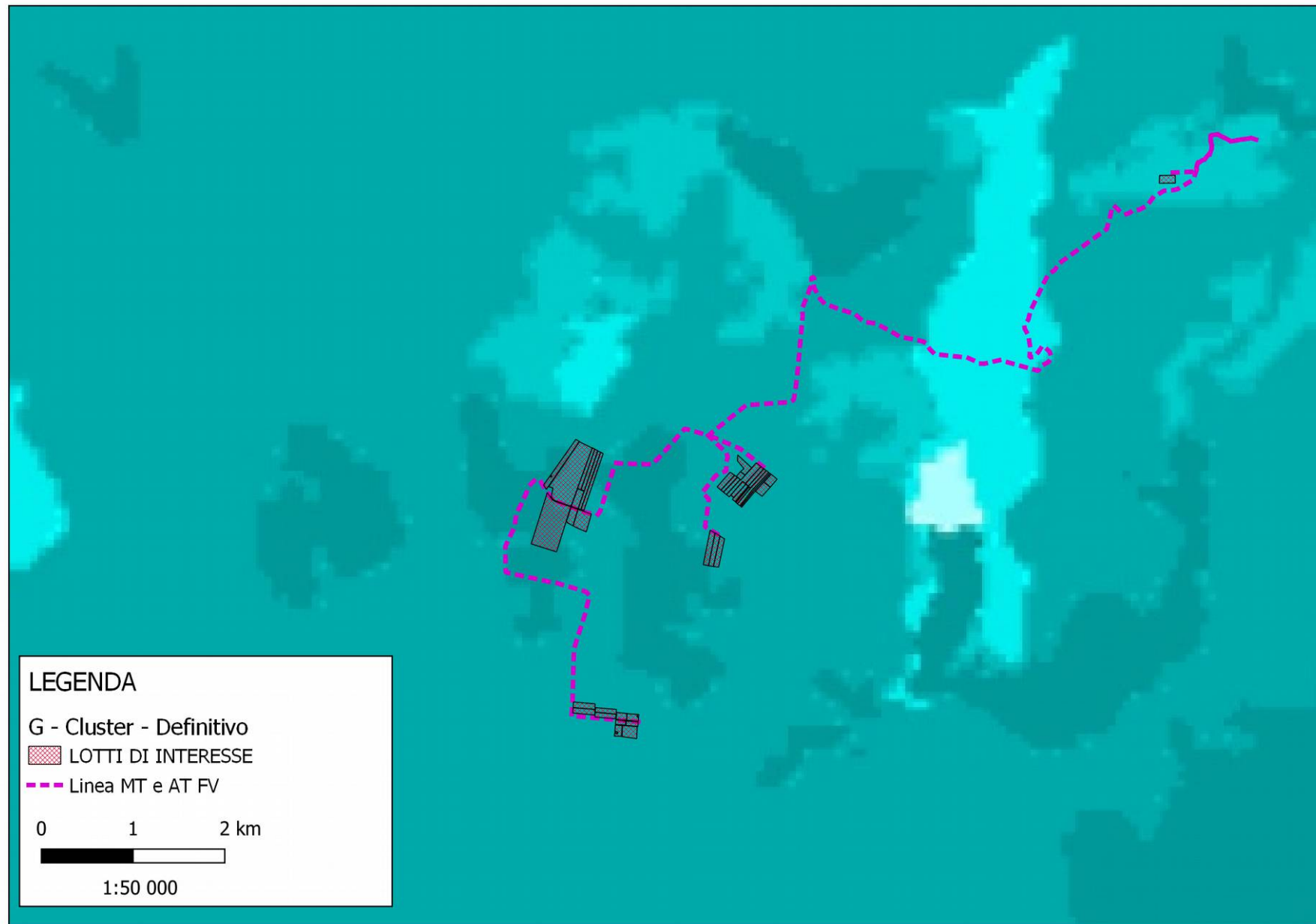


Fig. 13: Curve Number

## 2.7 - Definizione caratteristiche pluviometriche

In base alla procedura VA.PI., il “processo” dei massimi annuali delle piogge giornaliere e delle piogge di breve durata e forte intensità è schematizzato con il modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value). Tale modello ipotizza che i massimi annuali provengano da una miscela di due popolazioni di eventi: una per così dire “ordinaria” e l’altra “straordinaria”, rappresentata dai valori campionari più elevati. Questa ipotesi si basa sul fatto che nelle serie storiche dei massimi annuali delle piogge esistono valori nettamente superiori agli altri, tali da non sembrare appartenenti alla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La TCEV si rappresenta con una funzione di probabilità cumulata del tipo:

$$P(h_d) = e^{-e^{-\alpha_{b,d}(h_d - \varepsilon_{b,d})}} - e^{-\alpha_{s,d}(h_d - \varepsilon_{s,d})}$$

equivalendo formalmente al prodotto di due funzioni di distribuzione cumulata di Gumbel.

La funzione di probabilità cumulata è esprimibile in un’altra forma effettuando la seguente trasformazione di variabili:

$$\alpha_{b,d} = \frac{1}{\Theta_{b,d}} \quad \alpha_{s,d} = \frac{1}{\Theta_{s,d}} \quad \varepsilon_{b,d} = \Theta_{b,d} \ln \Lambda_b \quad \varepsilon_{s,d} = \Theta_{s,d} \ln \Lambda_s$$

e:

$$\Theta^* = \frac{\Theta_{s,d}}{\Theta_{b,d}} \quad \Lambda^* = \frac{\Lambda_s}{\Lambda_b^{1/\Theta^*}}$$

In questo caso, in modo del tutto equivalente, l’espressione precedente si scrive:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_b e^{-\left(\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}\right)}} - \Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{-\left(\frac{h_d}{\Theta^* \Theta_{b,d}}\right)}$$

e i quattro parametri che caratterizzano il modello diventano

$$\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,d}$$

Si può dimostrare che:

- il coefficiente di asimmetria  $\chi(h_d)$  dipende soltanto dai parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  ;
- il coefficiente di variazione  $\gamma \propto h_d$  dipende dai parametri  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*$  ;
- la media dipende da tutti e quattro i parametri  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,d}$  :

$$\mu_{h_d} = \left[ \ln \Lambda_b + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \cdot \Theta_{b,d} = \beta \cdot \Theta_{b,d}$$

Grazie a tale formulazione della media, la distribuzione di probabilità può essere espressa come segue:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_b e^{-\beta \left( \frac{h_d}{\mu_{h_d}} \right)}} - \Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{-\left( \frac{\beta}{\Theta^*} \frac{h_d}{\mu_{h_d}} \right)}$$

Introducendo il coefficiente di crescita:

$$K = \frac{h_d}{\mu_{h_d}}$$

si ottiene

$$P(K) = e^{-\Lambda_b e^{-\beta K}} - \Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{-\left( \frac{\beta}{\Theta^*} K \right)}$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita  $K(T)$  della variabile  $h_d$ , dove  $T$  è il tempo di ritorno di  $h_d$ :

$$T = \frac{1}{1 - P(K)}$$

Da quanto detto precedentemente, i parametri della TCEV sono quattro ( $\Lambda^*$ ,  $\Lambda_b$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Theta_{b,d}$ ) per cui è elevata l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche in genere disponibili la cui dimensione campionaria è spesso limitata.

Per ridurre l'incertezza si utilizzano tecniche di analisi regionale che consentono di stimare almeno alcuni dei parametri sulla base di tutte le serie storiche ricadenti all'interno di vaste aree indicate come zone e sottozone omogenee.

La procedura VA.PI. considera tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al 1° livello, regioni omogenee rispetto ai due parametri di forma  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria  $\chi(h_d)$ ;
- al 2° livello, zone omogenee anche rispetto al parametro di scala  $\Lambda_b$  (e quindi a  $\beta$  e a  $K(T)$ ), da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione  $\gamma \propto h_d$  s;
- al 3° livello, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro  $\Theta_{b,d}$ , e quindi della media  $\mu_{h_d}$ , da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti). Tra queste viene normalmente scelta la quota geodetica  $H$  facendo ricorso a relazioni del tipo:

$$\ln \mu_{h_d} = aH + b \quad H_1 \leq H \leq H_2$$

con  $H_1$ ,  $H_2$  i limiti di quota entro i quali ricade il campo di validità.

Al 1° livello di regionalizzazione, è stata identificata una dipendenza unica per tutta la regione dei

parametri di forma  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  dalla durata d:

$$\Theta^* (d) \square 1,95 \square 0,0284d$$

$$\Lambda^* (d) \square 0,175d^{0,301}$$

Al 2° livello, è stata effettuata una suddivisione dell'isola in 3 sottozone omogenee, in cui il parametro di scala  $\Lambda_b$  varia con la durata d secondo le seguenti espressioni:

SZO A:  $\Lambda_b = 14.55 d^{0.2419}$

SZO B:  $\Lambda_b = 12.40 d^{0.1802}$

SZO C:  $\Lambda_b = 11.96 d^{0.0960}$

La curva di crescita  $K_T(d)$ , valida per  $T \geq 10$  anni, assume la seguente espressione approssimata:

SZO A:  $K_T(d) = 0.5391 - 0.001635d + (0.0002212d^2 + 0.00117d + 0.9966) \log T$

SZO B:  $K_T(d) = 0.5135 - 0.002264d + (0.00019802d^2 + 0.00329d + 1.0508) \log T$

SZO C:  $= 0.5015 - 0.003516d + (0.0003720d^2 + 0.00102d + 1.0101) \log T$

Come evidente dalla figura sottostante, l'area di interesse ricade all'interno della SZO A, come mostrato in Fig. 14.

Al 3° livello di regionalizzazione, per il calcolo della precipitazione indice  $\mu_{hd}$  sono state definite le seguenti relazioni, distinte per durate di pioggia superiori o inferiori ad 1 ora:

- per  $d \geq 1$  ora  $\mu_{hd} = \mu_{h1}d^n$  in cui d è espressa in ore

dove i parametri a ed n sono stati valutati nelle 155 stazioni di misura pluviografiche mediante regressione ai minimi quadrati in campo logaritmico. Per la loro stima sono fornite delle mappe isoparametriche

- per  $d < 1$  ora  $\mu_{hd} = 0.208 \mu_{h1}d^{0.386}$  in cui d è espressa in minuti

espressione ricavata analizzando i dati forniti nella Tab. V degli Annali Idrologici, relativi alle precipitazioni di breve durata e notevole intensità, che costituiscono un complesso di 191 stazioni con 354 dati.

Il calcolo delle altezze di pioggia viene effettuato, dunque, mediante la relazione:

$$h(T, d) = K_T(d) \cdot \mu_{h_d}$$

In Tabella 7 sono riportati i parametri a ed n calcolati, come sopra descritto, ella Sottozona A all'interno della quale ricade l'area di interesse e a seguire le CPP in forma sia grafica (Fig. 15) che tabellare (Tab 8) per relative ai 4 tempi di ritorno considerati nell'ambito delle verifiche idrologiche e idrauliche (Tr 50, 100, 200, 300 anni).

SZO A	
a	27
n	0.23

Tabella 7: Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica

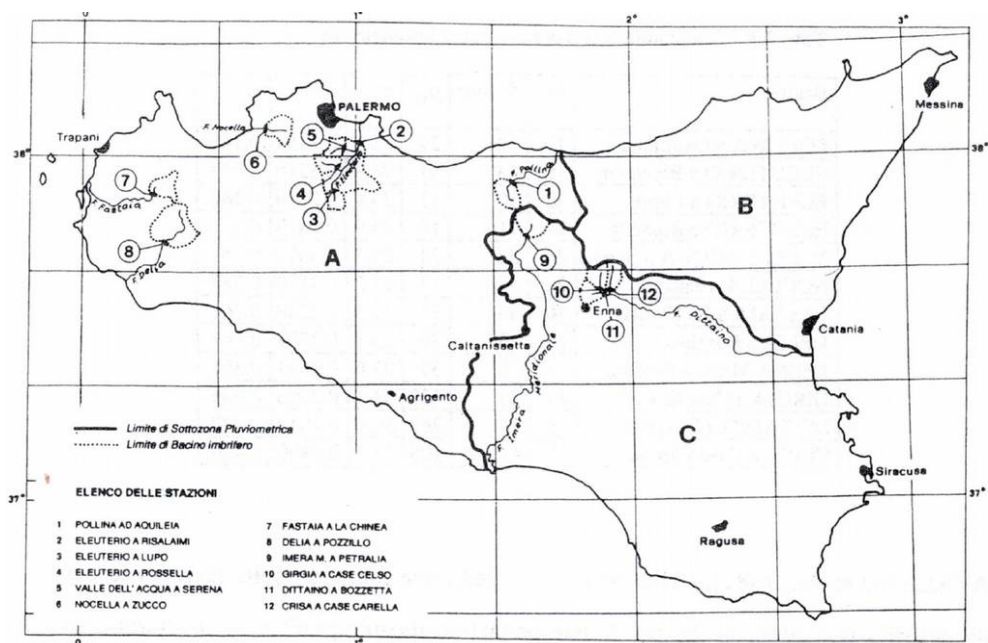


Fig. 14: Sottozone pluviometriche Vapi Sicilia

durata [h]	h(t) [mm]			
	TR=50	TR=100	TR=200	TR=300
1	60.29	68.40	76.51	81.26
2	70.76	80.29	89.82	95.40
3	77.75	88.24	98.73	104.86
4	83.18	94.42	105.65	112.22
5	87.71	99.57	111.43	118.37
6	91.65	104.06	116.48	123.74
7	95.18	108.09	121.01	128.56
8	98.41	111.78	125.16	132.98
9	101.41	115.22	129.03	137.11
10	104.24	118.46	132.69	141.01
11	106.94	121.56	136.18	144.73
12	109.53	124.54	139.54	148.32

Tabella 8: Curve di possibilità pluviometrica

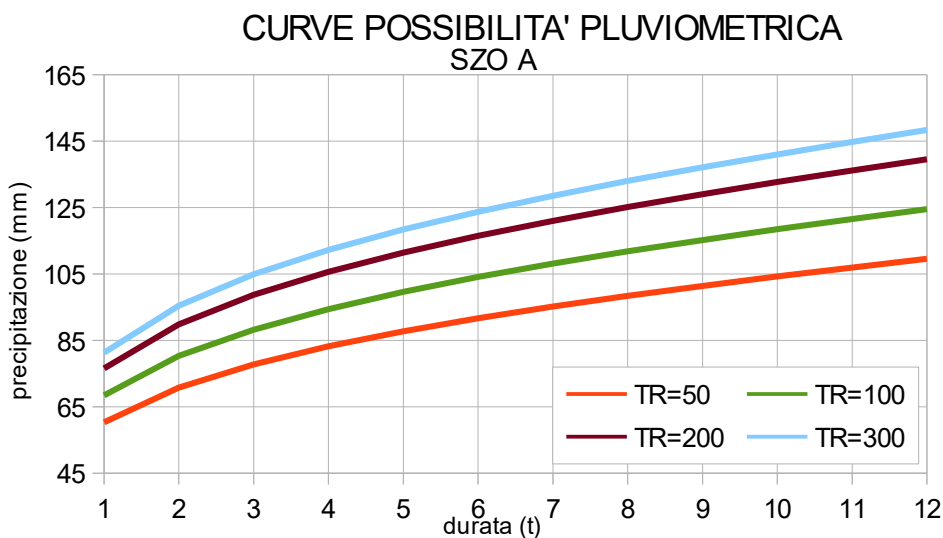


Fig. 15: Curve di possibilità pluviometrica

### 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 dapprima su una modellazione monodimensionale in regime di moto permanente sul reticolo di interesse e successivamente su una modellazione bidimensionale dell'area oggetto di studio capace di utilizzare come condizione al contorno di input gli idrogrammi di piena corrispondenti ai quattro tempi di ritorno ( 50, 100, 200 e 300 anni ) e lo ietogramma di pioggia netta in modo da investigare nei riguardi degli allagamenti che si potrebbero instaurare nelle aree distanti dal reticolo idrografico.

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 dell'idrogramma di progetto corrispondente all'evento duecentennale, con particolare riferimento al bacino del Fiume Delia e ai sottobacini SB08 ed SB11 che sono stati imposti al bordo del dominio come condizione al contorno.

L'analisi idraulica dei reticoli idrografici ha previsto l'implementazione di una modellazione idraulica con schema puramente 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).

## 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 BOSCOSI 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
	38	57	72	81
	30	54	70	80
	25	51	68	79
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature <sup>98</sup>	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 9: Tipo di copertura e uso del suolo

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

Ogni metodo di separazione delle piogge è influenzato dal grado di saturazione del suolo al



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

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

Tabella 10: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)

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

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

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

Tabella 11: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3

### Propagazione delle piene

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

### 3.1.2 - Modellazione idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D)

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:

$\lambda$  equazione del moto:

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

$\lambda$  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 secondo 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 16.

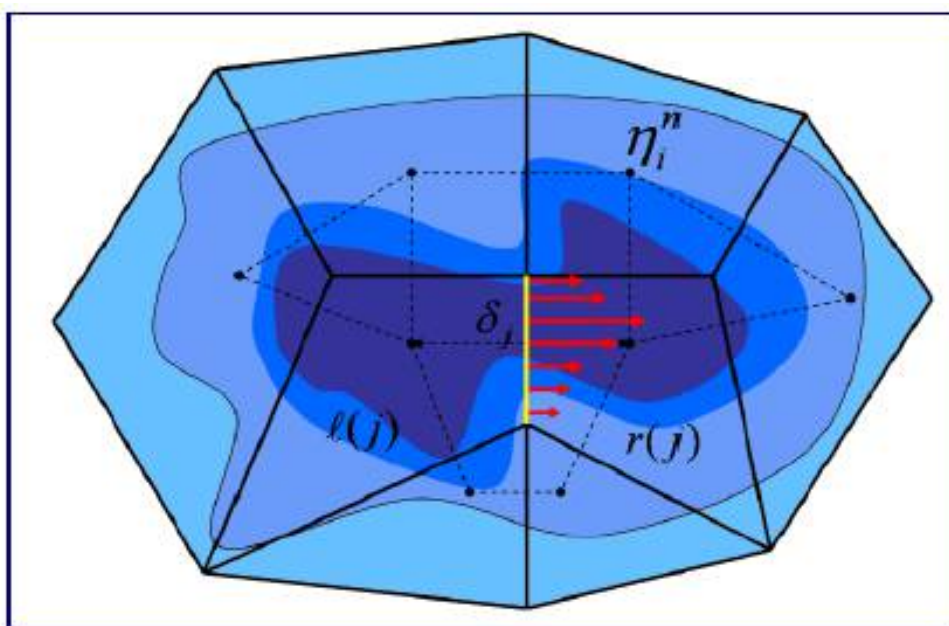


Fig. 16: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

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

non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.

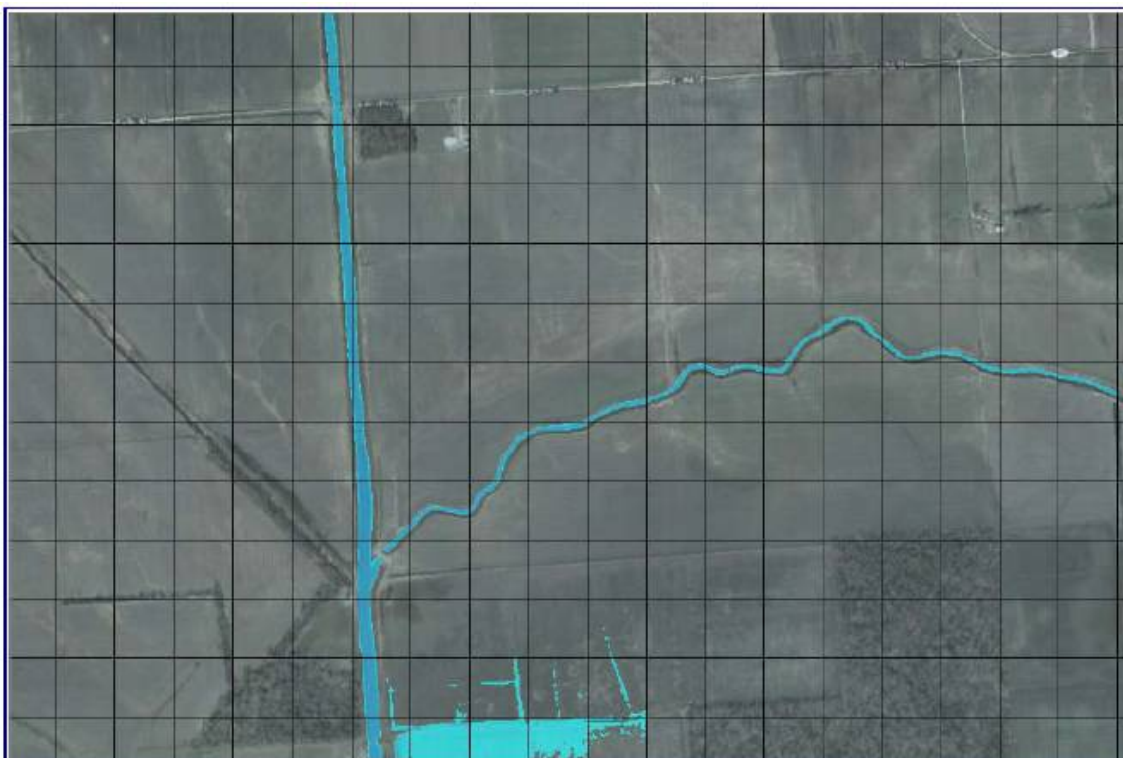


Fig. 17: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

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.18);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (figg.19 e 20);
3. modifica/rettifica della maglia di calcolo 2D;
4. caricamento del DTM;
5. associazione del DTM con la geometria;
6. esecuzione del pre-processore geometrico 2D.

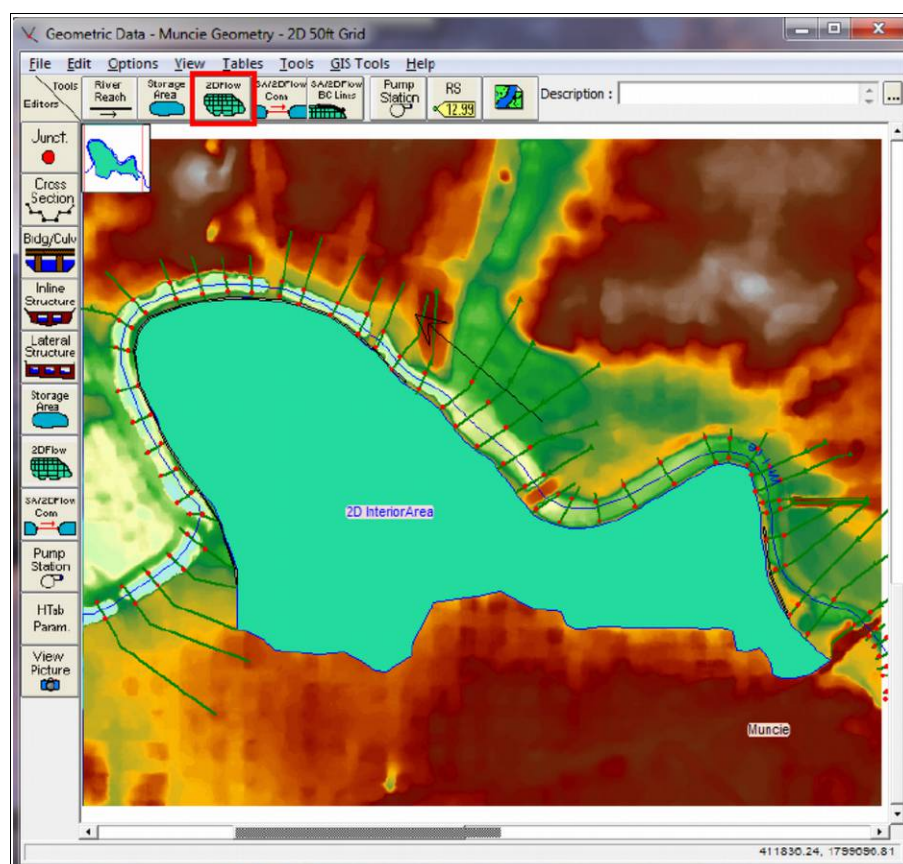


Fig. 18: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

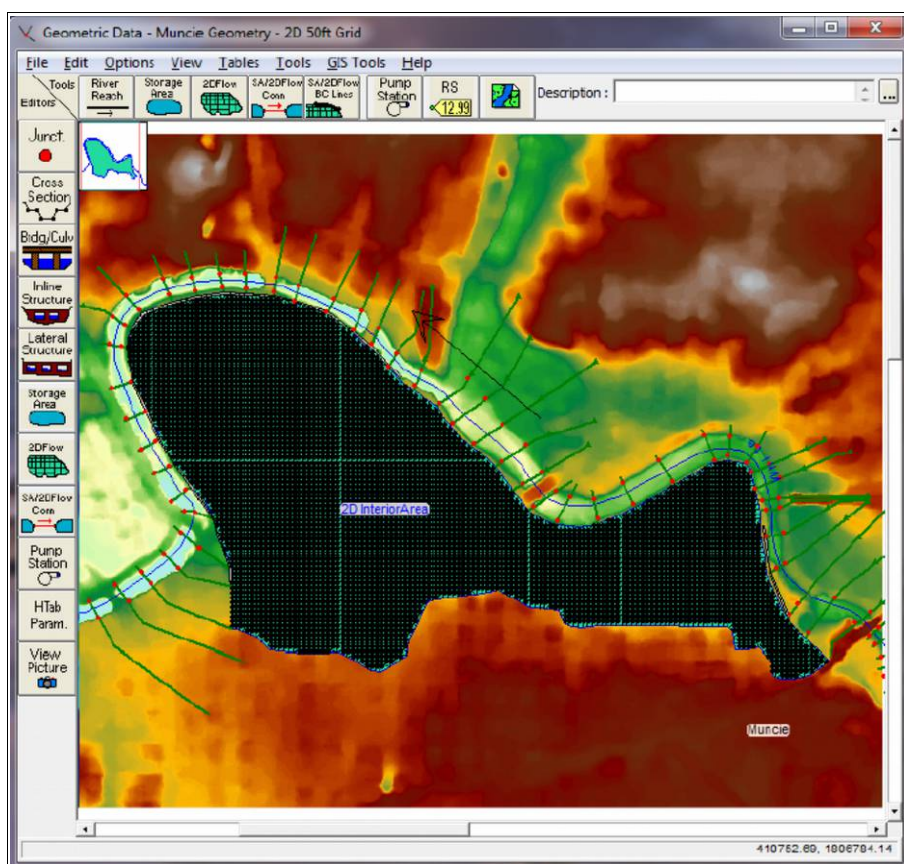


Fig. 19: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

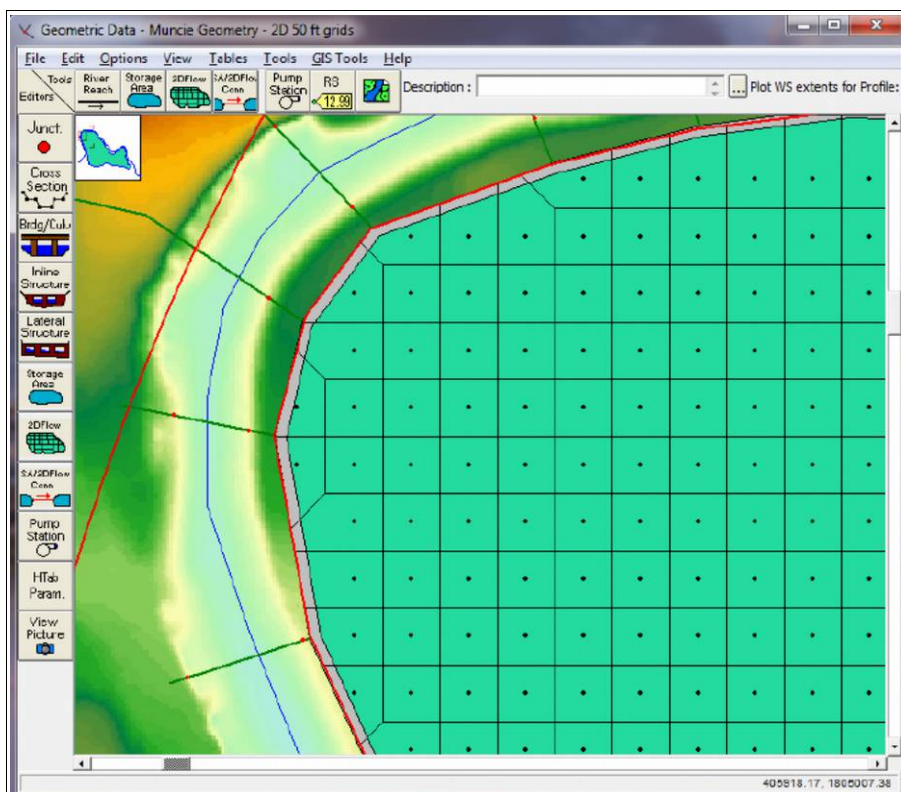


Fig. 20: Dettaglio della griglia di calcolo



### **3.2.– Studio idrologico**

Come precedentemente accennato è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione degli idrogrammi corrispondenti ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni.

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 delle piene è stato utilizzato il metodo del Muskingum-Cunge.

Di seguito saranno dapprima descritte le caratteristiche principali dei bacini idrografici e le formulazioni utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione per ciascun bacino idrografico. Successivamente saranno riportati i principali risultati ottenuti dalle diverse metodologie di calcolo utilizzate ed infine saranno riportate delle tabelle riassuntive di confronto dei valori di portata massima ottenuti.

### 3.2.1– 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 20 m. Per quanto riguarda la determinazione del tempo di corrivazione da assegnare ad ogni singolo sottobacino sono state utilizzate dapprima le 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

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

I risultati del calcolo dei tempi di corrivazione secondo le formulazioni sopra riportate sono riassunti in Tab. 14. In particolare, per il calcolo del tempo di corrivazione si è scelto di fare riferimento al valore medio ottenuto a partire dai valori calcolati considerando le formulazioni sopra specificate.

SOTTOBACINO	S (Kmq)	Tc (h)	T Lag (min)
SB_01	6.49	1.17	42.03
SB_02	1.37	0.65	23.34
SB_03	1.62	0.57	20.35
SB_04	1.47	0.89	31.86
SB_05	1.41	0.77	27.84
SB_06	1.69	0.82	29.39
SB_07	2.37	0.39	14.00
SB_08	1.96	1.25	44.96
SB_09	0.40	0.58	20.70
SB_10	0.37	0.75	27.00
SB_11	1.82	0.65	23.47
SB_12	0.17	1.31	47.10
SB_13	0.83	0.99	35.76
F.DELIA	202.00	6.02	216.00

Tabella 12: Valori del CN per i sottobacini di interesse.

Caratteristiche sottobacino	SB_01	SB_02	SB_03	SB_04	SB_05	SB_06	SB_07	SB_08	SB_09	SB_10	SB_11	SB_12	SB_13	F.DELIA
$L = \text{max dist percorso dall'acqua [Km]}$	4.05	1.39	0.92	3.62	2.94	4.04	3.43	2.89	1.44	1.24	3.22	0.92	2.19	32.00
$L_b = \text{lunghezza del bacino [Km]}$	2.44	0.82	0.72	2.70	2.54	3.50	2.91	2.72	1.32	1.24	2.63	0.83	0.50	2.21
$L_c = \text{lungh. dell'asta princ. [Km]}$	2.98	1.39	0.92	3.62	1.34	2.30	2.53	1.78	0.32	0.76	2.02	0.45	1.12	30.52
$H_f = \text{Quota della sezione di chiusura [m]}$	104.96	80.06	69.85	28.82	31.24	33.88	35.32	35.26	33.83	31.06	32.22	31.42	29.59	36.00
$C = \Delta H \text{ punto più lontano-foce [m]}$	112.36	86.89	93.34	100.58	100.73	132.24	128.29	118.32	84.53	49.21	91.56	3.85	32.31	675.00
$H_{max} = \text{Quota max sulla foce [m]}$	217.32	166.95	163.19	129.40	131.98	166.12	163.60	153.58	118.36	80.28	123.79	35.27	61.90	711.00
$H_m = \text{Quota media del bacino [m]}$	158.50	121.28	112.31	69.34	72.39	117.75	121.21	99.18	60.86	40.93	44.23	33.02	36.66	230.19
$V_m = \text{vel media corrente nell'asta [Km/h]}$	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
$A = \text{Area del bacino [Kmq]}$	6.49	1.37	1.62	1.47	1.41	1.69	2.37	1.96	0.40	0.37	1.82	0.17	0.83	202.00
$i = \text{pendenza media asta}$	0.018	0.017	0.011	0.011	0.007	0.038	0.033	0.019	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.022

Tabella 13: Caratteristiche principali dei sottobacini oggetto di studio

Tempi di corrivazione [h]	SB_01	SB_02	SB_03	SB_04	SB_05	SB_06	SB_07	SB_08	SB_09	SB_10	SB_11	SB_12	SB_13	F.DELIA
<i>Puglisi</i> $t_c = 6 L^{0.67} \cdot H_m^{(-0.33)}$	2.58	1.69	1.25	3.04	1.57	2.05	2.21	1.80	0.63	1.37	2.13	2.23	2.03	6.68
<i>Ogrosky</i> $t_c = 0.914 L^{1.15} C^{(-0.38)}$	0.76	0.25	0.15	0.70	0.55	0.71	0.60	0.51	0.26	0.27	0.63	0.50	0.60	4.14
<i>Pasini</i> $t_p = 0.108 \cdot (A \cdot L_c)^{(1/3)} / C^{0.05}$	2.13	1.02	1.18	1.77	1.57	0.87	1.08	1.19	0.77	1.07	3.11	0.97	2.48	13.32
<i>Giantotti</i> $t_p = (4 \cdot \text{radq}(A) + 1.5 \cdot L_c) / (0.8 \cdot \text{radq}(H))$	1.46	0.77	0.76	1.54	0.99	1.00	1.13	1.04	0.48	0.70	1.58	0.50	1.10	8.46
<i>Kirpich</i> $t_p = 0.066 L_c^{(-0.77)} [1000 \cdot L_c / 0.8(H_m - H_f)]^{0.385}$	0.59	0.27	0.16	0.77	0.24	0.41	0.46	0.32	0.05	0.17	0.41	0.24	0.31	4.34
<i>Pezzoli</i> $t_p = 0.055 \cdot L_c^{0.05}$	1.21	0.58	0.48	1.87	0.87	0.65	0.77	0.71	0.25	0.63	2.07	0.52	1.44	11.29
<i>Horton</i> $t_p = 3.6 \cdot L_c^{0.5}$	0.99	0.46	0.31	1.21	0.45	0.77	0.84	0.59	0.11	0.25	0.67	0.15	0.37	10.17
<i>FAO</i> $t_p = L / 15 H_m^{0.38}$	0.36	0.18	0.12	0.53	0.20	0.31	0.34	0.24	0.05	0.13	0.30	0.11	0.22	2.32
<i>Kerby</i> $t_p = (0.342 \cdot L^{0.8} \cdot C^{0.5})^{0.467}$	0.43	0.61	0.66	0.35	0.51	0.58	0.53	0.55	0.91	0.59	0.34	0.64	0.40	0.15
media	1.17	0.65	0.57	1.31	0.77	0.82	0.89	0.77	0.39	0.58	1.25	0.65	0.99	6.02
Tlag (min)	42.03	23.34	20.35	47.10	27.74	29.39	31.86	27.84	14.00	20.70	44.96	23.47	35.76	216.63

Tabella 14: Valori del tempo di corrivazione ottenuti dalle varie formulazioni

## **METODO SCS**

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

Per ciascuno dei sottobacini individuati sono stati determinati i parametri caratteristici utili ai fini della modellazione idrologica, così come riportato nelle Tabb 12 13 e 14.

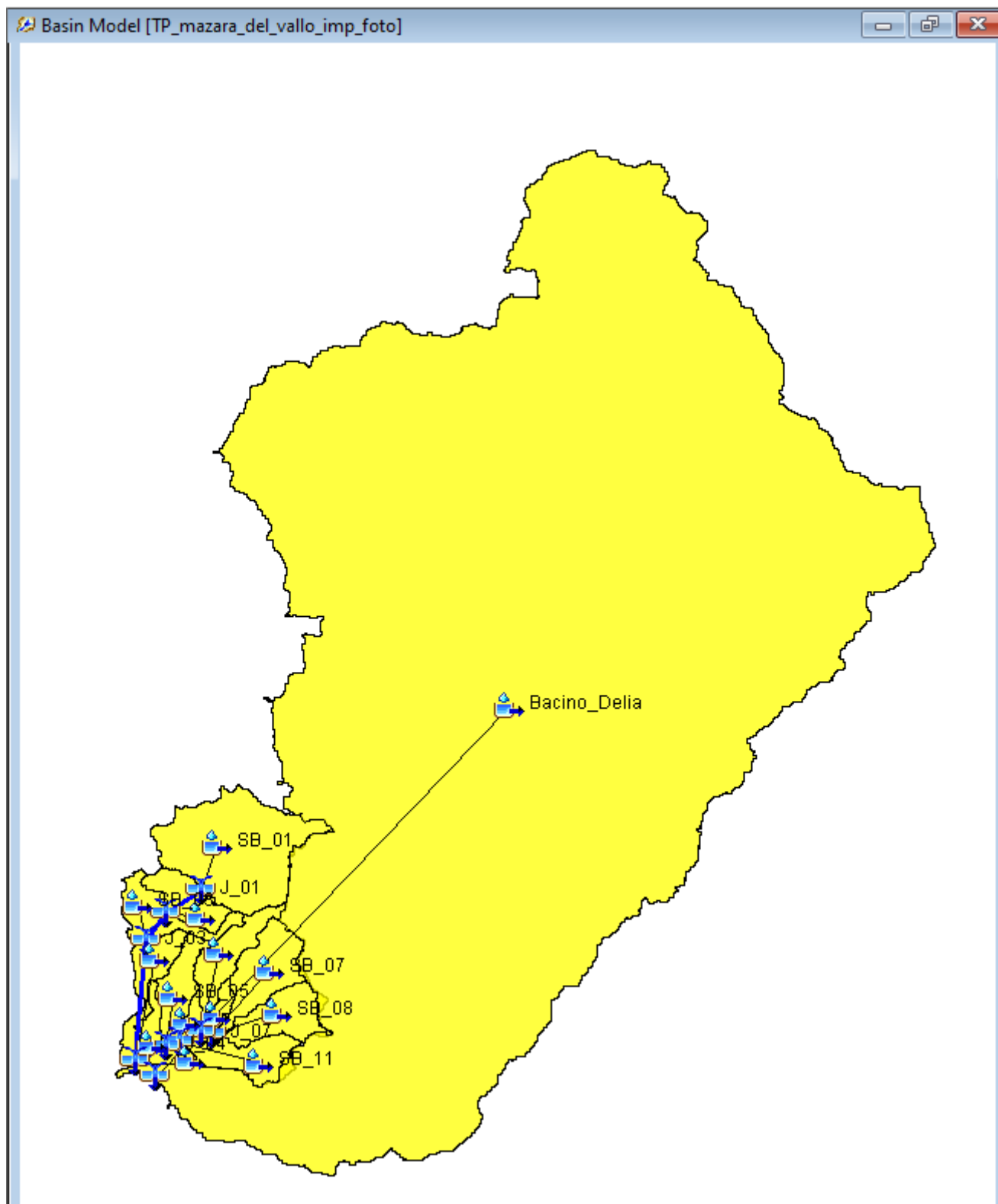


Fig. 21: Modellazione idrologica – Schematizzazione bacino idrografico nel software HEC-HMS

### 3.2.2– Risultati ottenuti

#### Separazione delle piogge

Nell'applicazione del metodo del CN al caso oggetto di studio, considerata l'uniformità in termini di valore del Curve Number nei sottobacini individuati all'interno del dominio di calcolo, si è ritenuto necessario assumere un unico valore del CN pari a 88 per massimizzare la risposta idrologica dei bacini in esame.

#### 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	S (Kmq)	Tc (h)	T Lag (min)
SB_01	6.49	1.17	42.03
SB_02	1.37	0.65	23.34
SB_03	1.62	0.57	20.35
SB_04	1.47	0.89	31.86
SB_05	1.41	0.77	27.84
SB_06	1.69	0.82	29.39
SB_07	2.37	0.39	14.00
SB_08	1.96	1.25	44.96
SB_09	0.40	0.58	20.70
SB_10	0.37	0.75	27.00
SB_11	1.82	0.65	23.47
SB_12	0.17	1.31	47.10
SB_13	0.83	0.99	35.76
F.DELIA	202.00	6.02	216.00

Tabella 15: Tempi di ritardo dei sottobacini

#### Stima dei deflussi

Sulla base della schematizzazione del bacino idrografico adottata per i sottobacini minori oggetto di studio e dei dati di pioggia ottenuti come specificato in precedenza si è proceduto alla simulazione idrologica degli eventi di pioggia con tempo di ritorno rispettivamente di 200 anni e durata di 2 ore, si ritiene infatti che tale durata sia in grado di massimizzare i volumi di deflusso in gioco e considerate le caratteristiche di deflusso nella zona anche i battenti nell'area oggetto di intervento. Per quanto riguarda il bacino del Fiume Delia è stato invece fatto riferimento ad un evento caratterizzato da una durata di pioggia di 6 ore tenuto conto dalla maggiore estensione del bacino stesso.

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, tempo di picco e volume ottenuti per i vari elementi del modello idrologico considerato, vedi Tab. 16.

Nelle figure riportate nelle pagine a seguire sono riportati i risultati principali ottenuti dalla modellazione idrologica condotta con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni. In particolare sono stati riportati gli idrogrammi dei bacini SB08, SB11 e del bacino del F. Delia, che sono stati inseriti come condizione al contorno nel modello idraulico, rispettivamente per il tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni, mentre infine sono riportati gli ietogrammi di precipitazione totale, netta e persa, sempre per i quattro tempi di ritorno considerati.

TR 200 ANNI				
ELEMENTO IDROLOGICO	S (Kmq)	Q (mc/s)	T picco	Volume (*1000mc)
BACINO DELIA	202.00	859.90	01gen2022. 07:00	81
CHIUSURA DELIA	202.00	859.90	01gen2022. 07:00	81
J_01	6.49	77.20	01gen2022. 02:00	58
J_02	7.86	90.20	01gen2022. 01:45	58
J_03	9.48	106.60	01gen2022. 01:45	59
J_04	10.19	125.20	01gen2022. 01:45	56
J_05	8.61	110.90	01gen2022. 01:45	58
J_06	6.42	91.00	01gen2022. 01:45	58
J_07	4.33	62.70	01gen2022. 01:45	58
SB_01	6.49	77.20	01gen2022. 02:00	58
SB_02	1.37	22.80	01gen2022. 01:30	58
SB_03	1.62	28.80	01gen2022. 01:30	58
SB_04	1.47	16.90	01gen2022. 02:00	58
SB_05	1.41	20.80	01gen2022. 01:30	58
SB_06	1.69	24.70	01gen2022. 01:45	58
SB_07	2.37	33.90	01gen2022. 01:45	58
SB_08	1.96	28.90	01gen2022. 01:30	58
SB_09	0.4	7.40	01gen2022. 01:30	58
SB_10	0.37	6.50	01gen2022. 01:30	58
SB_11	1.82	21.30	01gen2022. 02:00	58
SB_12	0.17	2.80	01gen2022. 01:30	58
SB_13	0.83	11.30	01gen2022. 01:45	58
TRONCO_01	6.49	77.20	01gen2022. 02:00	59
TRONCO_02	7.86	89.90	01gen2022. 02:00	59
TRONCO_03	9.48	102.60	01gen2022. 02:00	58
TRONCO_04	4.33	62.00	01gen2022. 01:45	58
TRONCO_05	6.42	85.70	01gen2022. 01:45	57
TRONCO_06	8.61	102.00	01gen2022. 01:45	55
TRONCO_07	10.19	100.90	01gen2022. 01:45	50

Tabella 16: Output modellazione idrologica Tr 200 anni

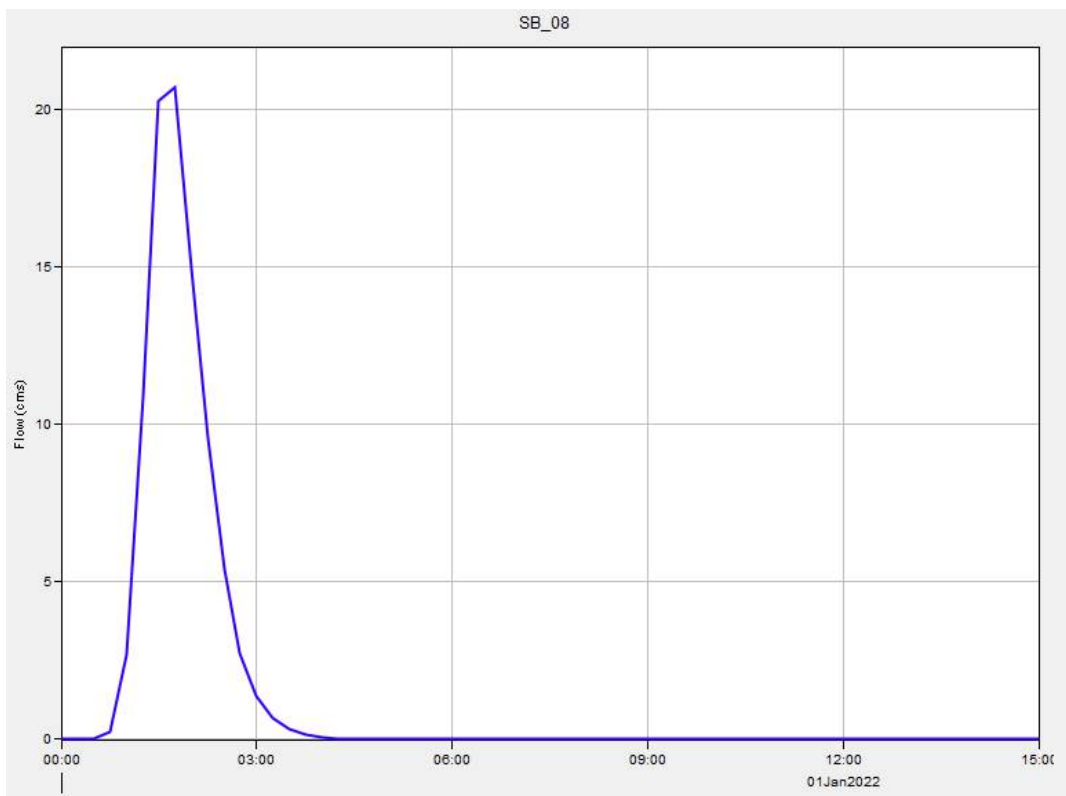


Fig. 22: Modellazione idrologica: Idrogramma SB08 per TR 50 anni

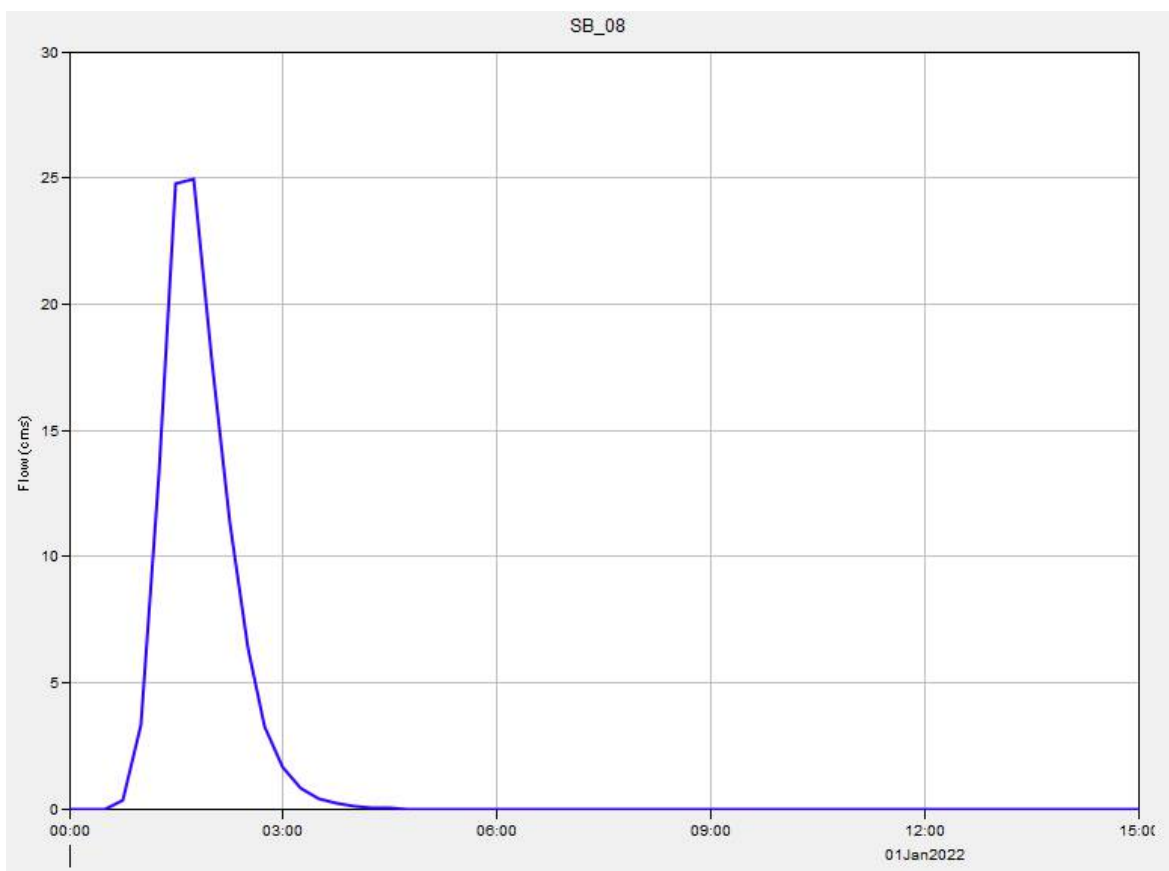


Fig. 23: Modellazione idrologica: Idrogramma SB08 per TR 100 anni

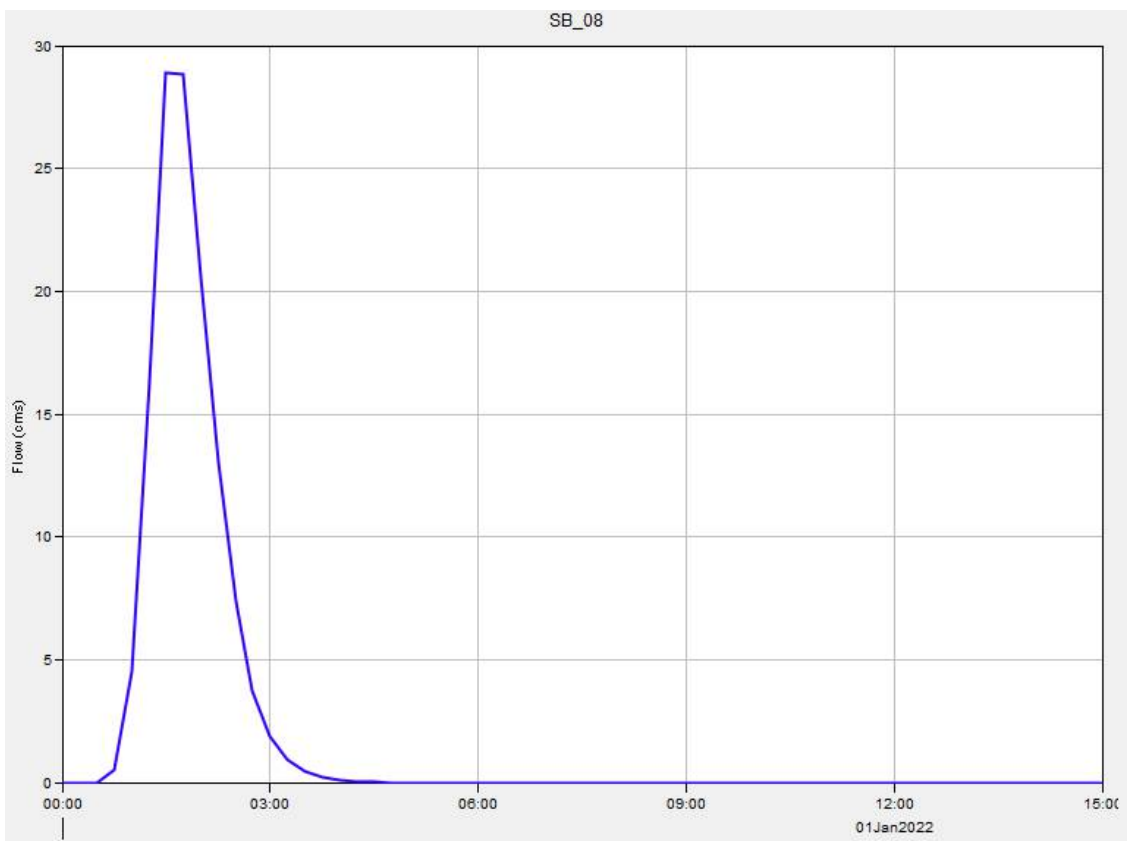


Fig. 24: Modellazione idrologica: Idrogramma SB08 per TR 200 anni

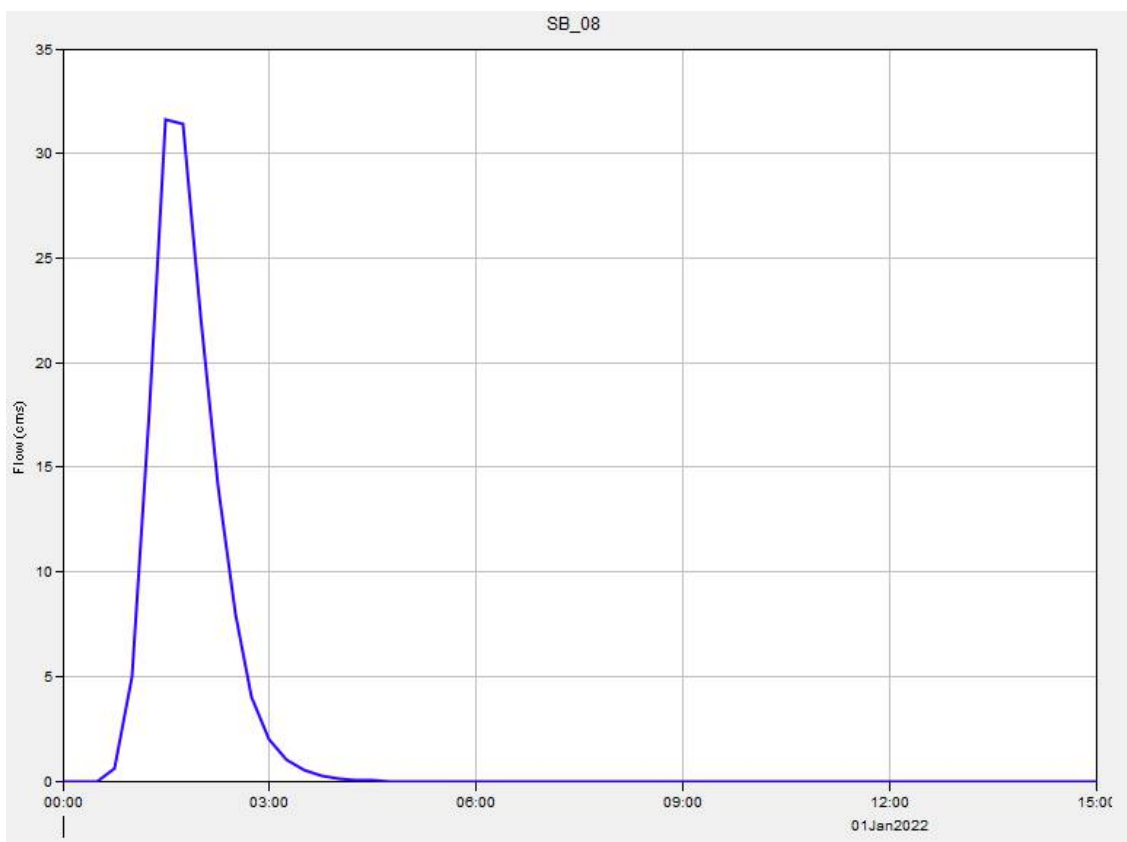


Fig. 25: Modellazione idrologica: Idrogramma SB08 per TR 300 anni



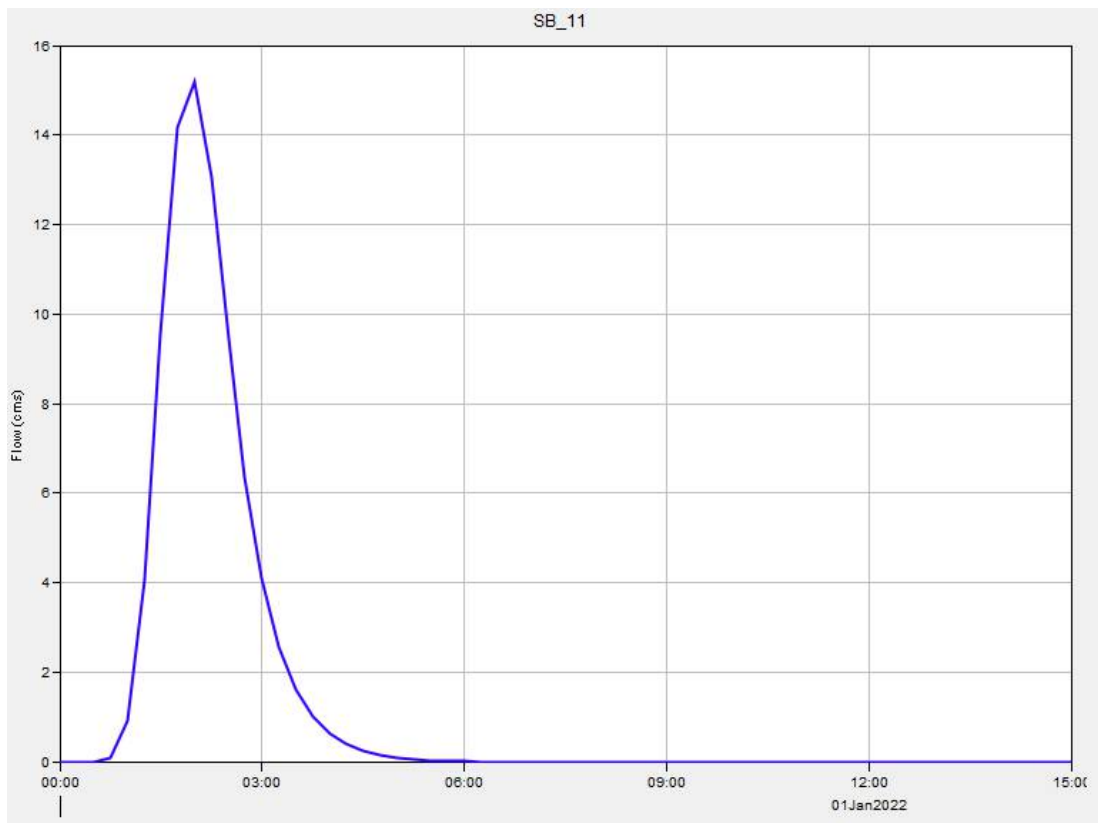


Fig. 26: Modellazione idrologica: Idrogramma SB11 per TR 50 anni

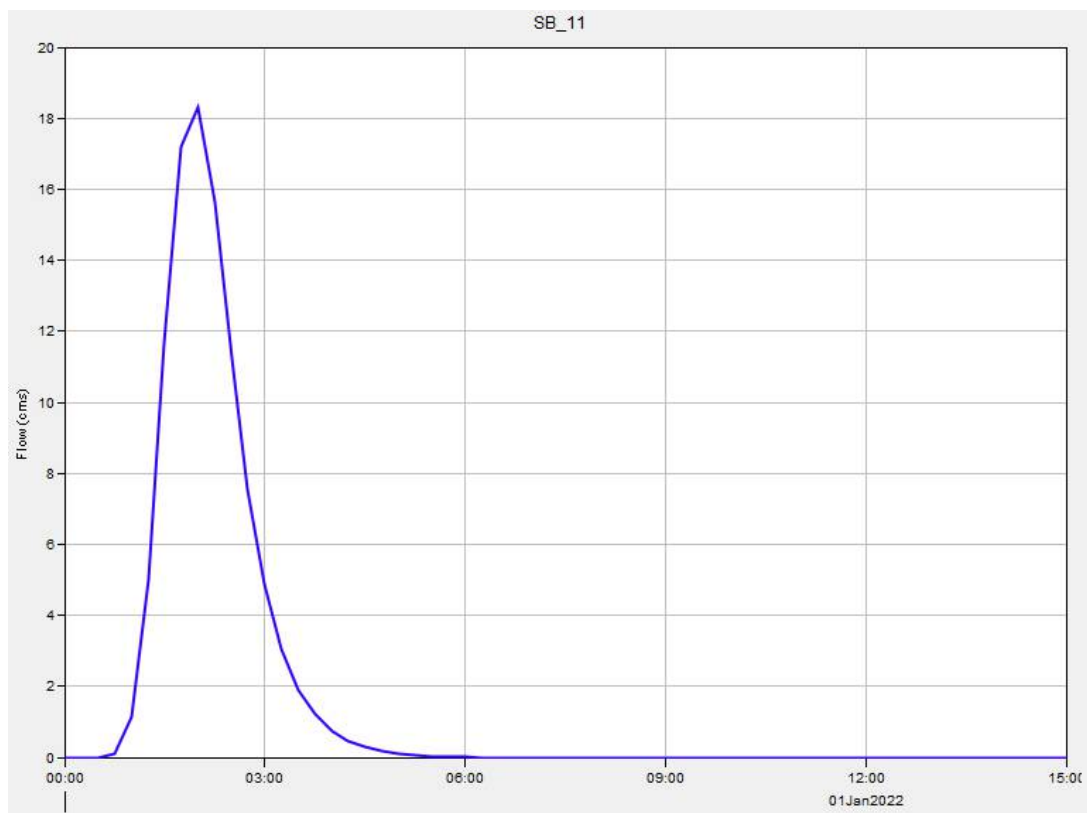


Fig. 27: Modellazione idrologica: Idrogramma SB11 per TR 100 anni

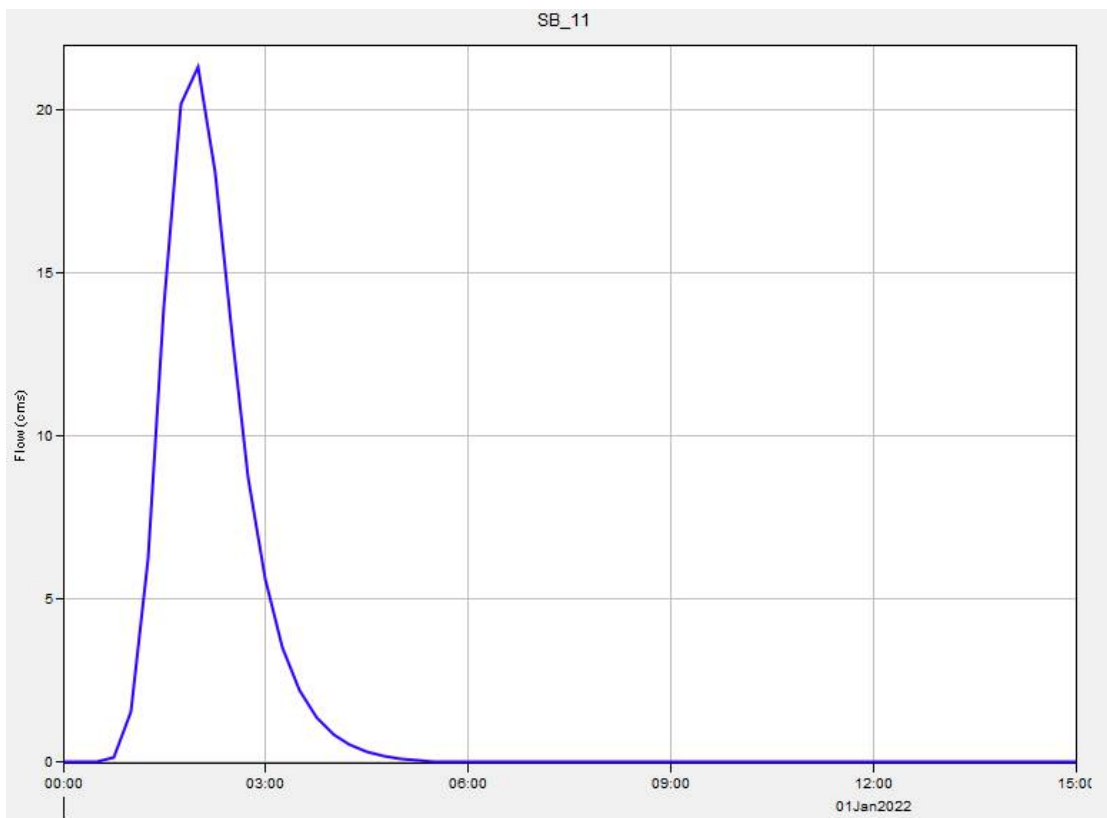


Fig. 28: Modellazione idrologica: Idrogramma SB11 per TR 200 anni

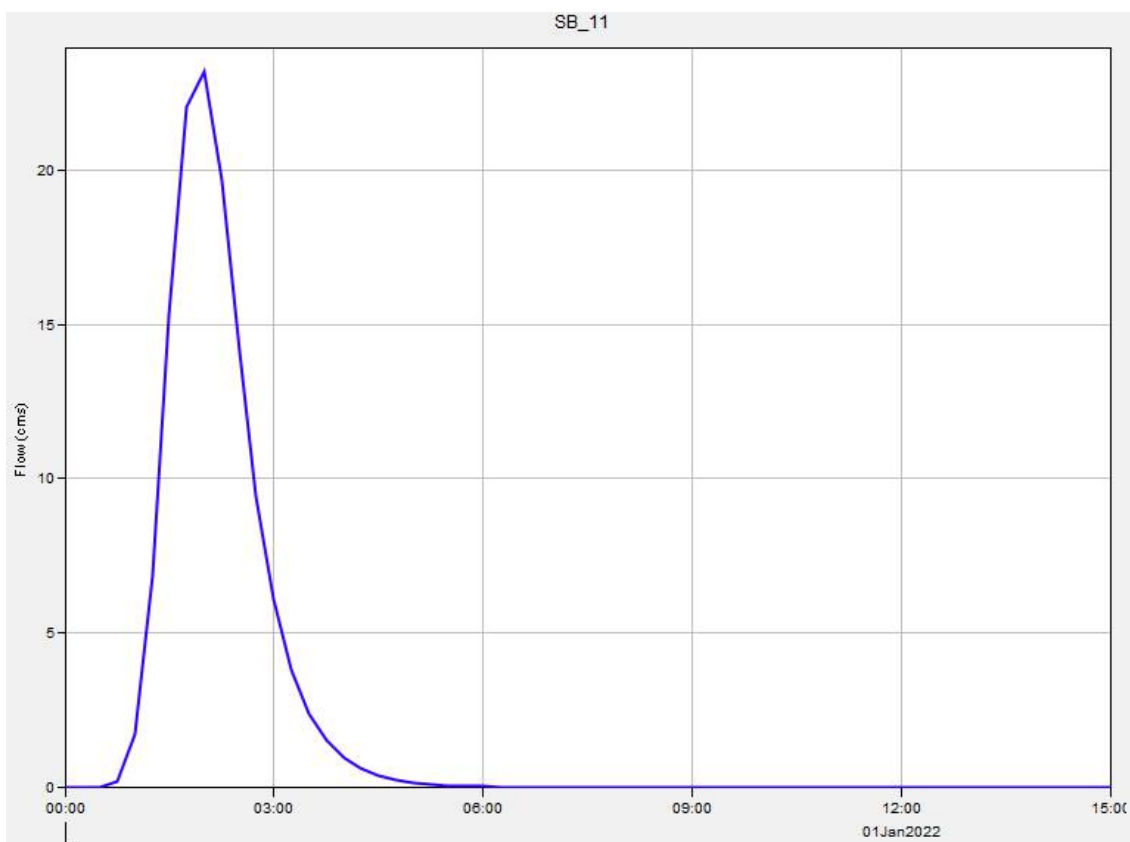


Fig. 29: Modellazione idrologica: Idrogramma SB11 per TR 300 anni

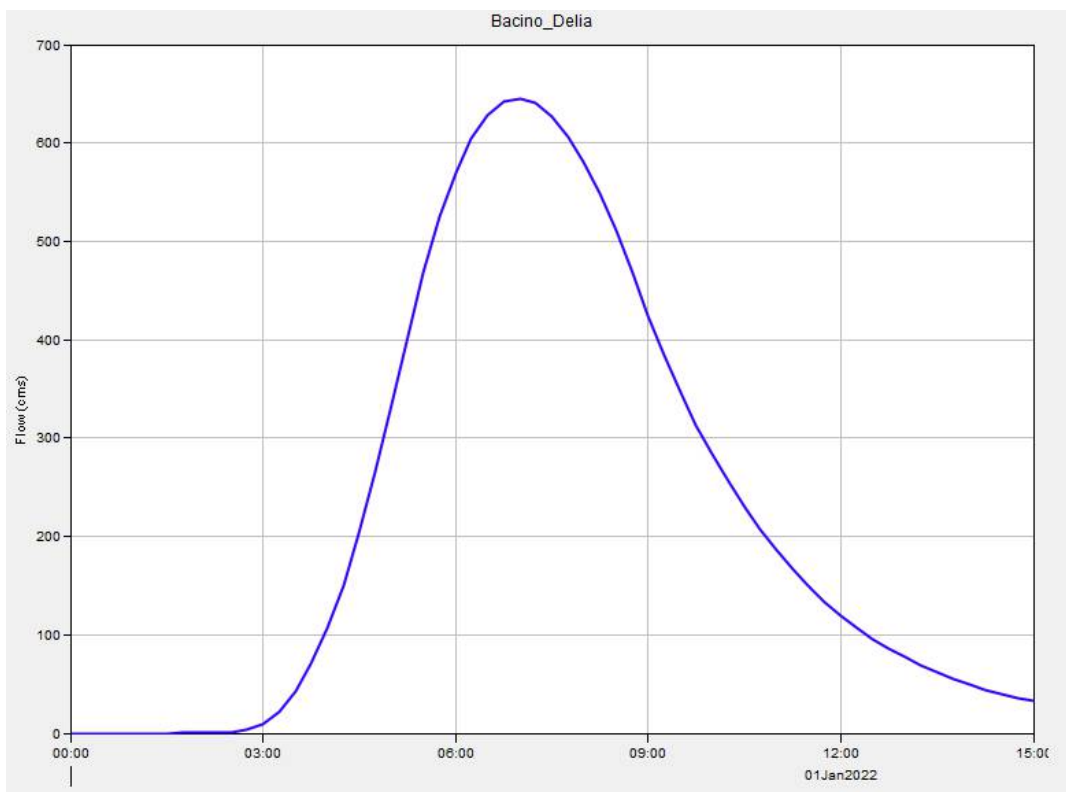


Fig. 30: Modellazione idrologica: Idrogramma F. Delia per TR 50 anni

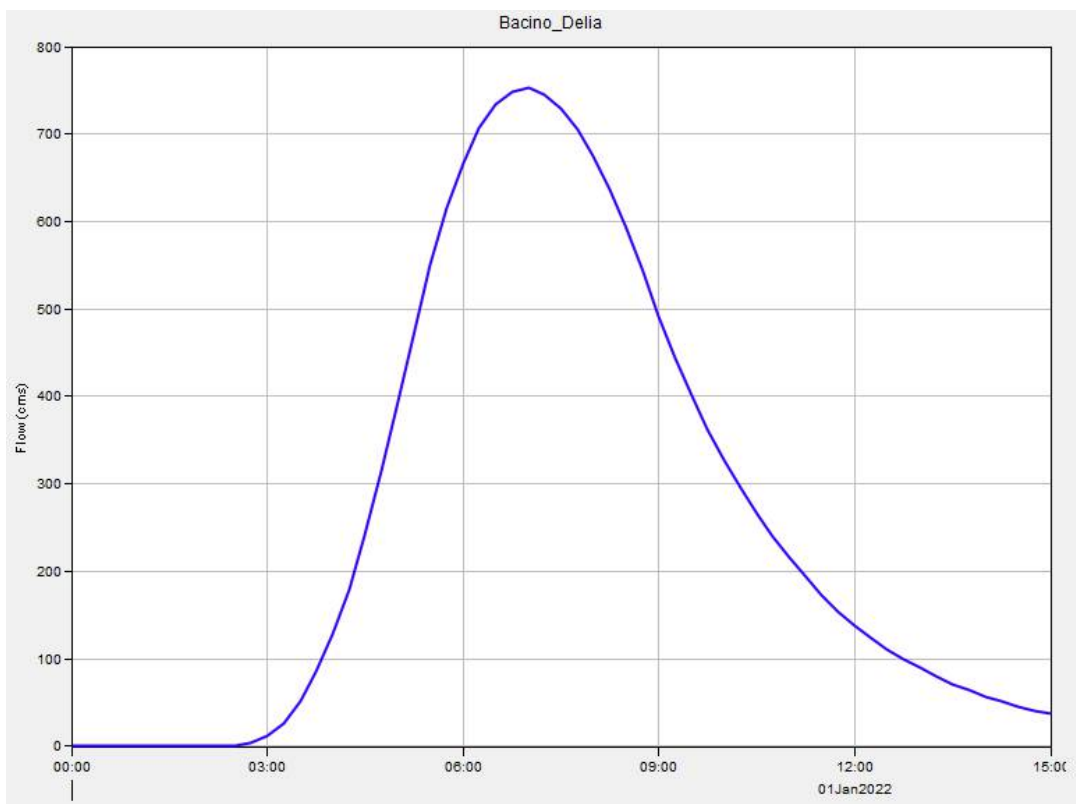


Fig. 31: Modellazione idrologica: Idrogramma F. Delia per TR 100 anni

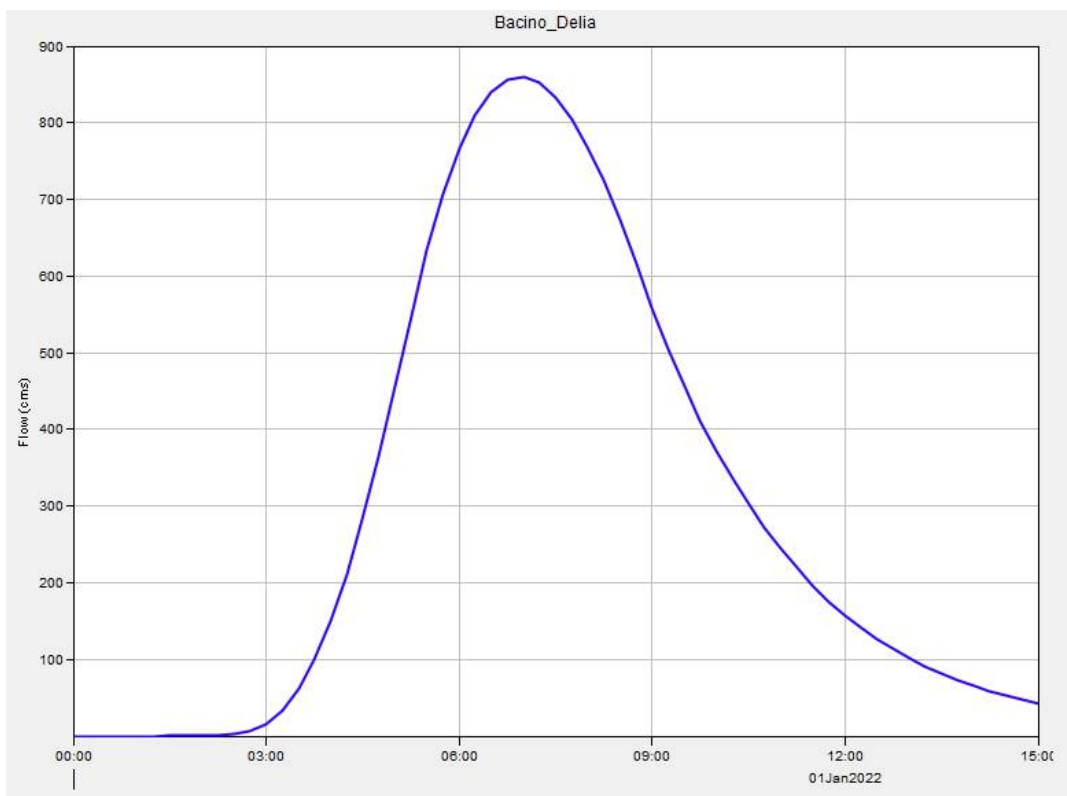


Fig. 32: Modellazione idrologica: Idrogramma F. Delia per TR 200 anni

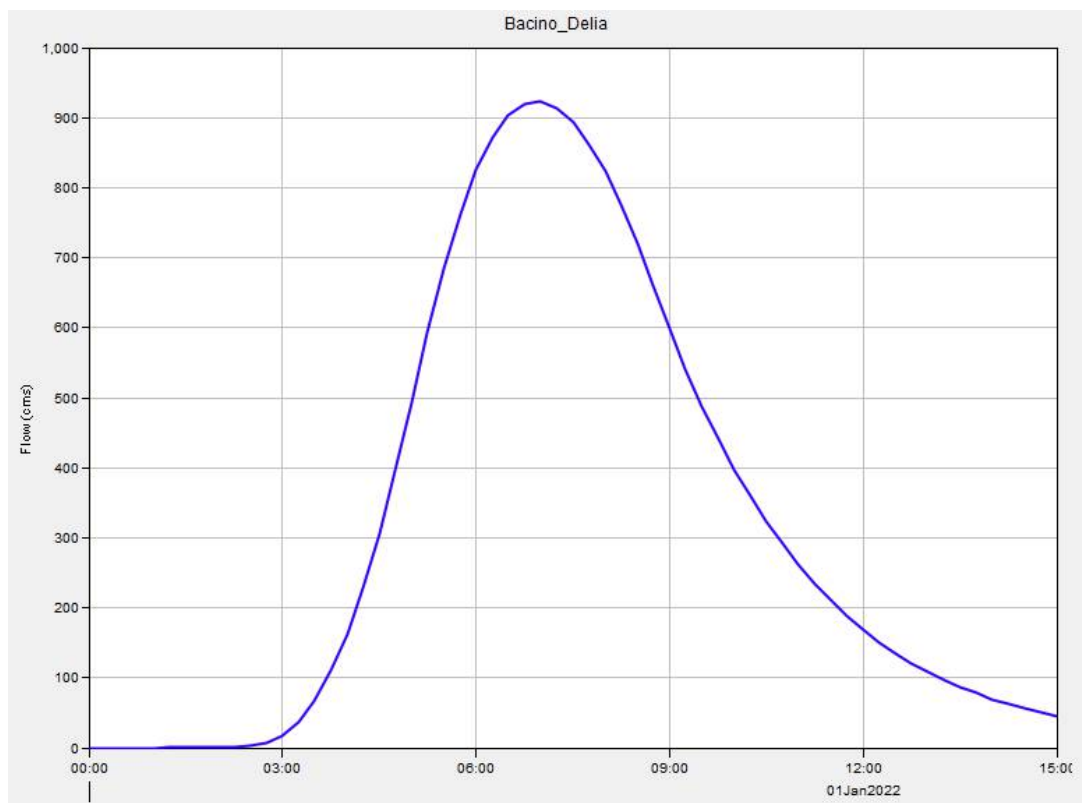


Fig. 33: Modellazione idrologica: Idrogramma F. Delia per TR 300 anni

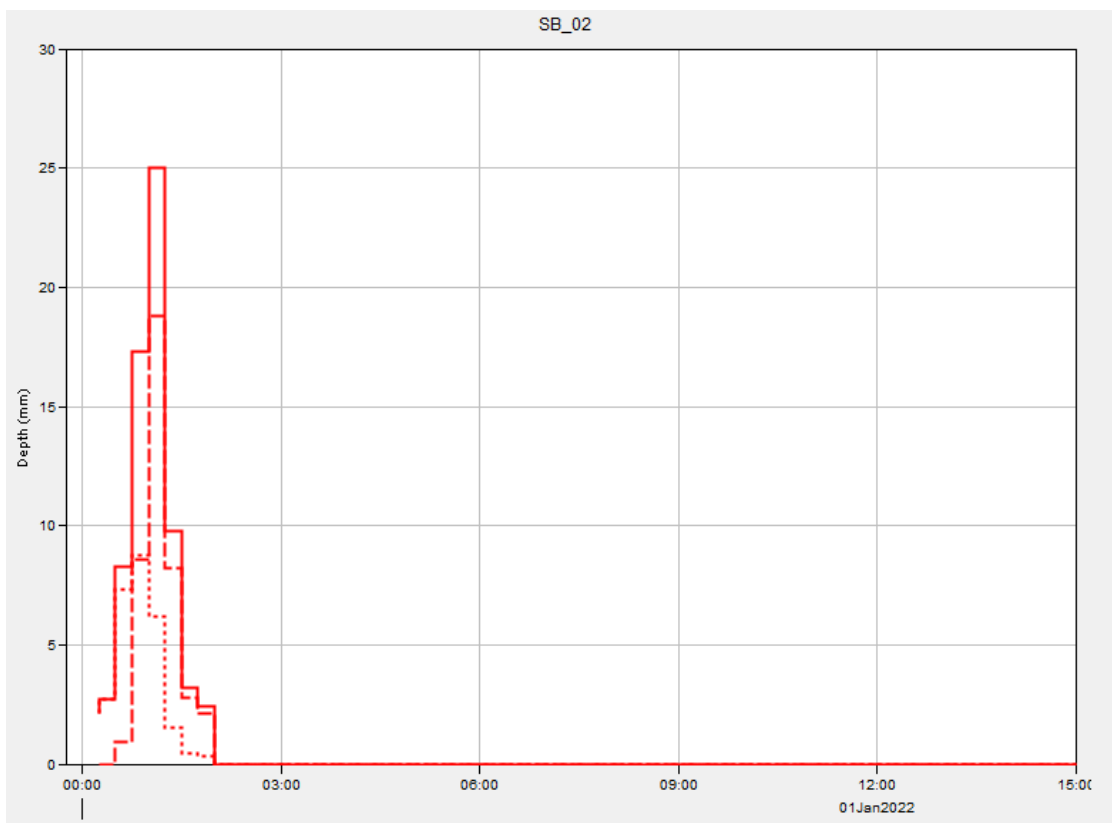


Fig. 34: Modellazione idrologica: letogramma di progetto per TR 50 anni, sottobacino SB\_02

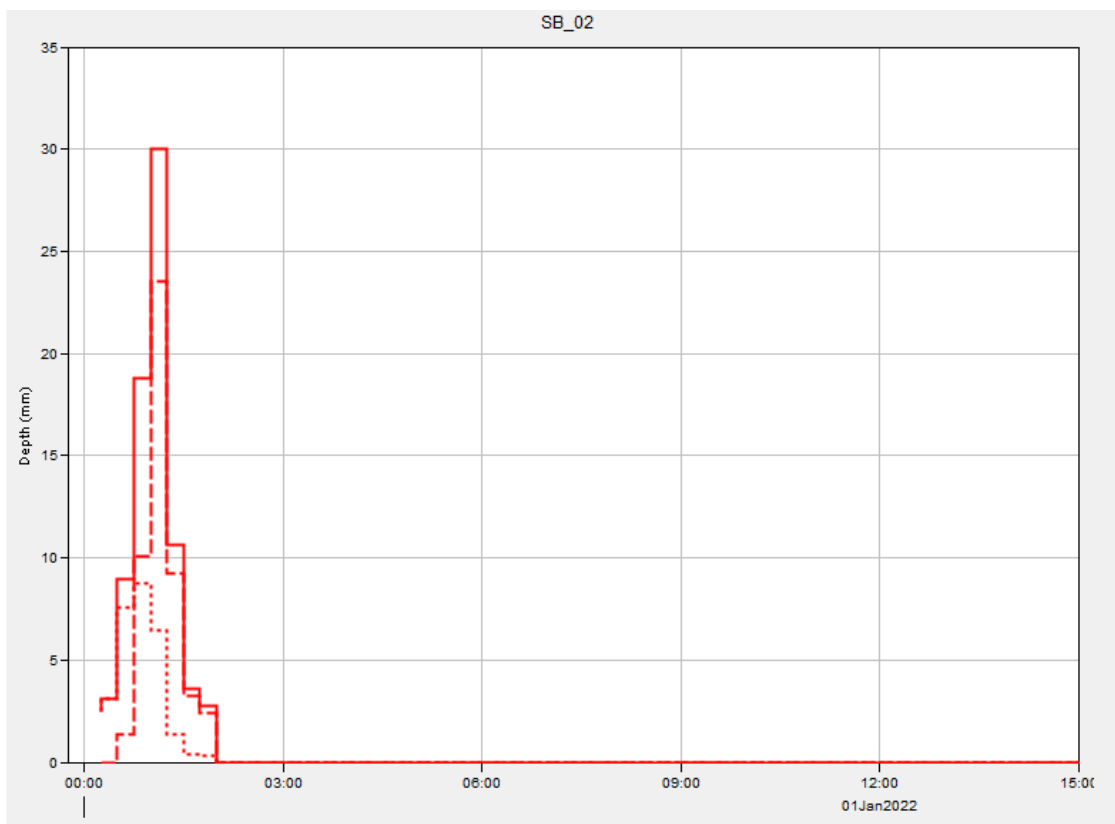


Fig. 35: Modellazione idrologica: letogramma di progetto per TR 100 anni, sottobacino SB\_02

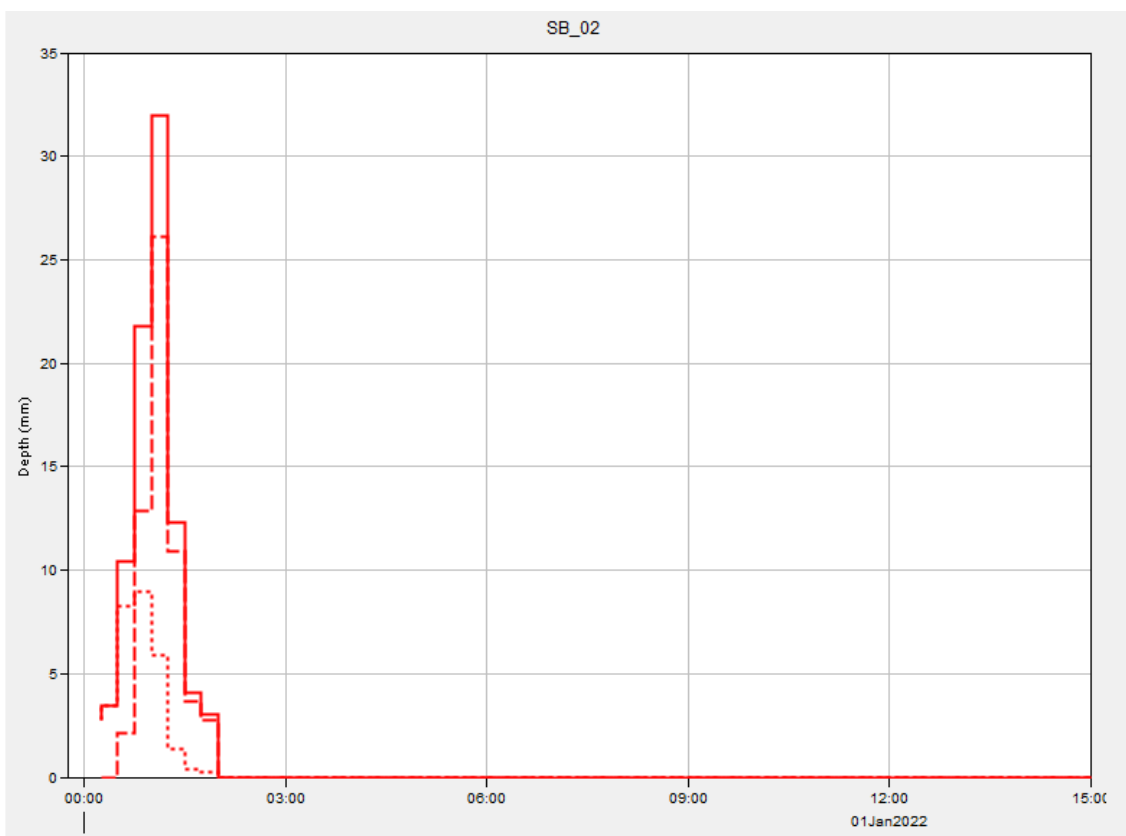


Fig. 36: Modellazione idrologica: letogramma di progetto per TR 200 anni, sottobacino SB\_02

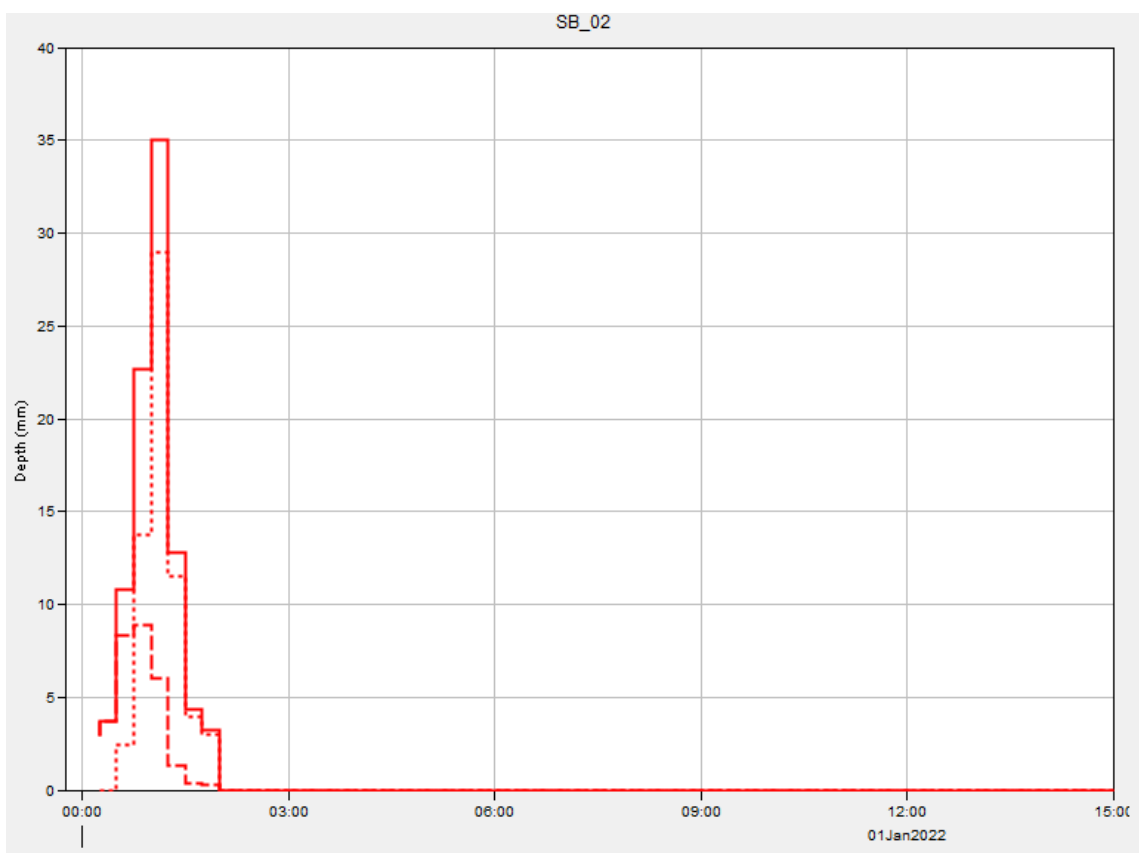


Fig. 37: Modellazione idrologica: letogramma di progetto per TR 300 anni, sottobacino SB\_02

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

Nel corso di questo paragrafo saranno descritte le metodologie utilizzate nell'ambito dell'implementazione del modello idraulico della zona di interesse per le condizioni di stato attuale, facendo riferimento agli input idraulici da assegnare come condizioni al contorno al modello e successivamente saranno riportate alcune riflessioni riguardanti i risultati ottenuti dalla modellazione numerica.

#### **3.3.1 – Verifica idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D)**

##### ***Implementazione modellistica***

All'interno del dominio di calcolo il modello digitale del terreno è stato definito con una maglia 20X20 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. Nel caso in esame si è proceduto con l'implementazione di un modello bidimensionale (2D) per lo studio della propagazione dei deflussi all'interno delle aree che interessano i lotti su cui sorgeranno gli impianti fotovoltaici, come riportato nella Fig. 39. Gli attraversamenti presenti all'interno del dominio di calcolo sono stati considerati e opportunamente implementati nella geometria bidimensionale attraverso l'inserimento di connections.

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi dei bacini SB\_08, SB\_11 e del Bacino idrografico del Fiume Delia, ricavati dalla modellazione idrologica di cui al paragrafo 3.2 e la precipitazione netta distribuita sull'intera area. A tal proposito nella Fig. 38 si riporta una immagine estratta dal software HEC-RAS che mostra gli idrogrammi utilizzati come input nella modellazione idraulica. Come precedentemente accennato, oltre agli idrogrammi di piena, è stato utilizzato lo ietogramma di precipitazione netta ricavato nell'ambito della modellazione idrologica, in modo da investigare nei riguardi dei deflussi che si possono instaurare nelle aree su cui sorgeranno gli impianti fotovoltaici a seguito di eventi meteorici con un tempo di ritorno pari a 50, 100, 200 e 300 anni. A riguardo è stato utilizzato lo ietogramma di precipitazione netta del bacino SB02 in quanto ritenuto il più cautelativo e rappresentativo per la zona di interesse.

Ulteriori condizioni al contorno sono state inserite 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 media pari a 0.01%.

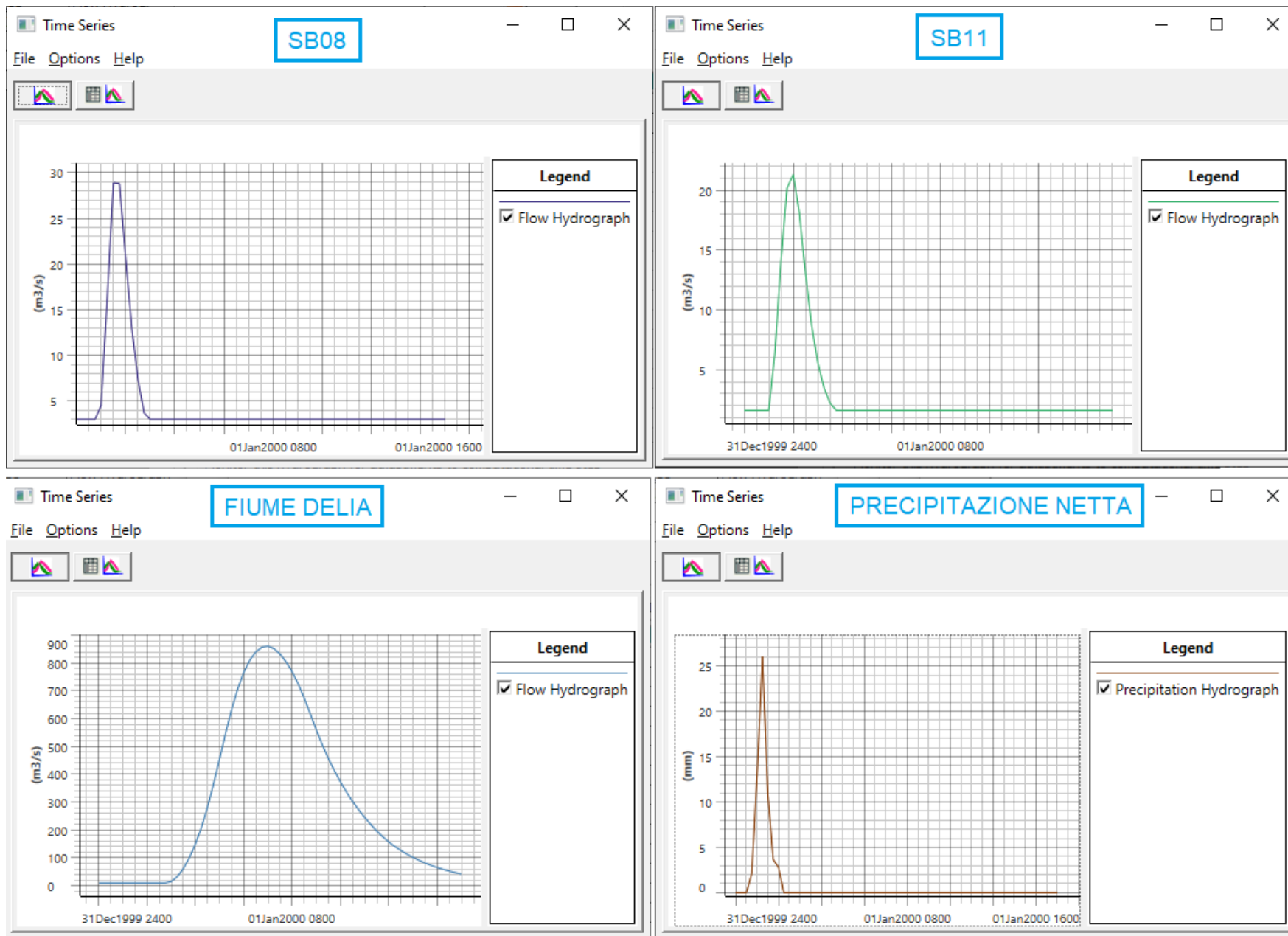


Fig. 38: Input modellazione idraulica in HEC-RAS – Idrogrammi SB08, SB11 , Fiume Delia e ietogramma precipitazione netta in ingresso al modello per Tr 200 anni



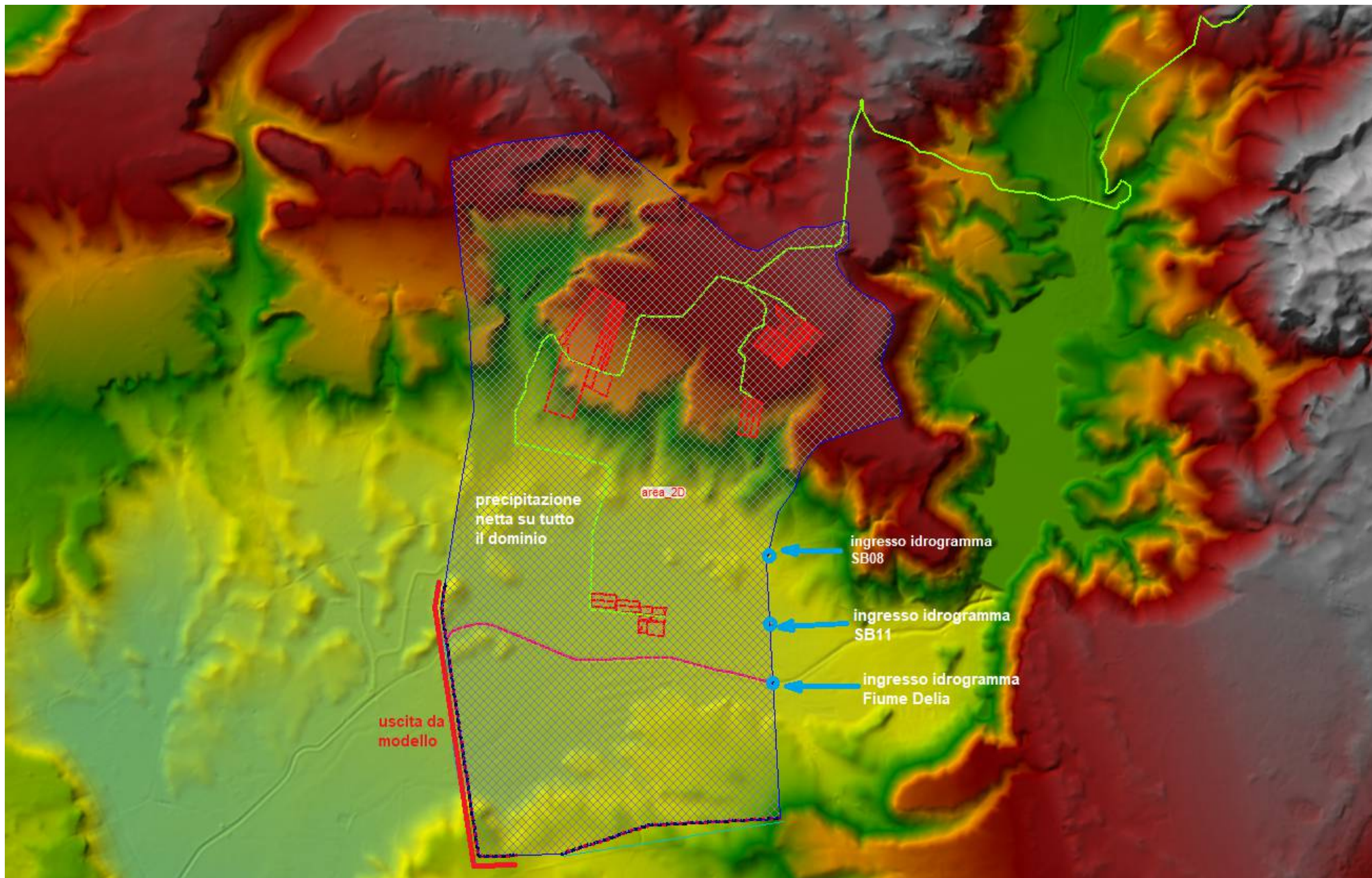


Fig. 39: Implementazione del modello idraulico e schematizzazione degli input da assegnare come condizione al contorno

## **Risultati modellazione idraulica bidimensionale**

Le simulazioni effettuate con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 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 determinare 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 nel caso di evento con assegnato tempo di ritorno.

I risultati ottenuti nello stato attuale mostrano come gli allagamenti più importanti avvengano negli intornoi Fiume Delia e del Torrente Madonna Giovanna il quale, per via delle sue ridotte dimensioni, non riesce a smaltire correttamente deflussi che si generano a seguito degli eventi. Questi allagamenti interessano unicamente i lotti situati nei pressi della Contrada Dagala Fonda, per i quali, con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni, si registrano valori massimi del battente che in alcuni punti supera anche il metro e velocità massime associate dell'ordine dei 0.75 m/s.

Tali allagamenti tuttavia non interessano le altre aree destinate alla realizzazione degli impianti fotovoltaici (Garufo e Grimesi1 e 2 ) che si trovano peraltro morfologicamente rialzate rispetto all'alveo naturale. Gli unici allagamenti riscontrati in tali aree di interesse non derivano dalle esondazioni del Torrente ma dal ruscellamento delle acque meteoriche sul piano campagna.

Nelle Figg. 40, 41, 42 e 43 sono riportate le mappe degli allagamenti in termini di battenti massimi che si instaurano sull'area di interesse relativamente ai tempi di ritorno 50, 100, 200 e 300 anni, mentre nelle Figg. 44, 45, 46 e 47 sono riportate le mappe degli allagamenti relative agli stessi tempi di ritorno questa volta però in termini di velocità massime generate dalla corrente durante l'allagamento.

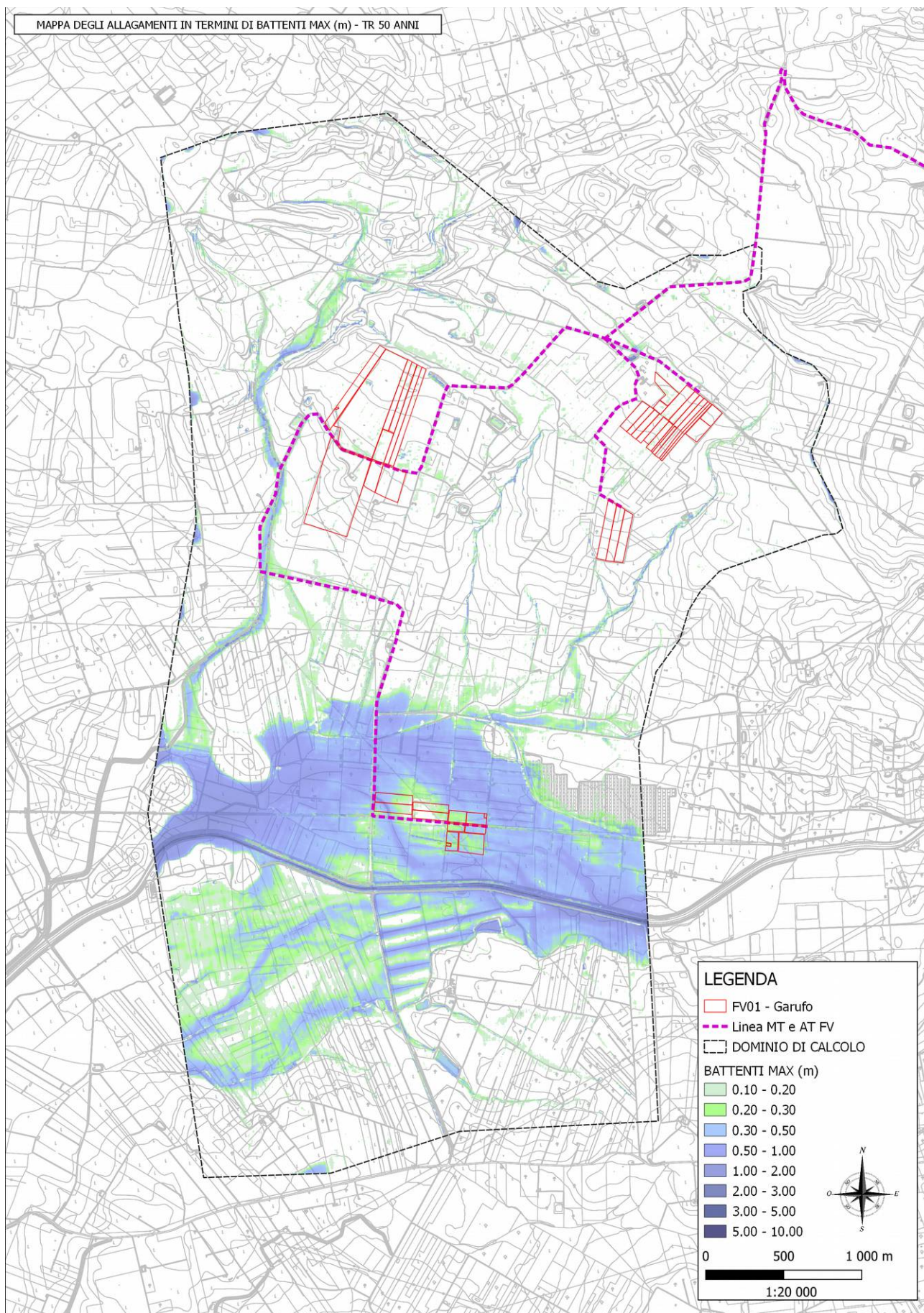


Fig. 40: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 50$  anni

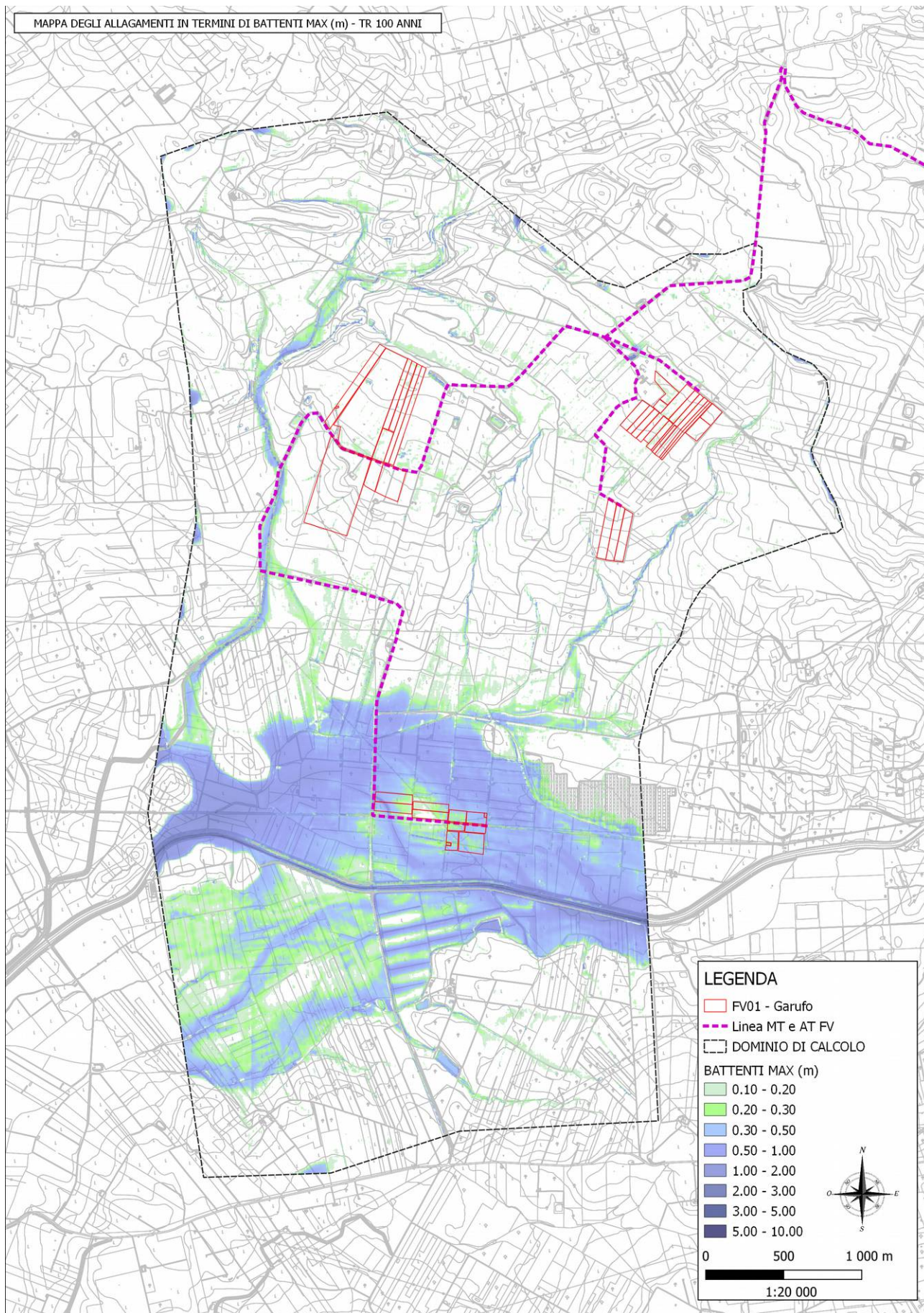


Fig. 41: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 100$  anni

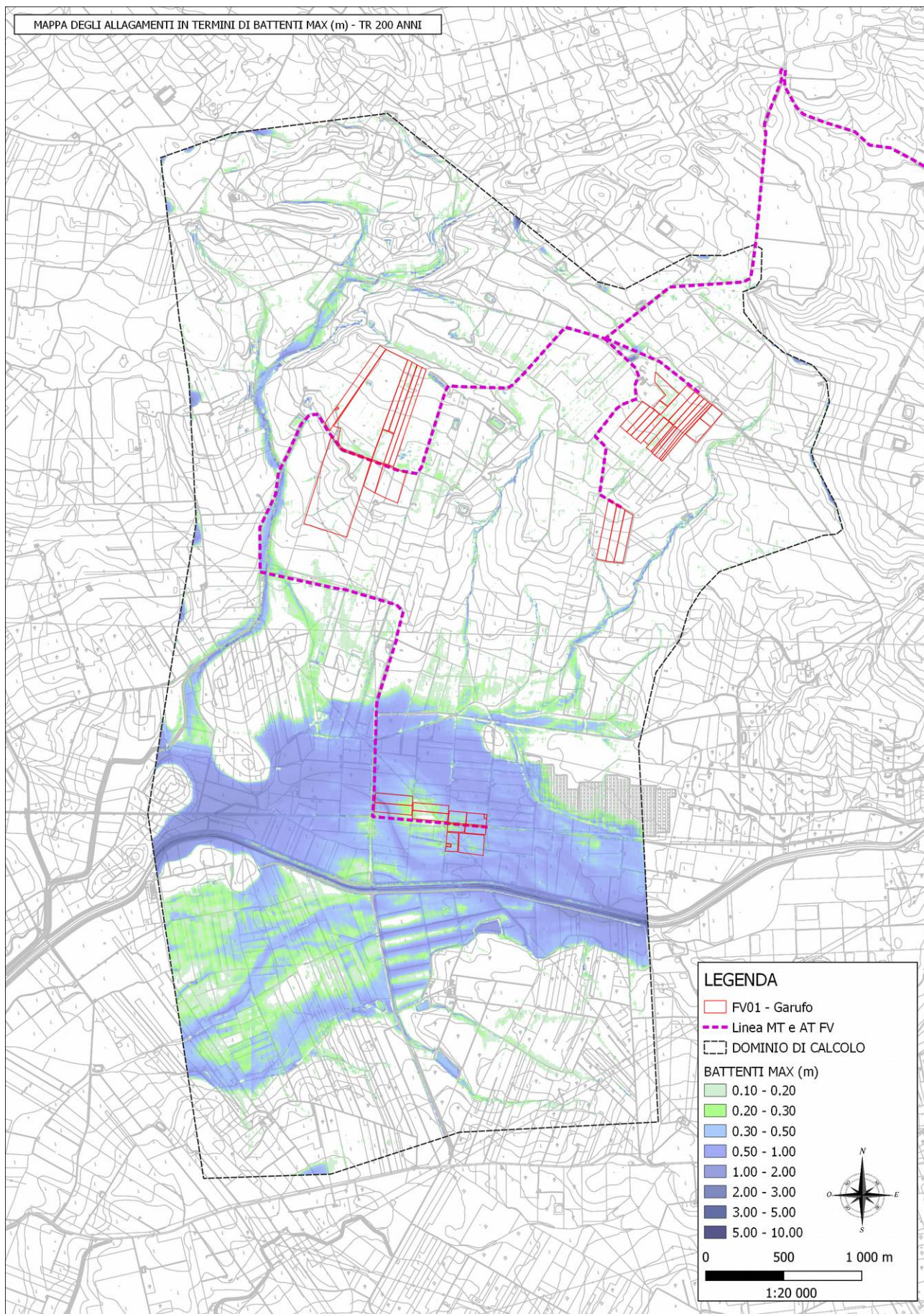


Fig. 42: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni

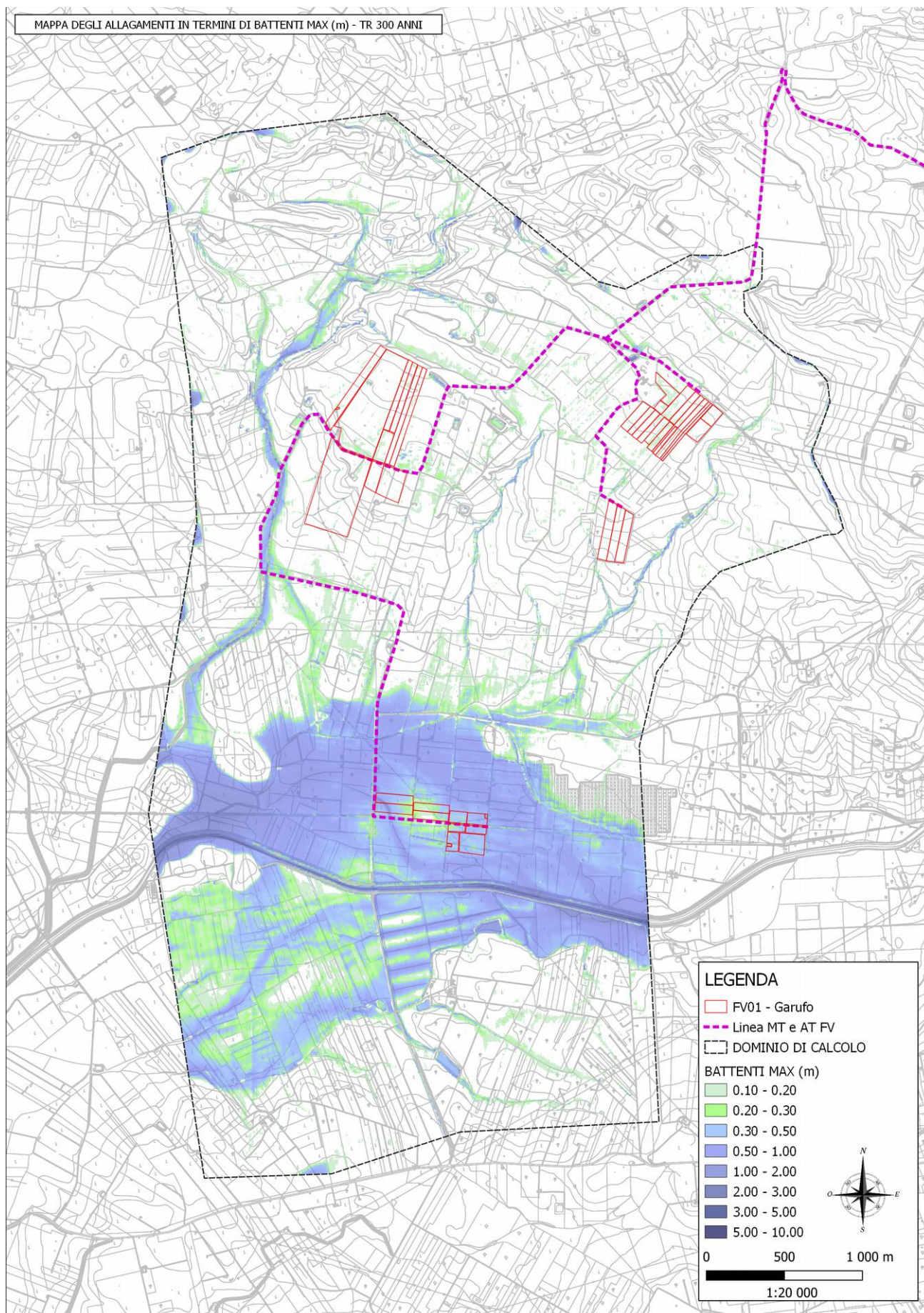


Fig. 43: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 300$  anni

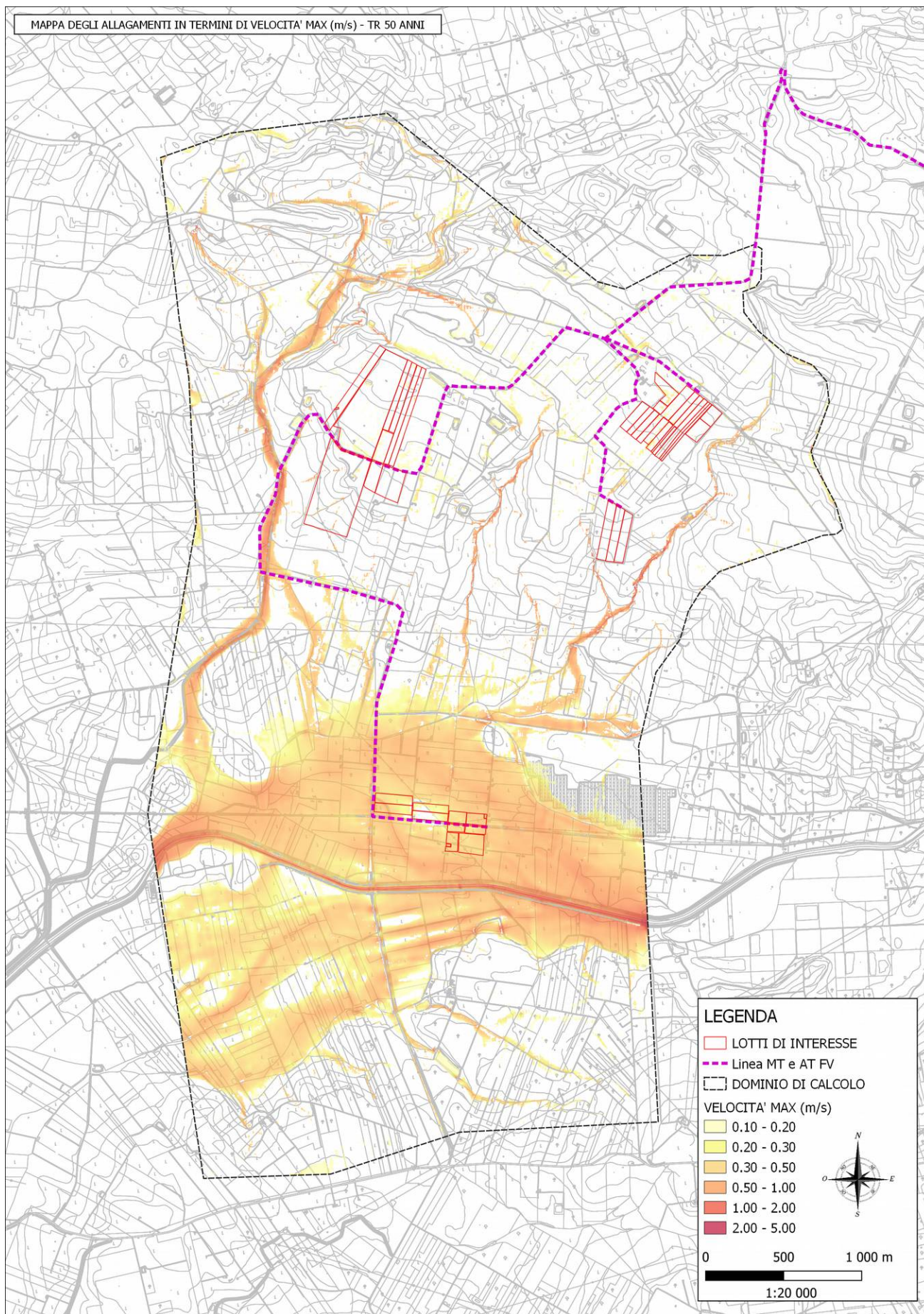


Fig. 44: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 50$  anni

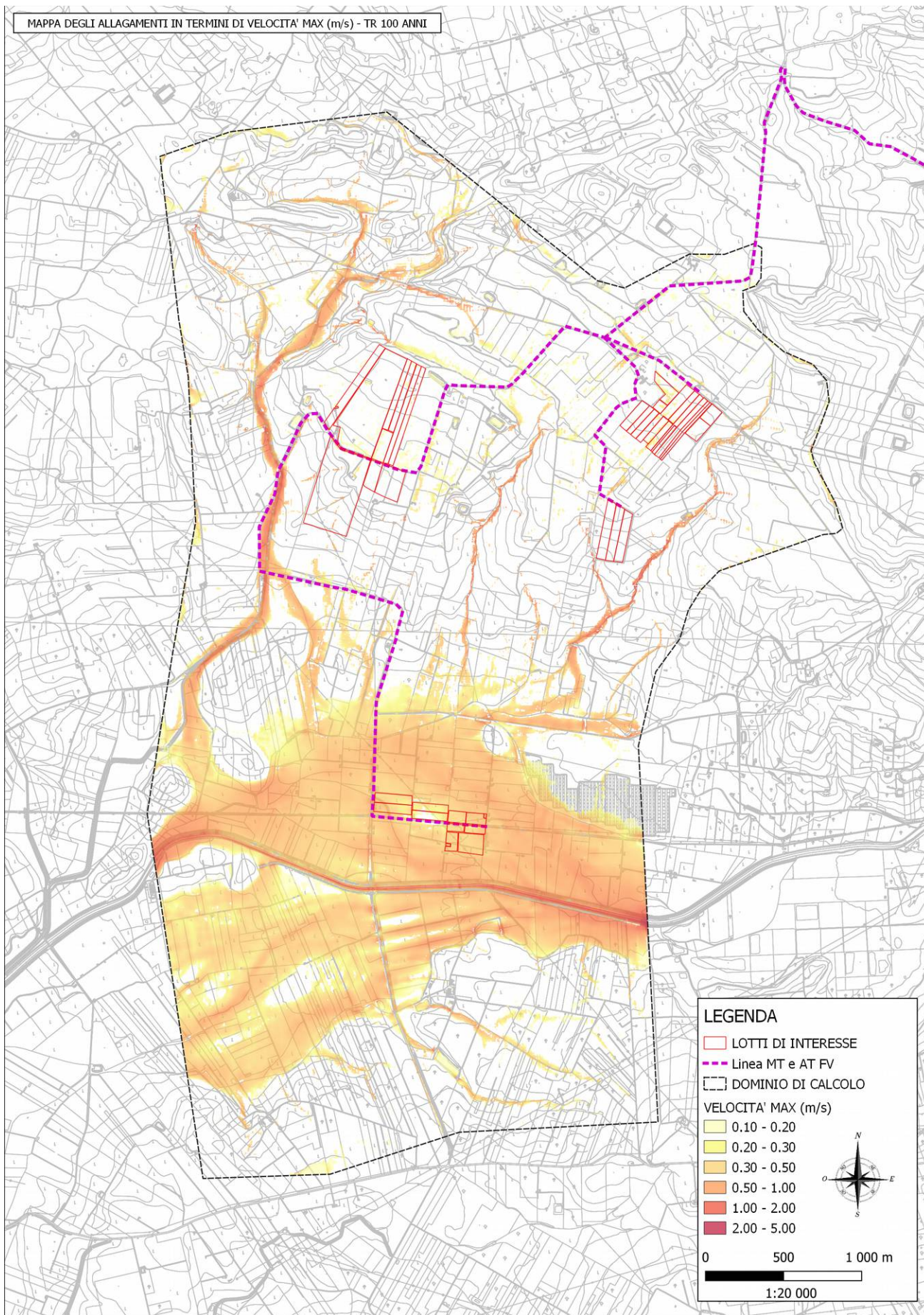


Fig. 45: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 100$  anni



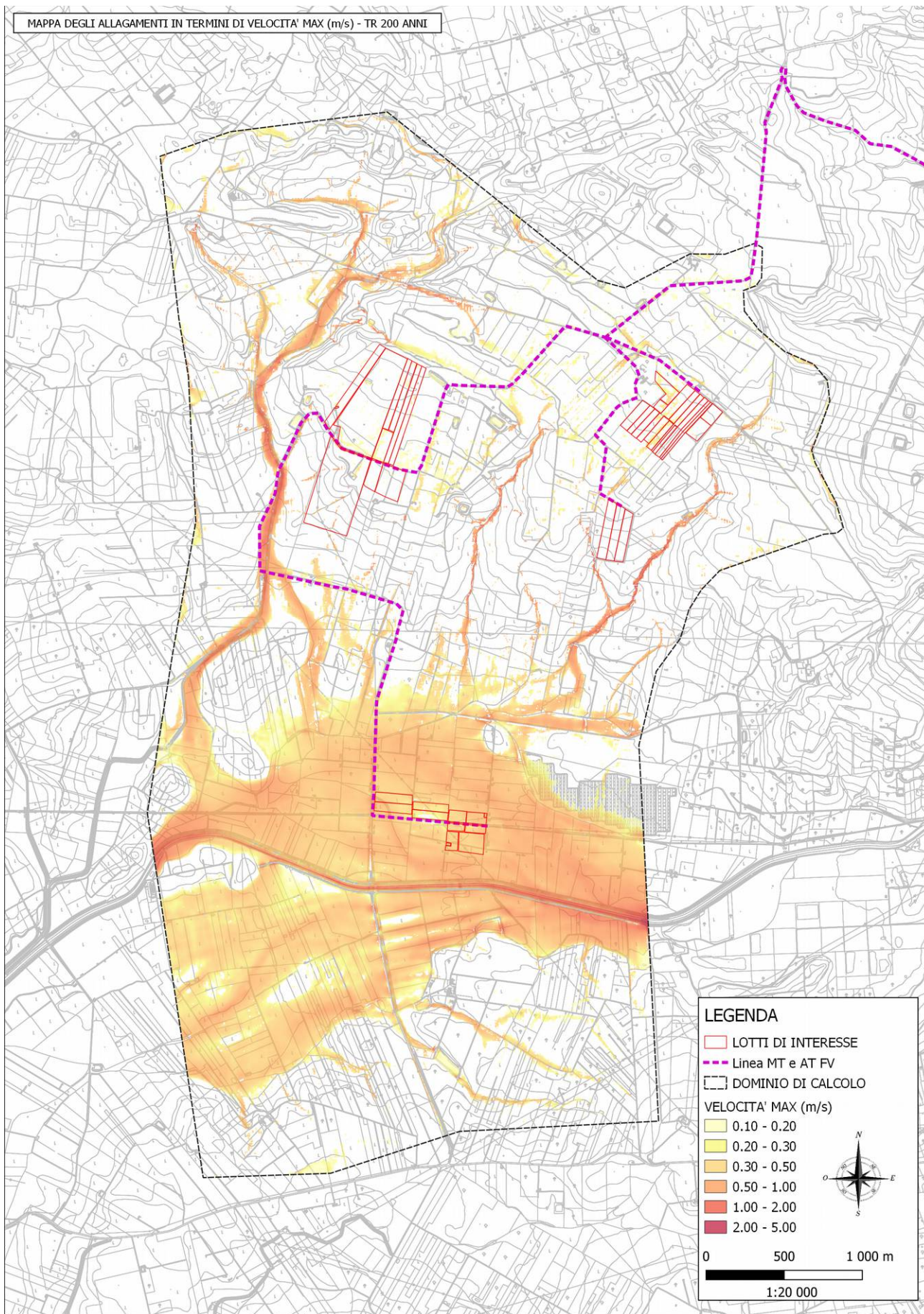


Fig. 46: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 200$  anni

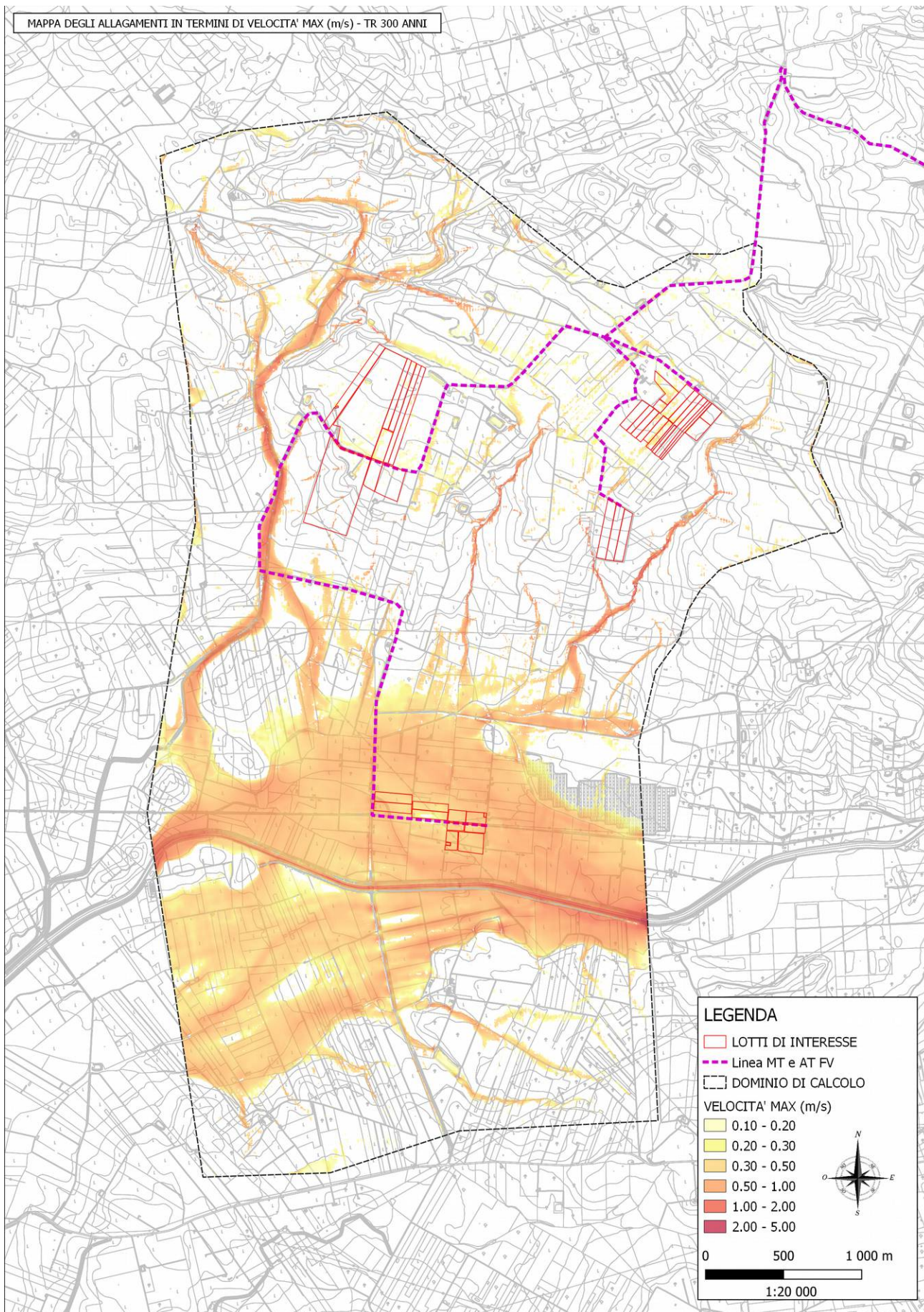


Fig. 47: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 300$  anni

### 3.4 – Descrizione interventi in progetto

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a nord-est rispetto al centro abitato di Mazara del Vallo (TP) e a nord-ovest rispetto il centro abitato di Castelvetro e di Campobello di Mazara (TP) (vedi Fig.1) dove il proponente, SOLAR TIER S.r.l., ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto agrofotovoltaico, denominato “Aurora”, su un'area che insiste su una porzione di territorio situata a Nord del Fiume Delia nei pressi della Contrada Dagala. La realizzazione dell'impianto fotovoltaico è prevista su più lotti di terreno a volte non adiacenti e distanti. L'area è inoltre adiacente a dei corsi d'acqua e nella fattispecie il Torrente Giardinazzo e il Torrente Madonna Giovanna, entrambi affluenti di destra del Fiume Delia che scorre più a sud dell'area di intervento

Il progetto agrofotovoltaico denominato “Aurora” è un progetto di agricoltura innovativa che introduce un nuovo modello di sviluppo sostenibile green che combina la coltivazione delle superfici agricole con la produzione di energie rinnovabili, rispondendo alle esigenze ambientali, climatiche e di tutela dei territori rurali.

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. Trattandosi di un impianto agrofotovoltaico il modulo di aggancio del pannello fotovoltaico verrà installato ad una altezza di 2.50 m da terra come riportato nel particolare costruttivo mostrato in Fig. 49.

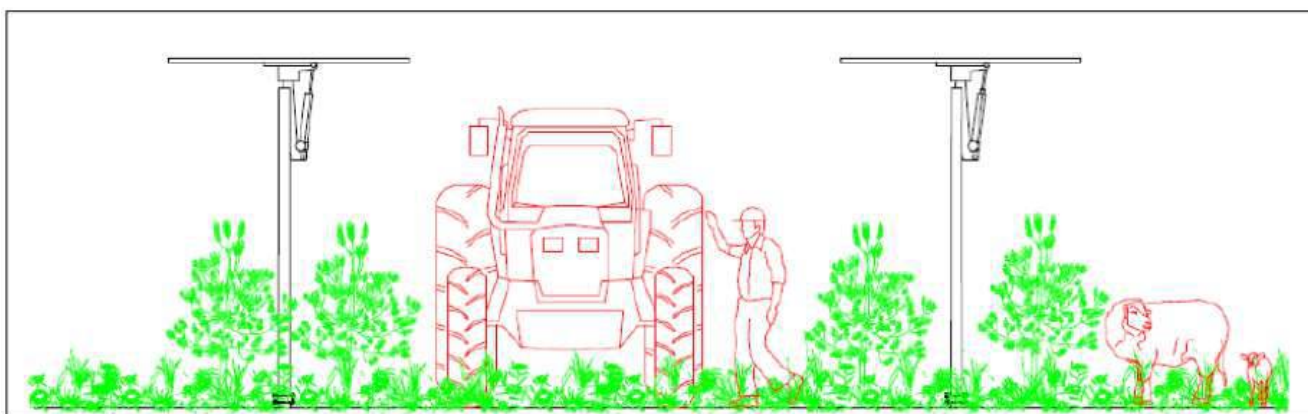


Fig. 48: Esempio funzionamento impianto agrofotovoltaico a regime

Modulo: JinkoSolar bifacciale Tiger Neo N-type 72HL4-BDV

Tracker a 0° tilt (Posizione orizzontale)

Configurazione 2x13

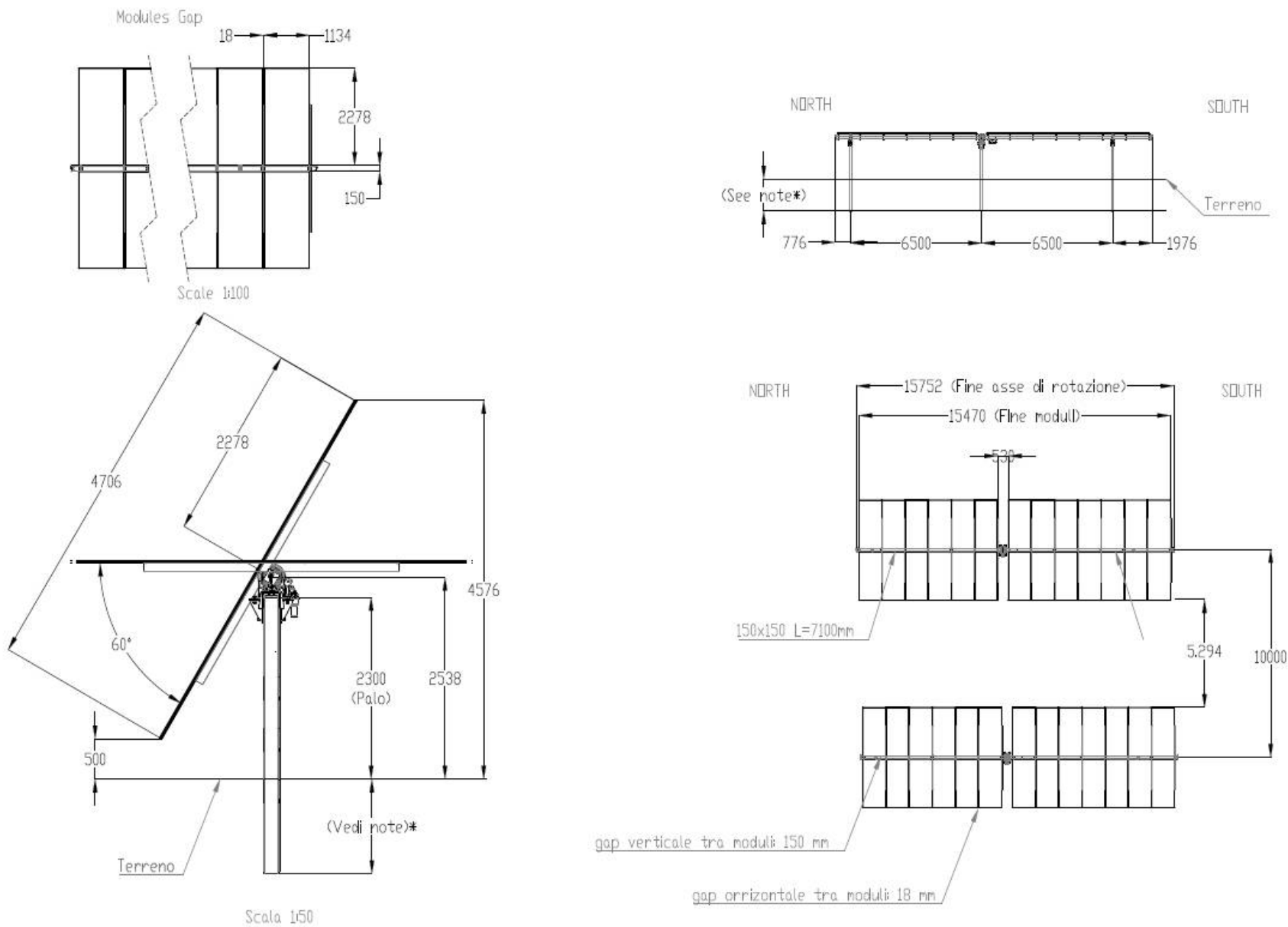


Fig. 49: Schema installazione batterie di pannelli fotovoltaici.

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

Per l'implementazione del modello idraulico dello stato di progetto è stato preso come riferimento il modello idraulico implementato per lo stato attuale e successivamente sono state apportate alcune modifiche finalizzate a tenere conto delle opere previste dal progetto. In particolare, i sostegni sui quali verranno agganciati i moduli fotovoltaici saranno infissi nel terreno ad una profondità tale da garantirne la stabilità e saranno comunque progettati per resistere sia alla spinta statica che alla spinta dinamica generata dalla corrente in caso di allagamento. Ne consegue che, considerata la natura dei sostegni che sarà di tipo su pali, si ritiene che tali opere non offriranno un ostacolo al libero deflusso delle acque e quindi non provocheranno un aumento delle condizioni di rischio idraulico presenti nella zona. Tuttavia, per quanto concerne le cabine di trasformazione, alla luce dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica dello stato attuale, si è ritenuto necessario tenere conto di alcune modifiche che saranno apportate allo stato dei luoghi al fine di garantire la sicurezza di tali apparecchiature elettroniche in caso di allagamento. A tal proposito si è reso necessario apportare al modello digitale del terreno alcune modifiche localizzate in corrispondenza delle cabine di trasformazione che devono essere poste ad 0.50 m dal livello idrico massimo raggiunto dalla corrente per l'evento duecentennale. Tali modifiche si sono rese necessarie in particolare nel lotto FV02 per il quale sono previste due cabine. Pertanto, dopo una prima fase di individuazione delle cabine elettriche per ciascun lotto di interesse, si è proceduto al rialzo del modello digitale del terreno in corrispondenza di tali apparecchiature. Di seguito si riportano alcune delle immagini più significative che mostrano il risultato di tale procedura. In particolare a titolo di esempio, si riporta dapprima planimetria del lotto FV02 con l'indicazione delle posizioni in cui verranno installate le cabine, e successivamente è riportata una planimetria estratta da HEC-RAS in cui è evidenziato lo stesso lotto di interesse sul modello digitale del terreno. Inoltre si riportano anche il profilo del terreno nelle condizioni di stato attuale e lo stesso profilo per lo stato di progetto dal quale si evince come sia stata simulata la presenza del basamento sul quale saranno adibite le cabine elettriche.

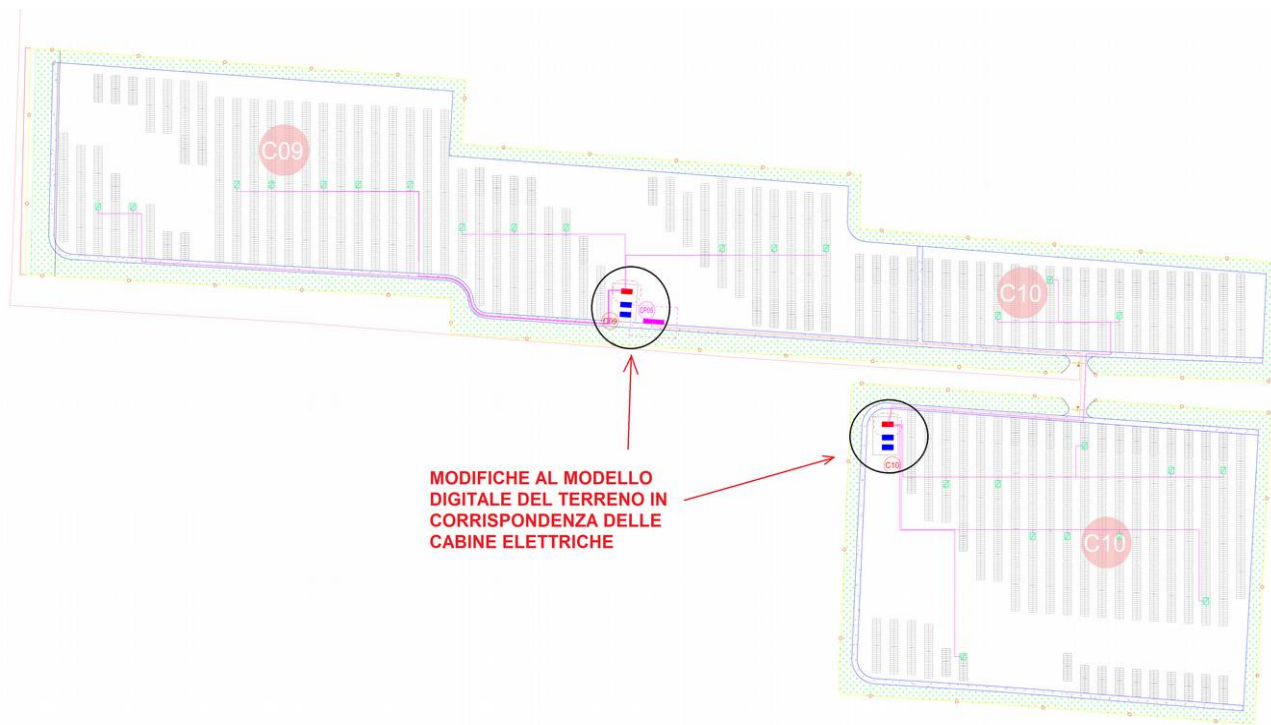


Fig. 50: Individuazione cabine elettriche – esempio illustrativo per lotto FV02

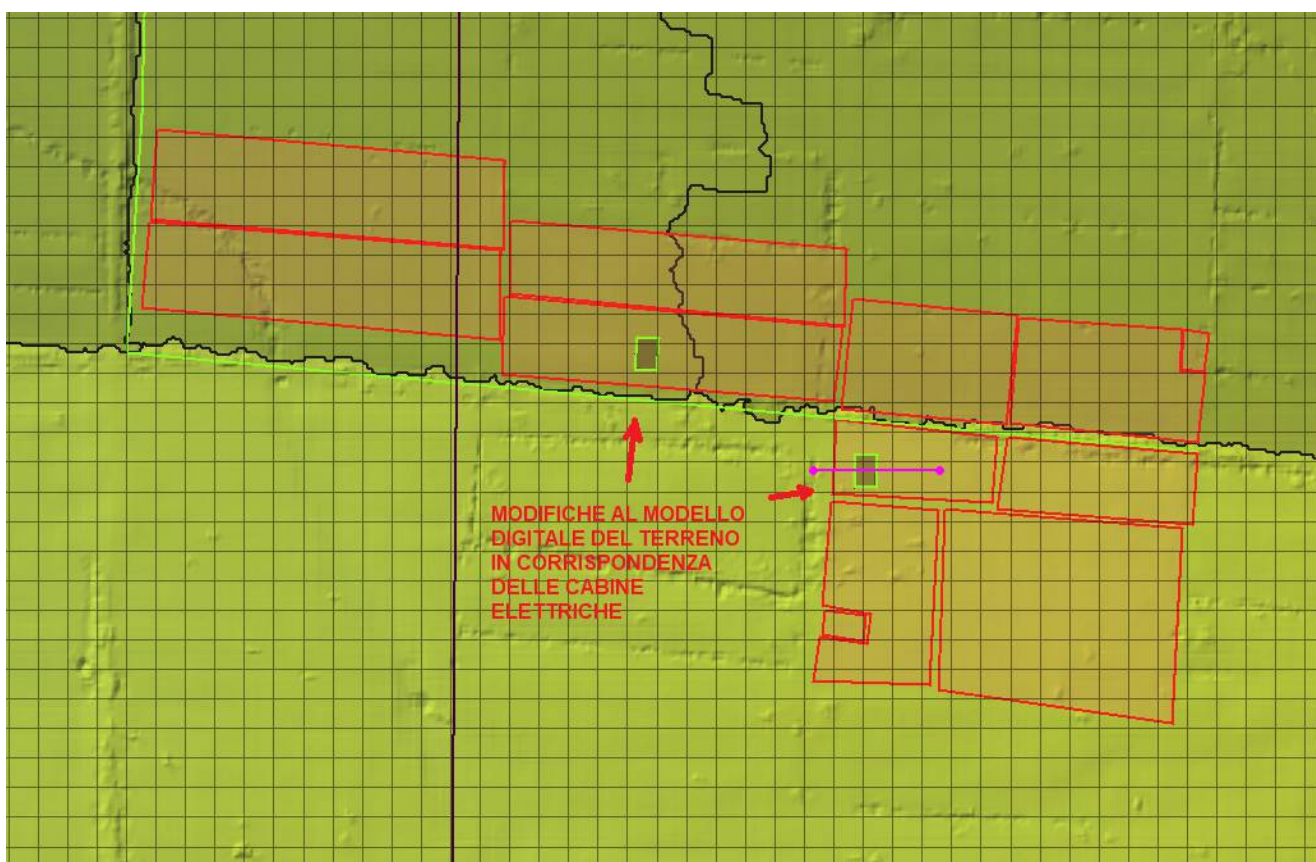


Fig. 51: Modifiche al modello digitale del terreno – esempio illustrativo per lotto FV02

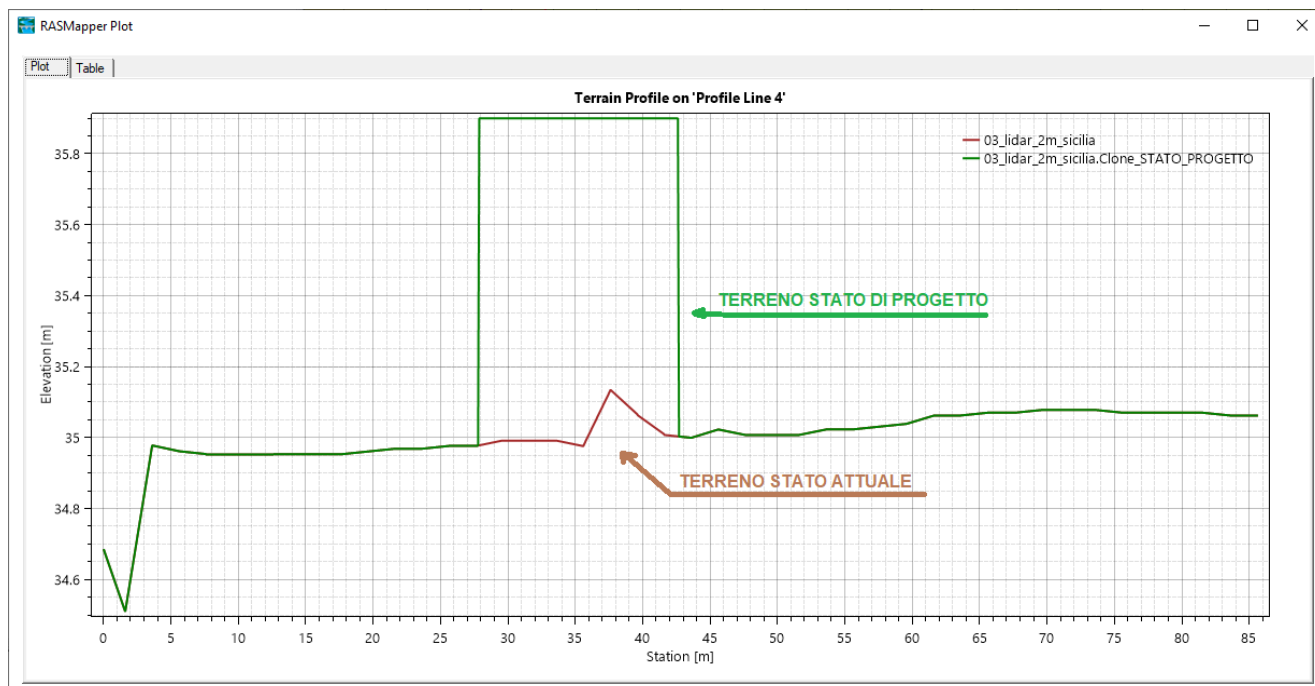


Fig. 52: Modifiche al modello digitale del terreno – profilo terreno in corrispondenza di una cabina nel lotto FV02

Per quanto concerne le condizioni al contorno si impone sui bordi del dominio di calcolo e per i valori di scabrezza da assegnare al dominio al fine di tenere conto delle resistenze al moto è stato fatto riferimento alle medesime condizioni utilizzate per modellare lo scenario attuale. In tale ottica appare evidente come le uniche differenze rispetto allo stato attuale consistono nelle modifiche apportate al modello digitale del terreno al fine di tenere conto della presenza dei basamenti sui quali verranno adagate le cabine elettriche.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica bidimensionale condotta in regime di moto vario per i tempi di ritorno adottati. Come si evince dalle immagini non si hanno apprezzabili variazioni delle caratteristiche di deflusso in corrispondenza delle cabine elettriche. I risultati che si riportano le mappe di allagamento per i diversi tempi di ritorno espresse in termini di velocità massime e battenti massimi instaurati.

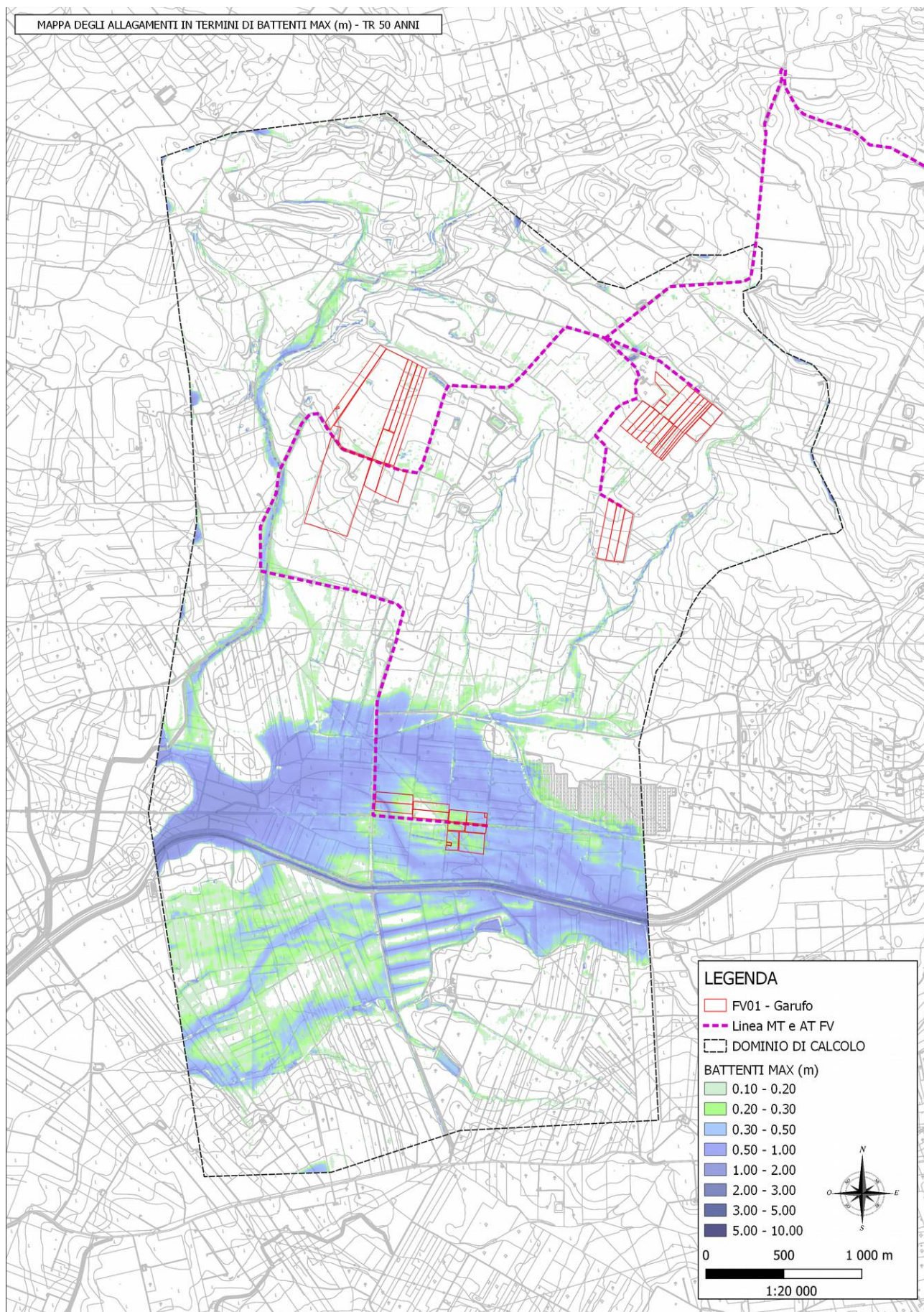


Fig. 53: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 50$  anni – Stato di progetto



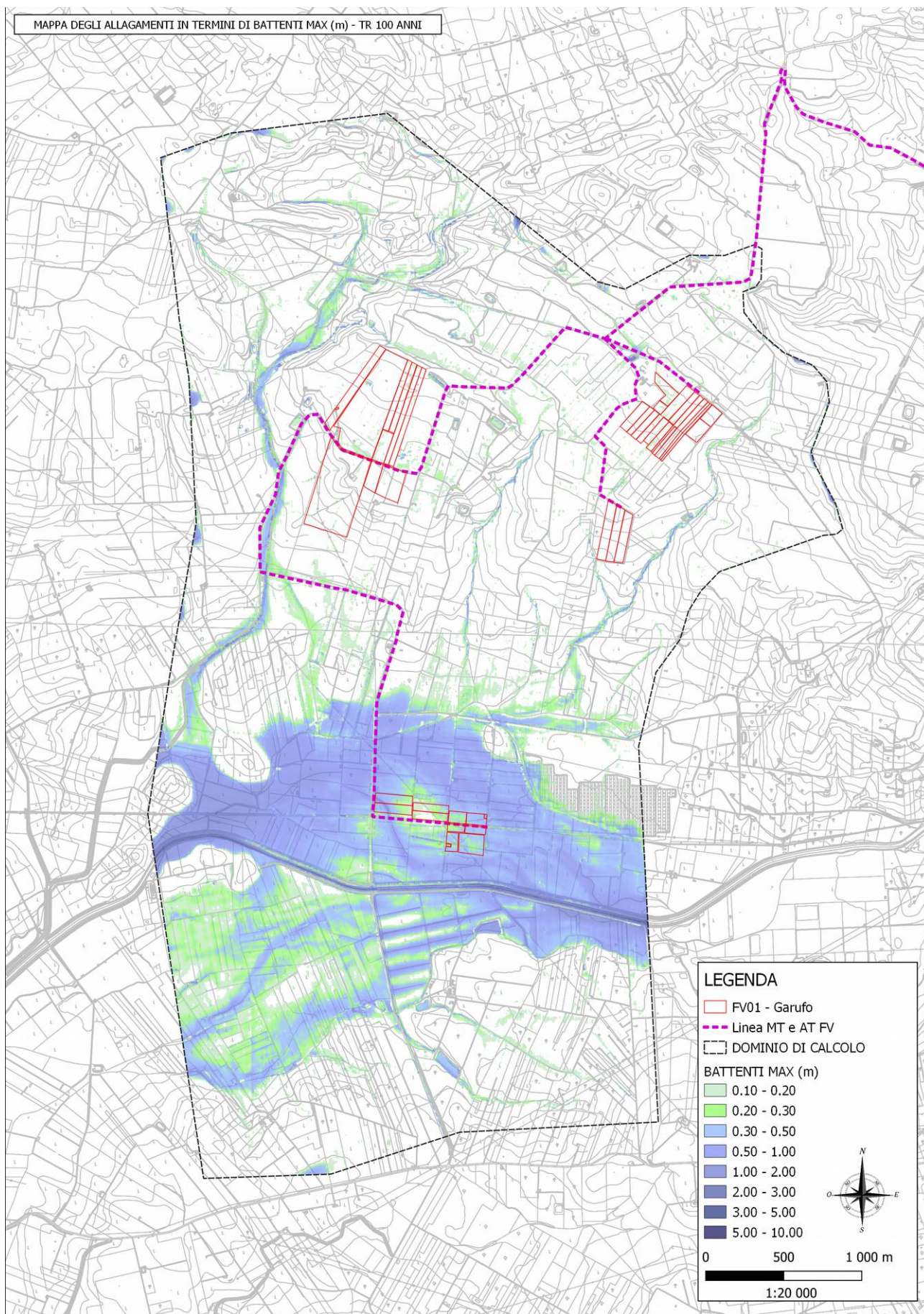


Fig. 54: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 100$  anni - Stato di progetto

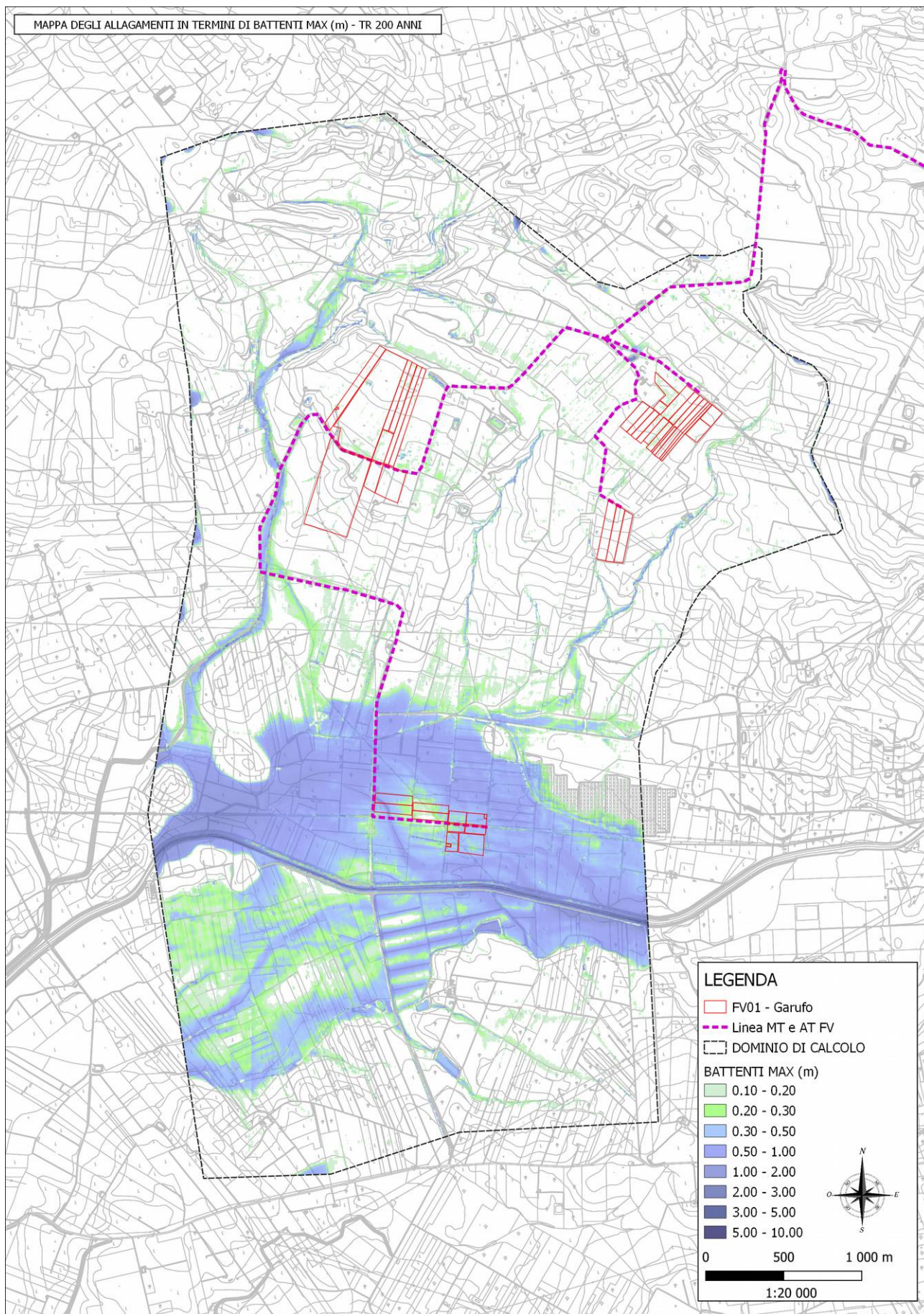


Fig. 55: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni - Stato di progetto

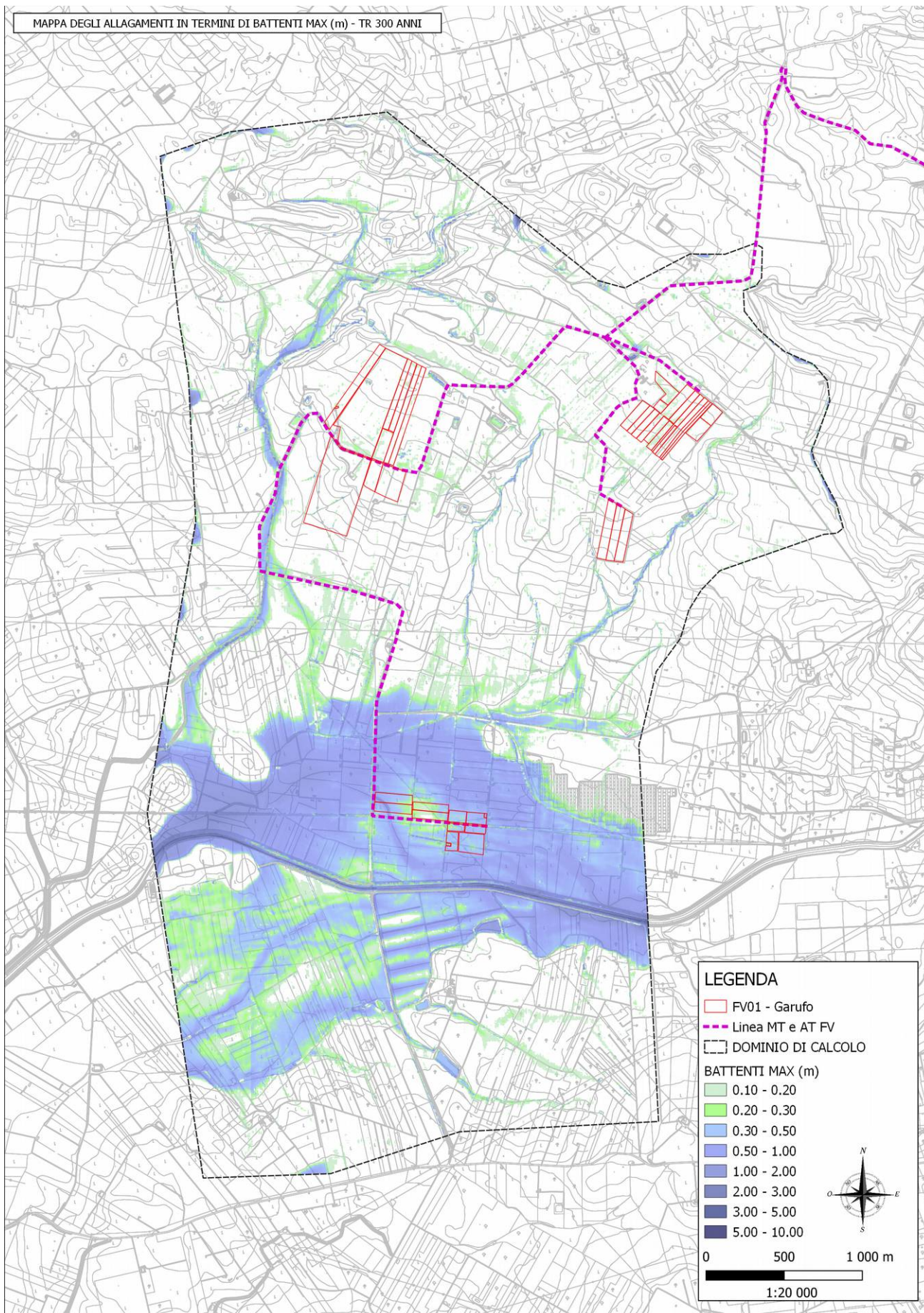


Fig. 56: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 300$  anni - Stato di progetto

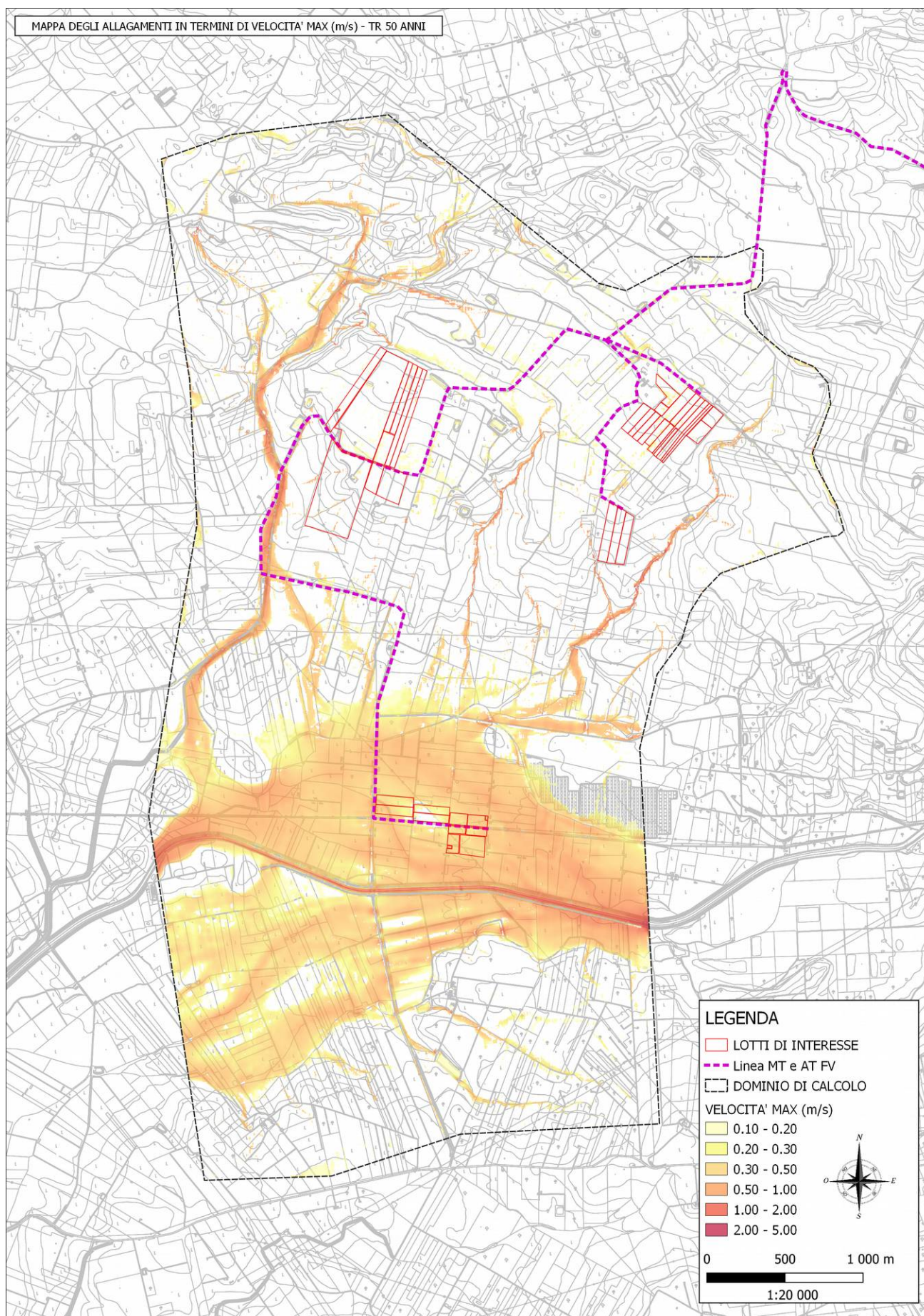


Fig. 57: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 50$  anni - Stato di progetto

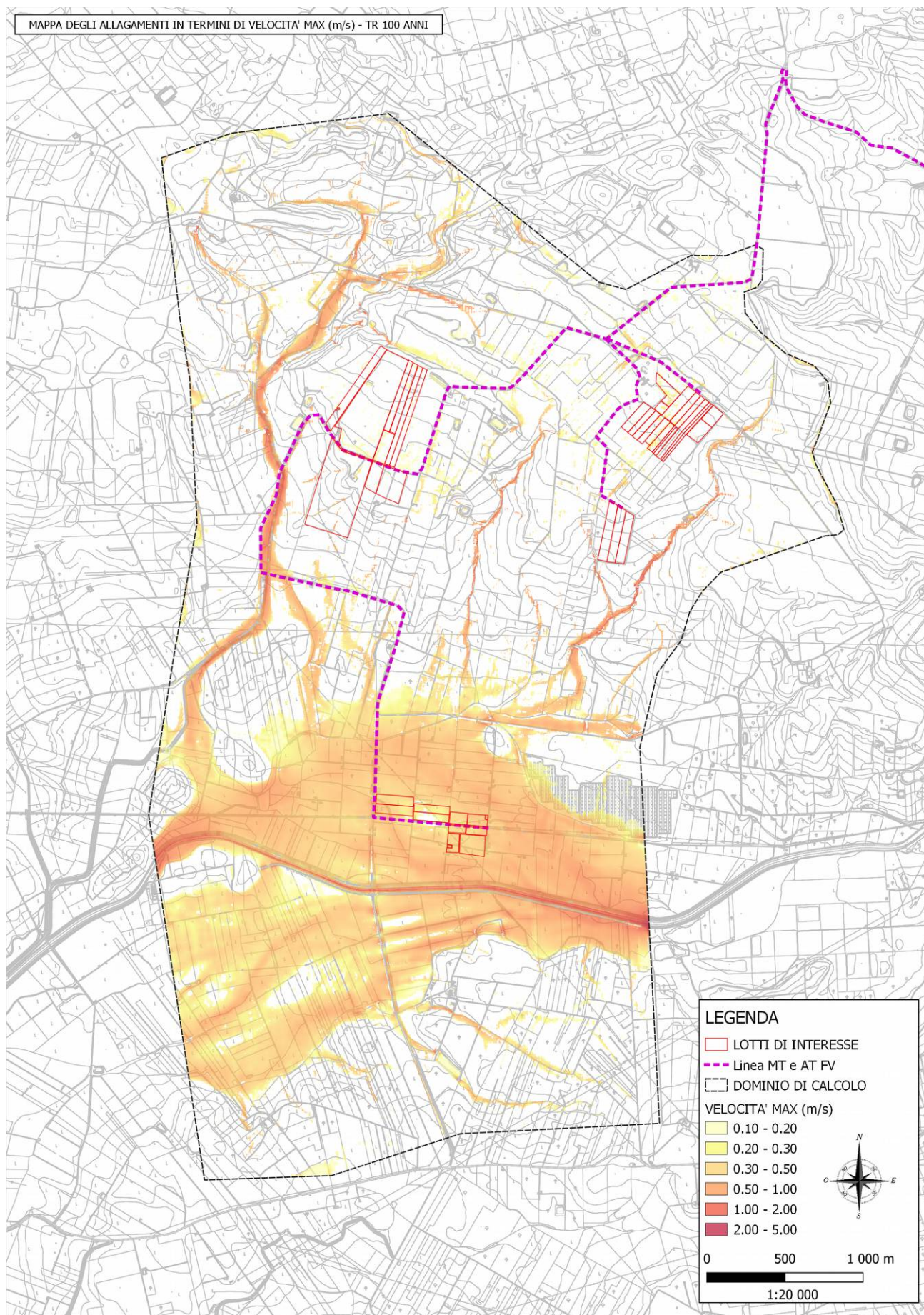


Fig. 58: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 100$  anni - Stato di progetto

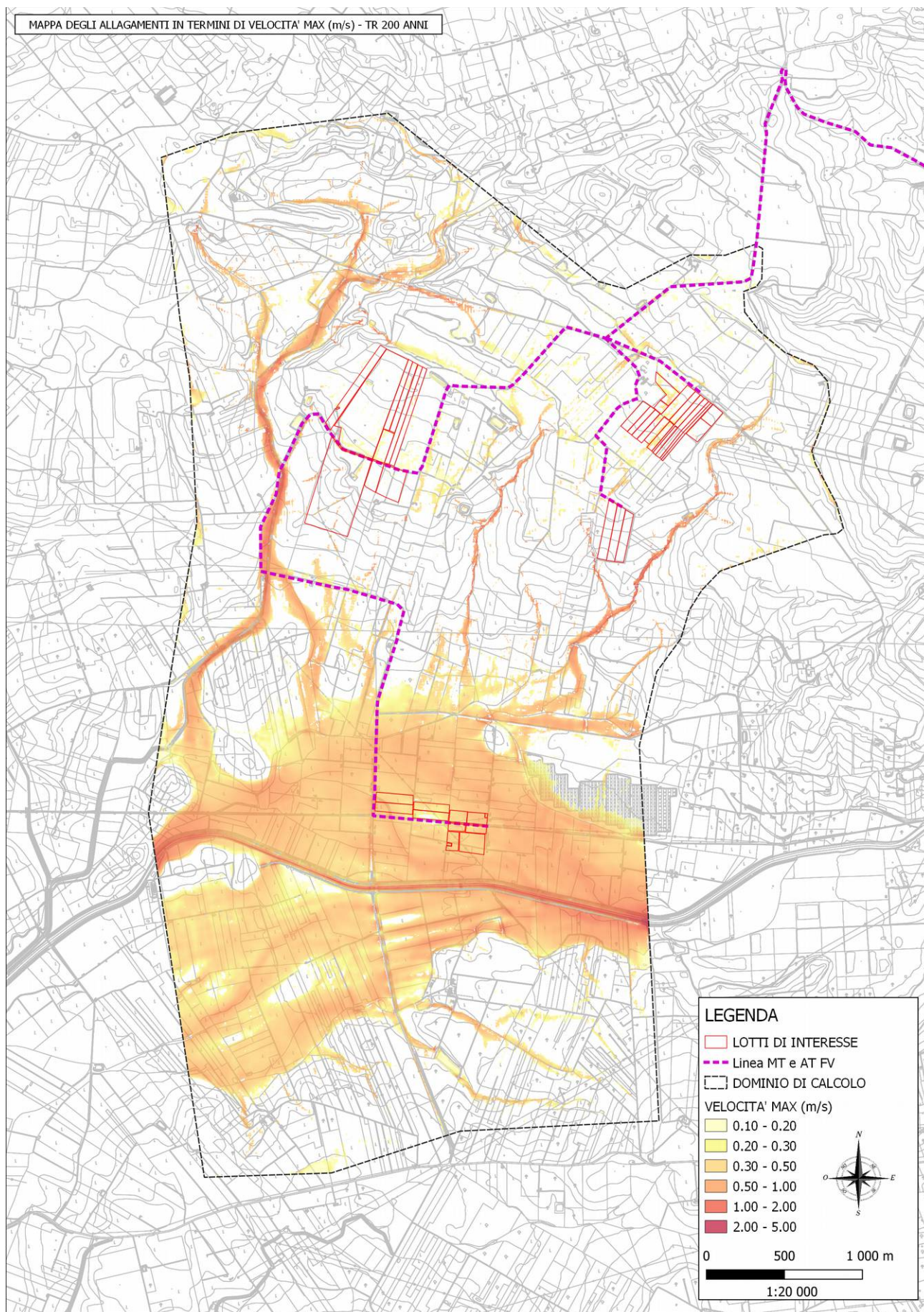


Fig. 59: Carta delle velocità massime (m/s) per Tr = 200 anni - Stato di progetto

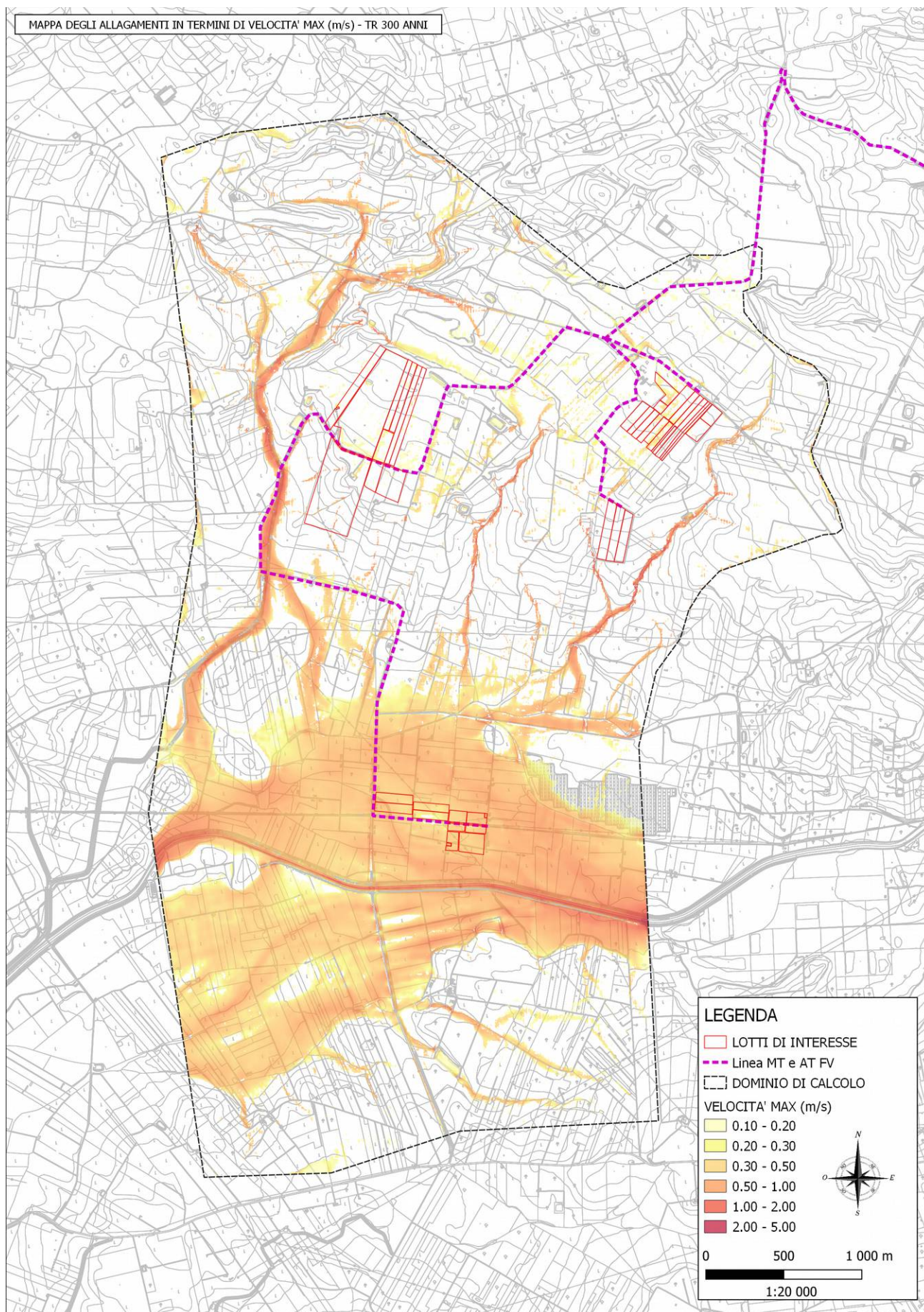


Fig. 60: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 300$  anni - Stato di progetto

Infine, allo scopo di meglio comprendere le modifiche indotte al regime dei deflussi in corrispondenza del posizionamento delle cabine di trasformazione, per le quali sono state apportate le sopra citate modifiche al modello digitale del terreno, si riportano alcuni profili tracciati in corrispondenza delle stesse cabine, per i quali sono evidenziati i profili del terreno nelle condizioni di stato attuale e di progetto, unitamente ai due diversi livelli idrici massimi raggiunti dalla corrente sempre nelle condizioni di stato attuale e di progetto, con particolare riferimento all'evento duecentennale.

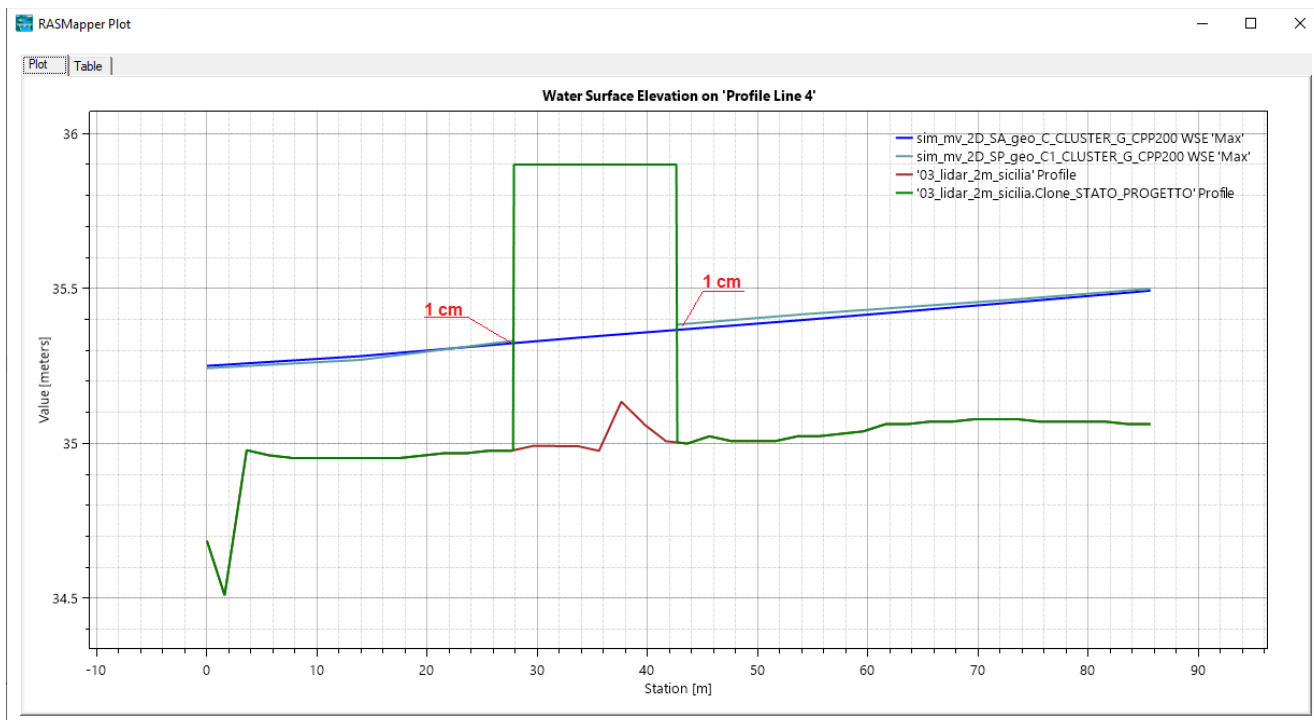


Fig. 61: Esempio confronto risultati Stato Attuale e Stato Progetto in corrispondenza cabine elettriche per il FV02

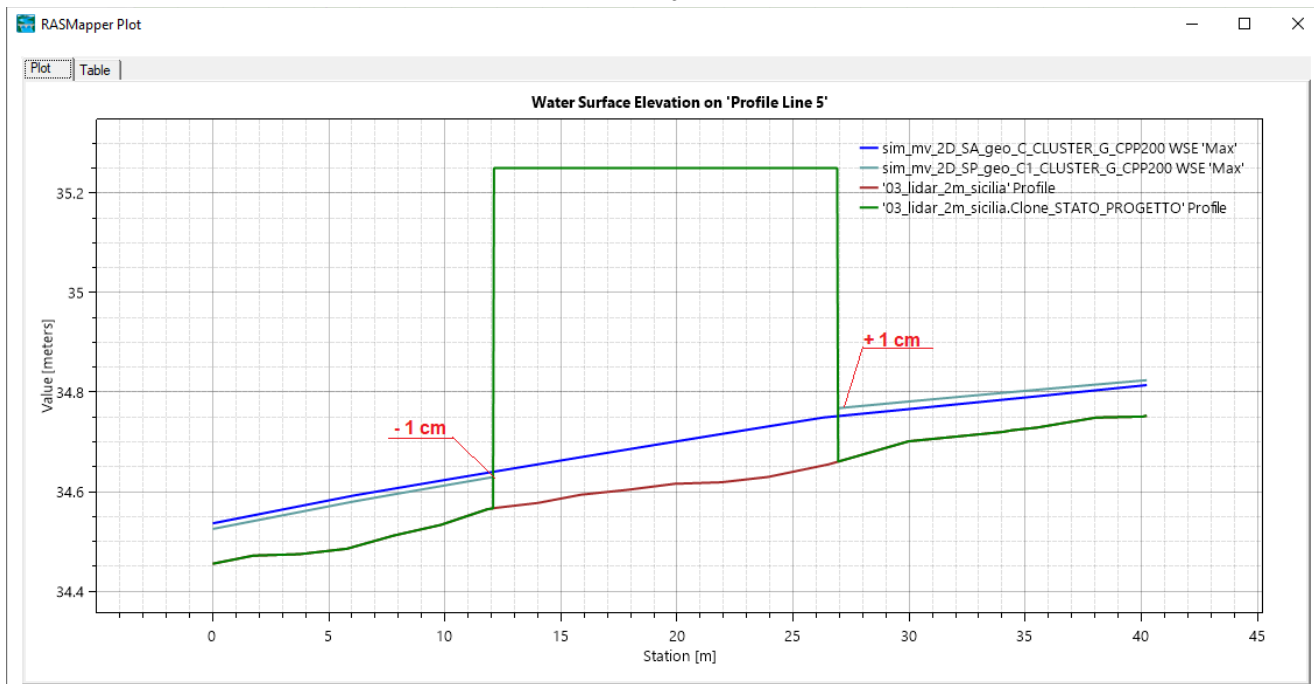


Fig. 62: Esempio confronto risultati Stato Attuale e Stato Progetto in corrispondenza cabine elettriche per il FV02



### **3.6 – Valutazione effetto intervento in progetto**

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

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

Sulla base delle risultanze dello studio idrologico ed idraulico condotto si può concludere che gli interventi previsti sono compatibili con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona a condizione che gli stessi interventi vengano realizzati 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;
- eventuali manufatti che ricadono nelle zone allagabili devono essere rialzati da terra e 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;
- le cabine di trasformazione che ricadono nelle aree allagabili, con particolare riferimento al lotto FV02 Daga la Fonda, saranno realizzate su rilevati per cui la quota di intradosso sarà posta a 0.50 m dal livello idrico massimo raggiunto dalla corrente per l'evento duecentennale;
- i sostegni sui quali verranno agganciati i moduli fotovoltaici saranno infissi nel terreno ad una profondità tale da garantirne la stabilità e saranno comunque progettati per resistere sia alla spinta statica che alla spinta dinamica generata dalla corrente in caso di allagamento;
- i pannelli fotovoltaici durante gli eventi meteorologici intensi assumeranno posizione orizzontale garantendo una altezza libera pari a 2.50 m da terra;
- la realizzazione di recinzioni dovrà avvenire garantendo una certa permeabilità.

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 batterie di pannelli verranno installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;

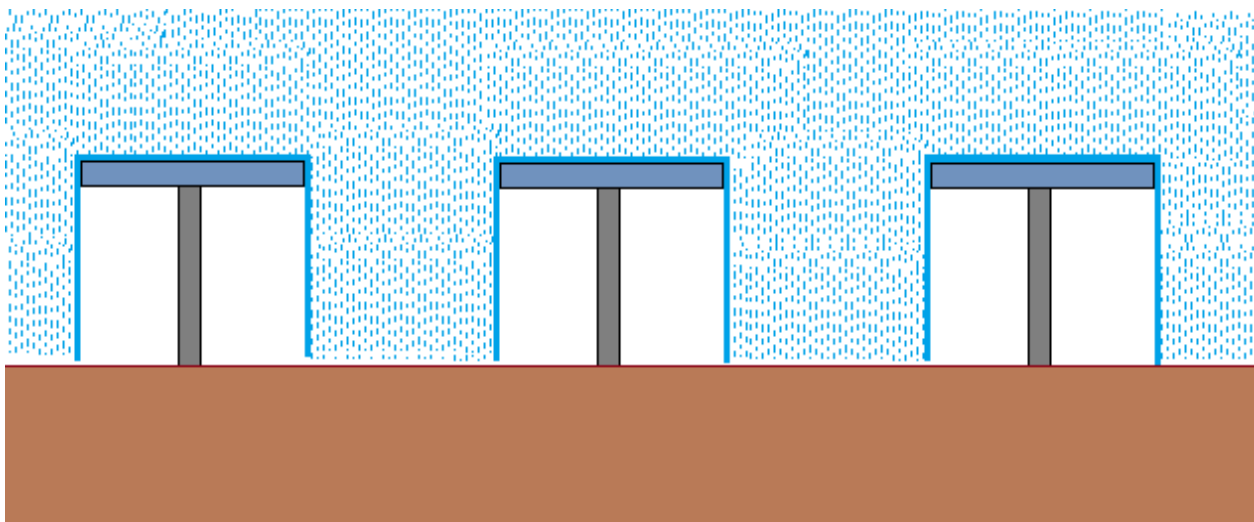
- le cabine di trasformazione, se ubicate nelle zone allagabili, saranno installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle eventuali cabine di trasformazione e le recinzioni, da realizzare secondo le prescrizioni sopra riportate, non interferiscono in maniera rilevabile con il libero deflusso delle acque, come dimostrato dai risultati della modellazione idraulica dello stato di progetto, per cui i profili di corrente risultano invariati;

### **3.7 – Invarianza idraulica**

La redazione del presente paragrafo è stata finalizzata alla dimostrazione quantitativa del concetto di invarianza idraulica applicato ai parchi fotovoltaici a terra. Sulla base di studi analoghi eseguiti sul territorio italiano è stato realizzato un modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico implementato nel software SWMM e realizzato ad-hoc al fine di dimostrare che l'installazione delle batterie di pannelli fotovoltaici in progetto non altera le condizioni di permeabilità dei suoli e non produce una modifica sostanziale delle condizioni di rischio idraulico della zona. Di seguito quindi sarà dapprima descritto il fenomeno fisico da rappresentare e successivamente verranno mostrati i modelli di dettaglio con cui sono state rappresentate le condizioni ante-operam e post-operam modellate attraverso il software SWMM e saranno infine riportate alcune riflessioni sui risultati ottenuti. Si specifica che i dati riportati nel seguito sono relativi a studi analoghi eseguiti dallo scrivente in altri contesti territoriali, che comunque presentano caratteristiche simili a quello oggetto di studio, sia dal punto di vista delle caratteristiche pluviometriche e del suolo che dell'impianto fotovoltaico, pertanto i risultati ottenuti sono comunque estendibili per analogia al caso in esame.

#### **3.7.1 – Descrizione del fenomeno**

Nel corso di questo paragrafo verrà descritto nel dettaglio il fenomeno della precipitazione al suolo nelle condizioni ante e post operam. Nella fattispecie, come discusso in precedenza, l'intervento in progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico e quindi nella posa in opera di batterie di pannelli fotovoltaici posti ad una certa distanza tra loro. La precipitazione che in condizioni naturali andrebbe a cadere sul terreno viene nello stato post-operam difatti intercettata dalla superficie del pannello. Si specifica che a vantaggio di sicurezza, nella presente trattazione, è stata considerata la posizione orizzontale del pannello in quanto consente di massimizzare l'effetto di copertura al suolo. Inoltre, le considerazioni effettuate fanno riferimento ad una precipitazione che avviene esclusivamente nel verso verticale. In tale ottica la superficie del pannello intercetta la precipitazione che naturalmente precipiterebbe sulla porzione di terreno sottostante e la restituisce ai piedi del pannello stesso come mostra la Fig. 63.



*Fig. 63: Schematizzazione dell'effetto indotto dalla presenza dei pannelli durante un generico evento pluviometrico*

In particolare per la ricostruzione del modello in oggetto, con riferimento alla Fig 64, è stato considerato un pannello fotovoltaico avente larghezza massima in posizione orizzontale pari a 2.38 m e distanza tra un pannello e l'altro pari a 2.60 m. Per l'implementazione del modello in oggetto è stato successivamente fatto riferimento ad una fascia generica lunga 100 m e larga pertanto 4.98 m (pari quindi alla somma della larghezza massima in posizione orizzontale e della distanza tra un pannello e l'altro) avente quindi una superficie totale pari a 498 mq (0.0498 ha).

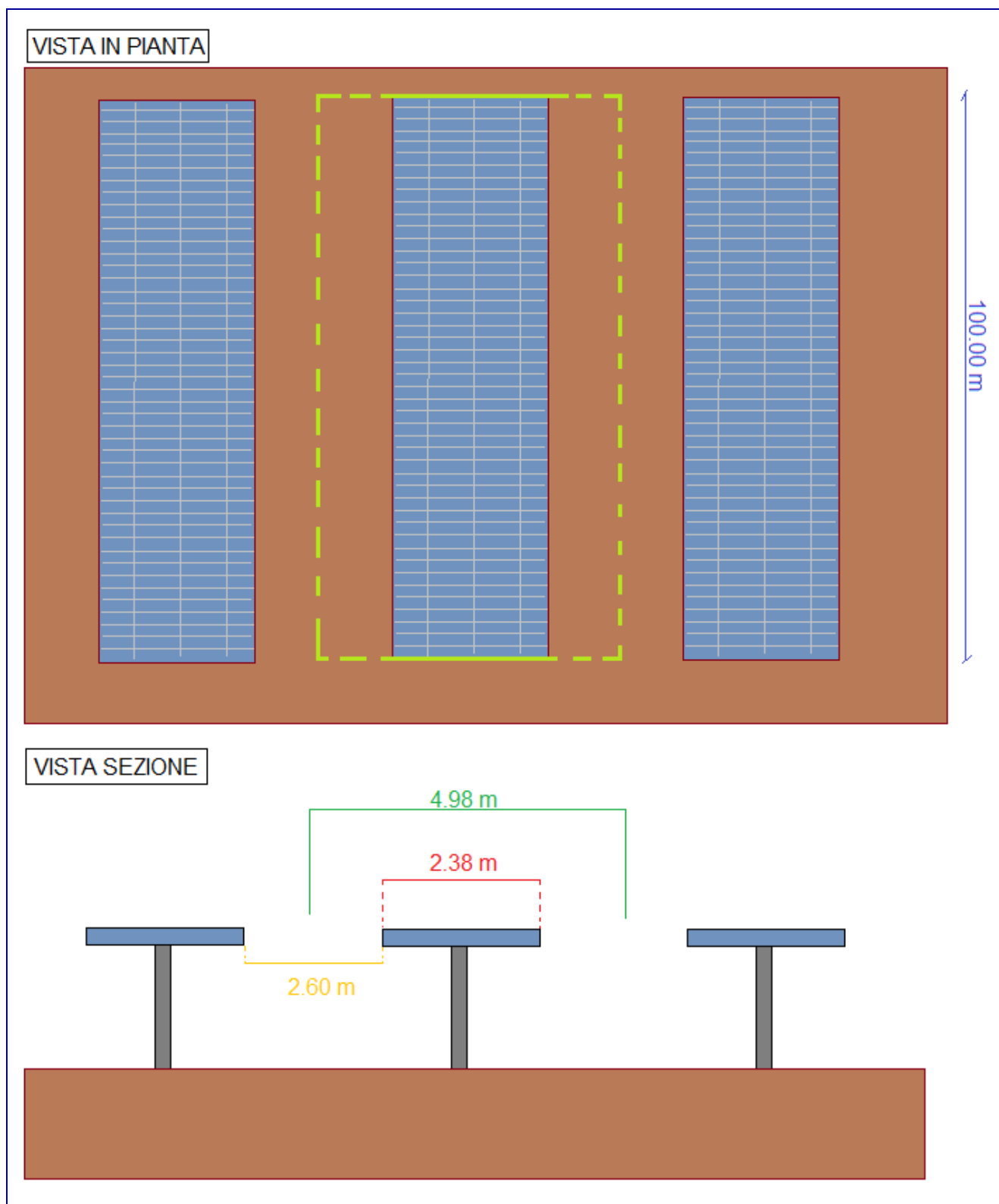


Fig. 64: Vista planimetrica e sezione tipo posa in opera batterie pannelli fotovoltaici

### 3.7.2 – Implementazione modello stato attuale

Per l'implementazione del modello dello stato attuale è stata utilizzata un unico elemento Subcatchment che rappresenta il terreno nelle condizioni naturali. A tale superficie di estensione pari a 0.0498 ha è stata applicata una precipitazione coerente a quella utilizzata nell'ambito dello studio di compatibilità idraulica. Nella fattispecie è stato utilizzata la pioggia totale relativa ad un evento di durata pari a tre ore e tempo di ritorno pari a 200 anni come riportato di seguito.

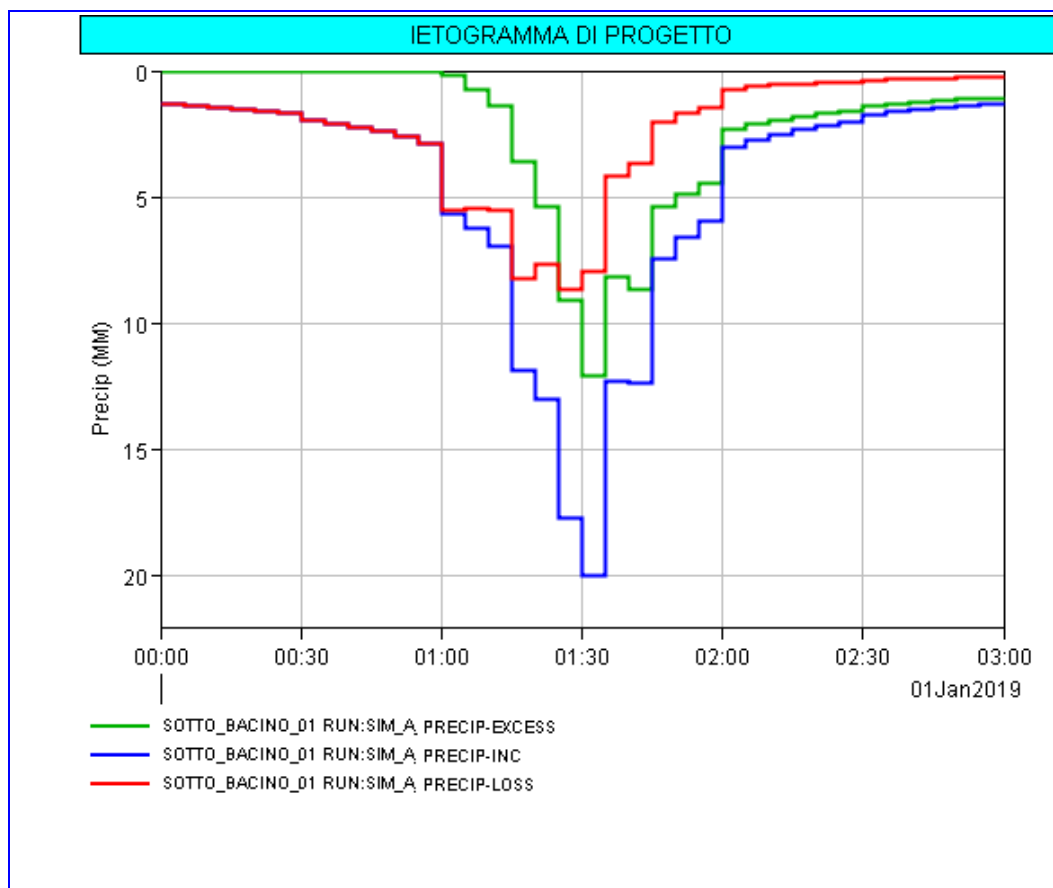


Fig. 65: Ietogramma di progetto per TR 200 anni

Con l'ausilio del software SWMM è stato pertanto implementato il modello secondo lo schema riportato in Fig. 66 . Come si evince dall'immagine il modello è stato discretizzato in un unico elemento (Subcatchment) che rappresenta la superficie del terreno nelle condizioni attuali. Le caratteristiche del bacino di riferimento sono riportate per completezza in Fig. 67. In generale all'elemento "area\_sa" è stata applicata la precipitazione "ieto\_200\_anni"

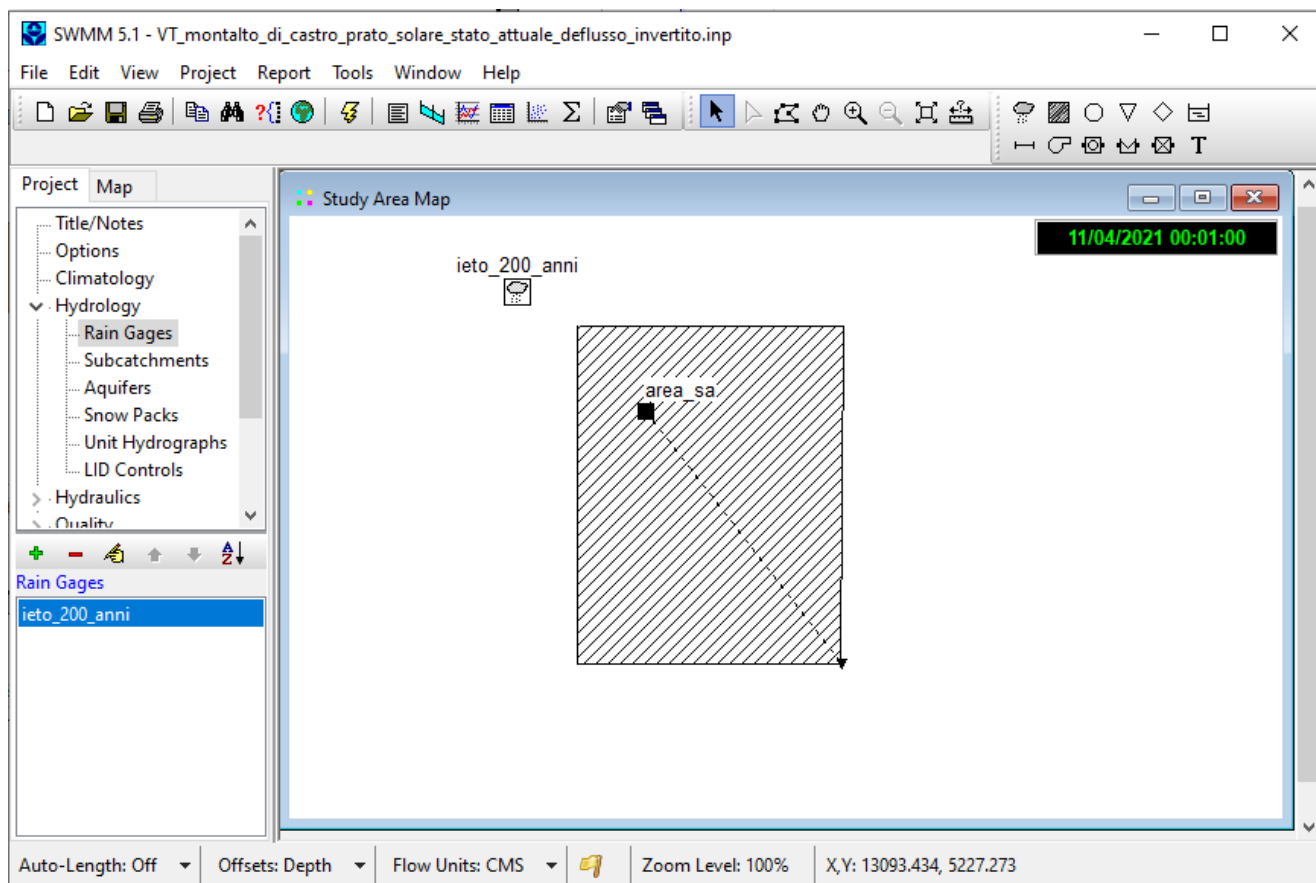


Fig. 66: Schema modello Stato attuale nel software SWMM.

L'elemento "area\_sa" è stato opportunamente collegato ad un elemento "outfall" che rappresenta la sezione di chiusura del bacino dove successivamente sono state osservate le condizioni di deflusso che si generano dalla modellazione numerica.

In particolare è stato implementato un elemento Subcatchment dell'estensione pari a 0.0498 ha, larghezza 100 m e pendenza media relativa alla superficie posta pari a 0.1%. Si è inoltre considerata tutta la superficie in esame come permeabile, assegnando una percentuale di impervious (area impermeabile) pari allo 0%.

Il valore del CN da assegnare all'elemento al fine di considerare le perdite dovute all'infiltrazione è stato posto pari a 80.

Subcatchment area_sa	
Property	Value
Name	area_sa
X-Coordinate	2652.645
Y-Coordinate	6770.692
Description	
Tag	
Rain Gage	ieto_200_anni
Outlet	chiusura
Area	0.0498
Width	100
% Slope	0.1
% Imperv	0
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.035
Dstore-Imperv	0.06
Dstore-Perv	5
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Infiltration parameters (click to edit)	

Fig. 67: Parametri utilizzati per caratterizzare il bacino “area\_sa”



Dai risultati ottenuti è emerso che il valore massimo di portata che si genera alla sezione di chiusura del sistema è pari a circa 0.0216 mc/s mentre i volumi totali defluiti sono pari a 36.912 mc.

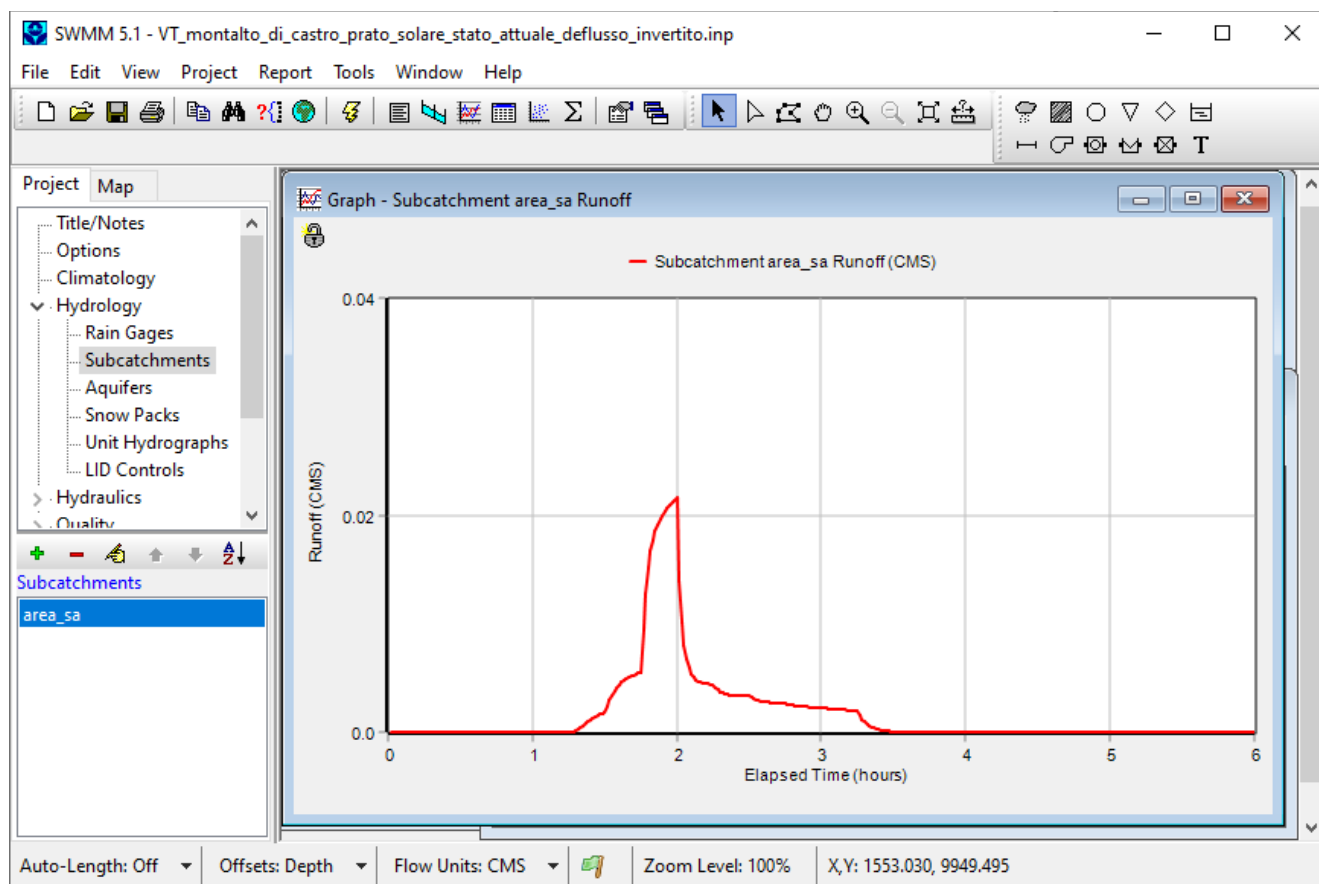


Fig. 68: Idrogramma di piena che si genera alla sezione di chiusura finale nelle condizioni di stato attuale

### 3.7.3 – Implementazione modello stato progetto

Per l'implementazione del modello dello stato progetto si è reso necessario modificare il modello di bacino inizialmente implementato per lo stato attuale inserendo alcune modifiche mirate a simulare la presenza dei pannelli fotovoltaici. A tal proposito la superficie originaria del bacino è stata suddivisa nei seguenti elementi:

1. **S\_1** : Superficie pannello fotovoltaico (impermeabile).
2. **S\_2**: Superficie sottostante il pannello fotovoltaico (permeabile);
3. **S\_3**: Superficie esterna non interessata dal pannello fotovoltaico (permeabile).

In particolare le aree S\_1 ed S\_2 sono state calcolate come prodotto tra la larghezza del singolo pannello (2.38 m) per la lunghezza di 100 m e hanno quindi entrambe una area complessiva pari a 0.0238 ha. Gli elementi S\_1 ed S\_2, pur avendo la stessa area rappresentano elementi differenti (la prima la superficie del pannello e la seconda la proiezione del pannello a terra) e per tale motivo il primo elemento è stato considerato completamente impermeabile mentre il secondo elemento è stato caratterizzato in maniera coerente a quanto già precedentemente esposto per il bacino dello stato attuale se si considera che nello stato di progetto tale elemento non sarà soggetto ad alcun tipo di modifica. L'area S\_3 è stata calcolata come differenza tra l'area complessiva relativa allo stato attuale (0.0498 ha) e la superficie S\_2 (0.0238 ha) e vale quindi 0.0260 ha. Per tenere conto degli interventi in progetto che prevedono la realizzazione di un impianto fotovoltaico si è reso necessario applicare alcune modifiche ai parametri che descrivono la superficie non interessata dai pannelli fotovoltaici. In tale aree difatti durante le fasi di esercizio dell'opera si avrà un miglioramento della permeabilità dei suoli e un piccolo aumento della scabrezza a causa delle lavorazioni che saranno eseguite. Pertanto nello schema dello stato di progetto si è aumentata la scabrezza al suolo dal valore 0.035 al valore 0.06 mentre il parametro  $D_{store-Perv}$  è stato variato da 5 a 30. A questo punto è stata effettuata una ulteriore considerazione. In particolare è stato assunto che non tutta l'acqua che cade sul pannello fotovoltaico si riversa ai piedi del pannello stesso bensì si è voluto ipotizzare che una parte di quest'acqua cade direttamente ai piedi del pannello e va quindi ad alimentare il sottobacino S\_2, mentre la restante parte drena direttamente sul sottobacino S\_3. A tal proposito si è deciso di dividere ulteriormente il bacino S\_1 che rappresenta il pannello fotovoltaico in due bacini distinti (rispettivamente S\_1\_1 ed S\_1\_2) in modo tale da dirottare una parte dei deflussi al di sotto del pannello stesso (bacino S\_2) e la restante parte nel terreno adiacente al pannello (bacino S\_3). Lo schema di modello implementato mediante il software SWMM secondo le ipotesi appena descritte è riportato in Fig. 69. Come si evince dall'immagine il modello è stato discretizzato in n°4 elementi

Subcatchment (n°2 elementi per rappresentare la superficie del pannello fotovoltaico, n° 1 elemento per rappresentare la superficie sottostante il pannello e n° 1 superficie relativa al terreno scoperto) per rappresentare il modello nello stato di progetto. Le caratteristiche dei bacini di riferimento sono riportate per completezza nelle Figg. 68 e 65. Anche in questo caso l'ultimo sottobacino (S\_3) è stato collegato ad un elemento outfall per simulare la sezione di chiusura finale del sistema considerato. Per quanto concerne gli input al modello è stata considerata la precipitazione totale relativa ad un evento di durata pari a 3 ore e tempo di ritorno pari a 200 anni, in maniera del tutto analoga a quanto già discusso per lo stato attuale. La differenza sostanziale rispetto al primo modello è che la precipitazione (iето\_TR\_200) non interessa tutti gli elementi implementati. Difatti considerata la presenza del pannello fotovoltaico appare evidente come la precipitazione non interessi l'elemento S\_2 che si trova al di sotto del pannello stesso. A tal proposito al sottobacino S\_2 è stata assegnata una precipitazione nulla in quanto esso non viene interessato direttamente dalla pioggia.

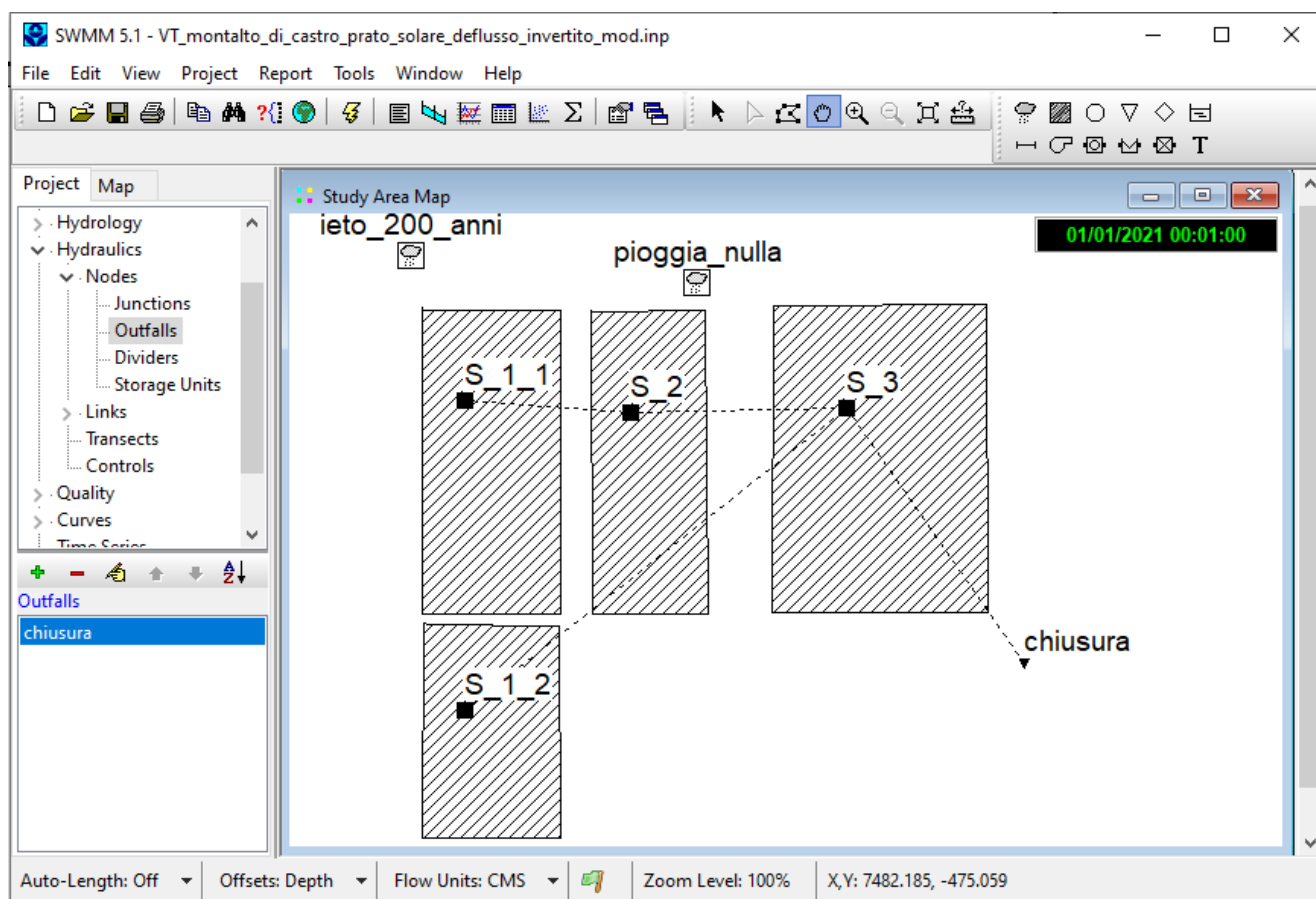


Fig. 69: Schema modello Stato progettato nel software SWMM.

Subcatchment S_1_1	
Property	Value
Name	S_1_1
X-Coordinate	61.059
Y-Coordinate	6146.540
Description	area che identifica la superficie im
Tag	S_1_1
Rain Gage	ieto_200_anni
Outlet	S_2
Area	0.0119
Width	50
% Slope	0.1
% Imperv	100
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.035
Dstore-Imperv	0.06
Dstore-Perv	5
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Name of node or another subcatchment that receives runoff	

Subcatchment S_1_2	
Property	Value
Name	S_1_2
X-Coordinate	81.448
Y-Coordinate	1254.525
Description	
Tag	
Rain Gage	ieto_200_anni
Outlet	S_3
Area	0.0119
Width	50
% Slope	0.1
% Imperv	100
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.035
Dstore-Imperv	0.06
Dstore-Perv	5
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Name of node or another subcatchment that receives runoff	

Fig. 70: Parametri utilizzati per caratterizzare i bacini S\_1\_1 ed S\_1\_2

Subcatchment S_2		Subcatchment S_3	
Property	Value	Property	Value
Name	S_2	Name	S_3
X-Coordinate	2654.907	X-Coordinate	6026.685
Y-Coordinate	5965.627	Y-Coordinate	6035.730
Description	superficie che identifica la proiezione	Description	
Tag		Tag	
Rain Gage	pioggia_nulla	Rain Gage	ieto_200_anni
Outlet	S_3	Outlet	chiusura
Area	0.0238	Area	0.0260
Width	100	Width	100
% Slope	0.1	% Slope	0.1
% Imperv	0	% Imperv	0
N-Imperv	0.015	N-Imperv	0.015
N-Perv	0.035	N-Perv	0.060
Dstore-Imperv	0.06	Dstore-Imperv	0.06
Dstore-Perv	5	Dstore-Perv	30
%Zero-Imperv	25	%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET	Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100	Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER	Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO	Groundwater	NO
Snow Pack		Snow Pack	
LID Controls	0	LID Controls	0
Land Uses	0	Land Uses	0
Initial Buildup	NONE	Initial Buildup	NONE
Curb Length	0	Curb Length	0
N-Perv Pattern		N-Perv Pattern	
Dstore Pattern		Dstore Pattern	
Infil. Pattern		Infil. Pattern	
Name of node or another subcatchment that receives runoff		Name of node or another subcatchment that receives runoff	

Fig. 71: Parametri utilizzati per caratterizzare i bacini S\_2 ed S\_3

Dai risultati ottenuti nella modellazione dello stato di progetto è emersa una sostanziale coerenza con quanto accadeva nello stato attuale. Infatti il valore massimo della portata che si genera alla sezione di chiusura varia molto poco ( da 0.0216 mc/s a 0.0225 mc/s) presentando un incremento di circa il 4.17% mentre il volume defluito alla sezione di chiusura varia da 37.044 mc a 36.912 mc riducendosi difatto dello 0.38 %.

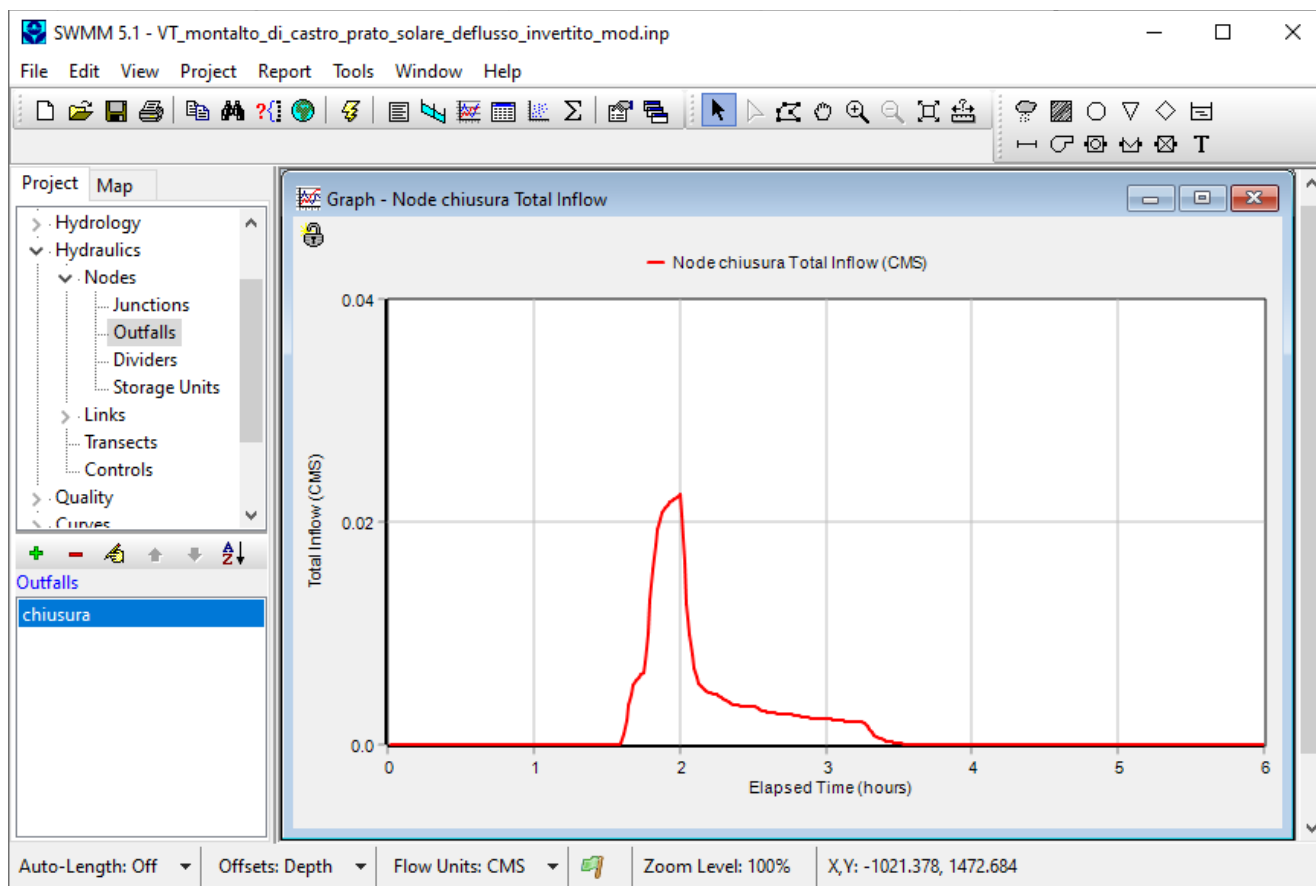


Fig. 72: Idrogramma di piena che si genera alla sezione di chiusura finale nelle condizioni di stato progetto

Alla luce di quanto appena discusso, sulla base delle verifiche quantitative condotte nelle condizioni di stato attuale e di progetto si può affermare che l'intervento in progetto non provoca un peggioramento delle modalità di deflusso nelle aree di interesse, consentendo di affermare che l'intervento provoca sostanziale invarianza idraulica e pertanto non è necessario realizzare vasche di laminazione o sistemi similari per la raccolta delle acque meteoriche.

## 4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a nord-est rispetto al centro abitato di Mazara del Vallo (TP) e a nord-ovest rispetto il centro abitato di Castelvetro e di Campobello di Mazara (TP) (vedi Fig.1) dove il proponente, SOLAR TIER S.r.l., ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto agrofotovoltaico, denominato “Aurora”, su un'area che insiste su una porzione di territorio situata a Nord del Fiume Delia nei pressi della Contrada Dagala. La realizzazione dell'impianto fotovoltaico è prevista su più lotti di terreno a volte non adiacenti e distanti. L'area è inoltre adiacente a dei corsi d'acqua e nella fattispecie il Torrente Giardinazzo e il Torrente Madonna Giovanna, entrambi affluenti di destra del Fiume Delia che scorre più a sud dell'area di intervento, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), su Carta Tecnica Regionale (Fig. 3), su ortofoto satellitare (Fig.4) e sulla Carta Idrogeomorfologica (vedi fig. 5). Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali della Sicilia, la zona oggetto d'intervento non risulta perimetrata come area a pericolo d'inondazione (vedi planimetria riportata in Fig. 6).

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico, 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 Regione Sicilia. In particolare è stata redatta la relazione idrologica ed idraulica ai sensi del R.D. 523/1904 (T.U. sulle acque pubbliche) e del DSG 50/2021 dell'AdB, ed in ottemperanza del “Principio dell'invarianza idraulica”, redatto conformemente agli indirizzi applicativi di cui alla direttiva AdB prot. 6834 11/10/2019 e al successivo DDG n.102 DRU/AdB del 23/6/2021.

Per le motivazioni sopra riportate, nell'ambito dell'incarico ricevuto, è stato dapprima ricostruito il quadro conoscitivo che ha riguardato tutte le problematiche afferenti al rischio idrogeologico, in questo contesto è stata eseguita anche un'analisi sulle caratteristiche meteorologiche della zona in cui ricade l'intervento al fine di ricostruire lo ietogramma di pioggia di progetto con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni.

In una seconda fase è stata condotta l'analisi del rischio idraulico composta da uno studio idrologico basato su una modellazione afflussi–deflussi volta a determinare l'idrogramma di piena per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni, da inserire come input nel modello idraulico, quindi in una terza fase, sono state condotte le verifiche idrauliche sulla base di modello idraulico bidimensionale di maggior dettaglio in grado di simulare al meglio la propagazione dei deflussi sul territorio ed individuare quindi le aree allagabili. I modelli idraulici sono stati implementati sulla base di modello digitale del terreno con cella di 2 m disponibile per la zona, rilevato con tecnica lidar e reso disponibile dal portale open-data della Regione Sicilia.

Lo scrivente nell'ambito della redazione dello studio di compatibilità idraulica ha predisposto quindi un'analisi del rischio idraulico basato a monte su uno studio idrologico attraverso una modellazione afflussi – deflussi per la determinazione dello ietogramma di pioggia netta e degli idrogrammi di progetto che sono stati utilizzati successivamente come input nella modellazione idraulica bidimensionale per la propagazione dei deflussi con tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 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 la zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Alla luce dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica bidimensionale condotta in regime di moto vario è emerso che, con particolare riferimento alla portata duecentennale, si verificano allagamenti che interessano in alcuni casi le aree da adibire all'installazione dei moduli fotovoltaici. I battenti massimi che si generano sono dell'ordine del metro e i valori massimi di velocità riscontrati sono pari a 0.75 m/s.

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 gli stessi interventi vengano realizzati 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;
- eventuali manufatti che ricadono nelle zone allagabili devono essere rialzati da terra e 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;
- le cabine di trasformazione che ricadono nelle aree allagabili, con particolare riferimento al lotto FV02 Daga la Fonda, saranno realizzate su rilevati per cui la quota di intradosso sarà posta a 0.50 m dal livello idrico massimo raggiunto dalla corrente per l'evento duecentennale;
- i sostegni sui quali verranno agganciati i moduli fotovoltaici saranno infissi nel terreno ad una profondità tale da garantirne la stabilità e saranno comunque progettati per resistere sia alla spinta statica che alla spinta dinamica generata dalla corrente in caso di allagamento;
- i pannelli fotovoltaici durante gli eventi meteorologici intensi assumeranno posizione orizzontale garantendo una altezza libera pari a 2.50 m da terra;
- la realizzazione di recinzioni dovrà avvenire garantendo una idonea permeabilità.

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 costituisce 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 batterie di pannelli verranno installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- le cabine di trasformazione, se ubicate nelle zone allagabili, saranno poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle eventuali cabine di trasformazione e le recinzioni, da realizzare secondo le prescrizioni sopra riportate, non interferiscono in maniera rilevabile con il libero deflusso delle acque per cui i profili di corrente risultano invariati.

In definitiva, sulla base delle indagini condotte, ed è possibile concludere che:

1. Dalla verifica cartografica è stata determinata la non sussistenza di zone soggette a pericolosità o rischio idraulico del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Sicilia e a pericolosità o rischio di alluvione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), proposto dalla Regione Siciliana (delibera n. 274 del 25 luglio 2018 della Giunta Regionale) e approvato col D.P.C.M. 7 marzo 2019, nell'area oggetto di studio e per quel che concerne il tracciato dei cavidotti che collegano la sottostazione ai siti in questione. Per cui da un punto di vista idraulico, le opere in progetto, che consistono nell'installazione dei pannelli fotovoltaici con relative cabine di trasformazione e dei cavidotti di collegamento alla rete elettrica principale, secondo le Norme del PAI e del PGRA, rientrano fra quelle consentite, data la valutazione di rischio idraulico ed alluvione nullo ad esse associato.
2. Le soluzioni di installazione dei cavidotti e la risoluzione delle relative interferenze prevedono l'esecuzione di interventi di movimento terra con completo ripristino dello stato dei luoghi, in particolare le interferenze dei cavidotti con i corsi d'acqua e i canali saranno risolte tramite Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

Tali soluzioni, consentono di eliminare l'interessamento diretto con le sezioni idrauliche del corso d'acqua, escludendo qualsiasi interferenza con il livello di massima piena dei corpi idrici, ed evitando qualunque sovrapposizione con le aree a pericolosità ed a rischio suddette. Si evidenzia peraltro come tutte le interferenze e gli attraversamenti presenti sono stati gestiti conformemente alle N. di A. del PAI e al D.S.G. 50/2021 del 05/03/2021.

Come già in precedenza descritto, la presenza di pannelli, non costituisce una reale "impermeabilizzazione" delle aree, date anche le posizioni mutue dei pannelli e la loro altezza rispetto al suolo. Inoltre, a differenza degli impianti fissi tradizionali in cui le acque meteoriche defluendo sui

pannelli ricadono a terra in maniera localizzata sempre sulla stessa area, la tipologia di impianto in progetto è dotato invece di trackers che ruotano nel tempo permettendo di garantire un deflusso delle acque meteoriche a terra ben distribuito. In sostanza l'area sottesa dalle strutture agrovoltaiche (tracker) non rientra nel consumo di suolo poiché il terreno al di sotto sarà coltivato e l'area a ridosso dei pali sarà mantenuta pulita con sfalcio regolare dell'erba spontanea.

Come in precedenza evidenziato, dal raffronto tra le condizioni ante e post operam, la realizzazione dell'impianto riesce a garantire il pieno rispetto del principio dell'invarianza idraulica e il mantenimento delle caratteristiche di permeabilità del suolo e di deflusso nel sito tra le condizioni ante e post operam.

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

Maggio 2022

Ing. Dario Tricoli

