



REGIONE SICILIA



PROVINCIA DI TRAPANI



COMUNE DI MAZARA DEL VALLO



COMUNE DI SANTA NINFA



COMUNE DI SALEMI

Proponente	<b>Geremo S.r.l.</b>				
Progettista:	<b>SeaWindPower</b>			Partnered by:	
Progettazione	<b>Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco</b> Via A. Ognibene n. 107 92013 - Menfi (AG) seawindpower@pec.it		Studio Botanico Faunistico e Agronomico	<b>Dott. For. Giuseppe D'Angelo</b> Corso Umberto I n. 140 90010 - Gratteri (PA) g.dangelo@conafpec.it	
SIA PIMA	<b>Ing. Francesco Desiderio Lanzalaco</b> Via A. Ognibene n. 107 92013 - Menfi (AG) seawindpower@pec.it		V.I. ARCH.	<b>Dott. Sebastiano Muratore</b> Via G. P. Giraldi n. 16 90123 - Palermo (PA) mutatore@pec.paropos.com	
Studio Idraulico	<b>Ing. Dario Tricoli</b> Via Carlo Pisacane n. 25/F 88100 - Catanzaro (CZ) ruwa@pec.ruwa.it		Studio Geologico Geofisico ed Idrogeologico	<b>Dott. Leonardo Mauceri</b> Via Olanda n. 15 92010 - Montevago (AG) geologomauceri@epap.sicurezzapostale.it	
Studio impatto acustico	<b>Ing. Maurizio V. Salvo</b> Via Cavour n. 28 91025 - Marsala (TP) mediacom srl@gigapec.it		Studio preliminare strutture	<b>Ing. Gaspare La Porta</b> Via Rosario n. 44 92015 - Raffadali (AG) gasparesalvo@ingpec.eu	
Opera	Progetto di realizzazione di un impianto eolico e opere connesse nei Comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP), denominato <i>Anemos</i>				
Oggetto	Codice elaborato interno - Titolo elaborato: ANMSSOR10-00 – STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA				
00	08/03/2023	Emissione per progetto definitivo	Ing. Dario Tricoli	Ing. A. Letizia	Geremo s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

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

***Proponente: GEREMO SRL***

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

**Studio di compatibilità idraulica**

**Marzo 2023**

**Ing. Dario Tricoli**



## Indice generale

1 – Premessa.....	3
2 – Ricostruzione quadro conoscitivo.....	6
2.1 - Inquadramento area di studio.....	6
2.2 – Inquadramento Piano di Bacino e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	11
2.3 – Modello digitale del terreno (DTM).....	13
2.4 - Uso del suolo.....	18
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.....	48
3.3.1 – Verifica idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D).....	48
3.4 – Descrizione interventi in progetto.....	64
3.5 – Verifiche idrauliche dello stato di progetto.....	66
3.3.1 – Verifica idraulica bidimensionale in moto vario (HEC-RAS 2D).....	66
3.5 – Invarianza idraulica .....	72
3.5.1 – Descrizione del fenomeno.....	72
3.5.2 – Implementazione modelli .....	76
3.6 – Valutazione effetti intervento in progetto.....	84
4 – Conclusioni e raccomandazioni.....	86

## 1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona che comprende i comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP) dove il proponente, GEREMO SRL, ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto eolico denominato “Anemos”. Il parco eolico sarà costituito da 10 aerogeneratori da 4.5 MW, per una potenza complessiva di 45 MW.

L'impianto eolico in progetto interferisce con i corsi d'acqua del reticolo idrografico minore, 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 Idrogeologica (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 eolico, 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 lo ietogramma di precipitazione netta 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 nelle condizioni di stato attuale e di progetto, utilizzando come base il 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.

In una ultima fase si è reso necessario approfondire le analisi idrauliche al fine di tener conto dell'esigenza di rispettare il principio dell'invarianza idraulica di cui al DPCM del 7 marzo 2019, con specifico riferimento alla norme di attuazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni, ed evidenziando le eventuali misure di mitigazione previste a tale fine. Inoltre tali interventi devono risultare idonei e compatibili con l'assetto idrogeologico dell'area vasta, secondo i metodi e tecniche richiamate nel D.D.G. 102 del 23/6/2021 emanato congiuntamente dalla DRU e dall'Autorità di Bacino della Regione

Sicilia.

A tal proposito nell'ambito dello studio idraulico relativo alla realizzazione del parco eolico in progetto, è stato realizzato un modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico implementato nel software SWMM e realizzato ad-hoc al fine di dimostrare che la realizzazione degli interventi relativi all'impianto eolico in progetto non altera le condizioni di permeabilità dei suoli e non produce una modifica sostanziale delle condizioni di rischio idraulico della zona. In particolare, al fine di rispettare i criteri legati al concetto di invarianza idraulica, come imposto dalla normativa vigente, si è reso necessario prevedere la realizzazione di apposite trincee disperdenti, finalizzate alla laminazione di parte dei deflussi che verranno dapprima intercettati dalle stesse trincee e quindi successivamente fatti disperdere nel suolo.

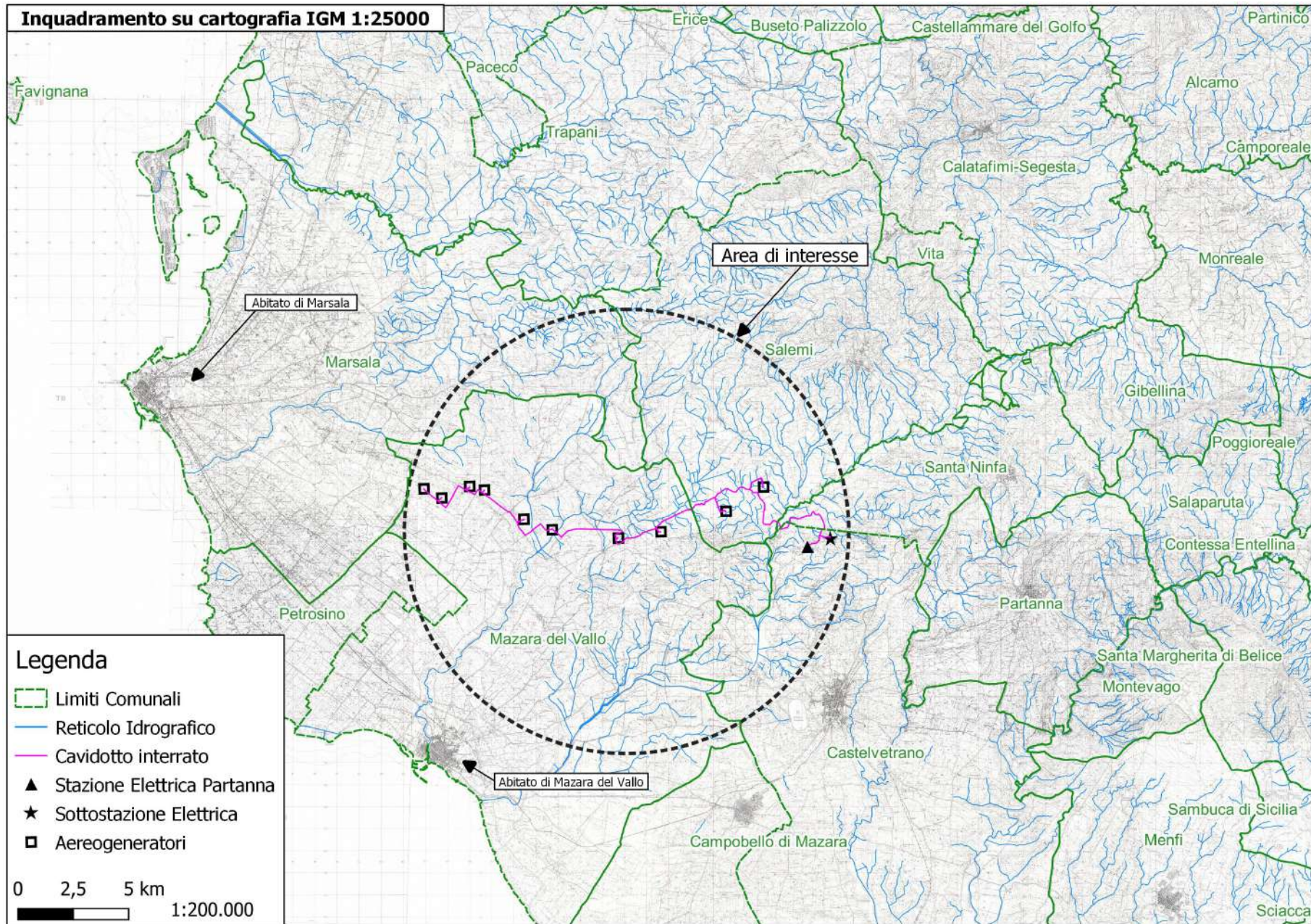


Fig. 1: Inquadramento area di studio su cartografia IGM scala 1:25000

## **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 situata all'interno del territorio dei comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP); nelle Figg. 3, 4 e 5 è invece riportato l'inquadramento della zona di interesse rispettivamente su Cartografia Tecnica Regionale (CTR scala 1:10000), su Ortofoto Satellitare e su Carta Idrogeologica.

L'area oggetto di intervento è situata nelle vicinanze dei corsi d'acqua secondari e degli 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.

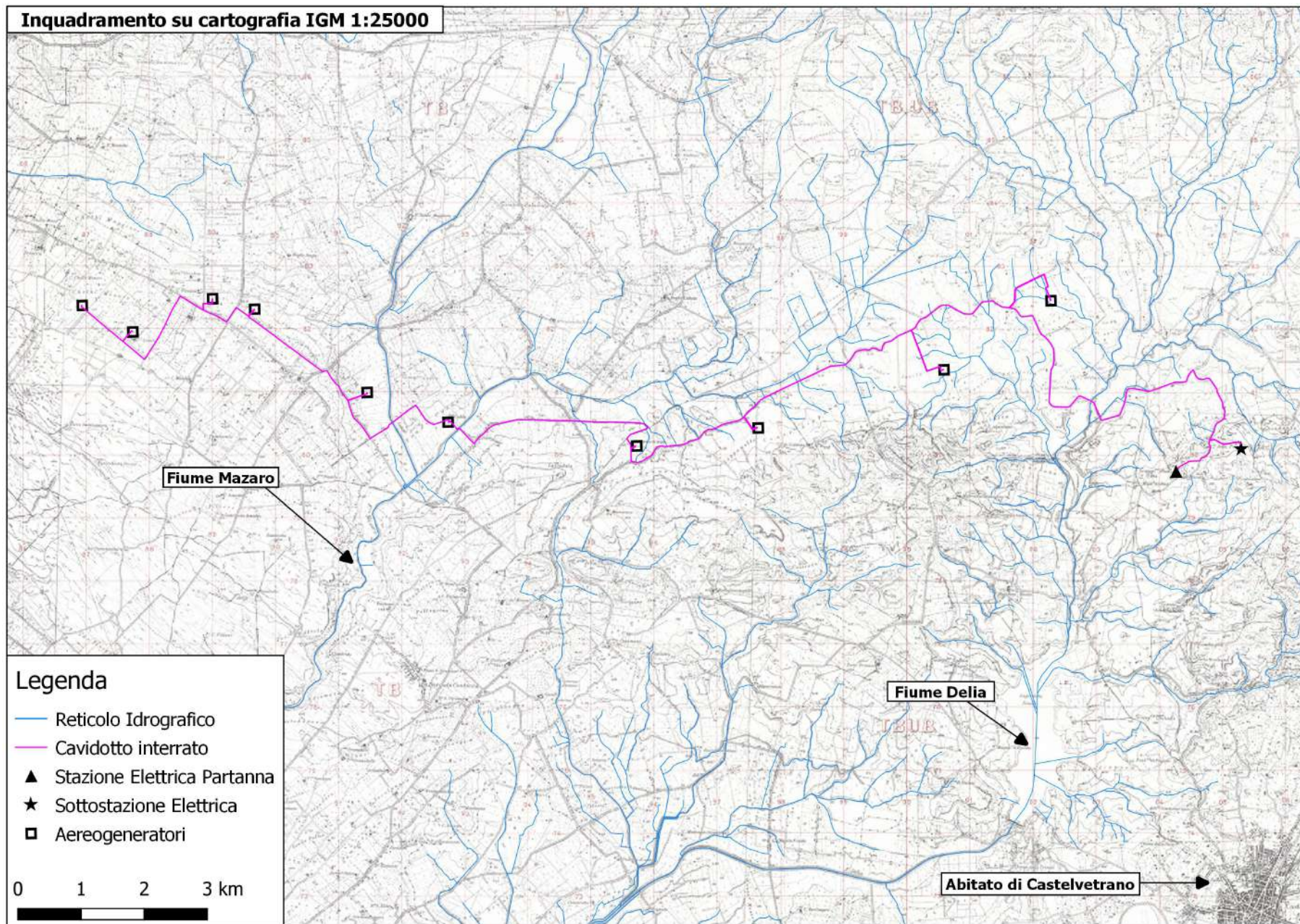


Fig. 2: Inquadramento di dettaglio su cartografia IGM scala 1:25000



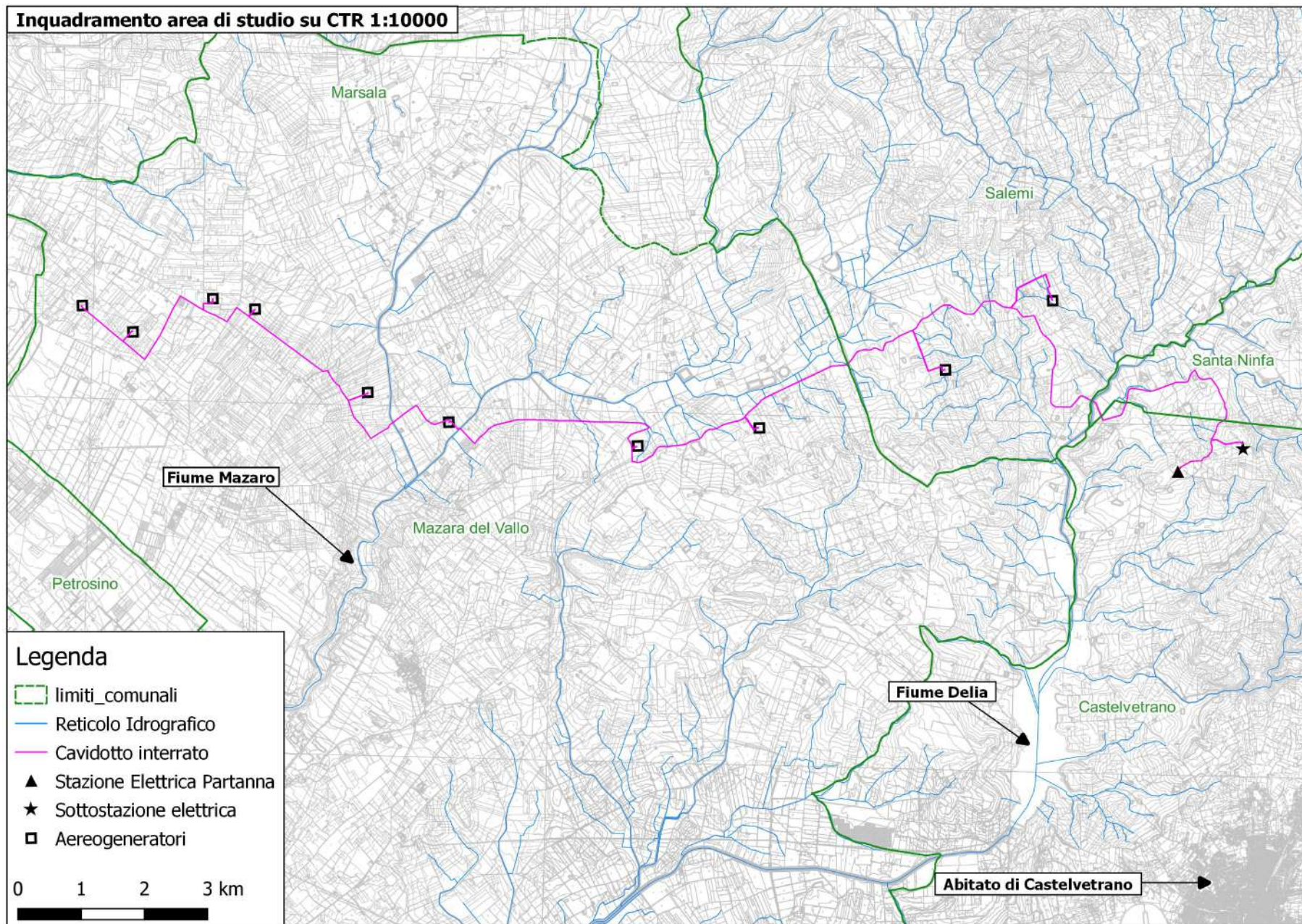
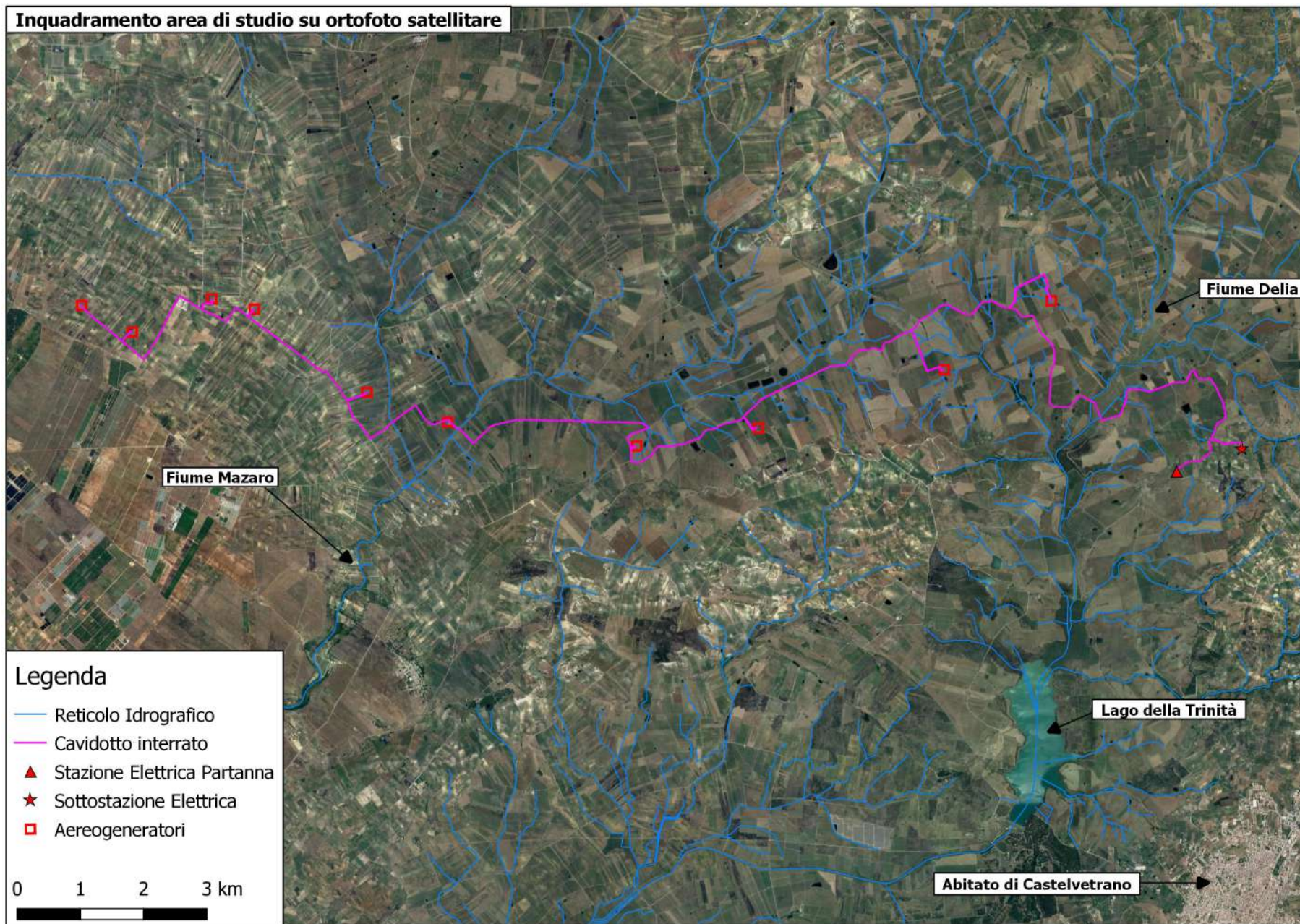


Fig. 3: Inquadramento area di studio su Carta Tecnica Regionale (CTR scala 1:10000)



4Fig. 4: Inquadramento area studio su Ortofoto Satellitare

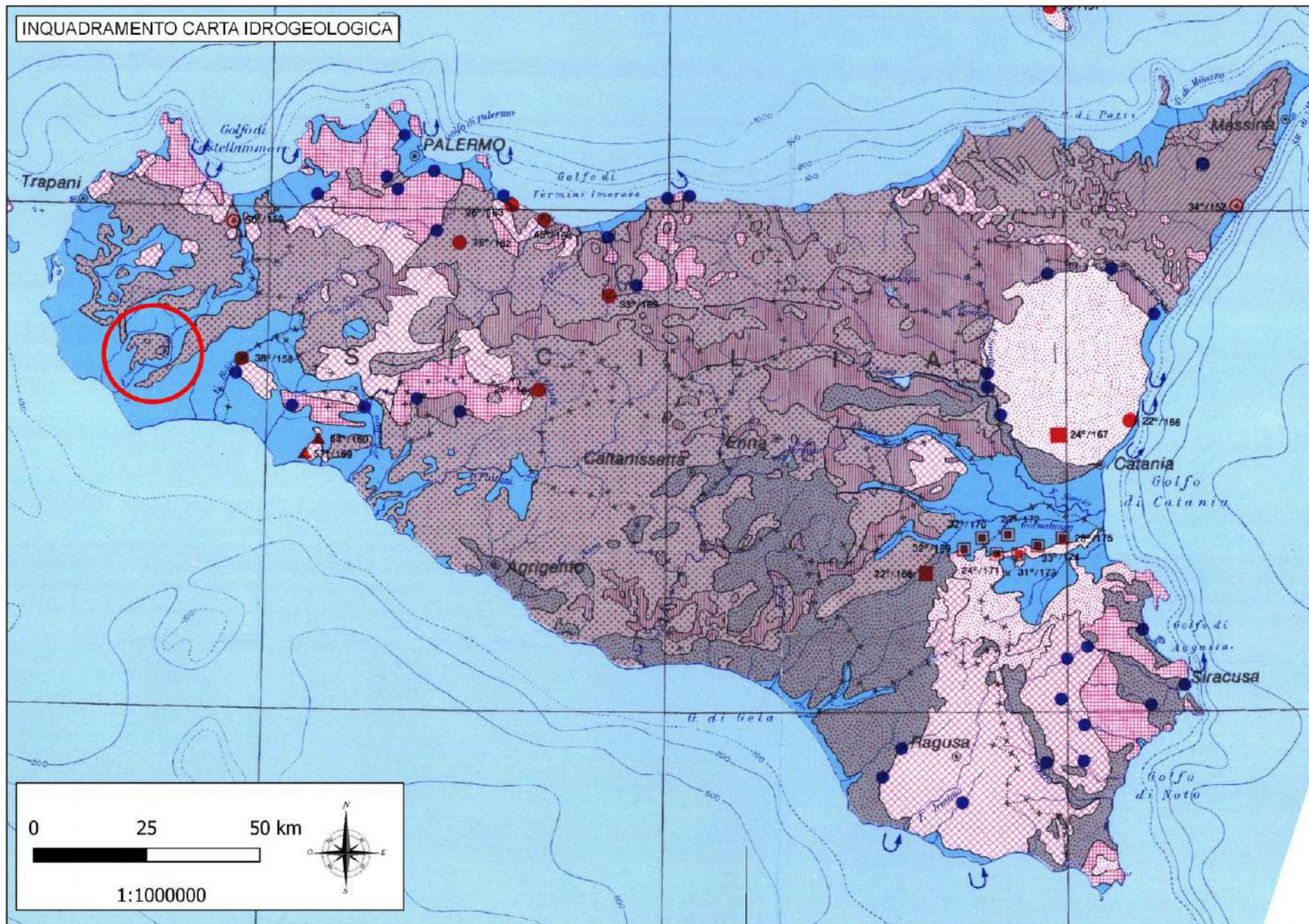


Fig. 5: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeologica

## **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.

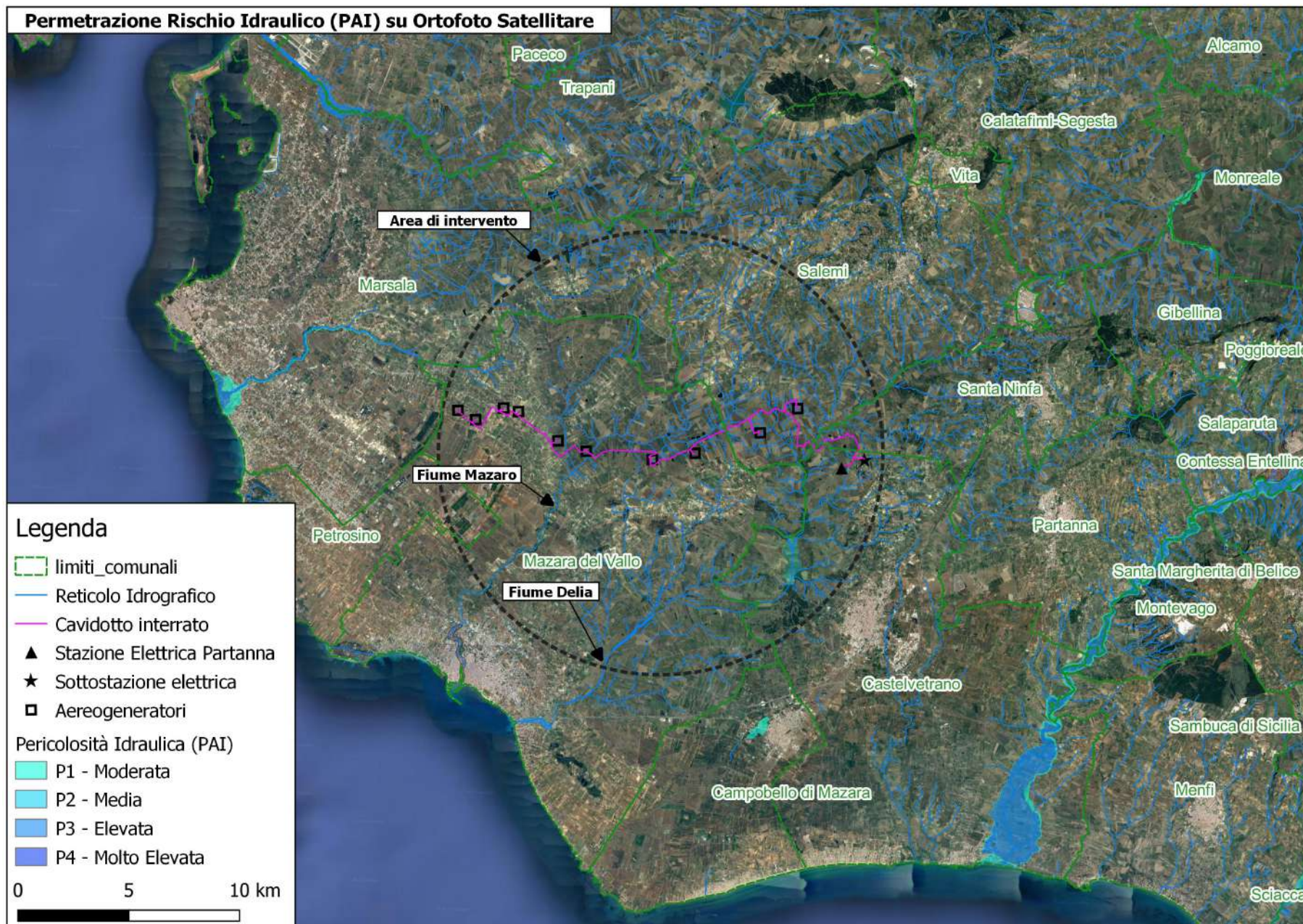


Fig. 6: Perimetrazione pericolosità idraulica da Piano Stralcio Idrogeologico(PAI) su Ortofoto Satellitare

## 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)
Fiume Mazaro	104.72
Fiume Delia	202.30

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.

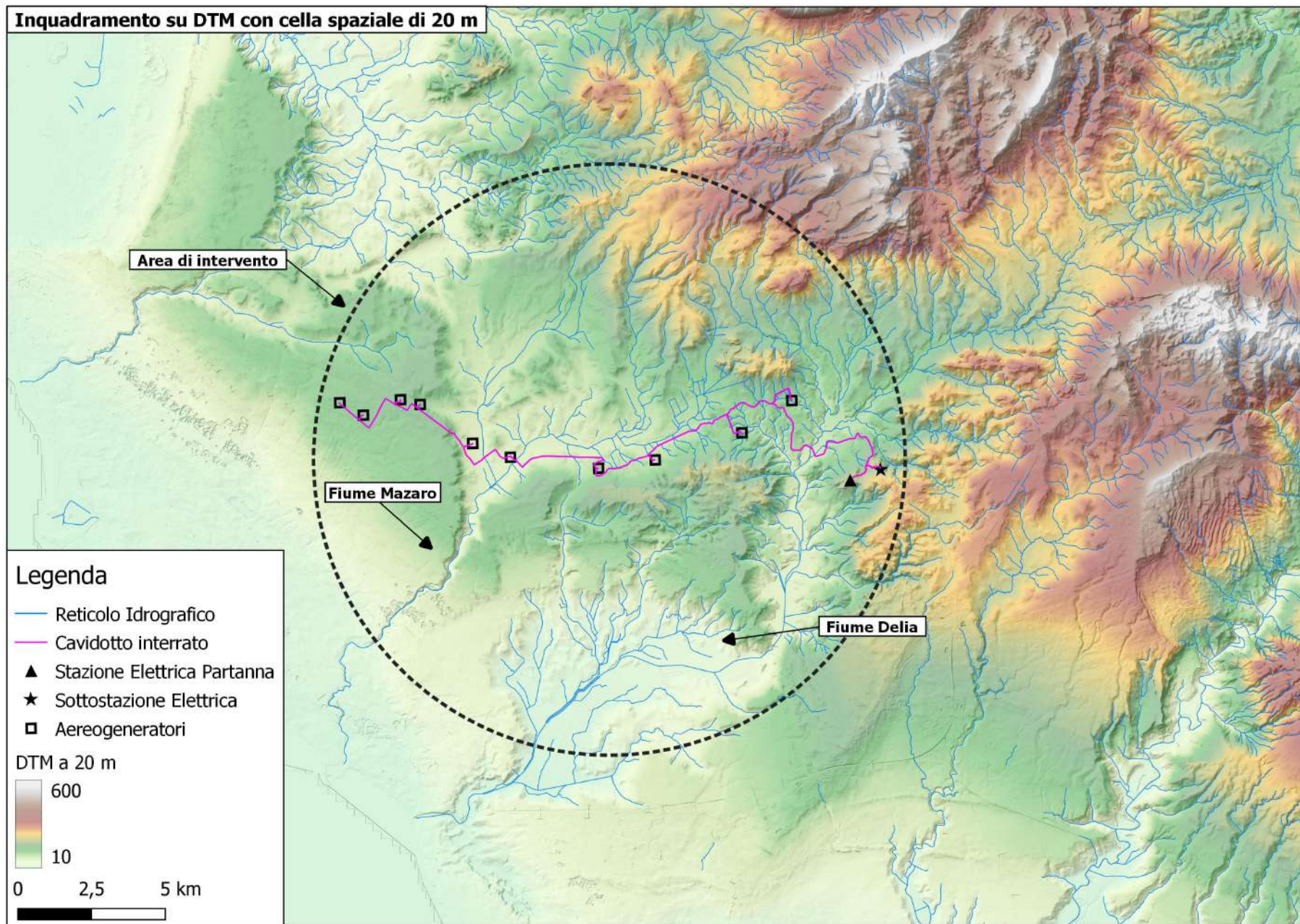


Fig. 7: Modello digitale del terreno con cella a 20 m con sovrapposta l'area di intervento

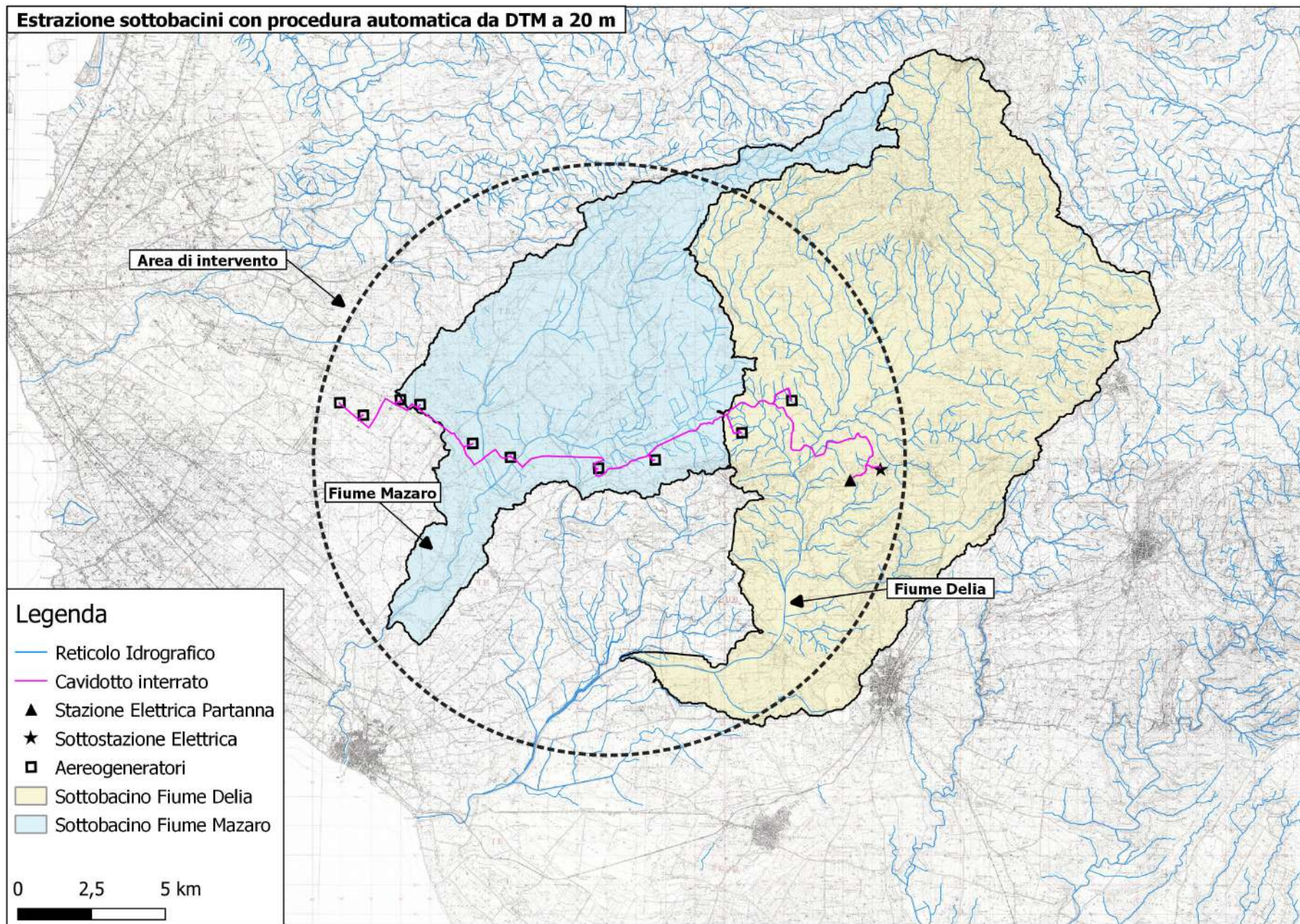


Fig. 8: Bacini idrografici estratti con procedura automatica (TAUDEM) da DEM con cella a 20m



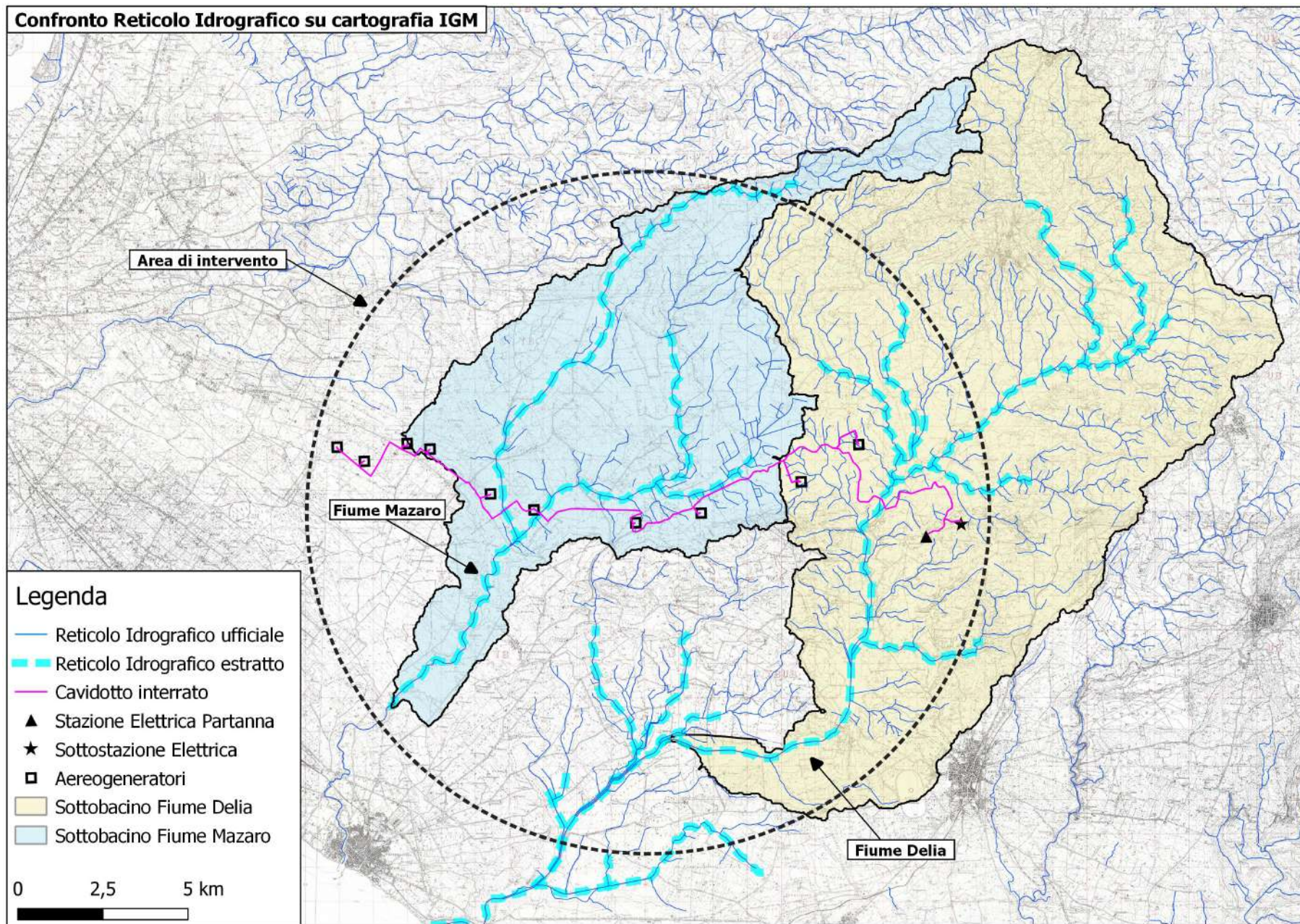


Fig. 9: Confronto tra il reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica (in blu) con il reticolo estratto da procedura automatica (in ciano tratteggiato)

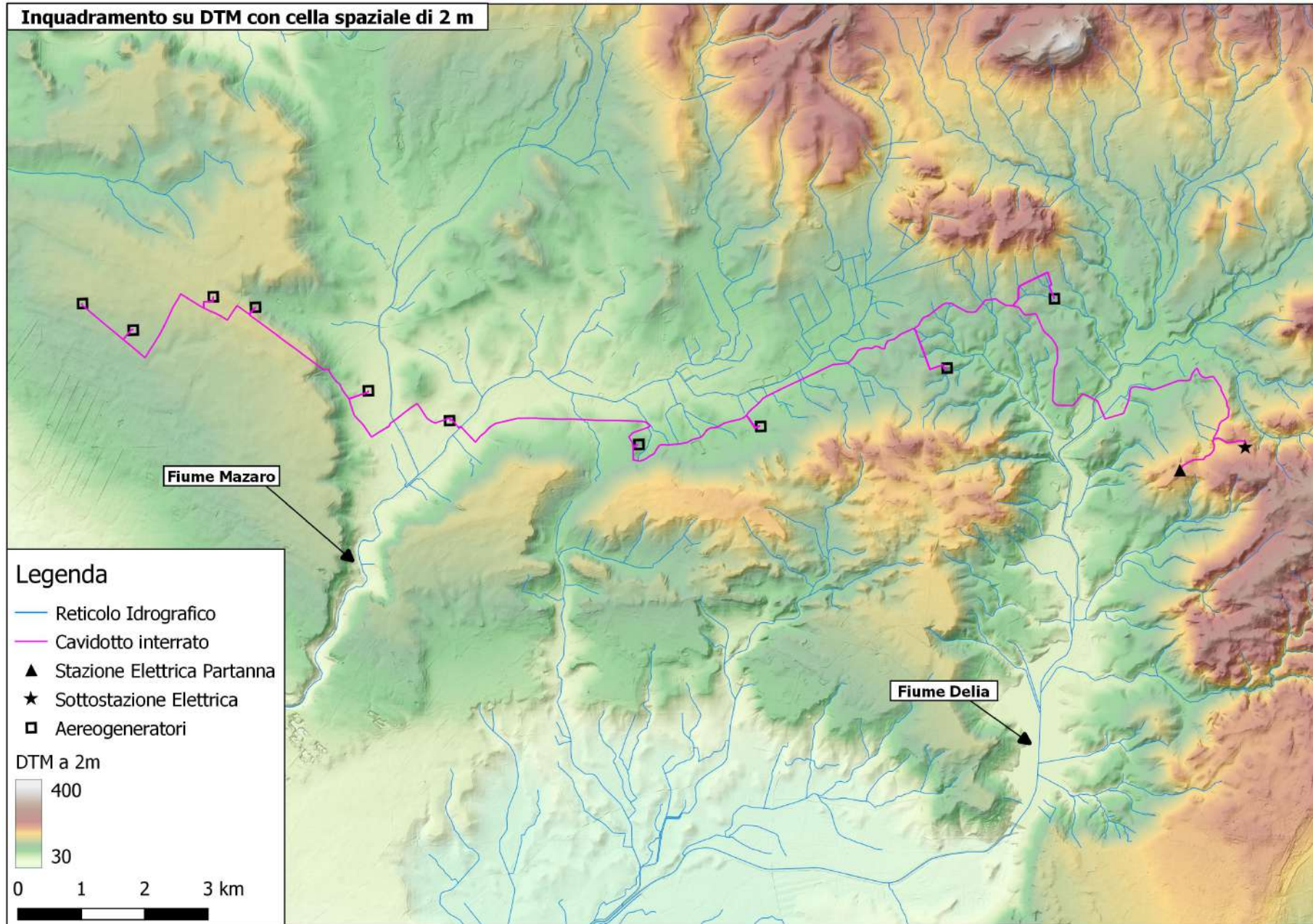


Fig. 10: Dettaglio del modello digitale del terreno con cella spaziale di 2 m in corrispondenza dell'area di intervento

## 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 Livello)	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>	100.00

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

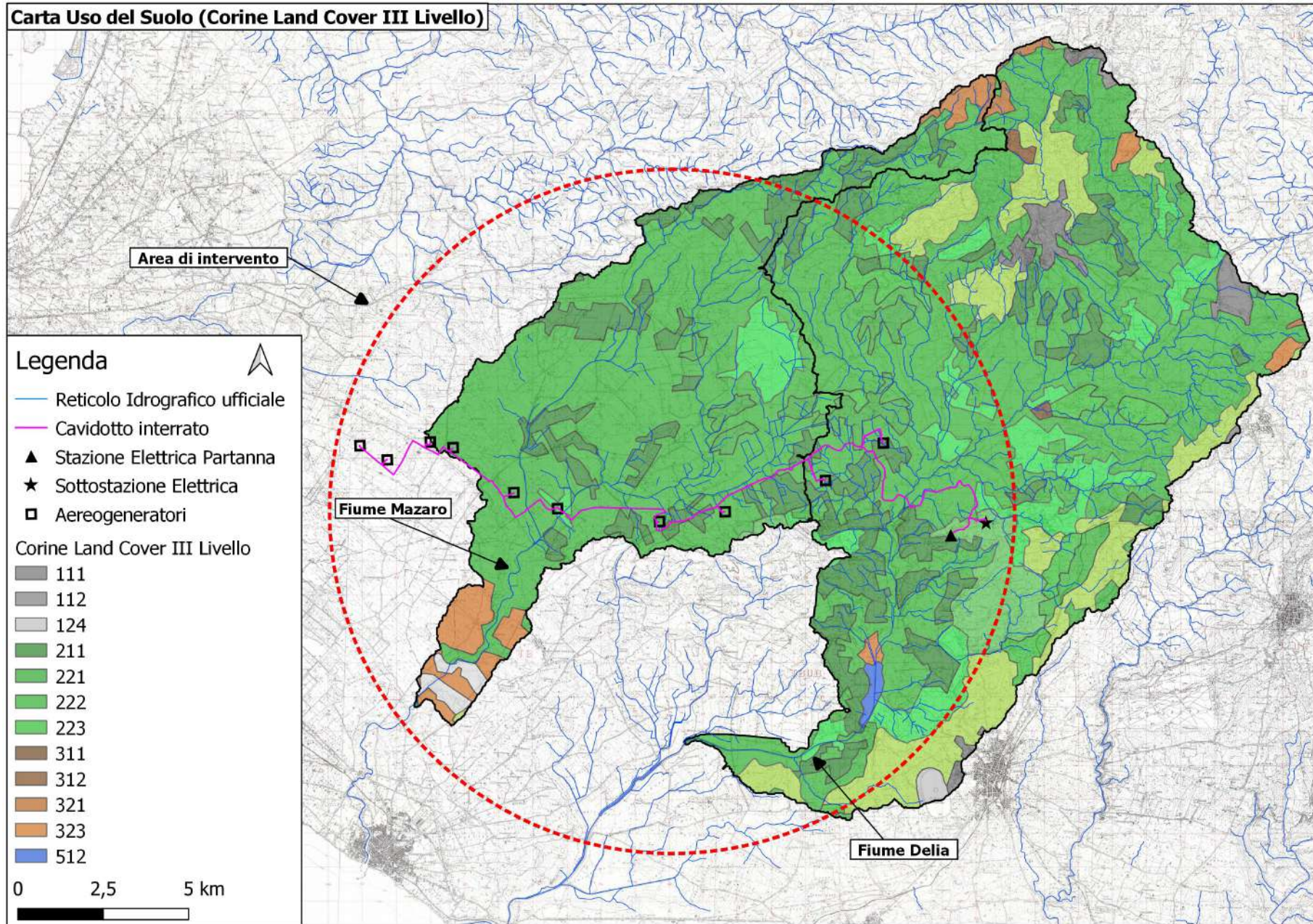


Fig. 11: Carta Uso del suolo dal Corine Land Cover III Livello su cartografia IGM scala 1:25000

## 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. 3

<b>CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'</b>
<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 colloid. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
<b>GRUPPO D</b> - Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Tabella 3: Classi di permeabilità

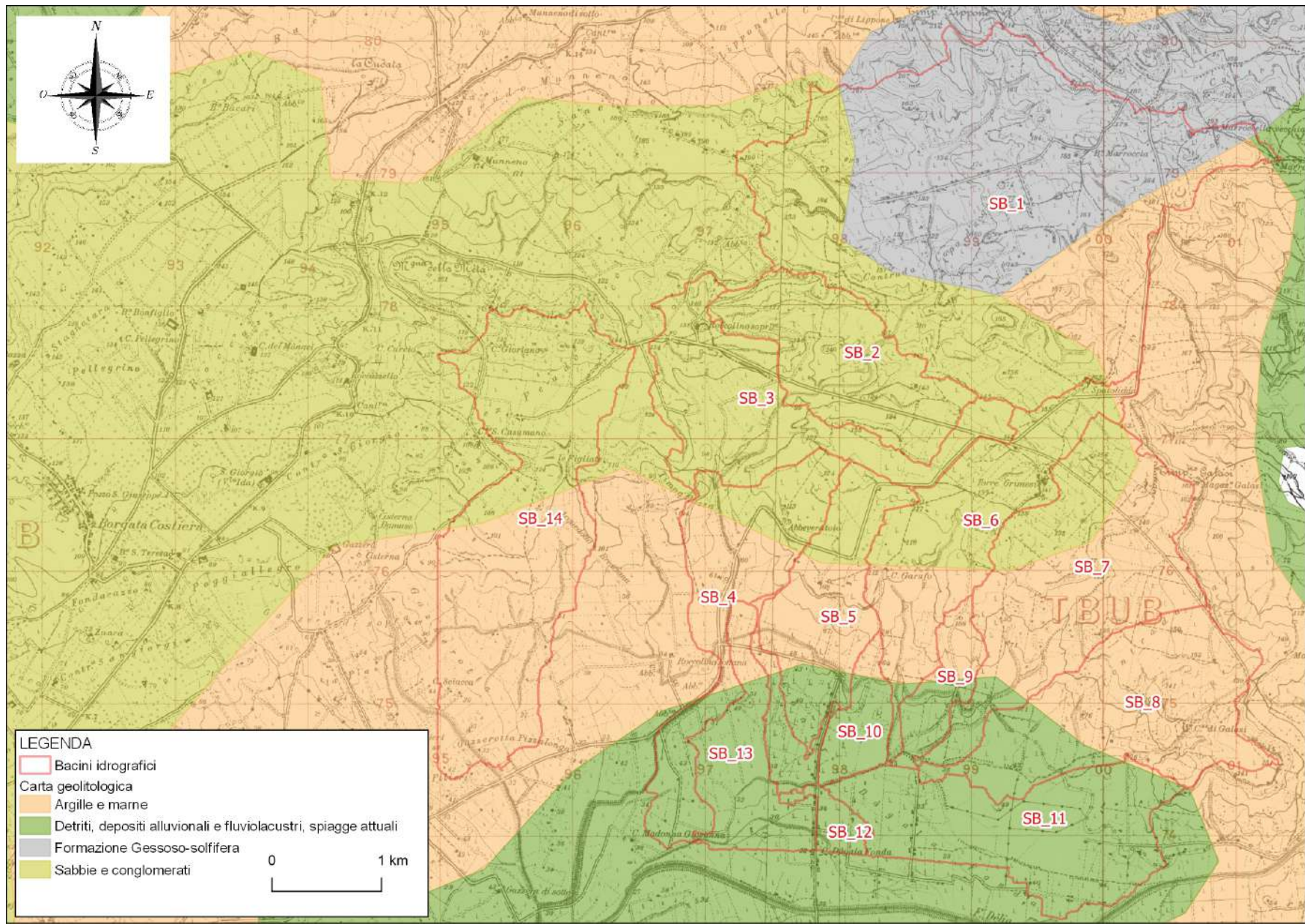


Fig. 12: Classi litologiche

## 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.5 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 4. 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
F. MAZARO	104	88
F. DELIA	202	88

Tabella 4: 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 5: Valori del CN per per classe di permeabilità e uso del suolo



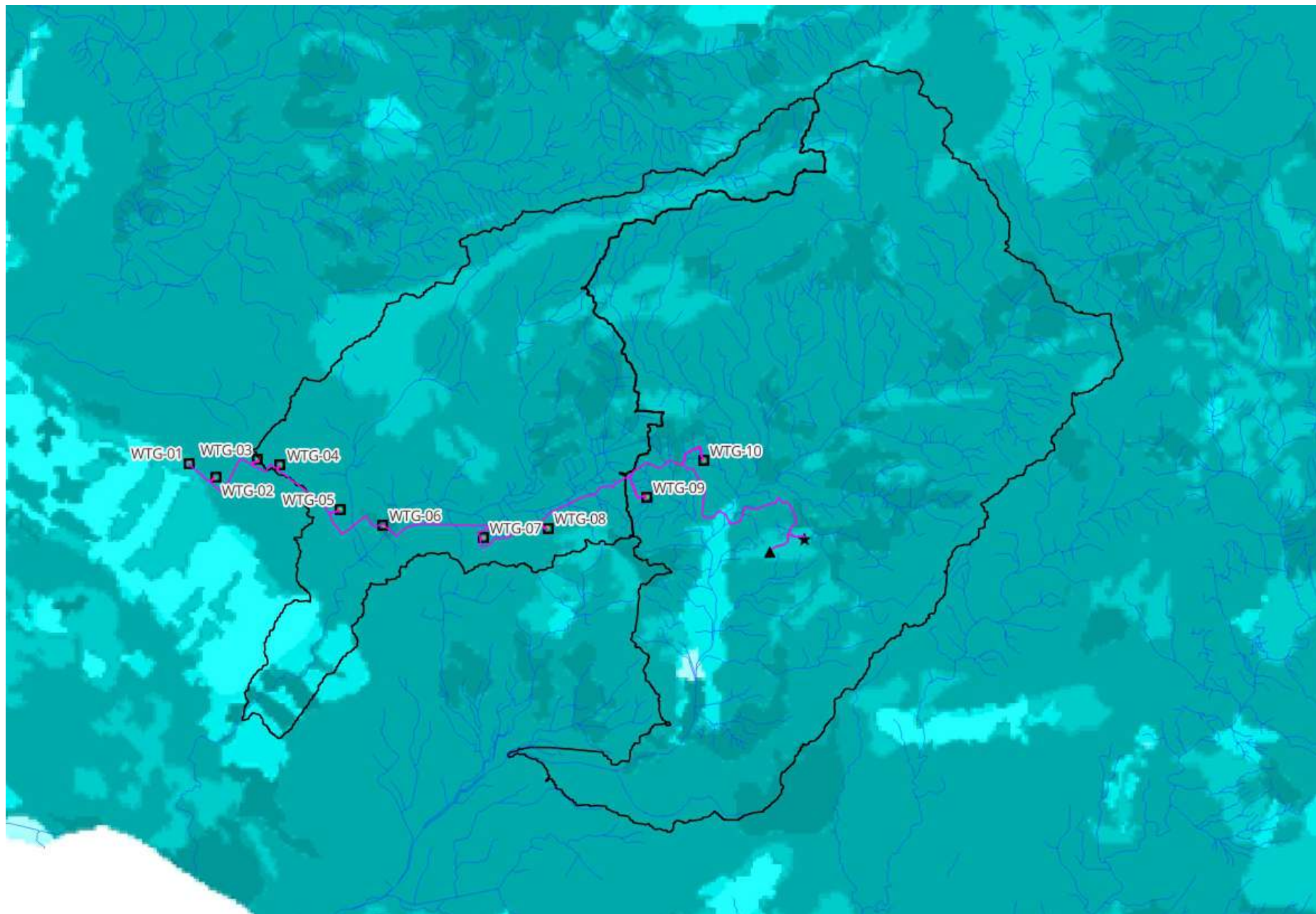


Fig. 13: Curve Number

## 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  $\xi(h_d)$  dipende soltanto dai parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  ;
- il coefficiente di variazione  $\gamma(h_d)$  dipende dai parametri  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta_{b,d}$  ;
- 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:

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

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  $\xi(h_d)$ ;
- 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  $\gamma(h_d)$ ;
- 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:

$$\Theta(d) = 1,95 + 0,0284d$$

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

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:

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

In Tabella 6 sono riportati i parametri a ed n calcolati, come sopra descritto, nella 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 7) per relative ai 4 tempi di ritorno considerati nell'ambito delle verifiche idrologiche e idrauliche (Tr 50, 100, 200, 300 anni).

<b>SZO A</b>	
<b>a</b>	27
<b>n</b>	0.23

Tabella 6: Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica

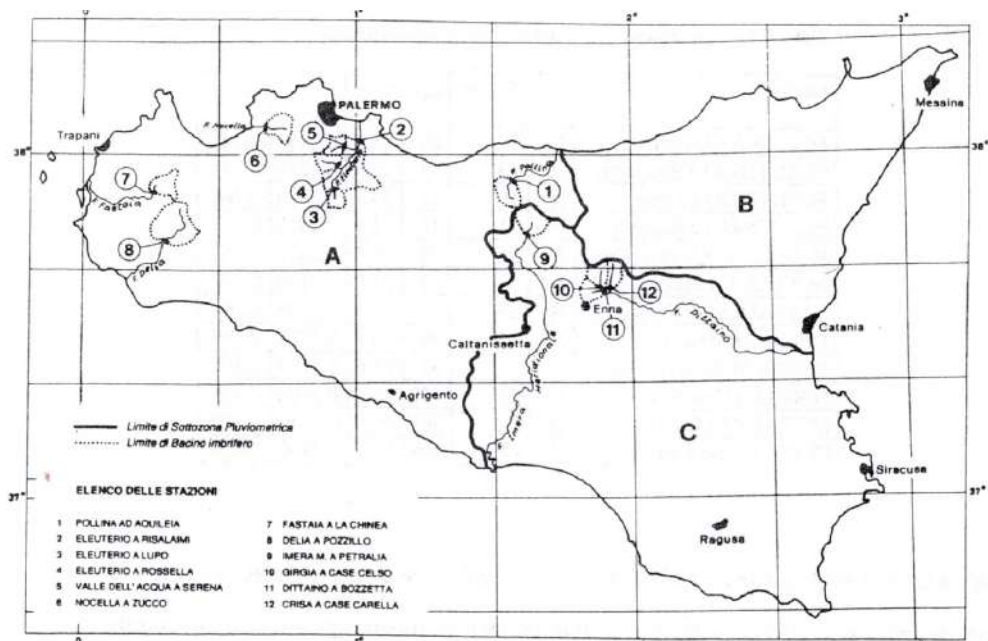


Fig. 14: Sottozone pluviometriche Vapi Sicilia

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 7: Curve di possibilità pluviometrica

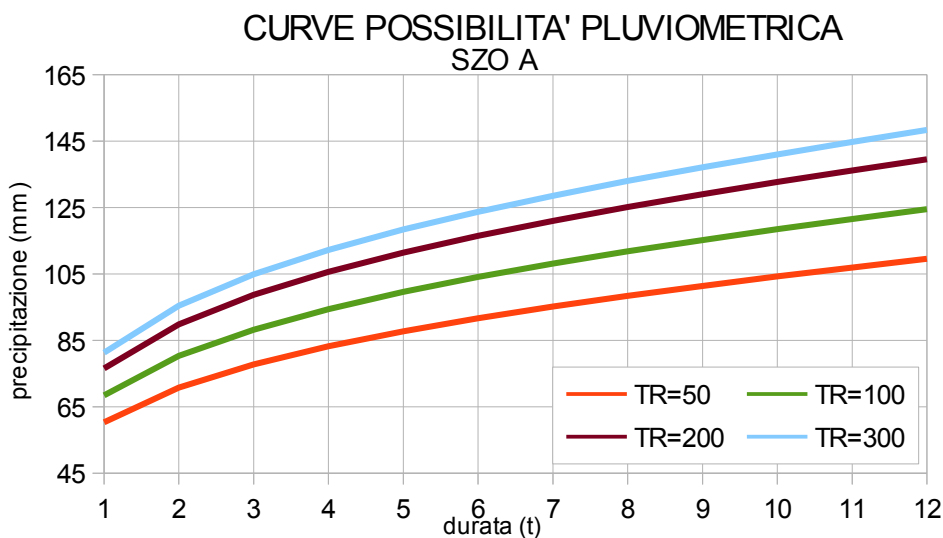


Fig. 15: Curve di possibilità pluviometrica

### 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 bidimensionale in regime di moto vario dell'area oggetto di studio capace di utilizzare come condizione al contorno di input lo ietogramma di pioggia netta corrispondente ai quattro tempi di ritorno ( 50, 100, 200 e 300 anni ) 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 dello ietogramma di precipitazione netta che è stato successivamente imposto al dominio di calcolo 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
<b>TERRENO COLTIVATO</b>				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>TERRENO DA PASCOLO</b>				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
<b>PRATERIE</b>				
buone condizioni	30	58	71	78
<b>TERRENI BOSCOSI O FORESTATI</b>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI</b>				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<b>AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)</b>	89	92	94	95
<b>DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)</b>	81	88	91	93
<b>AREE RESIDENZIALI</b>				
Impermeabilità media	%	77	85	90
	65	61	75	83
	38	57	72	81
	30	54	70	80
	25	51	68	79
<b>PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI</b>	98	98	98	98
<b>STRADE</b>				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 8: Tipo di copertura e uso del suolo

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

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



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

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

Tabella 9: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)

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

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

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

Tabella 10: 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:

–equazione del moto:

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

–equazione di continuità:

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

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

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

Il metodo di soluzione adottato è un metodo di tipo semi-implicito in cui in pratica la portata ed il livello in ogni nodo, in un determinato istante di tempo, sono espressi in funzione di portata e livello nelle sezioni adiacenti nello stesso istante di tempo oltre che della portata e del livello della stessa

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

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

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

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

2. equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;
3. algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai volumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica critica, come per esempio in un risalto idraulico);
4. algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia. In ogni passo temporale l'equazione di moto utilizza i risultati 1D e 2D per calcolare il flusso consentendo il calcolo preciso della sommersione delle aperture, in ogni passo temporale considerando la variazione di livelli che si ha nei due elementi. Inoltre il deflusso si può invertire (dall'area 2D al tronco 1D) una volta che la piena è passata e i tiranti nel fiume si riducono.
5. maglie computazionali strutturate o non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare maglie computazionali non strutturate, ma può anche gestire maglie strutturate. Una maglia strutturata è trattata allo stesso modo di una maglia non strutturata, con la differenza che il software sfrutta le celle che sono ortogonali tra di loro (questo semplifica alcuni dei calcoli

richiesti). Ciò significa che le celle calcolate possono essere triangoli, quadrati, rettangoli, o addirittura elementi a cinque e a sei facce (il modello è limitato agli elementi con più di otto lati). La maglia può essere un misto di celle di diverse forme e dimensioni. Il contorno esterno della maglia di calcolo è definito con un poligono. Le celle di calcolo che formano il limite esterno la maglia possono avere linee multi-point molto dettagliate che rappresentano le facce esterne di ciascuna cella. La maglia di calcolo non deve essere ortogonale ma se la maglia è ortogonale la discretizzazione numerica è semplificata e più efficiente;

6. tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-elaborata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione, vedi figura 16.

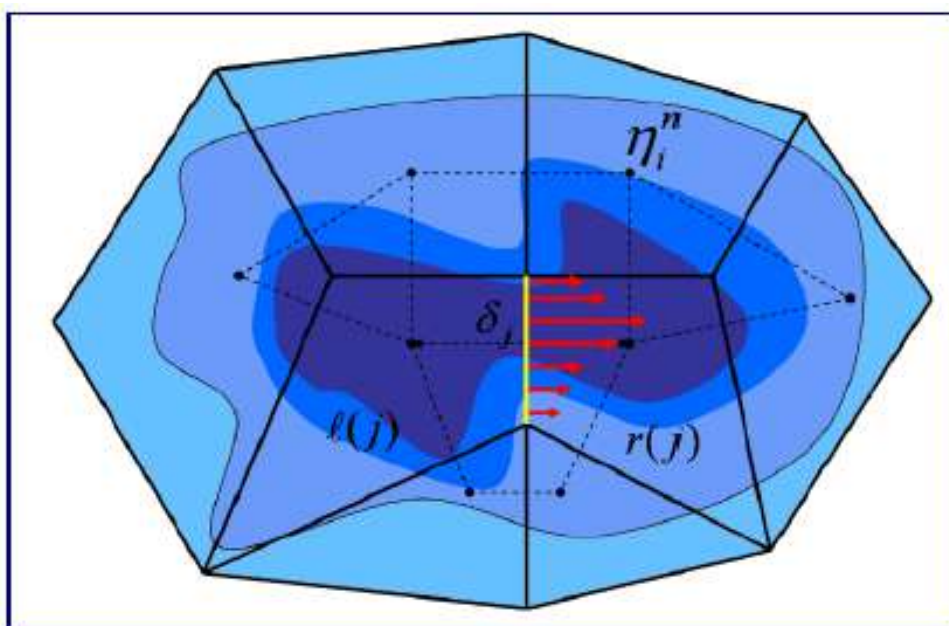


Fig. 16: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

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.

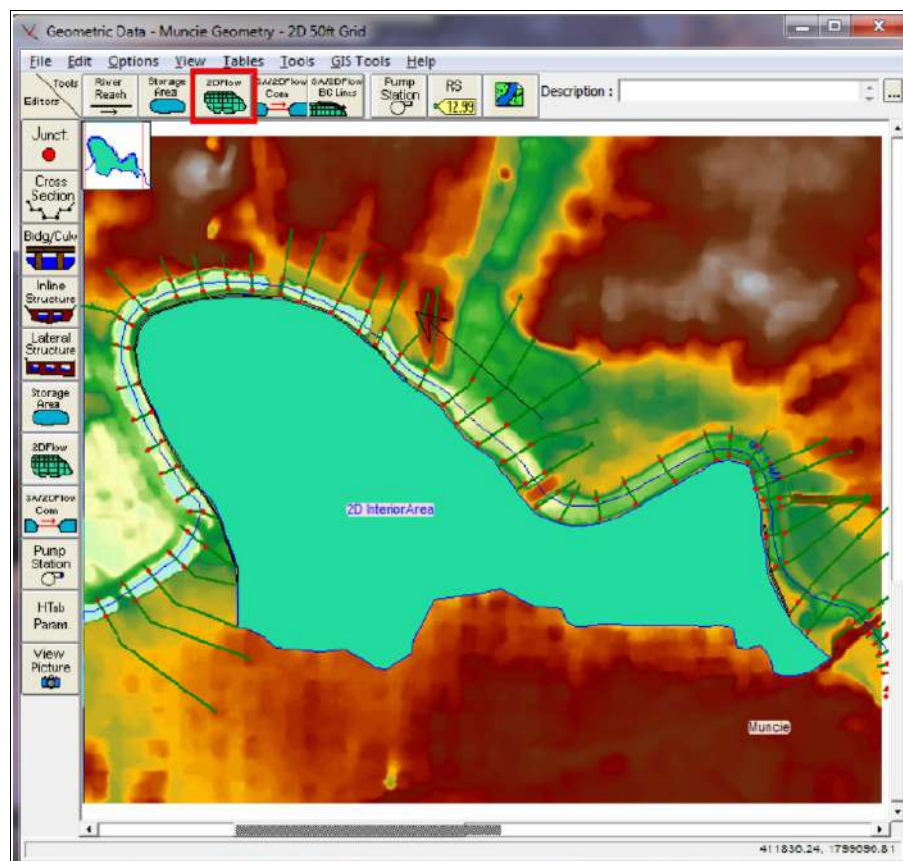


Fig. 18: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

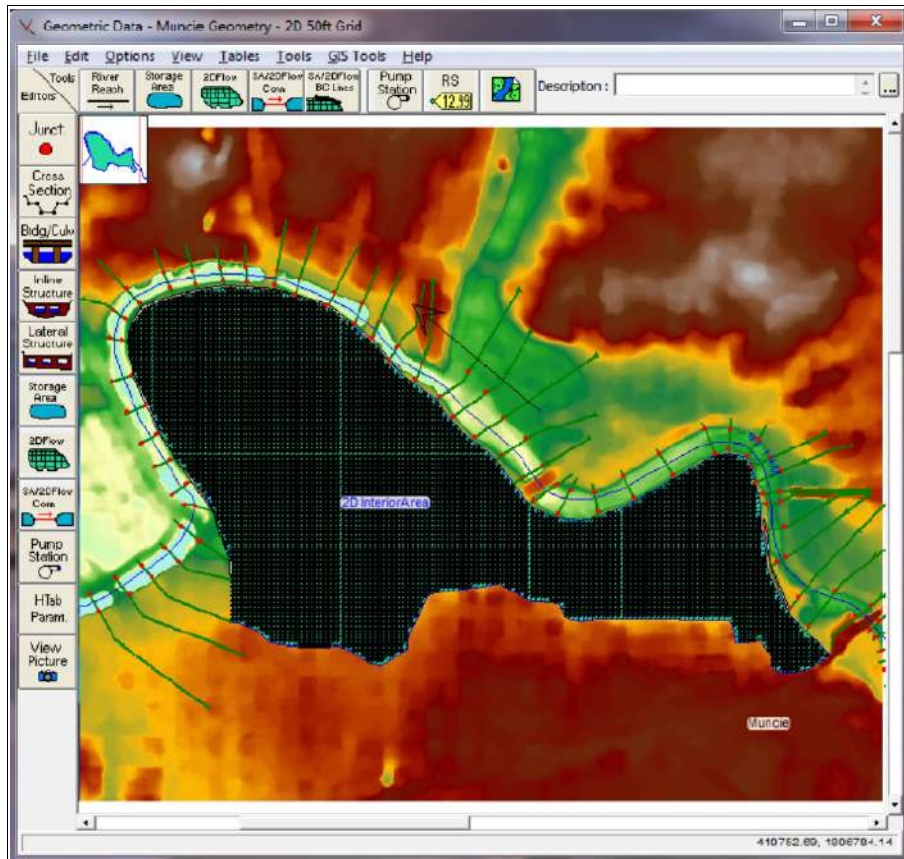


Fig. 19: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

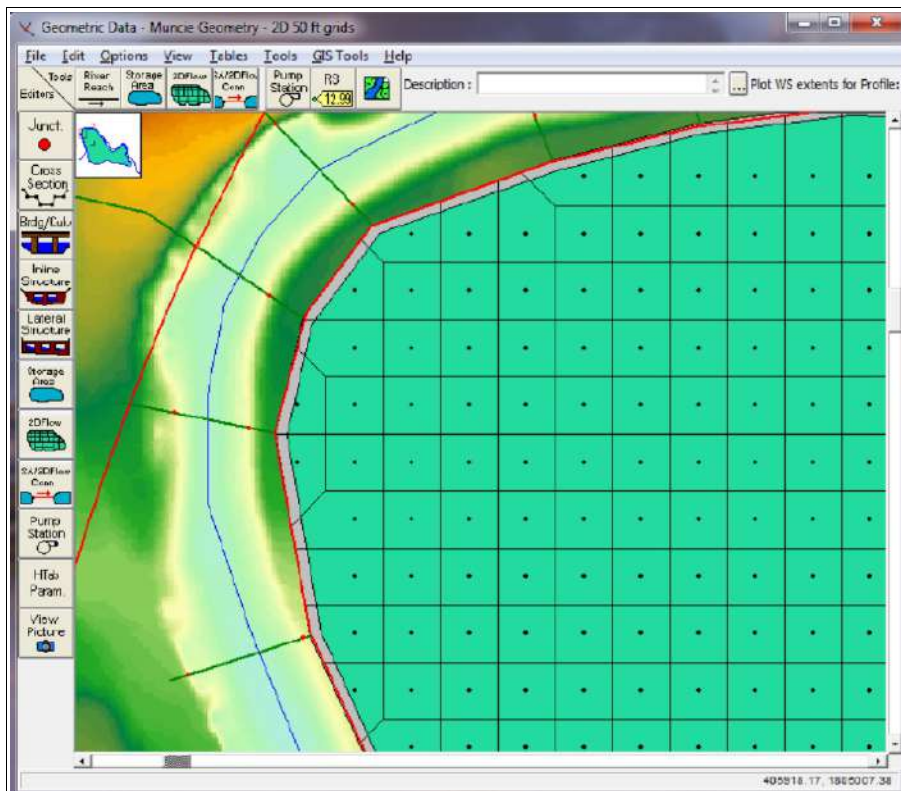


Fig. 20: Dettaglio della griglia di calcolo



### **3.2.– Studio idrologico**

Come precedentemente accennato è stato condotto uno studio idrologico per la determinazione degli ietogrammi di precipitazione 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

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

- Pasini

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

- Kirpich

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

- Pezzoli

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

- Horton

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

- FAO

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

- 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. 13. 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)
F. MAZARO	104.00	3.10	111.45
F.DELIA	202.00	6.02	216.00

Tabella 11: Valori del CN per i sottobacini di interesse.

Caratteristiche sottobacino	F.MAZARO	F.DELIA
$L = \text{max dist percorsa dall'acqua [Km]}$	30.00	32.00
$Lb = \text{lunghezza del bacino [Km]}$	2.80	2.21
$Lc = \text{lungh. dell'asta princ. [Km]}$	11.00	30.52
$Hf = \text{Quota della sezione di chiusura [m]}$	14.40	36.00
$C = \Delta H \text{ punto più lontano-foce [m]}$	696.60	675.00
$Hmax = \text{Quota max sulla foce [m]}$	711.00	711.00
$Hm = \text{Quota media del bacino [m]}$	163.00	230.19
$Vm = \text{vel media corrente nell'asta [Km/h]}$	3.60	3.60
$A = \text{Area del bacino [Kmq]}$	104.00	202.00
$i = \text{pendenza media asta}$	0.001	0.022
$Tc \text{ (tempo di corrivazione) (h)}$	3.10	6.02
$Tlag \text{ bacino (tempo di ritardo) (min)}$	111.45	216.63

Tabella 12: Caratteristiche principali dei bacini idrografici oggetto di studio

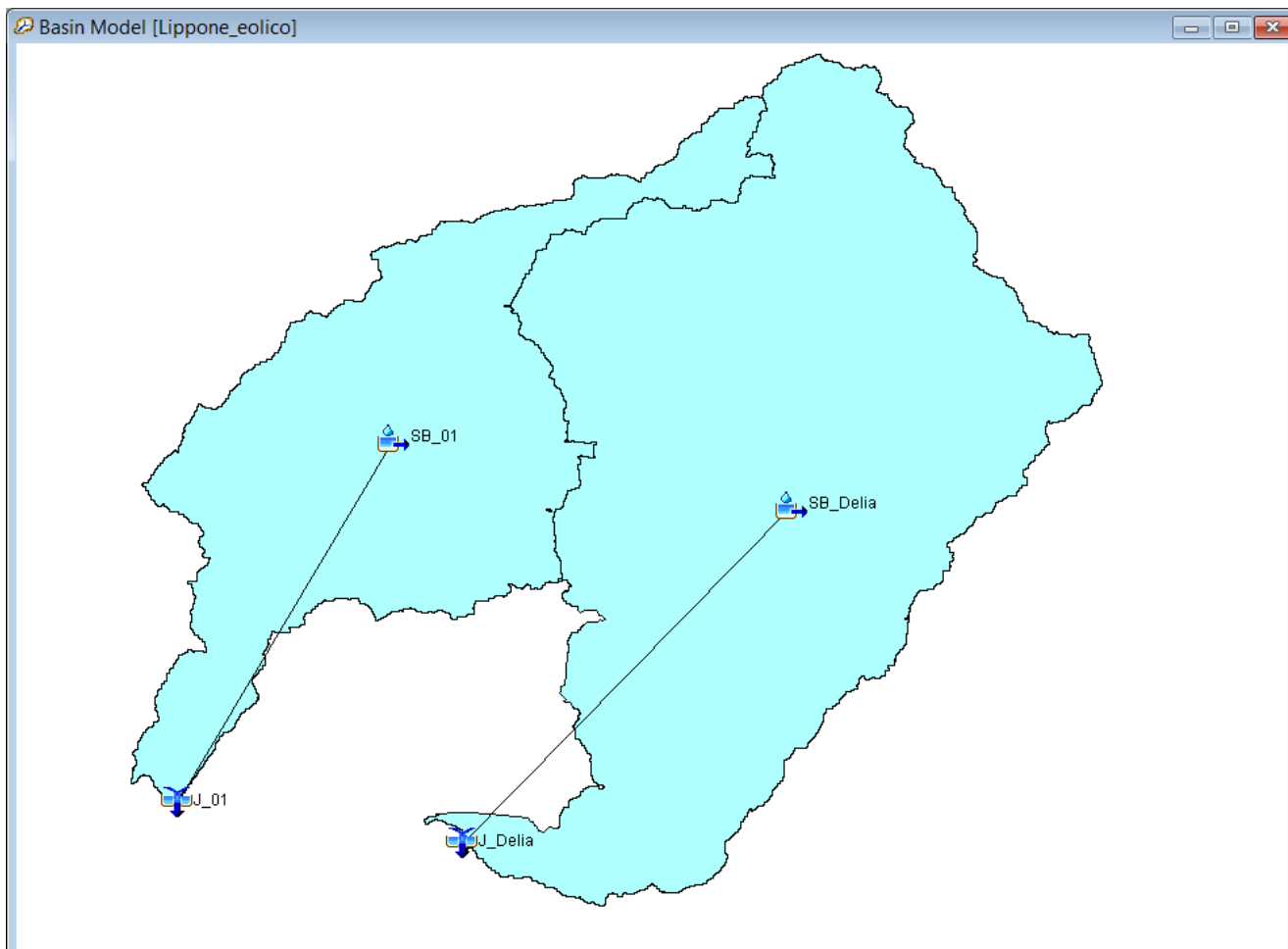
Tempi di corrivazione [h]		F.MAZARO	F.DELIA
Puglisi	$t_c = 6 L^{0.67} * Hm^{(-0.33)}$	3.35	6.68
Ogrosky	$t_c = 0.914 L^{1.15} C^{(-0.38)}$	3.80	4.14
Pasini	$tp = 0.108 * (A * Lc)^{(1/3)} / i^{0.05}$	31.22	13.32
Giandotti	$tp = (4 * \text{radq}(A) + 1.5 * L) / (0.8 * \text{radq}(H))$	5.61	8.46
Kirpich	$tp = 0.066 Lc^{(0.77)} [1000 * Lc / 0.8 (Hm - Hf)]^{0.385}$	1.32	4.34
Pezzoli	$tp = 0.055 * Lc / i^{0.05}$	16.72	11.29
Horton	$tp = 3.6 * L / v$	3.67	10.17
FAO	$tp = L / 15 Hm^{0.38}$	0.84	2.32
Kerby	$tp = (0.342 * L * 0.8 * i^{0.5})^{0.467}$	0.13	0.15
	media	3.10	6.02
	Tlag (min)	111.45	216.63

Tabella 13: 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 11 12 e 13.



*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 14.

SOTTOBACINO	S (Kmq)	Tc (h)	T Lag (min)
F. MAZARO	104.00	3.10	111.45
F.DELIA	202.00	6.02	216.00

Tabella 14: Tempi di ritardo dei sottobacini

#### Stima dei deflussi

Sulla base della schematizzazione dei bacini idrografici adottata si è proceduto alla simulazione idrologica degli eventi di pioggia con tempo di ritorno rispettivamente di 200 anni e durata di 6 ore, si ritiene infatti che tale durata sia in grado di massimizzare i volumi di deflusso in gioco. Inoltre, come verrà meglio esplicitato nel seguito, è stata condotta una ulteriore modellazione idrologica relativa a TR 200 anni e durata di precipitazione pari a 2 ore. Lo ietogramma di precipitazione totale ricavato è stato successivamente utilizzato nell'ambito dello studio di invarianza idraulica implementato in SWMM allo scopo di accertare che la realizzazione delle opere previste dal progetto avvenga nel rispetto dei principi di invarianza idraulica previsti dalla normativa vigente. Il motivo di tale scelta è legato alla differente estensione dei bacini idrografici di riferimento. Difatto le verifiche idrauliche di invarianza sviluppate in SWMM interessano le sole aree da adibire a piazzali e alle fondazioni degli aerogeneratori. Tali opere ricadono in piccoli sottobacini dei più grandi bacini idrografici dei Fiumi Mazaro e Delia, caratterizzati pertanto da tempi di corrivazione decisamente minori, per cui risulta eccessivo utilizzare una precipitazione di durata pari a 6 ore.

Nelle figure riportate nelle pagine a seguire sono mostrati 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 ietogrammi di precipitazione totale, netta e persa del bacino SB01, in quanto è apparso quello che massimizza la risposta idrologica, e in particolare gli ietogrammi di precipitazione netta sono stati inseriti come condizione al contorno nel modello idraulico, rispettivamente per il tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni. Infine è stato riportato per

completezza anche lo ietogramma di piena relativo a TR 200 anni e una durata di pioggia pari a 2 ore, utilizzato nell'ambito dello studio di invarianza idraulica sopra citato, e meglio esplicitato nel seguito dell'elaborato.

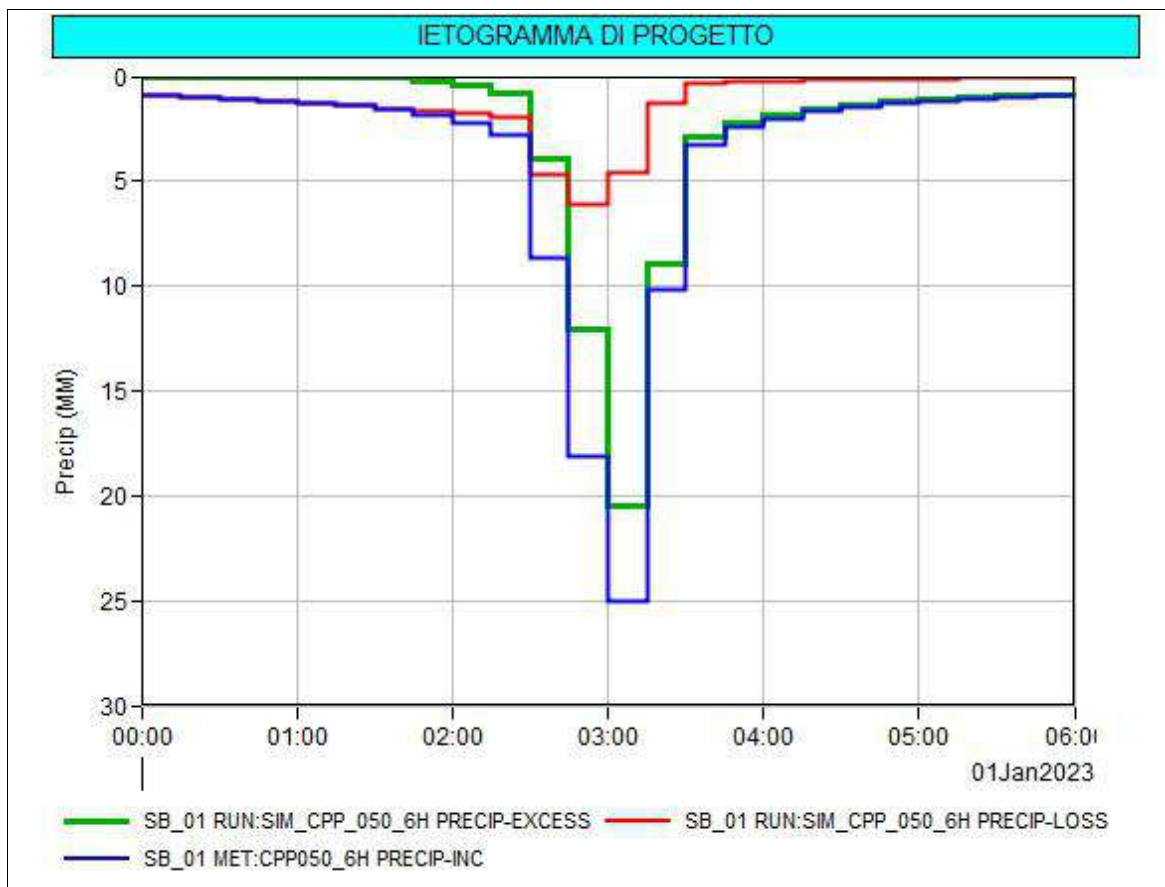


Fig. 22: Modellazione idrologica: ietogramma di progetto per TR 50 anni, sottobacino SB\_01

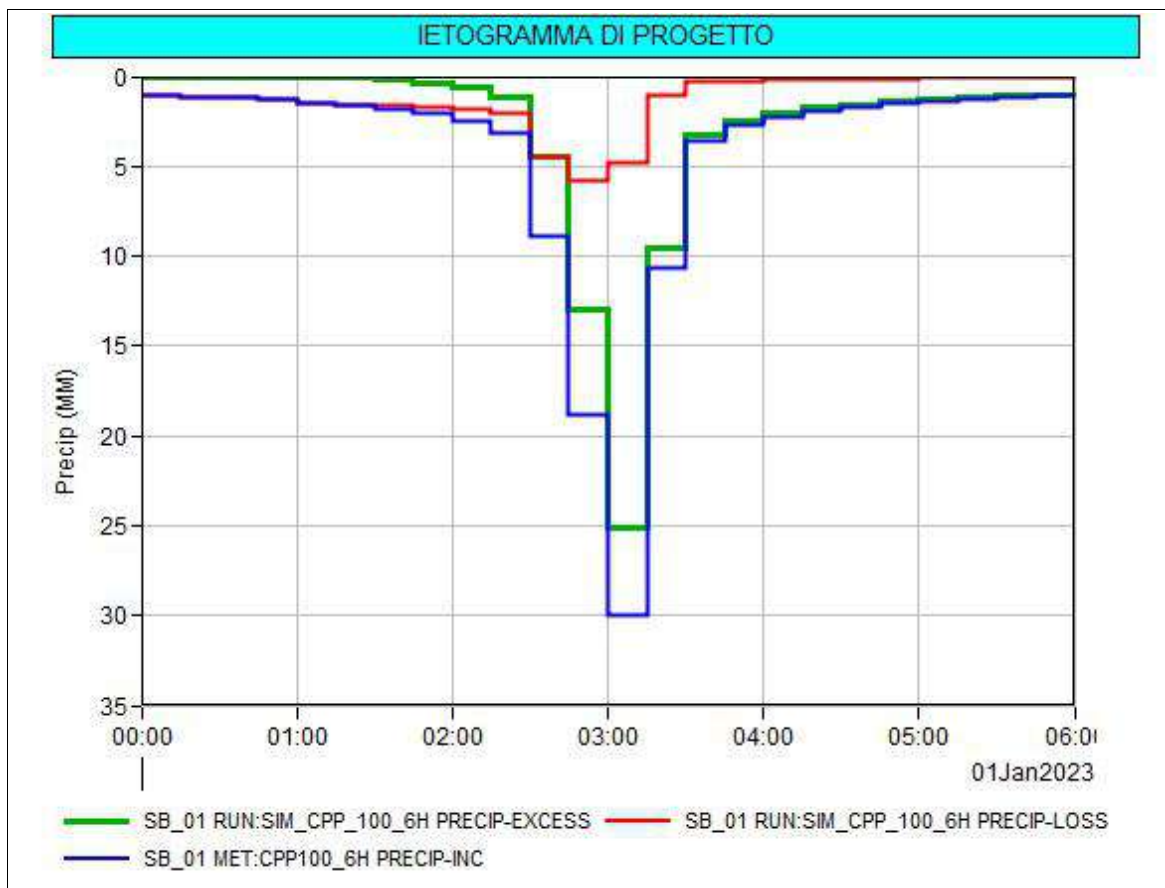


Fig. 23: Modellazione idrologica: Ietogramma di progetto per TR 100 anni, sottobacino SB\_01

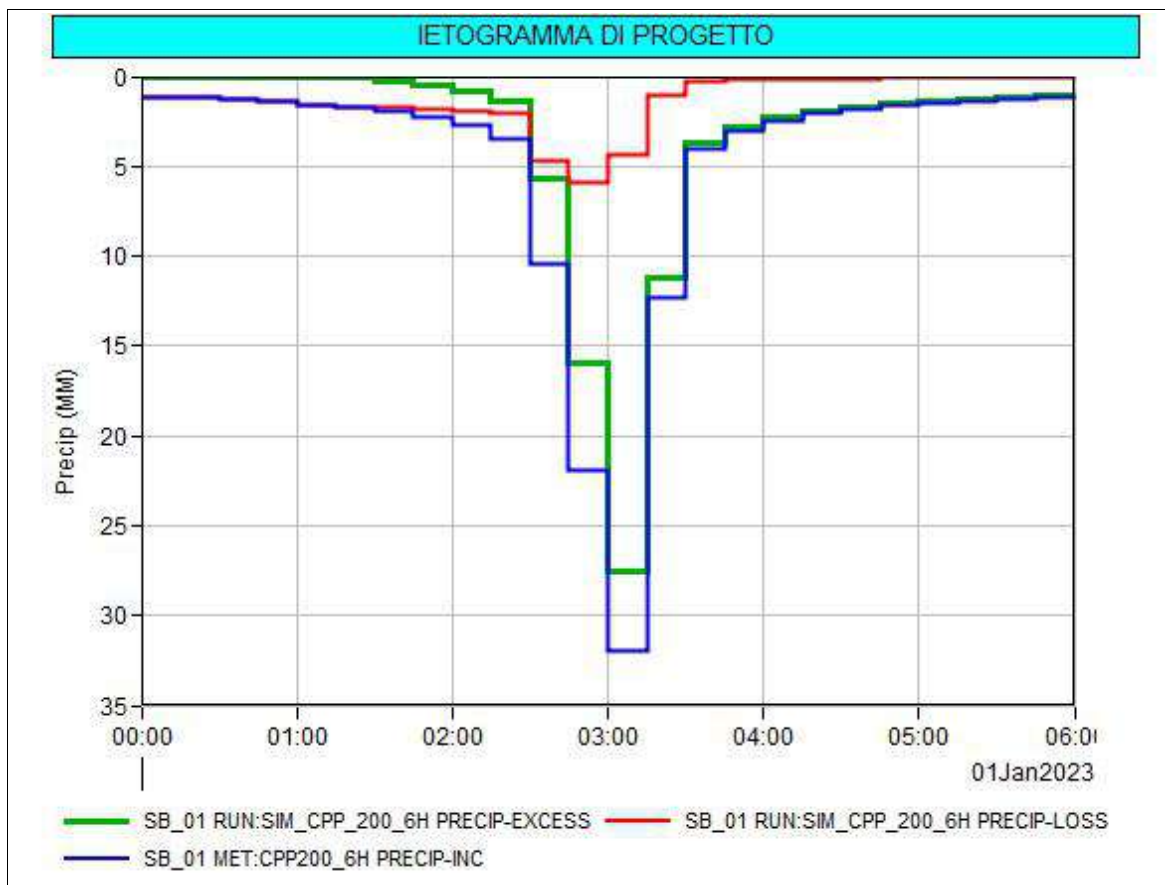


Fig. 24: Modellazione idrologica: Ietogramma di progetto per TR 200 anni, sottobacino SB\_01

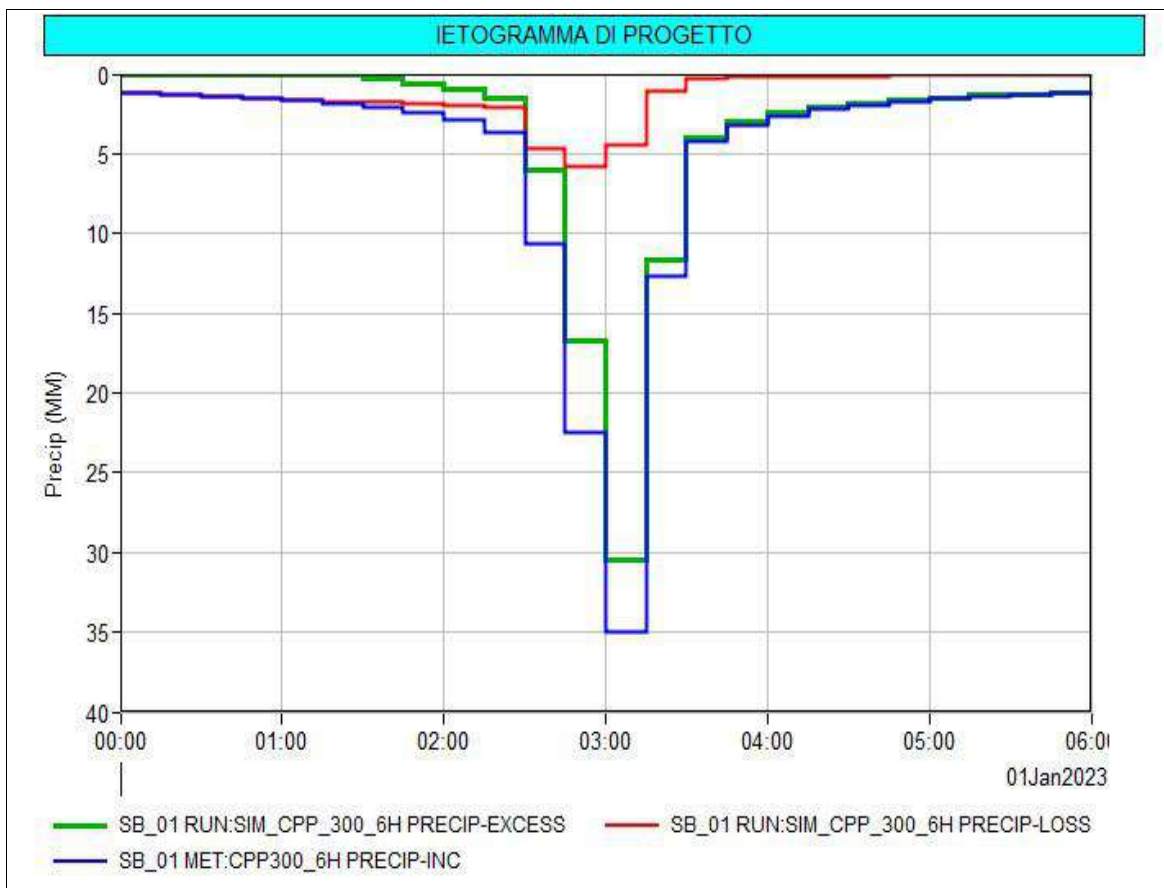


Fig. 25: Modellazione idrologica: Ietogramma di progetto per TR 300 anni, sottobacino SB\_01

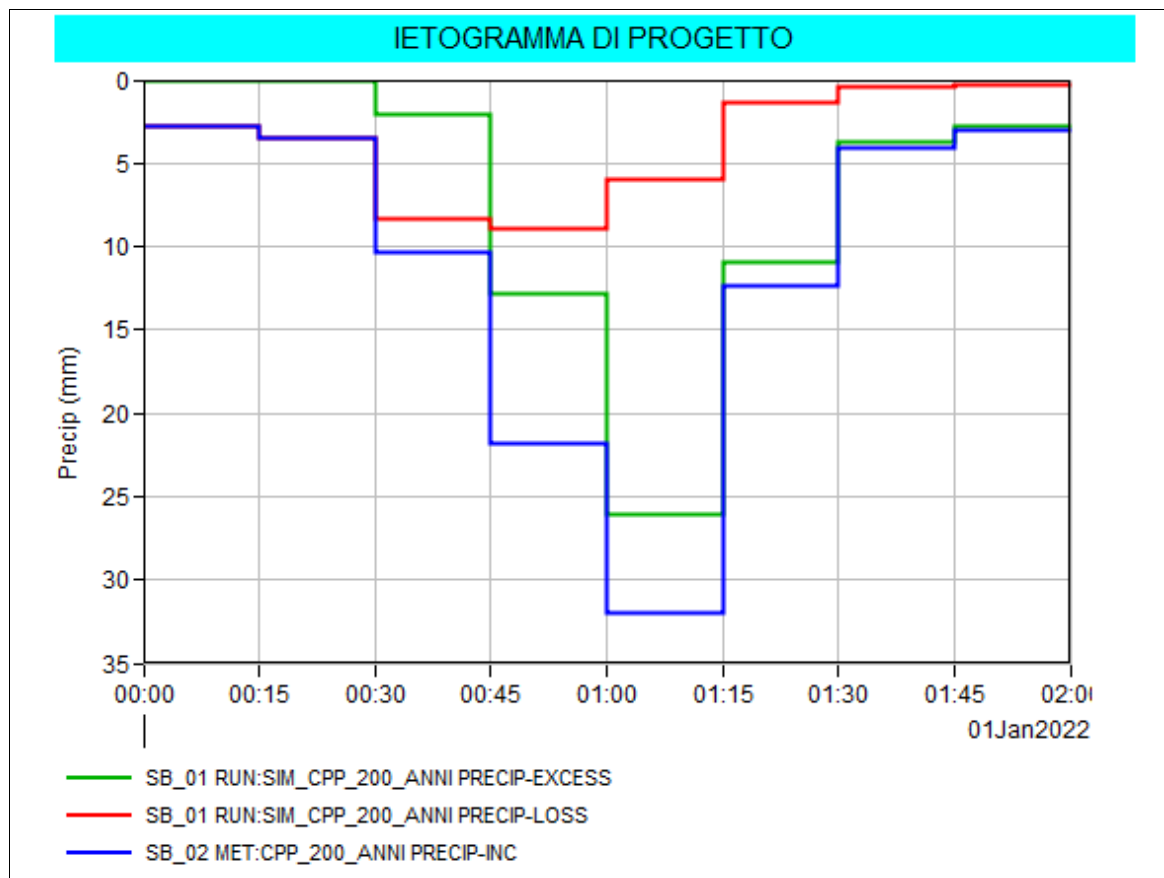


Fig. 26: Modellazione idrologica: Ietogramma di progetto per TR 300 anni, sottobacino SB\_01



### **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***

Per l'implementazione del modello idraulico in esame, considerata la presenza di diversi lotti di riferimento, e considerata anche la distanza che intercorre tra alcuni di questi lotti, si è deciso di implementare nel modello due differenti e distinti domini di calcolo. Si evidenzia che tali domini di calcolo sono stati tracciati in modo tale da comprendere al loro interno tutta la porzione del sottobacino idrografico che drena in corrispondenza dell'area di interesse. All'interno dei domini di calcolo il modello digitale del terreno è stato definito con una maglia 20X20 mq, considerata la notevole estensione delle aree oggetto di studio, e opportunamente infittita con dimensioni fino a 5x5 mq in corrispondenza delle aree di intervento, utilizzando come base il modello digitale del terreno con cella di 2 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. 35. Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli isogrammi di precipitazione netta, ricavati dalla modellazione idrologica di cui al paragrafo 3.2, e distribuiti uniformemente su entrambi i domini di calcolo implementati. A tal proposito nella Fig. 27 si riporta una immagine estratta dal software HEC-RAS che mostra il dominio di calcolo del modello idraulico implementato unitamente alle condizioni al contorno utilizzate. A riguardo è stato utilizzato lo isogramma di precipitazione netta del bacino SB01 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 cautelativamente una pendenza media pari allo 0.1%.

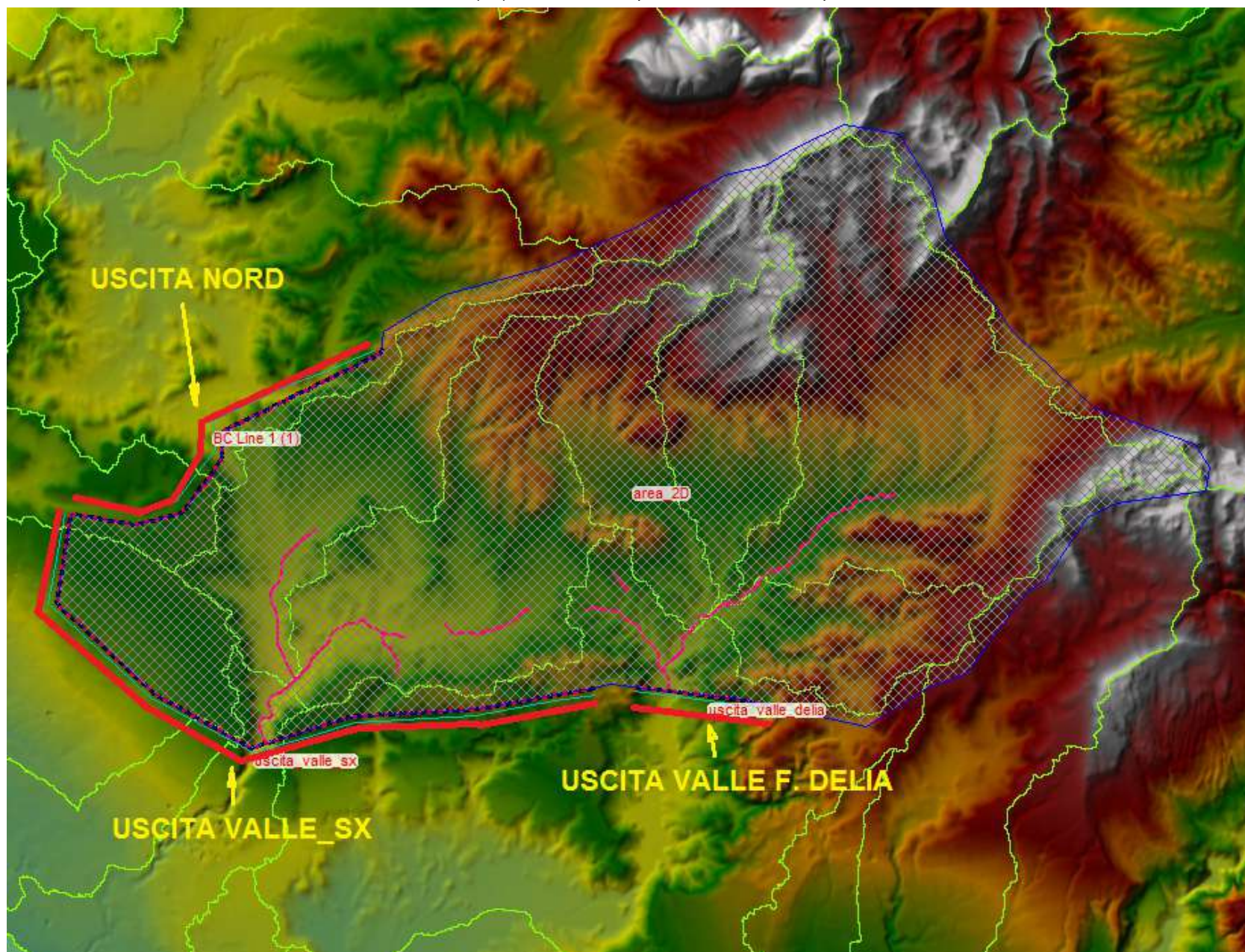


Fig. 27: Input modellazione idraulica in HEC-RAS – ietogramma precipitazione netta in ingresso al modello per Tr 200 anni

### **Risultati modellazione idraulica bidimensionale – stato attuale**

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 in corrispondenza del reticolo idrografico. In particolare, per tutti i tempi di ritorno analizzati, non risultano allagamenti delle aree che saranno oggetto di intervento

Nelle pagine a seguire sono riportate le mappe degli allagamenti in termini di battenti massimi e velocità massime che si instaurano sui due domini di calcolo utilizzati nell'ambito della modellazione e relativamente ai tempi di ritorno 50, 100, 200 e 300 anni, mentre, successivamente, sono riportate le mappe di dettaglio degli allagamenti in corrispondenza di ciascun lotto di intervento, per TR=200 anni.

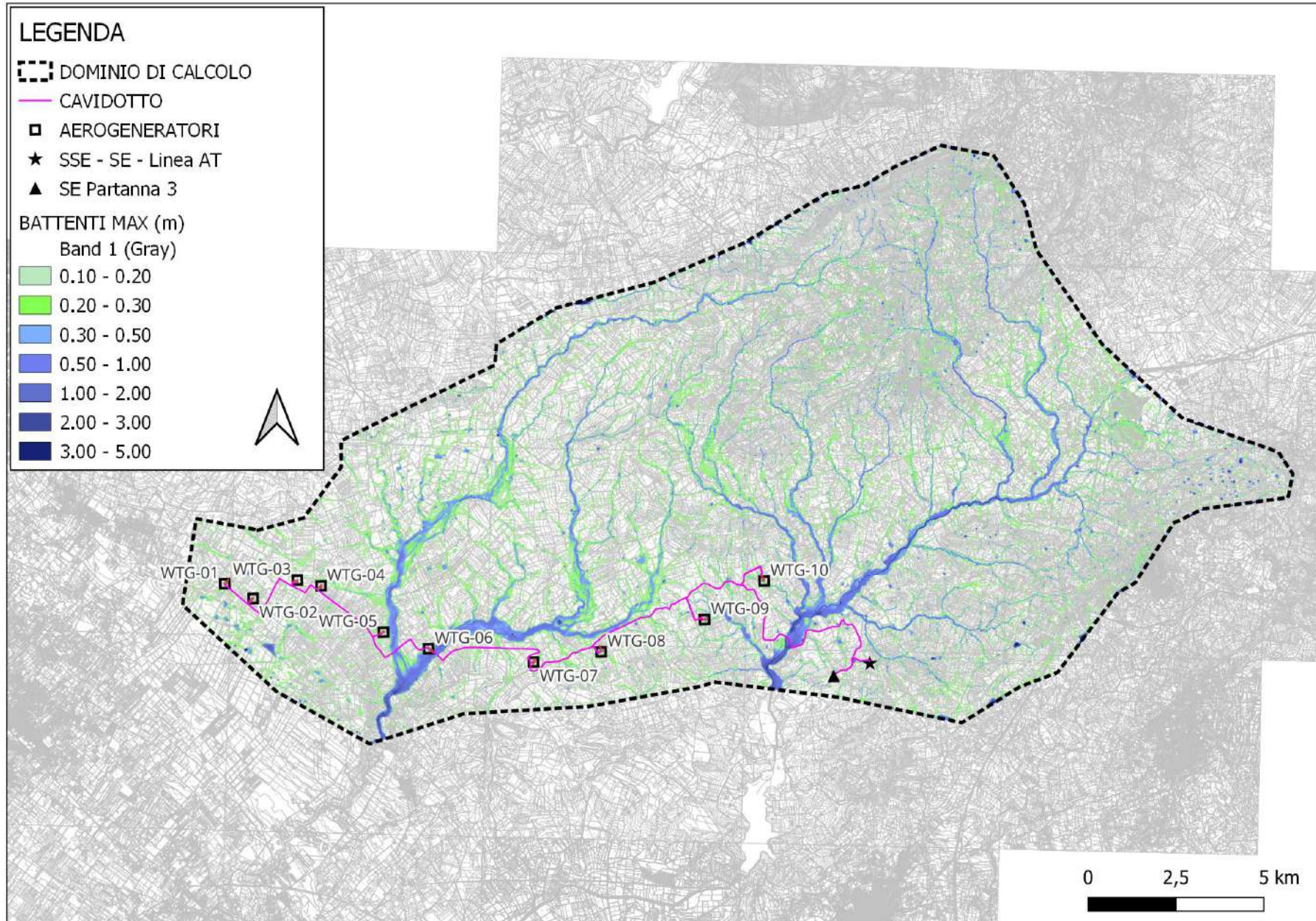


Fig. 28: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 50$  anni – STATO ATTUALE

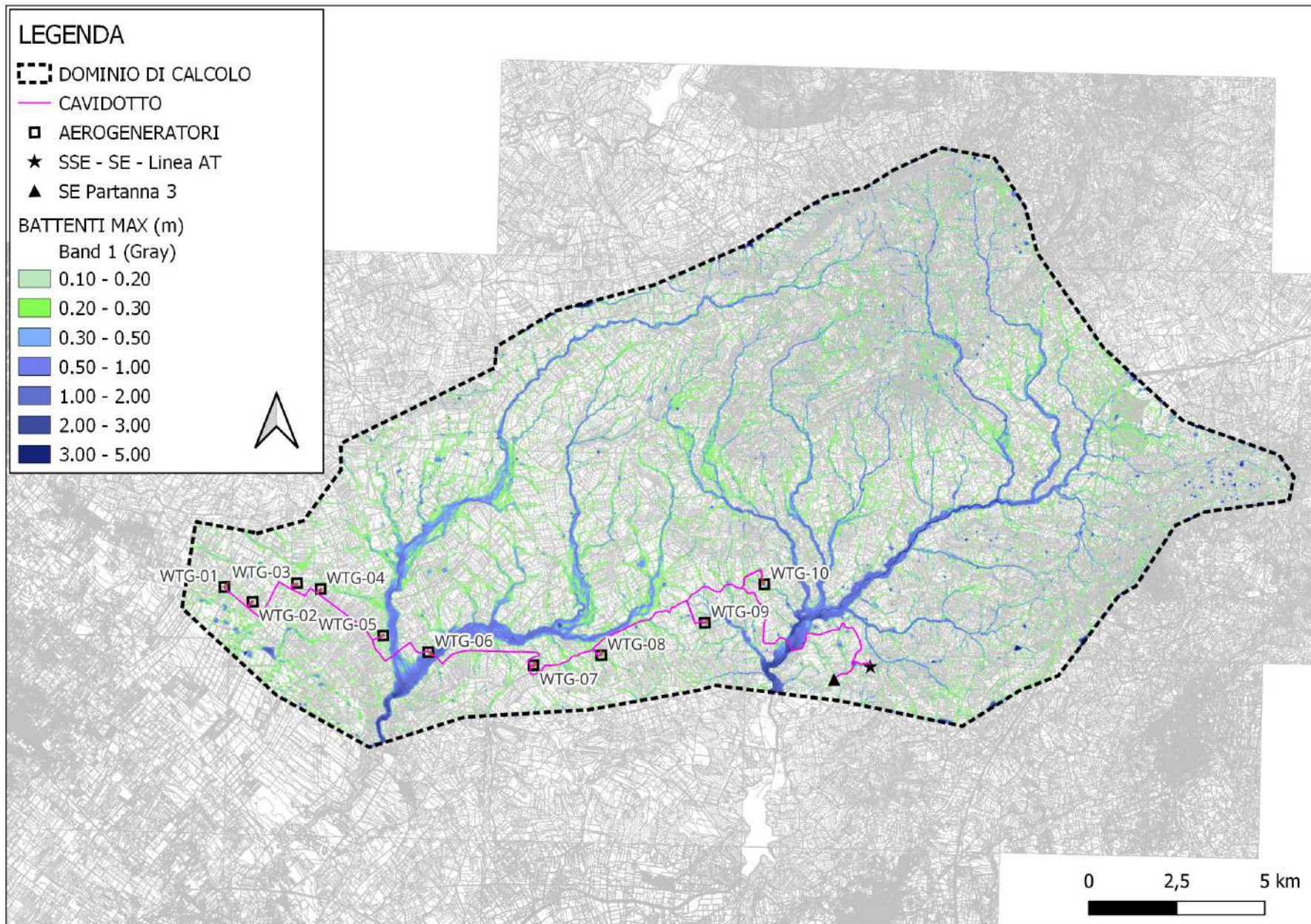


Fig. 29: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 100$  anni – STATO ATTUALE

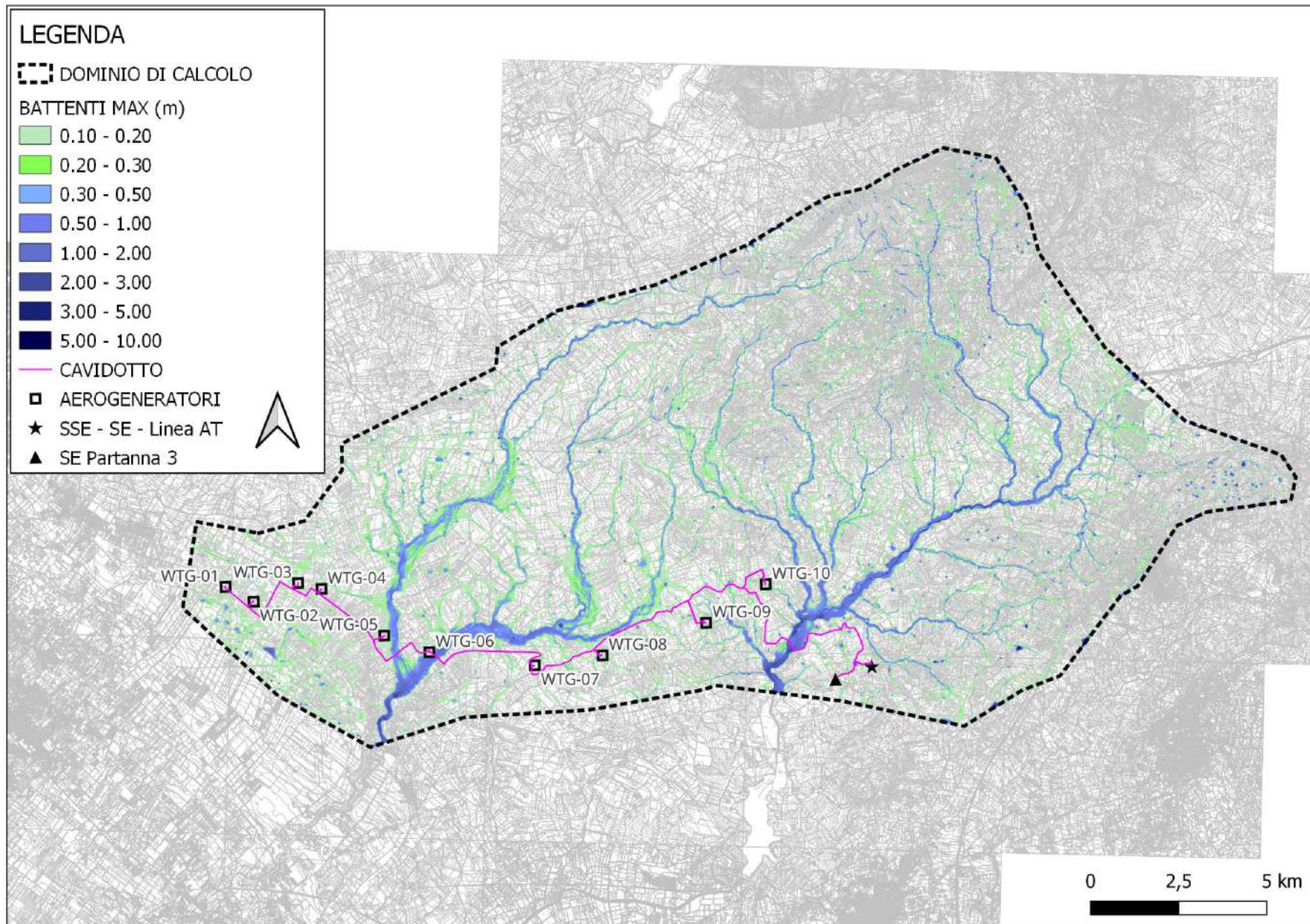


Fig. 30: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – STATO ATTUALE

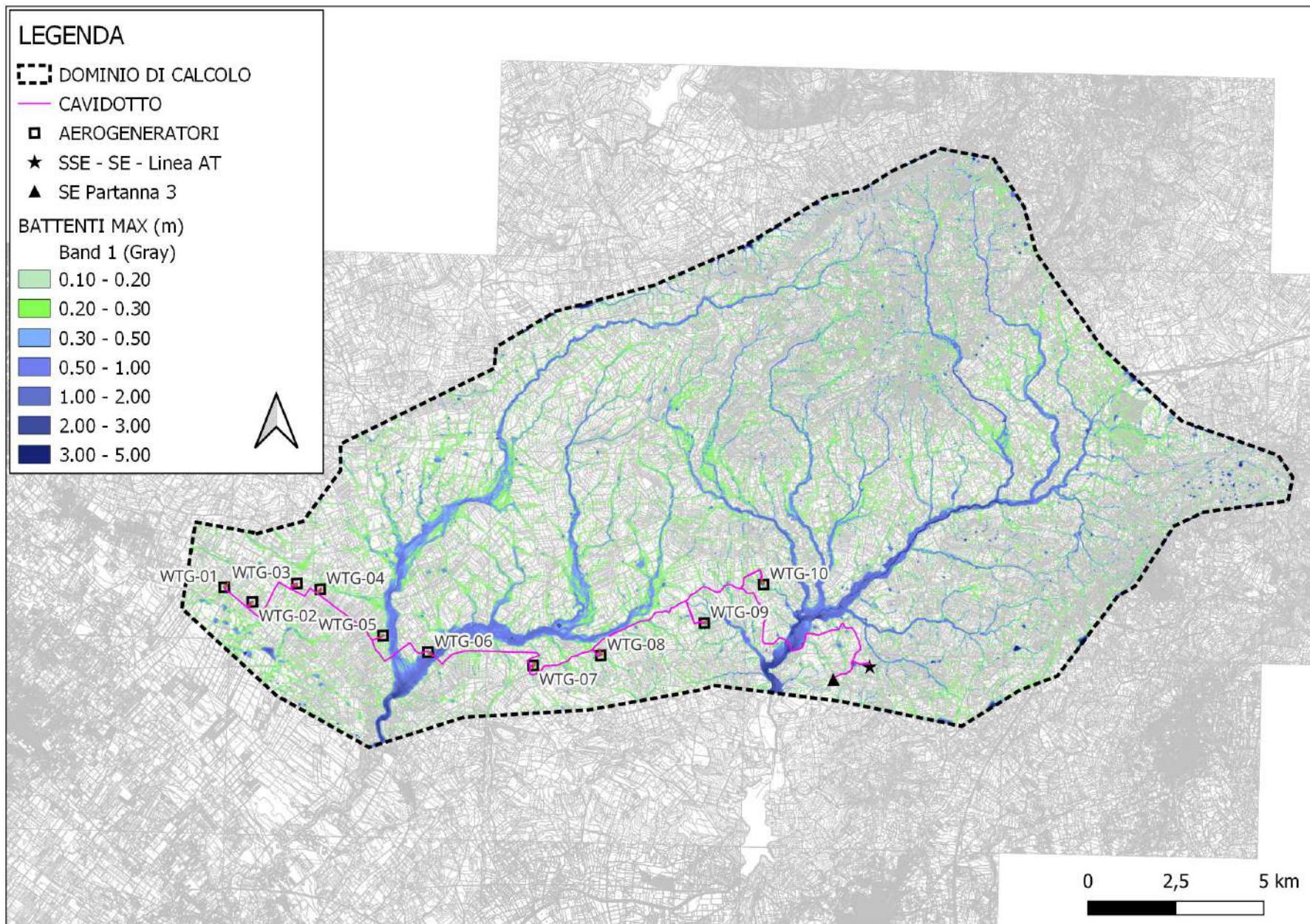


Fig. 31: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 300$  anni – STATO ATTUALE

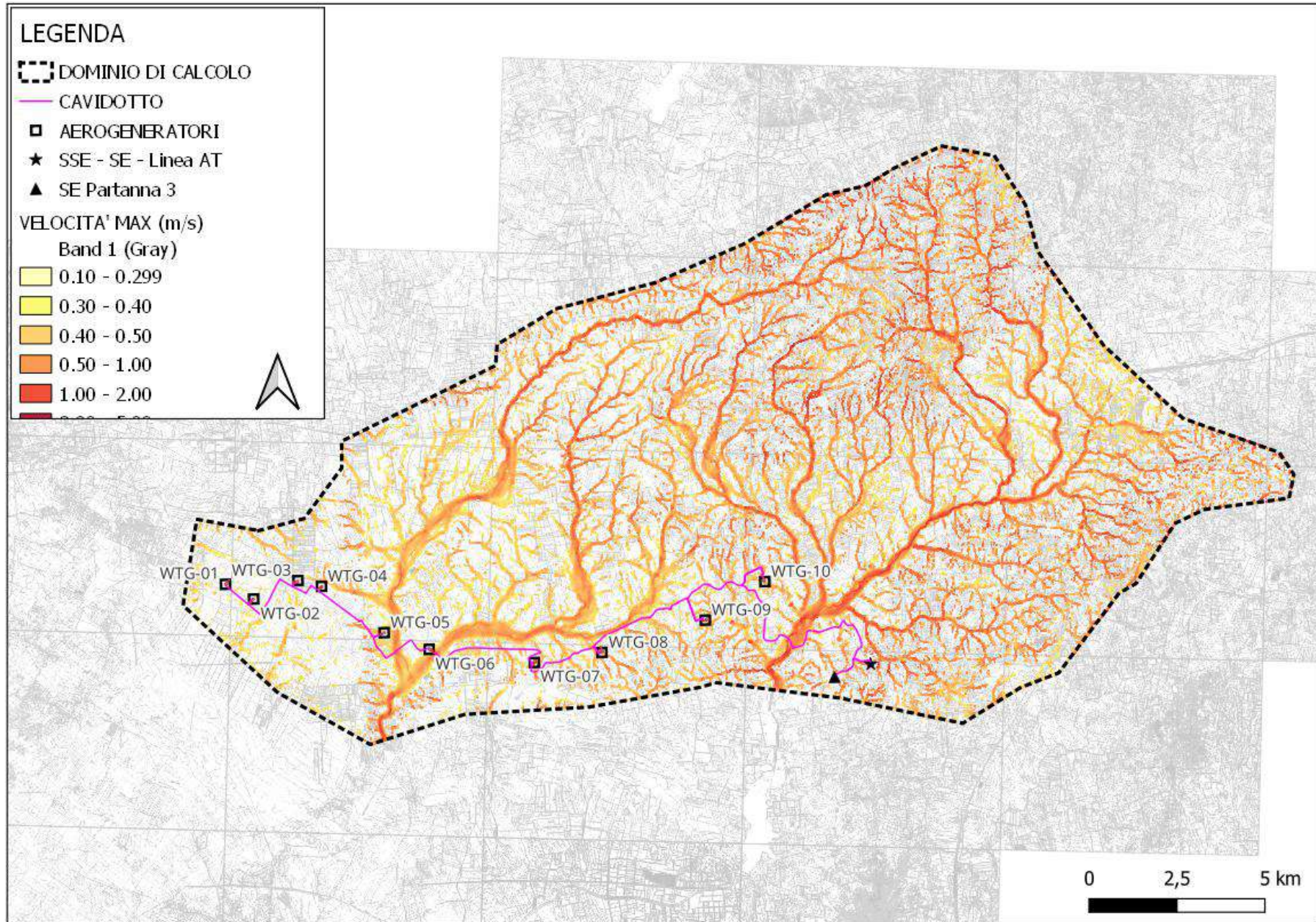


Fig. 32: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 50$  anni – STATO ATTUALE



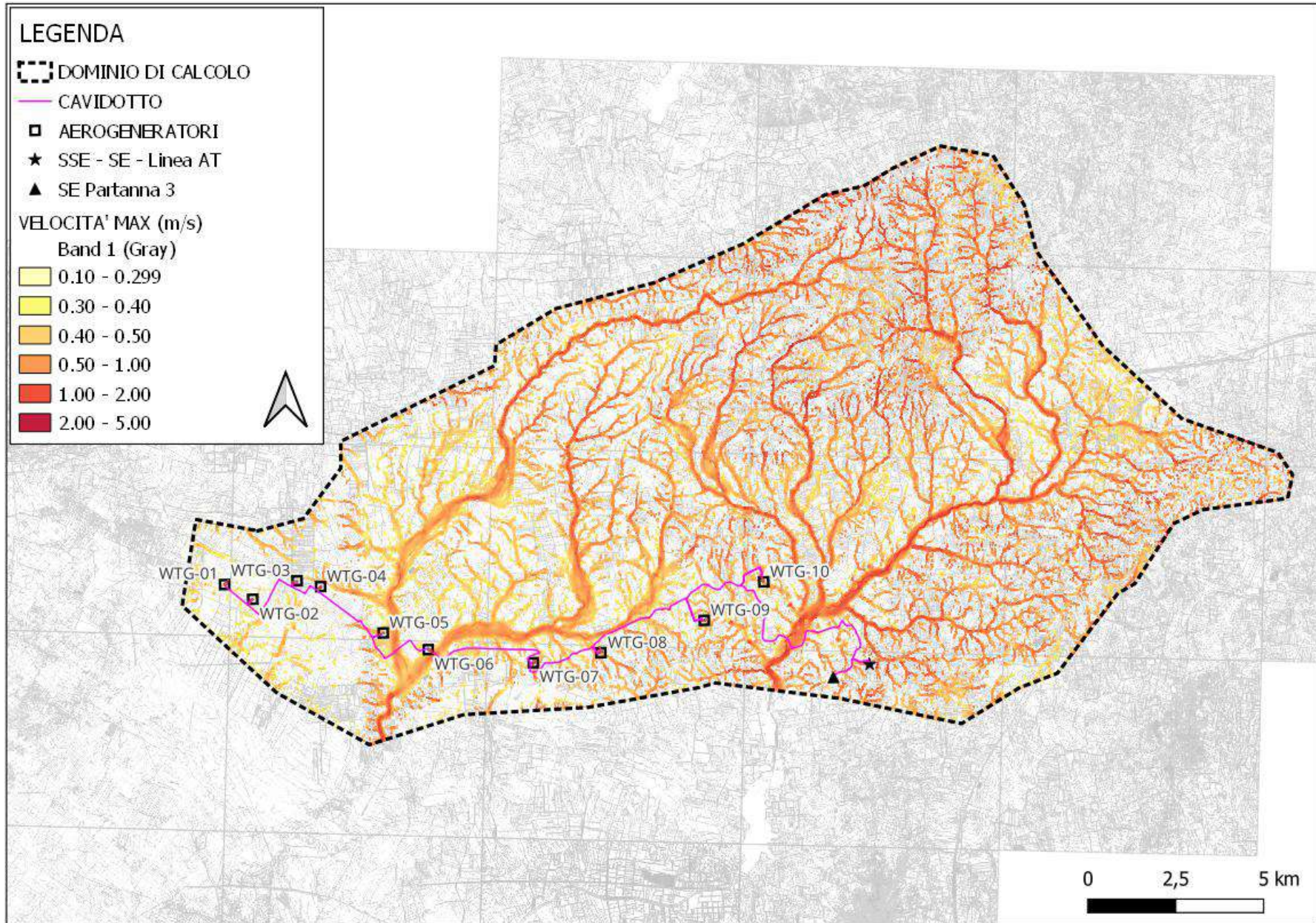


Fig. 33: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 100$  anni – STATO ATTUALE

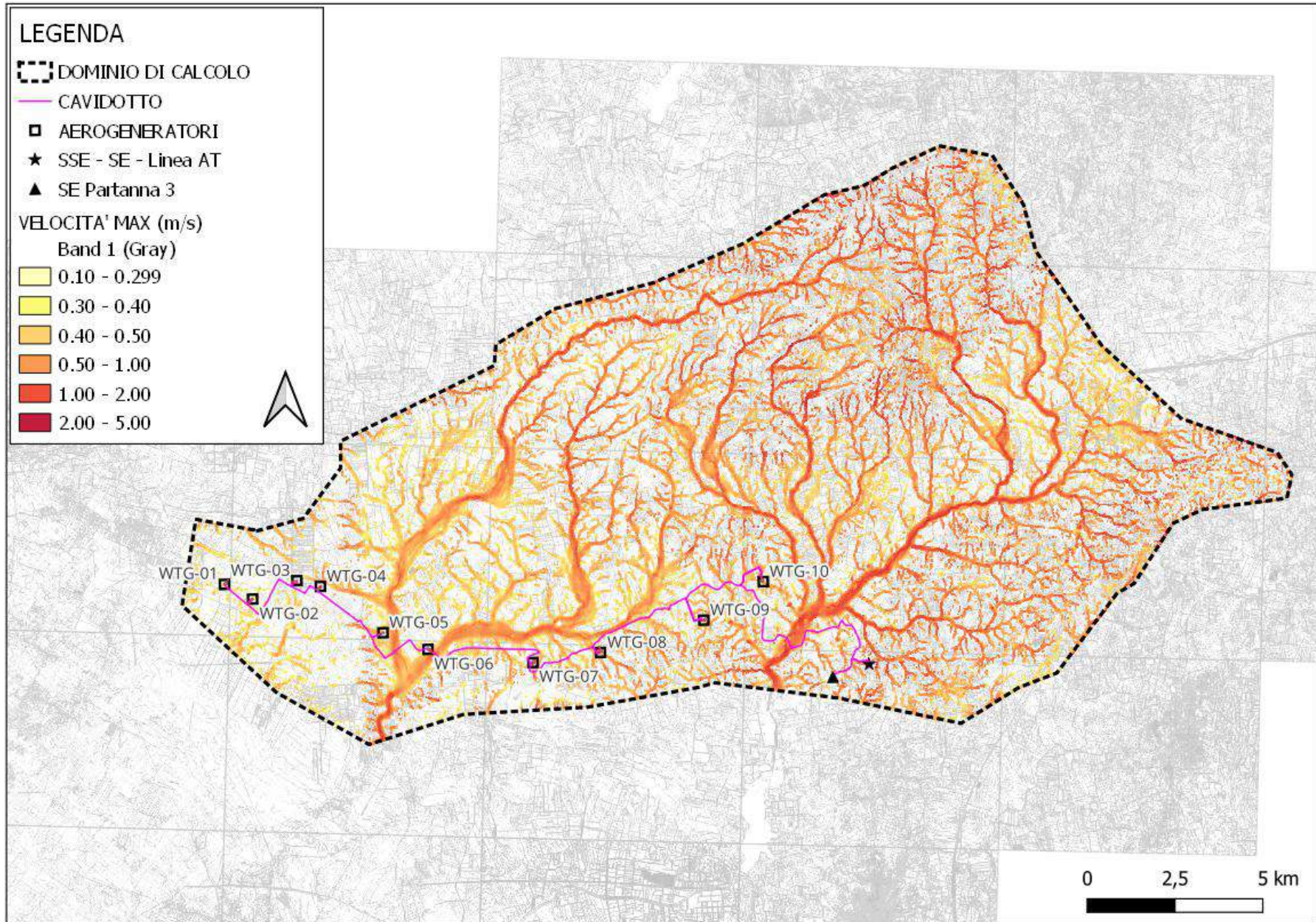


Fig. 34: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 200$  anni – STATO ATTUALE

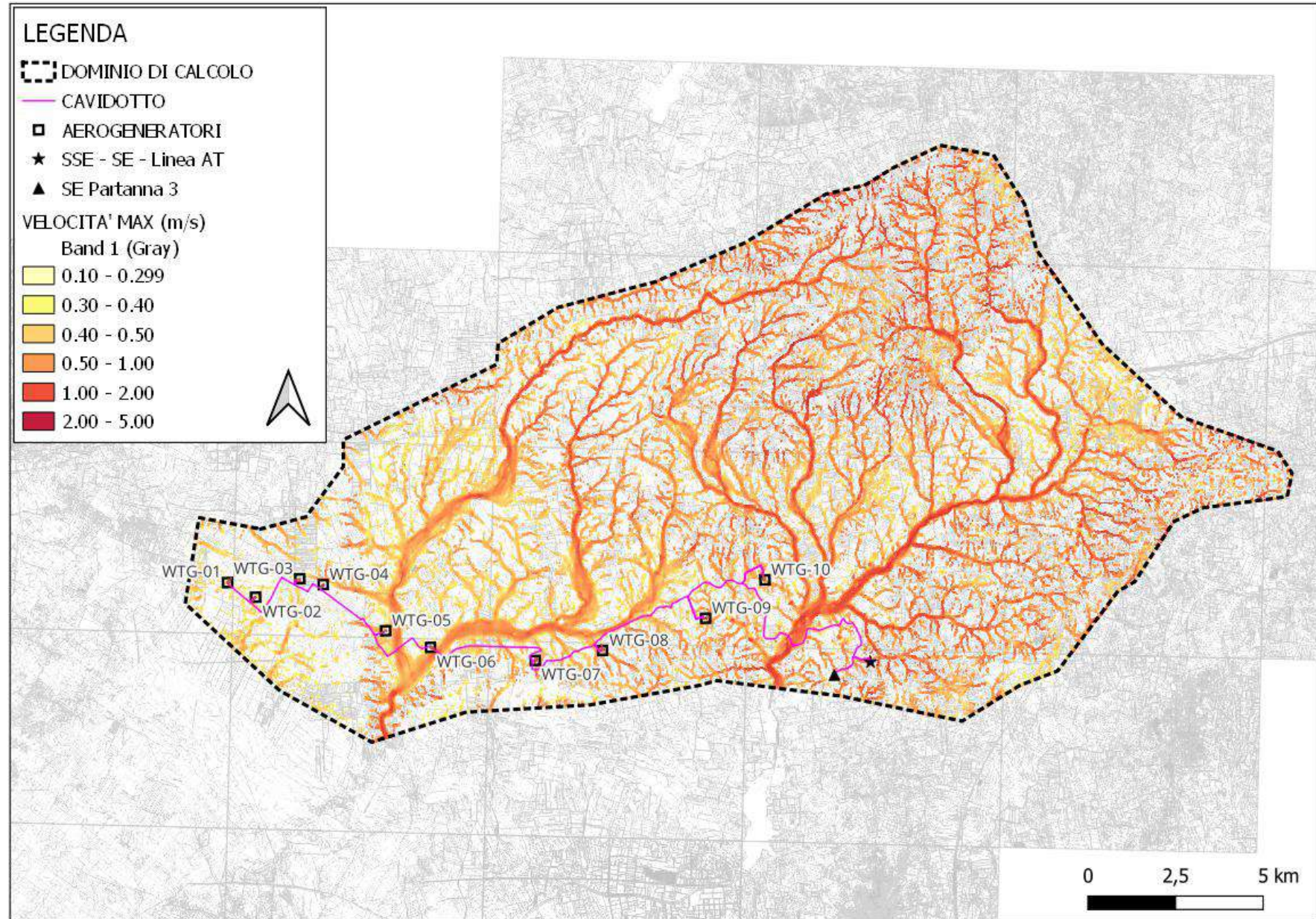


Fig. 35: Carta delle velocità massime (m/s) per  $T_r = 300$  anni – STATO ATTUALE



Fig. 36: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – Dettaglio su WTG\_01 E WTG\_02

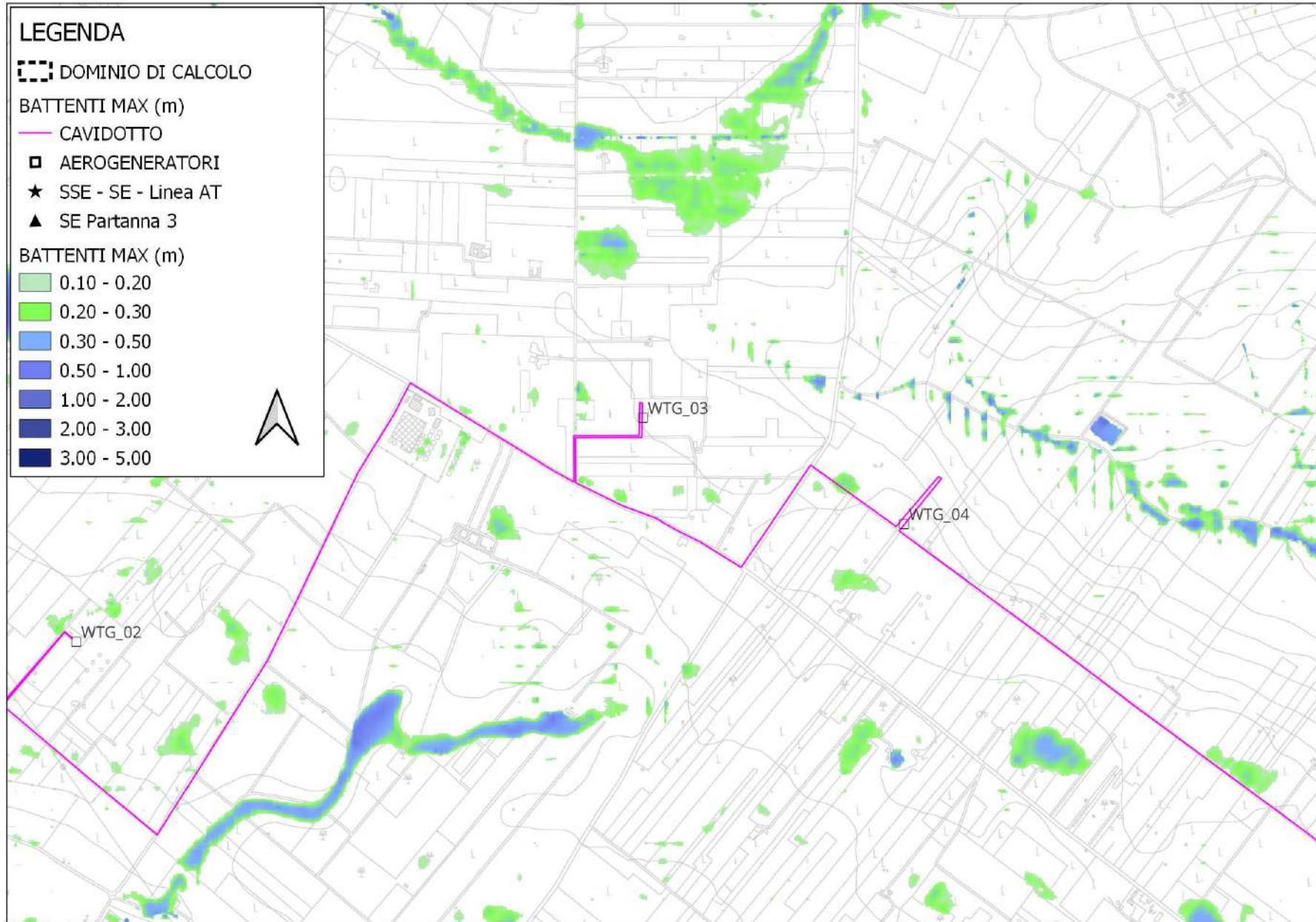


Fig. 37: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – Dettaglio su WTG\_03 E WTG\_04

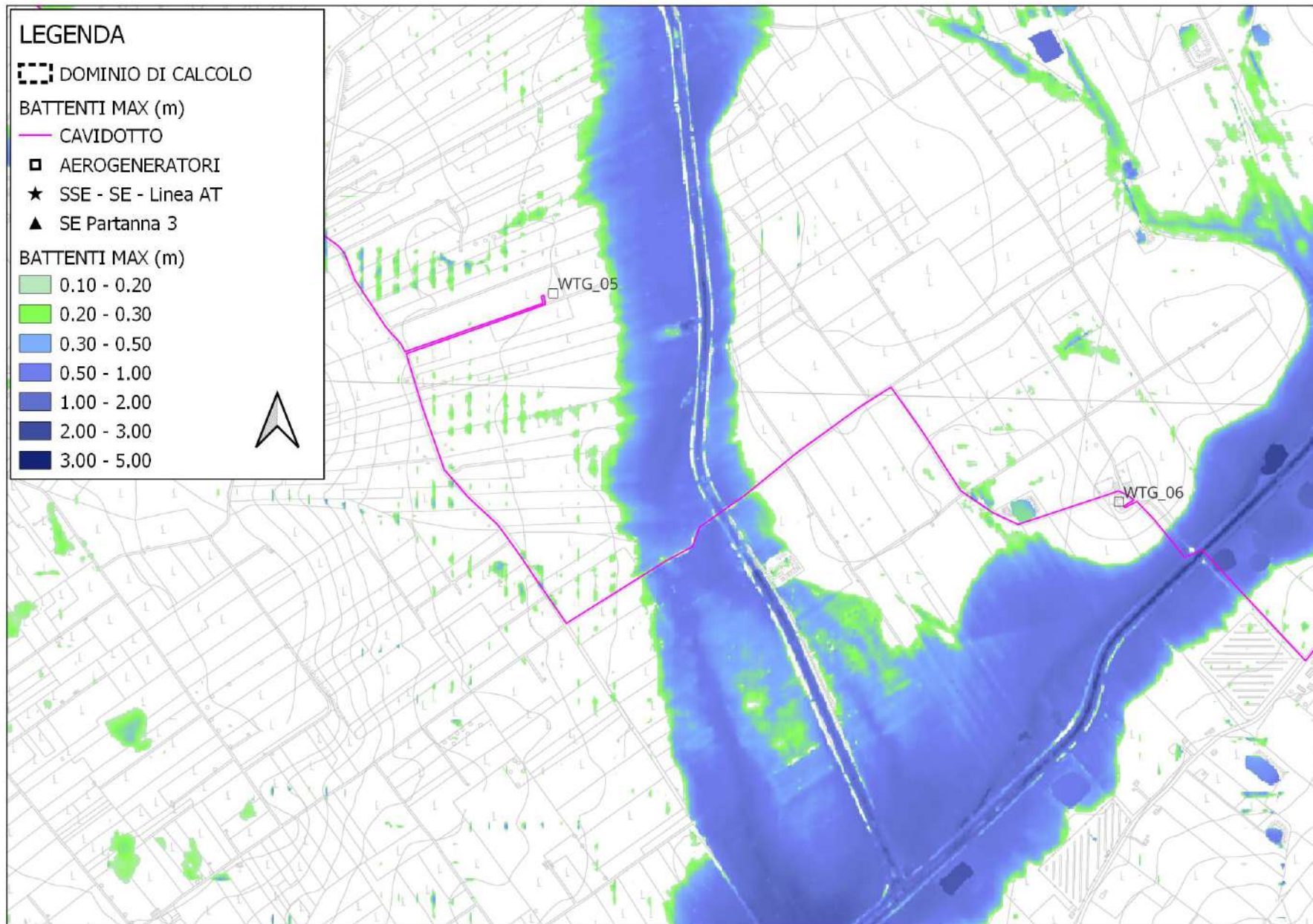


Fig. 38: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – Dettaglio su WTG\_05 E WTG\_06

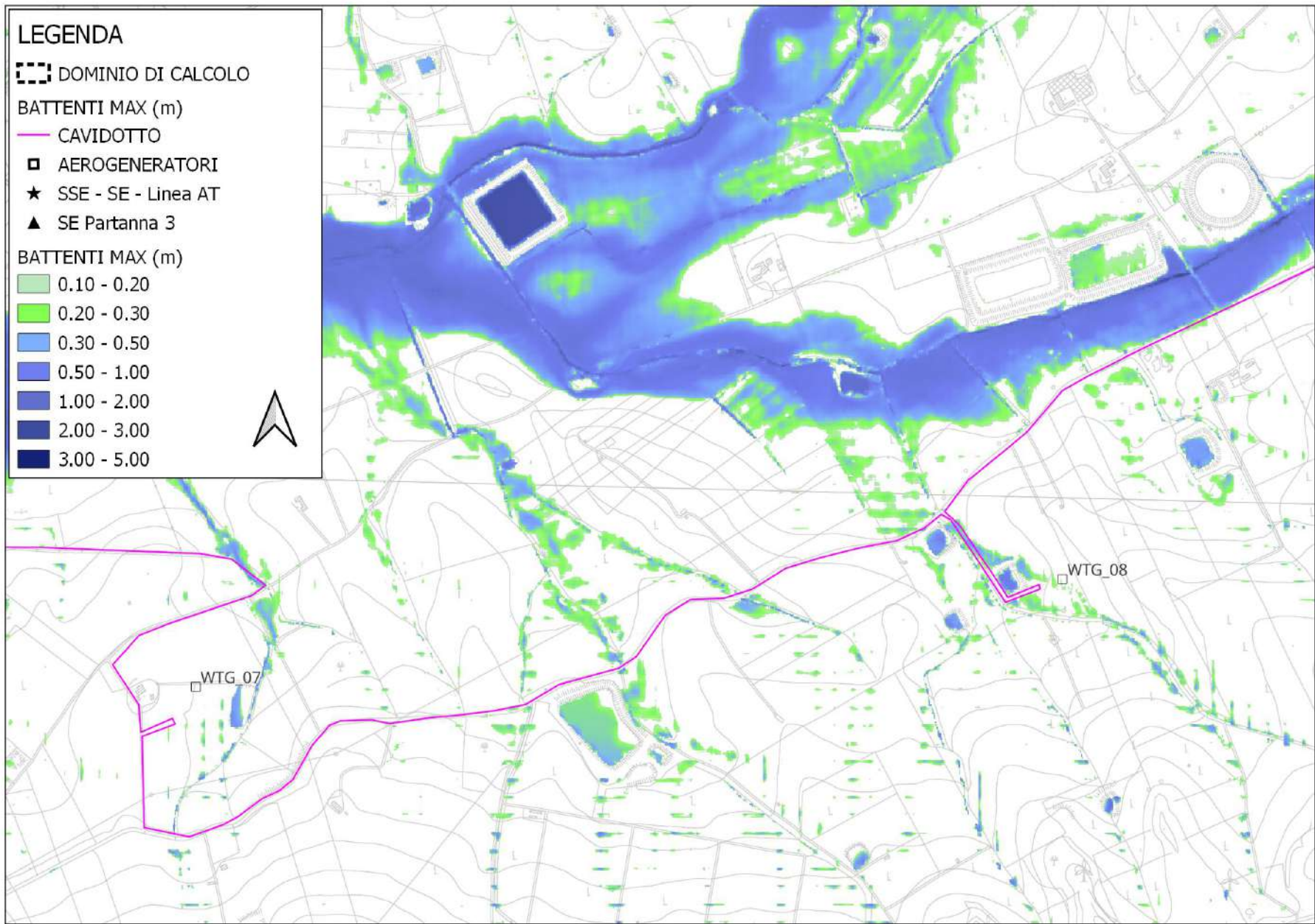


Fig. 39: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – Dettaglio su WTG\_07 E WTG\_08

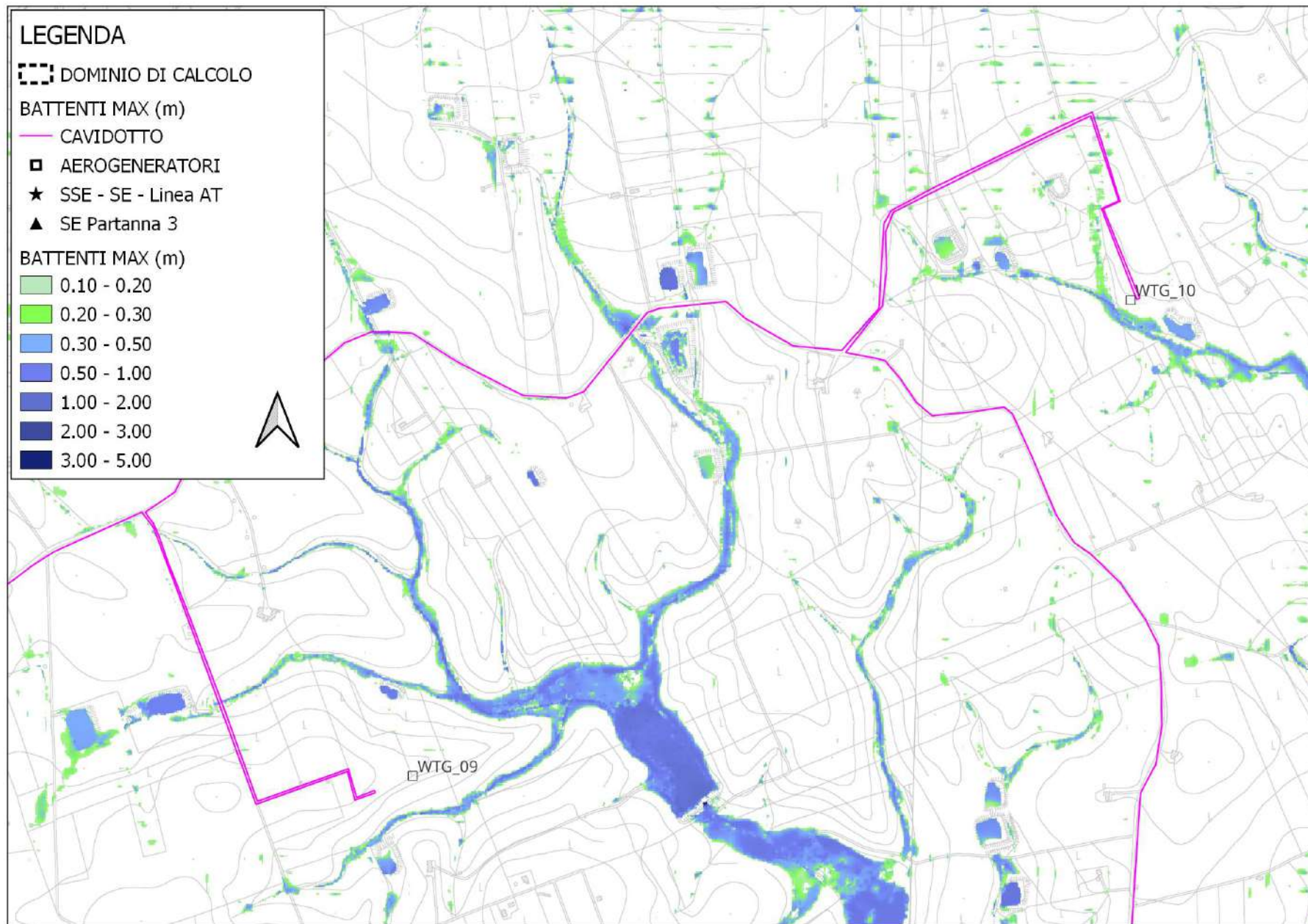


Fig. 40: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – Dettaglio su WTG\_09 E WTG\_10



### 3.4 – Descrizione interventi in progetto

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona che comprende i comuni di Mazara del Vallo (TO) Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP) dove il proponente, GEREMO SRL, ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto eolico denominato “Anemos”. Il parco eolico sarà costituito da 10 aerogeneratori da 4.5 MW, per una potenza complessiva di 45 MW. Nella fattispecie in fase preliminare dello studio è stata scelta come potenzialmente installabile nei siti in oggetto la turbina “**Vestas V163-4.5 MW**” (si allega il documento illustrativo generale fornito dal costruttore stesso). In Fig. 41 si riporta la struttura tipica dell’aerogeneratore.

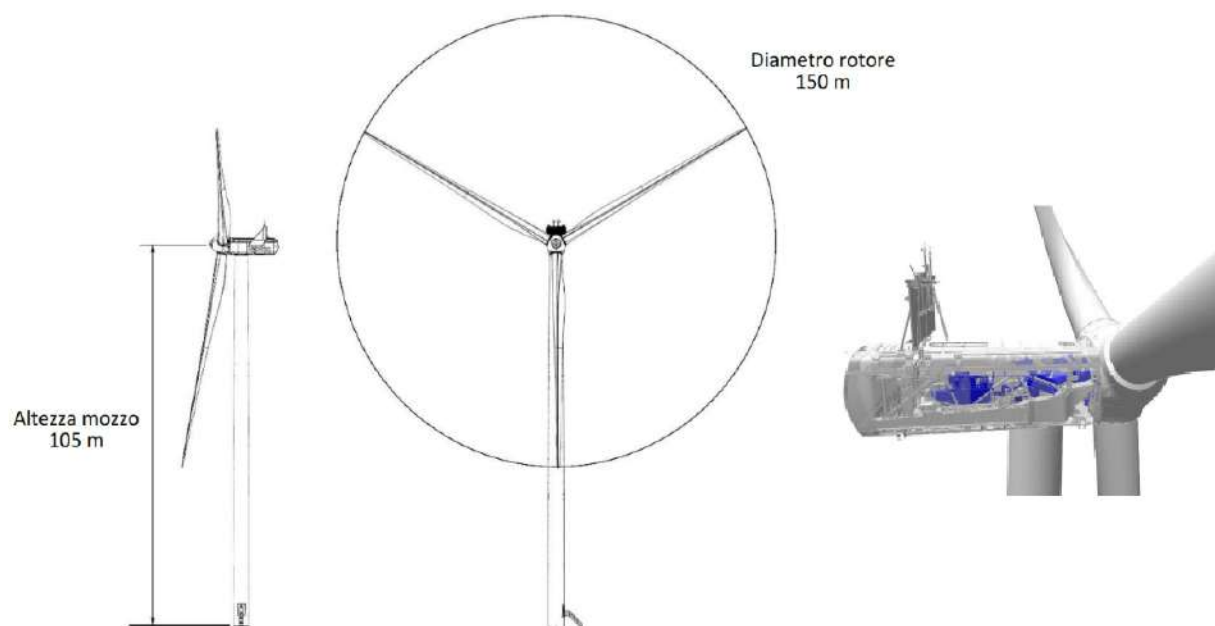


Fig. 41: Struttura tipica dell'aerogeneratore

All'interno della navicella sono localizzate le apparecchiature elettriche necessarie per la conversione dell'energia meccanica (cinetica del vento) disponibile all'albero in energia elettrica. Le opere civili da eseguire per la realizzazione dell'intervento sono state attentamente valutate e ridotte allo stretto necessario, cercando di ridurre al minimo eventuali interferenze con la natura dei luoghi circostanti. Si evidenzia che non tutte le opere civili da realizzare saranno permanenti.

Si distinguono dunque le opere civili temporanee e le opere civili permanenti.

Le **opere civili temporanee** riguardano:

- Gli interventi di adeguamento della viabilità esistente per consentire il passaggio dei mezzi di trasporto speciale.
- La realizzazione delle piazzole per il montaggio degli aerogeneratori.

Tali piazzole sono più grandi delle piazzole di servizio che rimarranno operative durante la fase di esercizio. Al termine delle operazioni di montaggio, dunque, parte delle piazzole sarà smontato e ripristinato lo stato dei luoghi.

Le **opere civili permanenti** comprendono:

- La viabilità di campo di nuova costruzione;
- I raccordi per raggiungere gli aerogeneratori;
- Le fondazioni degli aerogeneratori;
- Le piazzole di servizio;
- *Scavi e rinterrati per alloggiamento linee M.T.*

### **PIAZZOLE**

Per ciò che concerne la viabilità di campo e le piazzole, durante la fase di cantiere sarà necessario avere a disposizione una maggiore dimensione per tali opere.

In particolare, sono previste delle piazzole di forma trapezoidale con base maggiore pari a 66 m, base minore di 47,2 m e altezza pari a 40.5 m. Tali dimensioni si riferiscono alle piazzole necessarie per fornire alle gru un ampio piano stabile per il montaggio degli aerogeneratori. Al termine delle fasi di montaggio, le piazzole, di ogni aerogeneratore, saranno notevolmente ridotte, minimizzando così la sottrazione di suolo dovuta alla presenza fisica del parco.

Le piazzole sono poste il più possibile in prossimità della viabilità esistente (in ogni caso tenendo conto dell'orografia del terreno).

È stata ipotizzata un tipologico di piazzola suddiviso in due aree. Per maggiori dettagli relativi all'area della piazzola, sia quella di montaggio che quella definitiva si rimanda all'Elaborato Grafico "Tipico piazzola\_rev.01".

Le dimensioni della piazzola di montaggio sono state fissate in relazione alle specifiche tecniche della turbina. Tali dimensioni sono dell'ordine dei 5000 m<sup>2</sup> complessivi, e suddivise in zone dedicate allo stoccaggio pale, zone a 2kg/cm<sup>2</sup> e zone a 3 kg/ cm<sup>2</sup>., caratterizzazione derivante dalla differente capacità portante del terreno e dal differente impiego dello stesso tra movimentazioni dei materiali e stoccaggio e zona di installazione della gru principale.

Al termine dei lavori, saranno rimosse le piazzole di montaggio (provvisorie) e mantenute solo quelle di tipo definitivo, di dimensioni pari a 36x21.5 m, finalizzate a garantire la gestione e manutenzione dell'impianto durante la vita utile.

Si precisa inoltre che le piazzole di montaggio subiranno un ripristino vegetazionale ma manterranno una orografia pianeggiante al fine di facilitarne il ripristino e l'utilizzo, qualora necessario, per manutenzioni di tipo straordinario. Le aree di stoccaggio e di posizionamento delle gru ausiliarie utili al montaggio della gru principale, il cui posizionamento più idoneo sarà definito in fase di progettazione esecutiva in accordo con la ditta costruttrice incaricata, alla chiusura della fase cantiere subiranno un ripristino sia di tipo orografico che vegetazionale.

### 3.5 – Verifiche idrauliche dello stato di progetto

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 di progetto, facendo riferimento nello specifico alle modifiche apportate al modello digitale del terreno per tenere conto degli interventi di riprofilatura necessari per la realizzazione delle piazzole di esercizio e delle fondazioni degli aerogeneratori in progetto.

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

##### **Modifiche al modello digitale del terreno**

Per tenere conto delle modifiche che verranno apportate nell'area di intervento a seguito della realizzazione degli interventi previsti dal progetto, si è reso necessario apportare alcune modifiche allo stato di progetto, in maniera fedele a quanto previsto dagli elaborati progettuali. Come precedentemente specificato, tali modifiche consistono nella riprofilatura del terreno al fine di realizzare le piazzole di esercizio e le fondazioni relative agli aerogeneratori. A tal proposito si è proceduto con la modifica del modello digitale del terreno coerentemente agli elaborati progettuali. Di seguito si riportano le metodologie utilizzate nell'ambito della modifica del modello digitale del terreno utilizzato in HEC-RAS per le verifiche idrauliche. Tali operazioni sono state ripetute analogamente per ciascuno degli aerogeneratori previsti dal progetto, mentre per comodità, si riportano le immagini di esempio per i soli aerogeneratori WTG 01 e WTG 09.

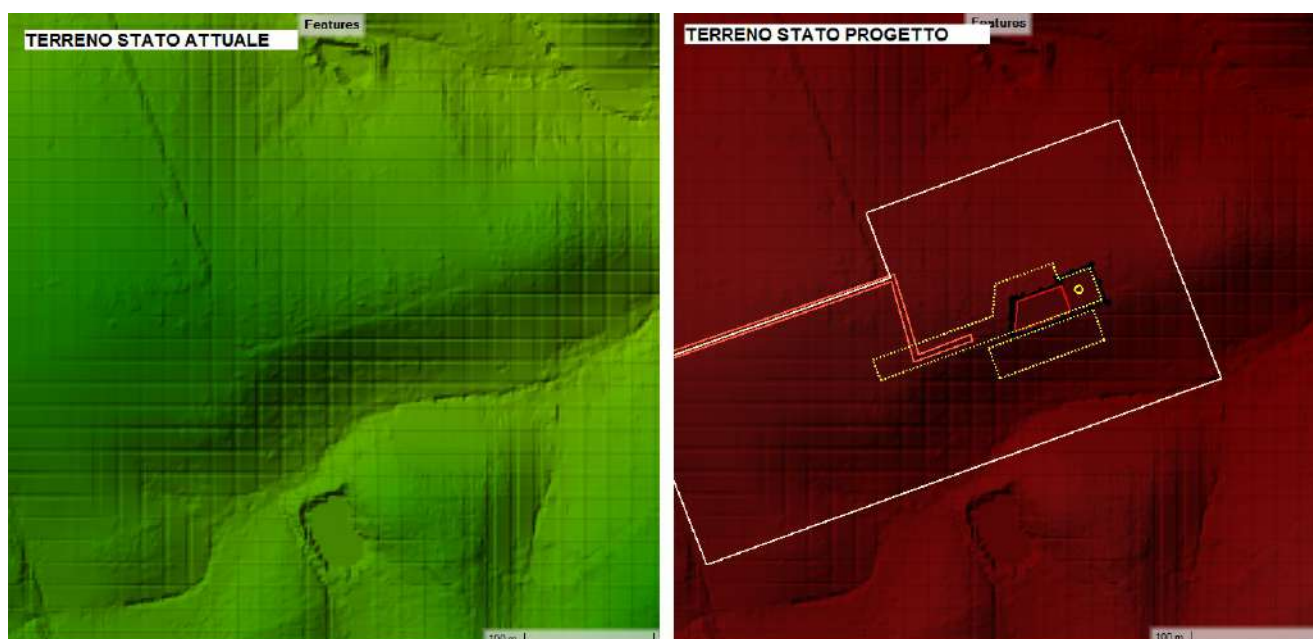


Fig. 42: Confronto planimetrico dei modelli digitale del terreno nello stato attuale (sinistra) e nello stato di progetto (destra) – esempio per aerogeneratore WTG09

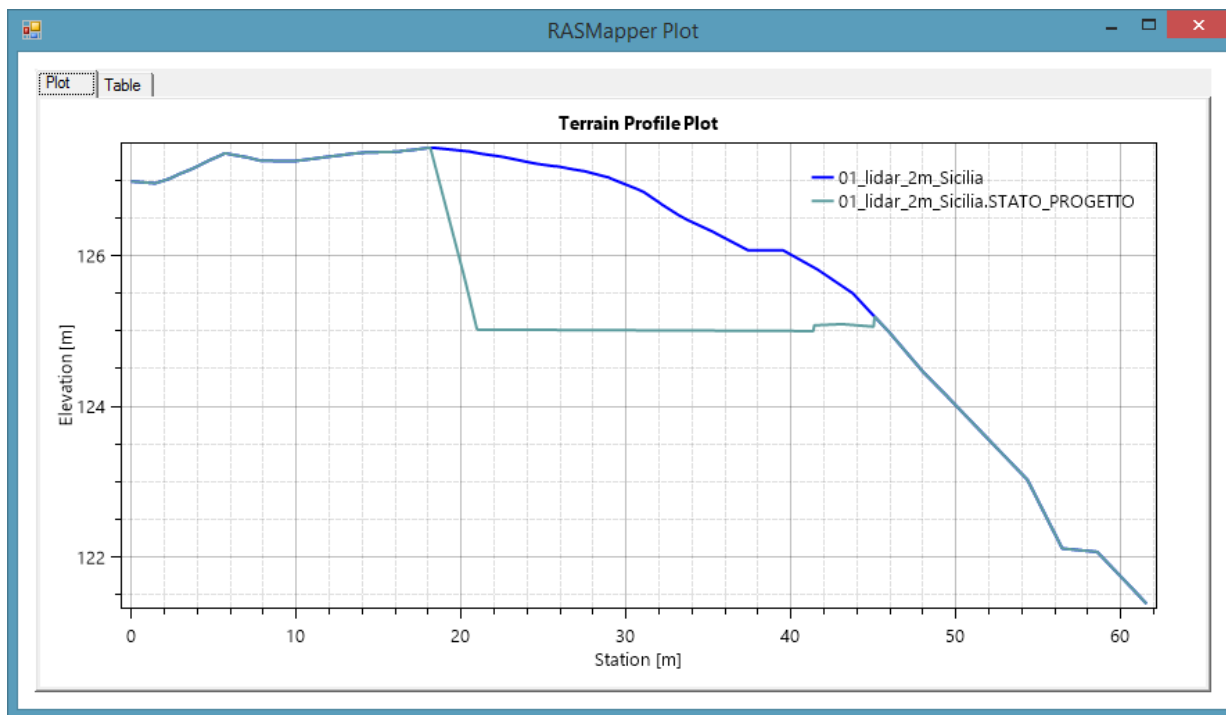


Fig. 43: Esempio di confronto sezioni estratte dai modelli digitale del terreno nello stato attuale (blu scuro) e nello stato di progetto (azzurro) – Esempio per l'aerogeneratore WTG09

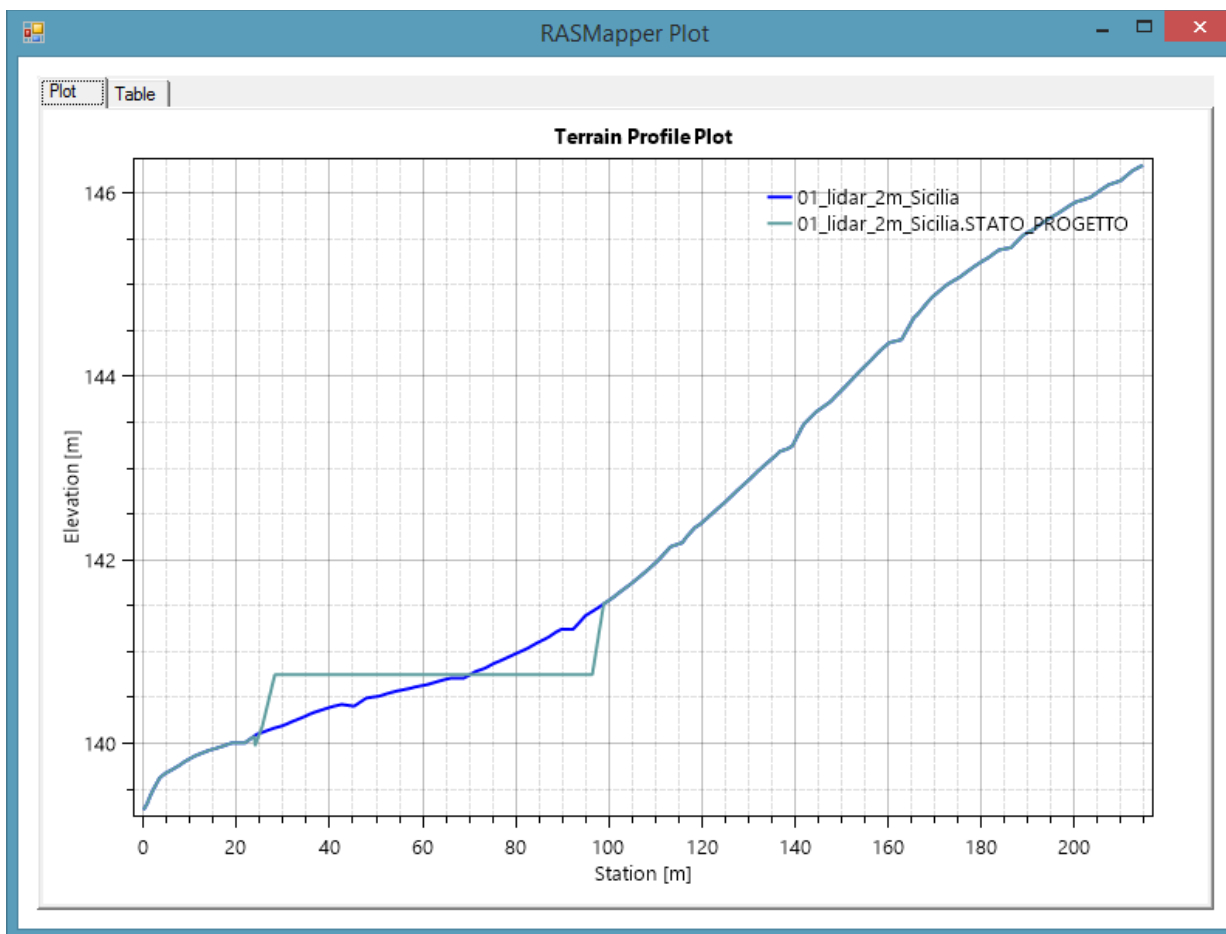


Fig. 44: Esempio di confronto sezioni estratte dai modelli digitale del terreno nello stato attuale (blu scuro) e nello stato di progetto (azzurro) – Esempio per l'aerogeneratore WTG01



### **Risultati modellazione idraulica bidimensionale**

Le simulazioni effettuate con riferimento allo stato di progetto e per il tempo di ritorno di 200 anni, hanno permesso di individuare con maggiore dettaglio lo scenario degli allagamenti nella zona in cui ricadono le aree di intervento. Si è proceduto dunque alla modellazione idraulica bidimensionale per 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 di progetto mostrano come gli allagamenti più importanti avvengano in corrispondenza del reticolo idrografico, analogamente a quanto accadeva per lo stato attuale. In particolare, per TR 200 anni non risultano allagamenti delle aree che saranno oggetto di intervento

In particolare la realizzazione delle opere di riprofilatura delle aree interessate dai piazzali e dalle fondazioni degli aerogeneratori, non risultano interessate da allagamenti per TR 200 anni, consentendoci di affermare che la realizzazione degli interventi previsti dal progetto non produce un incremento delle condizioni di rischio idraulico presenti in zona, in quanto i risultati della modellazione bidimensionale per lo stato di progetto non differiscono dai risultati ottenuti dalla modellazione idraulica dello stato attuale

Di seguito, per maggiore completezza, si riportano i risultati della modellazione idraulica dello stato di progetto su tutto il dominio di calcolo, per TR 200 anni.

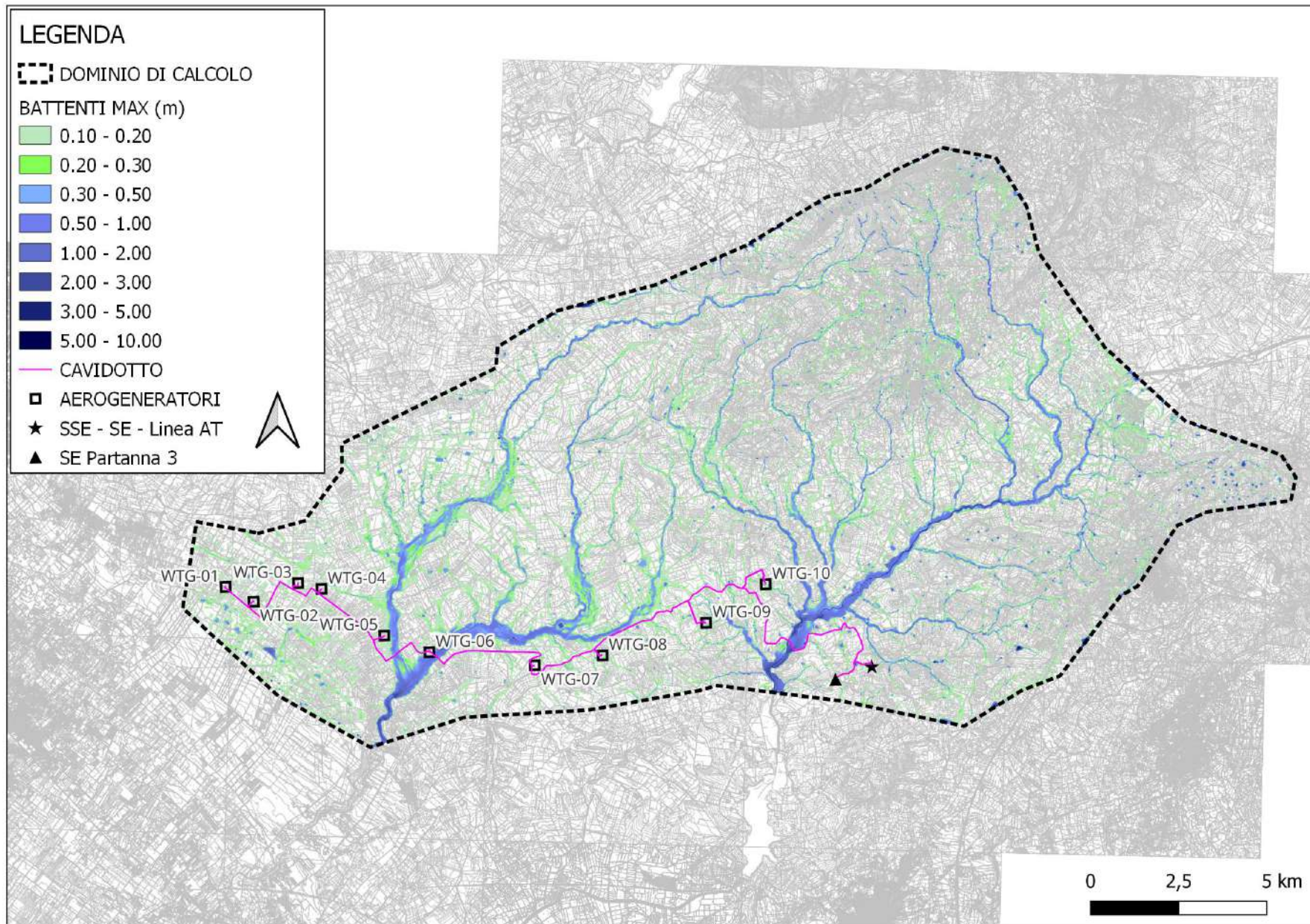


Fig. 47: Carta dei battenti massimi (m) per  $Tr = 200$  anni – STATO PROGETTO

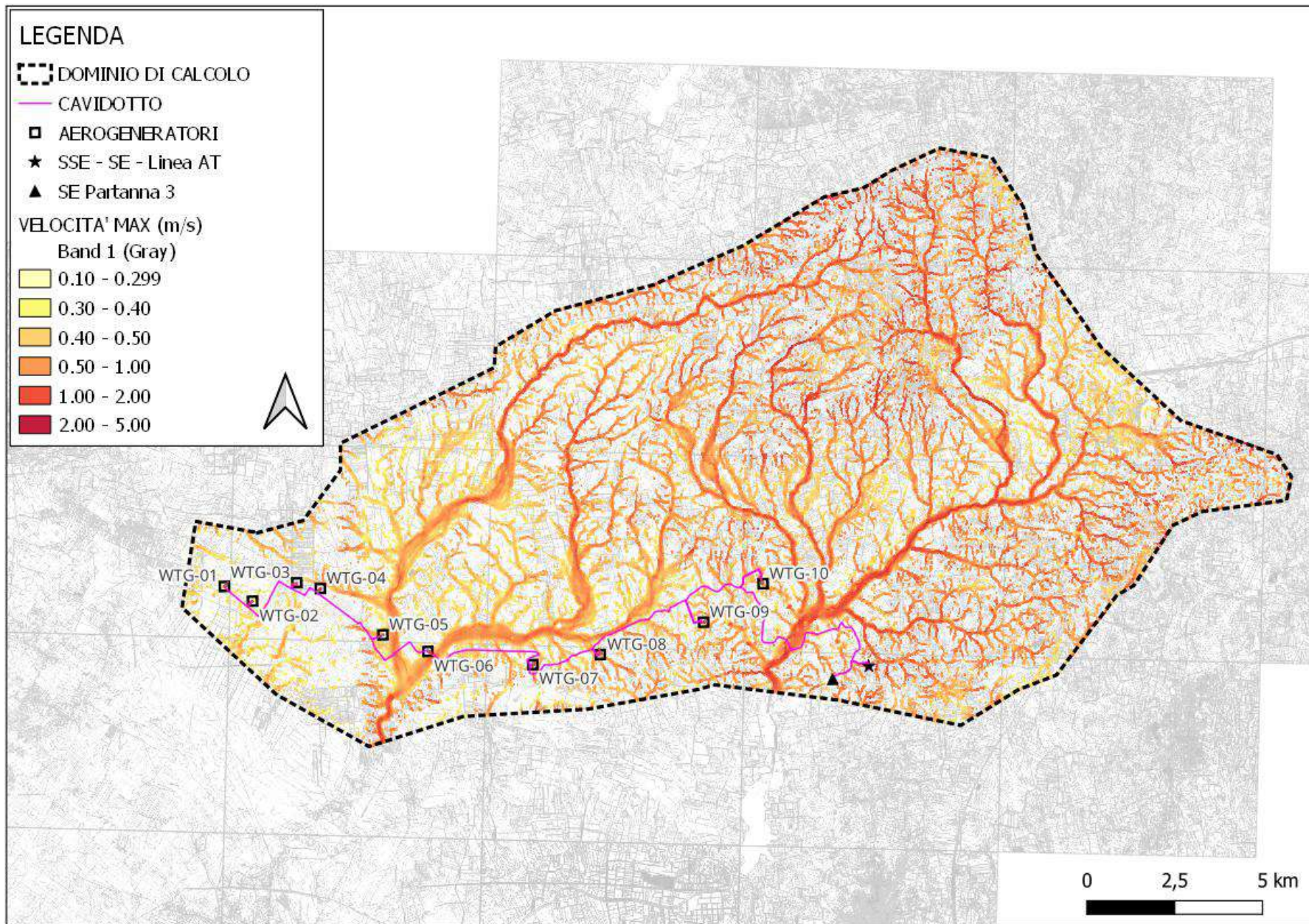


Fig. 48: Carta delle velocità massime (m/s) per  $Tr = 200$  anni – STATO PROGETTO



### **3.5 – Invarianza idraulica**

La redazione del presente paragrafo è finalizzata a comprendere in maniera dettagliata gli effetti degli impianti sull'assetto idraulico-idrogeologico del territorio, tenendo conto dell'esigenza di garantire il principio dell'invarianza idraulica e idrologica di cui al DPCM del 7 marzo 2019, con specifico riferimento alla norme di attuazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni, ed evidenziando le eventuali misure di mitigazione previste a tale fine. Inoltre tali interventi devono risultare idonei e compatibili con l'assetto idrogeologico dell'area vasta, secondo i metodi e tecniche richiamate nel D.D.G. 102 del 23/6/2021 emanato congiuntamente dalla DRU e dall'Autorità di Bacino della Regione Siciliana.

A tal proposito nell'ambito dello studio idraulico relativo alla realizzazione del parco eolico in progetto, 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 degli aerogeneratori in progetto e dei relativi piazzali di esercizio, non altera le condizioni di permeabilità dei suoli e non produce una modifica sostanziale delle condizioni di rischio idraulico della zona. In particolare, al fine di rispettare i criteri legati al concetto di invarianza idrologica ed idraulica, come imposto dalla normativa vigente, si è reso necessario prevedere la realizzazione di apposite pavimentazioni permeabili, finalizzate alla laminazione di parte dei deflussi che verranno dapprima intercettati dalle stesse pavimentazioni e quindi successivamente fatti disperdere nel suolo.

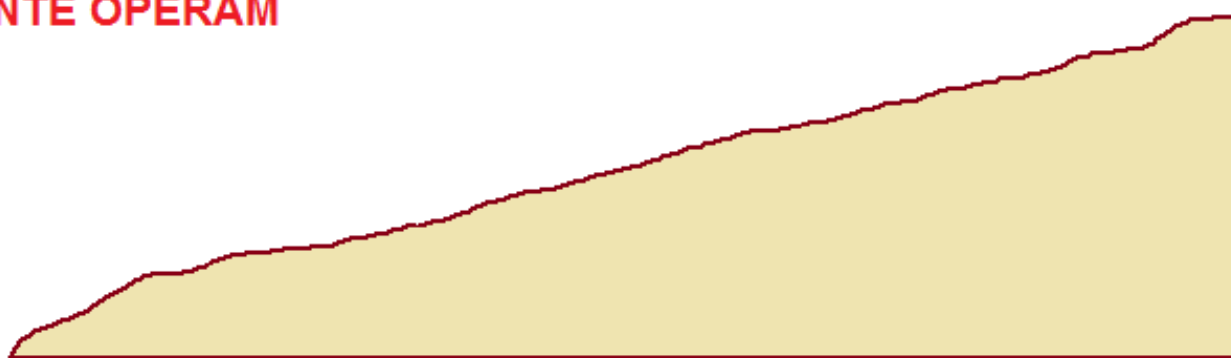
Di seguito quindi sarà dapprima descritto il fenomeno fisico da rappresentare e successivamente verranno mostrati i modelli di dettaglio con cui sono state rappresentate le condizioni ante-operam e post-operam modellate attraverso il software SWMM e saranno infine riportate alcune riflessioni sui risultati ottenuti. In particolare, al fine di ottenere l'invarianza idraulica ed idrologica per ciascun lotto di interesse, è stato dapprima ricostruito il modello idrodinamico relativo allo scenario attuale e, successivamente, è stato implementato lo scenario di progetto, tenendo conto della presenza delle pavimentazioni permeabili al fine di dimostrare il rispetto del concetto di invarianza idrologica e idraulica.

#### **3.5.1 – Descrizione del fenomeno**

Nel corso di questo paragrafo verrà descritto nel dettaglio il fenomeno della precipitazione al suolo in corrispondenza delle aree oggetto di intervento, nelle condizioni ante e post operam. Nella fattispecie, come discusso in precedenza, l'intervento in progetto consiste nella realizzazione di un impianto eolico, e quindi nell'installazione di aerogeneratori per la produzione di energia eolica, e nella realizzazione dei piazzali di esercizio e provvisori. La formazione dei piazzali relativi alle fasi realizzative delle opere sarà provvisoria, e avrà una durata pari alla realizzazione delle opere previste, dopo le quali si provvederà al ripristino delle condizioni naturali dei luoghi, sia dal punto di

vista orografico, sia per quanto concerne la permeabilità dei suoli. La realizzazione dei piazzali da adibire alle fasi di esercizio dell'opera, che avrà carattere permanente, avverrà mediante una riprofilatura del terreno, al fine di facilitare il transito dei mezzi durante le operazioni di installazione degli aerogeneratori e per le successive fasi di manutenzione. A tal proposito, per evitare la variazione delle condizioni di permeabilità delle aree dei piazzali, si è reso necessario intervenire mediante la realizzazione di pavimentazioni permeabili che verranno adibite su tutta la superficie dei piazzali, mediante la posa in opera di materiale misto granulare stabilizzato (ghiaia e sabbia media) per uno strato di circa 20 cm. Tale operazione consentirà di mantenere invariata la permeabilità delle piazzole, in quanto essa sarà funzione dello strato di terreno naturale al di sotto dello strato permeabile.

## ANTE OPERAM



## POST OPERAM

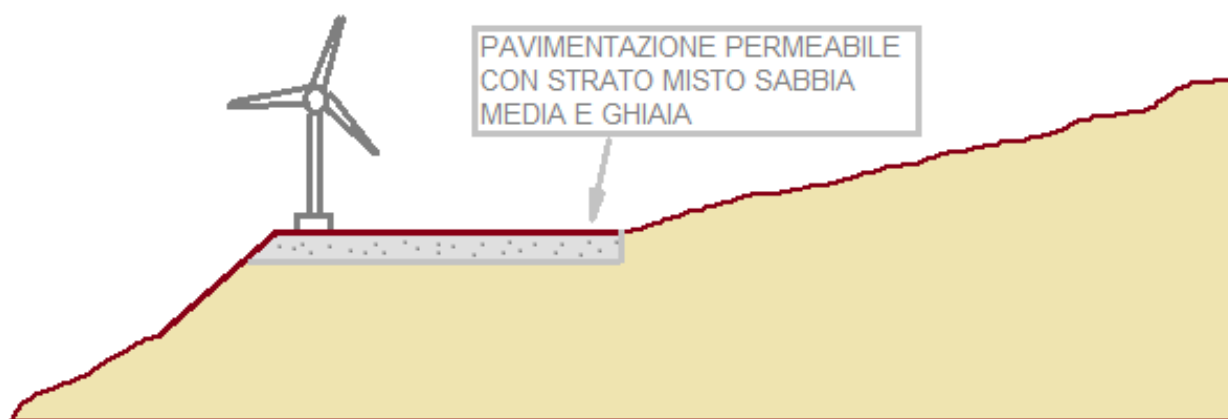


Fig. 49: Realizzazione dei piazzali mediante pavimentazioni permeabili con sabbia media e ghiaia

Differente è il discorso legato alla realizzazione della fondazione della pala eolica che, venendo realizzata in calcestruzzo, produrrà l'impermeabilizzazione della superficie che sarà occupata da essa. Per mitigare gli effetti legati alla presenza della fondazione impermeabile, nel rispetto del principio di invarianza idraulica, si è reso necessario prevedere la realizzazione di una trincea drenate per una superficie di 70 mq per una profondità dello strato drenante di 0.55m e 0.20 m di strato vegetale superficiale. Lo scopo della trincea è quello di fare infiltrare nel terreno parte degli

apporti idrici provenienti dalla fondazione impermeabile, e quindi rispettare il limite di invarianza idraulica imposto dalla normativa vigente. Nel seguito di questo capitolo, verrà meglio esplicitato lo schema di calcolo implementato nel software SWMM al fine di verificare che le trincee drenanti in progetto risultino idonee a soddisfare il principio di invarianza idraulica per la realizzazione delle opere previste dal progetto.

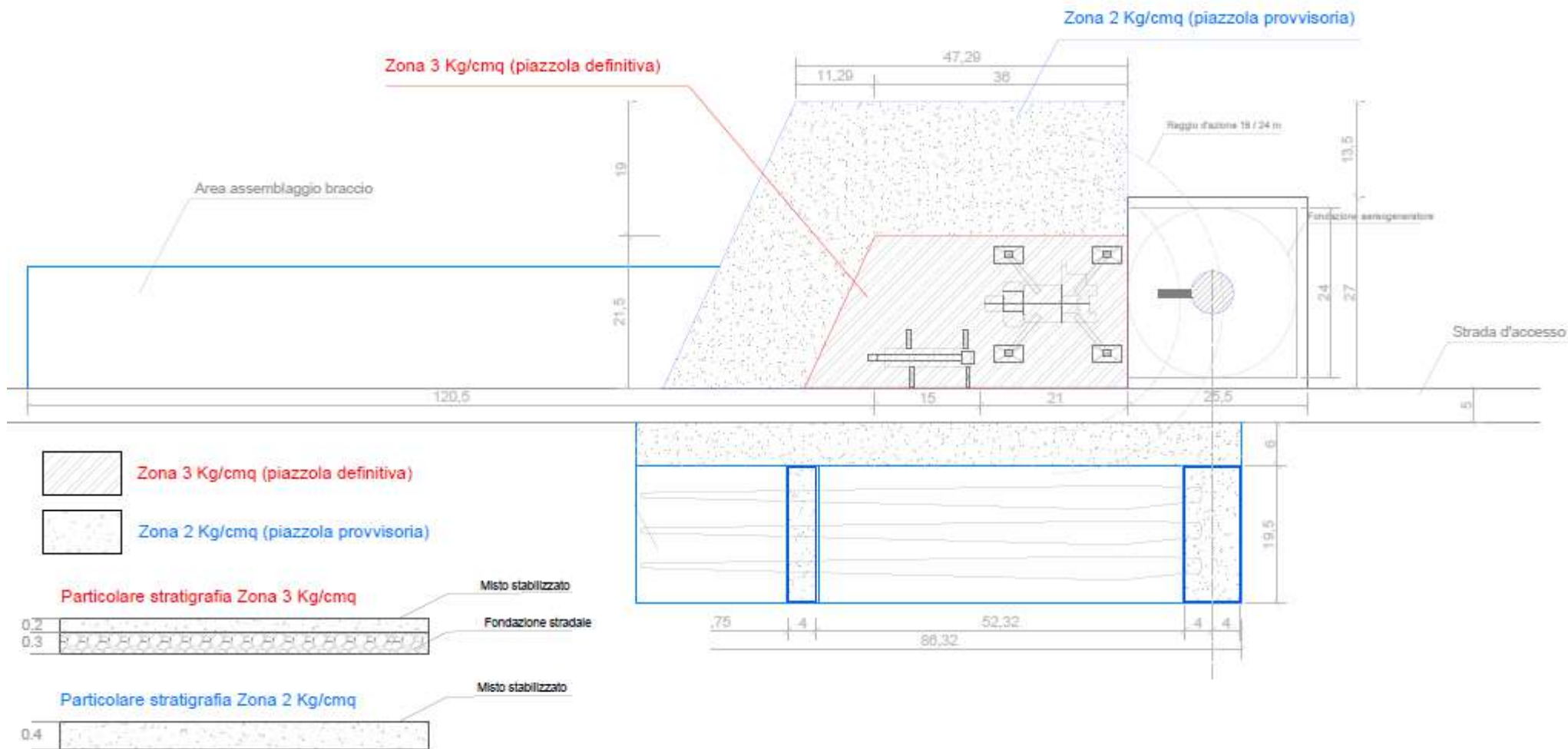


Fig. 50: Planimetria piazzali permanenti e temporanei con fondazione aerogeneratore

### 3.5.2 – Implementazione modelli

Come precedentemente discusso, al fine di implementare il modello idrodinamico per il generico lotto di riferimento, si è reso necessario dapprima svolgere uno studio di dettaglio sul generico lotto, nelle condizioni di stato attuale. Successivamente è stato eseguito uno studio relativo allo stato di progetto, considerando due differenti configurazioni che prevedono l'assenza/presenza della trincea drenante per mitigare gli effetti legati alla realizzazione delle fondazioni degli aerogeneratori. Come condizione al contorno al modello è stata assegnata la precipitazione totale, individuata nel precedente studio idrologico effettuato mediante il software HEC-HMS, relativamente al TR 200 anni e ad un evento di durata pari a due ore.

Come precedentemente accennato, si evidenzia che per il modello SWMM implementato al fine di verificare l'invarianza idraulica a seguito della realizzazione delle opere previste dal progetto dell'impianto eolico, è stata utilizzata una precipitazione di durata pari a 2 ore, a differenza di quanto effettuato nell'ambito delle verifiche idrauliche bidimensionali svolte in HEC-RAS, in cui veniva utilizzata una precipitazione di durata pari a 6 ore. Il motivo di tale scelta è legato alla differente estensione dei bacini idrografici di riferimento. Difatto, nelle verifiche sviluppate mediante il software HEC-RAS è stata modellata tutta la superficie dei bacini idrografici dei F. Mazaro e Delia, al fine di potere meglio investigare nei riguardi delle aree soggette ad allagamento, non solo in corrispondenza delle piazzole e degli aerogeneratori, bensì anche per valutare l'estensione delle aree allagabili in prossimità del tracciato del cavidotto. Nella verifica idraulica modellata mediante il software SWMM si è voluto invece investigare nei riguardi dell'invarianza idraulica in corrispondenza dei soli piazzali e delle fondazioni degli aerogeneratori. Tali opere ricadono in sottobacini dei più grandi bacini idrografici dei Fiumi Mazaro e Delia, caratterizzati da tempi di corrivazione decisamente minori, per cui risulta eccessivo utilizzare una precipitazione di durata pari a 6 ore.

Come metodo di separazione delle piogge è stato utilizzato il metodo del Curve Number, facendo riferimento ai valori individuati a partire dai dati relativi allo studio idrologico precedentemente citato, ovvero al valore 88. Infine per ciascun modello sono stati inseriti gli elementi Outlet che indicano le sezioni di chiusura dei modelli. Questi nodi verranno presi come riferimento al fine di confrontare gli idrogrammi in uscita dai due scenari (ante operam e post operam) e quindi verificare l'efficienza delle misure di compensazione necessarie al rispetto dei limiti di invarianza idraulica, imposti dalla normativa vigente.

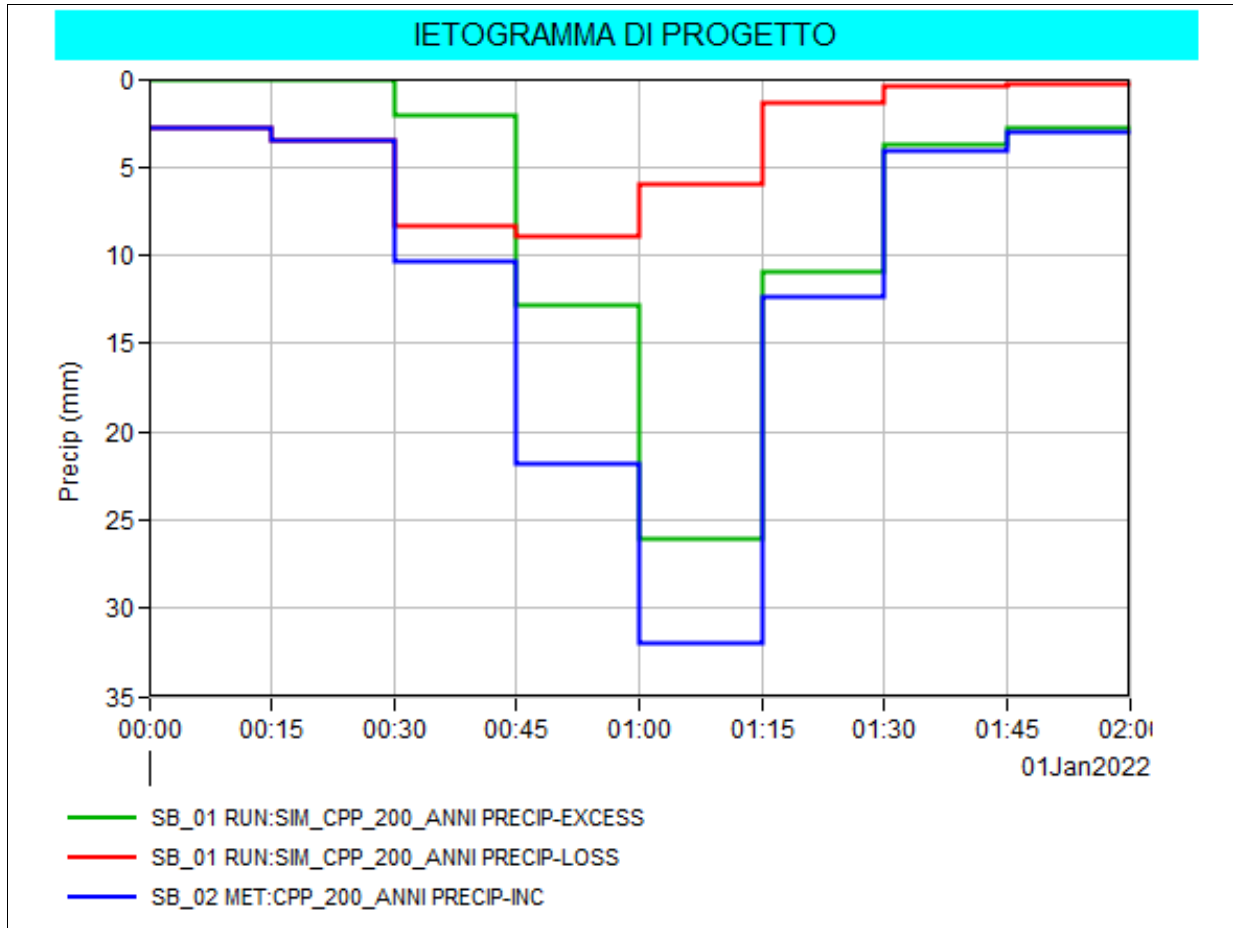


Fig. 51: Ietogramma di progetto per TR 200 anni

Di seguito, a titolo di esempio, si riportano le immagini relative all'implementazione del modello idrologico per i piazzali e per le fondazioni degli aerogeneratori in progetto, nelle condizioni ante e post operam, in modo da evidenziare dapprima gli effetti legati alla impermeabilizzazione delle aree relative alle fondazioni e successivamente di verificare come le opere di mitigazione previste, ovvero le trincee disperdenti, consentano di rispettare i limiti imposti dalla normativa nei riguardi del principio di invarianza idraulica.

## Implementazione modello

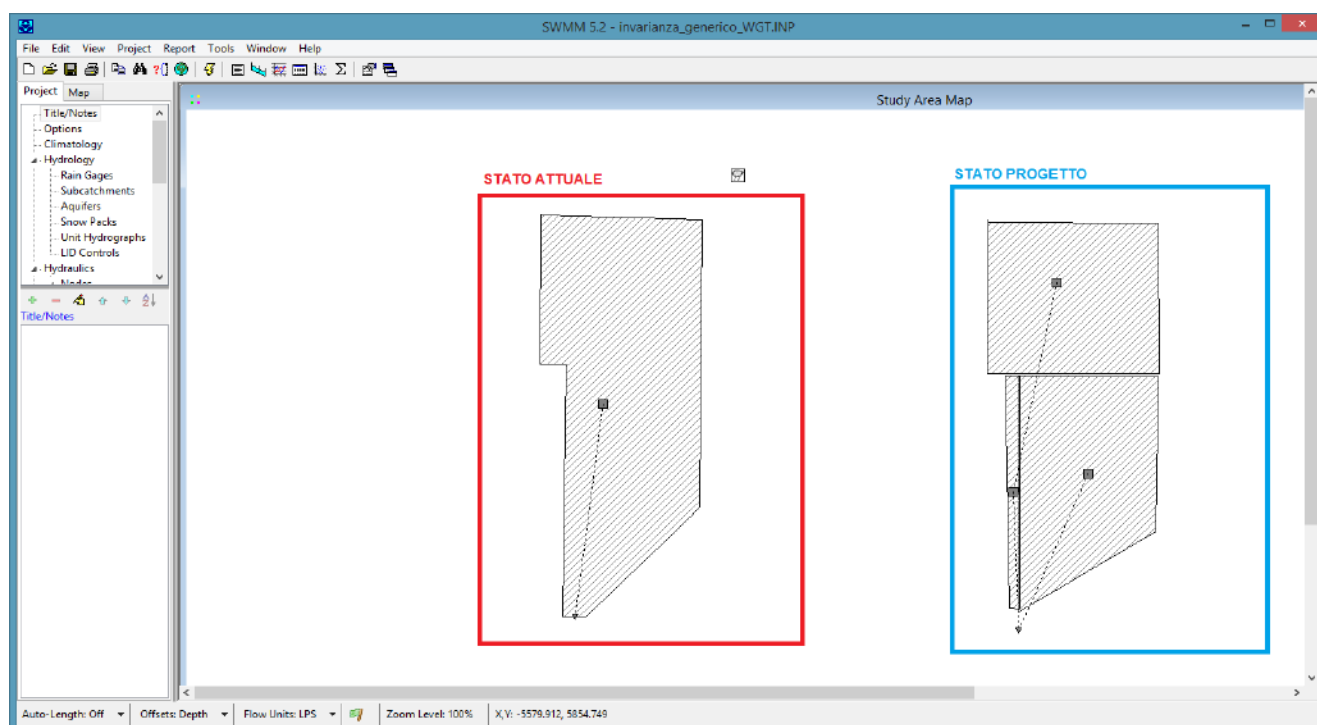


Fig. 52: Schema modello stato attuale nel software SWMM – Generico aerogeneratore

Per l'implementazione del modello idrodinamico, riportato nella Fig. 52, è stato fatto riferimento ad una superficie totale pari a 0.164 ha corrispondente alla somma di tre aree, ovvero la superficie da adibire alla fondazione dell'aerogeneratore, la superficie relativa alla piazzola permanente, e infine la superficie da destinare alla realizzazione delle opere di mitigazione. Tutta l'area è stata caratterizzata con un valore del CN pari a 88, coerente a quanto riportato nello studio idrologico eseguito in HEC-HMS. L'area è stata caratterizzata con una pendenza del terreno pari a circa il 0.5 %, ricavata a partire dai dati del modello digitale del terreno con risoluzione 2 m disponibile per la zona. Considerata inoltre la natura dei terreni di interesse nelle condizioni attuali, non è stato tenuto conto della presenza di aree impermeabili, che nello specifico, per i lotti in esame, risultano essere nulle. Come condizione al contorno è stata assegnata la precipitazione totale di durata pari a 2 h, come precedentemente discusso. Con tali assunzioni è stato possibile quindi ricavare il valore della portata massima in uscita dal sistema, come mostrato nella Fig. 53, pari a circa 31.77 l/s.

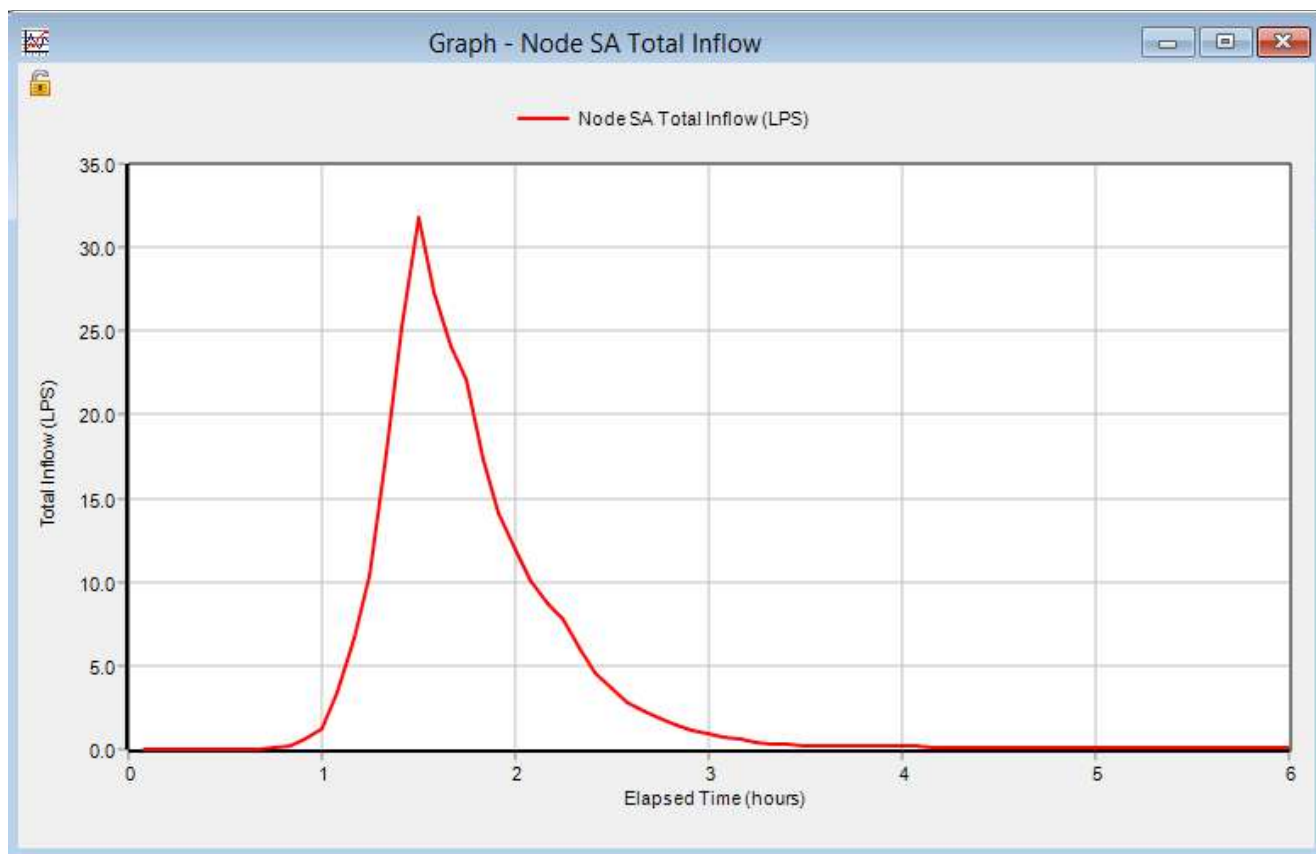


Fig. 53: Idrogramma in uscita dal modello del generico aerogeneratore – STATO ATTUALE

Per l'implementazione del modello relativo allo stato di progetto (vedi Fig. 54), si è proceduto alla scomposizione delle aree modellate nello stato attuale, al fine di definire l'area della fondazione (circa 0.069 ha da intendersi impermeabile), l'area del piazzale (0.088 ha in cui verrà mantenuta la permeabilità originaria del terreno), e l'area da adibire alla realizzazione delle opere di mitigazione, nella fattispecie la trincea drenante, par a 0.0070 ha.

Nello specifico, al fine di valutare l'effetto della realizzazione della fondazione impermeabile, è stata dapprima condotta una modellazione dello stato di progetto senza prevedere la realizzazione della trincea. In particolare, sono stati mantenuti invariati i valori del CN per l'area del piazzale e per l'area da adibire alle opere di mitigazione, mentre in corrispondenza dell'area della fondazione è stato inserito un valore del CN pari a 99. In queste condizioni, confrontando gli idrogrammi nelle sezioni di chiusura dei modelli dello Stato attuale e Stato di progetto, si è riscontrato un significativo aumento delle portate di piena nello stato di progetto, come riportato in figura 55.



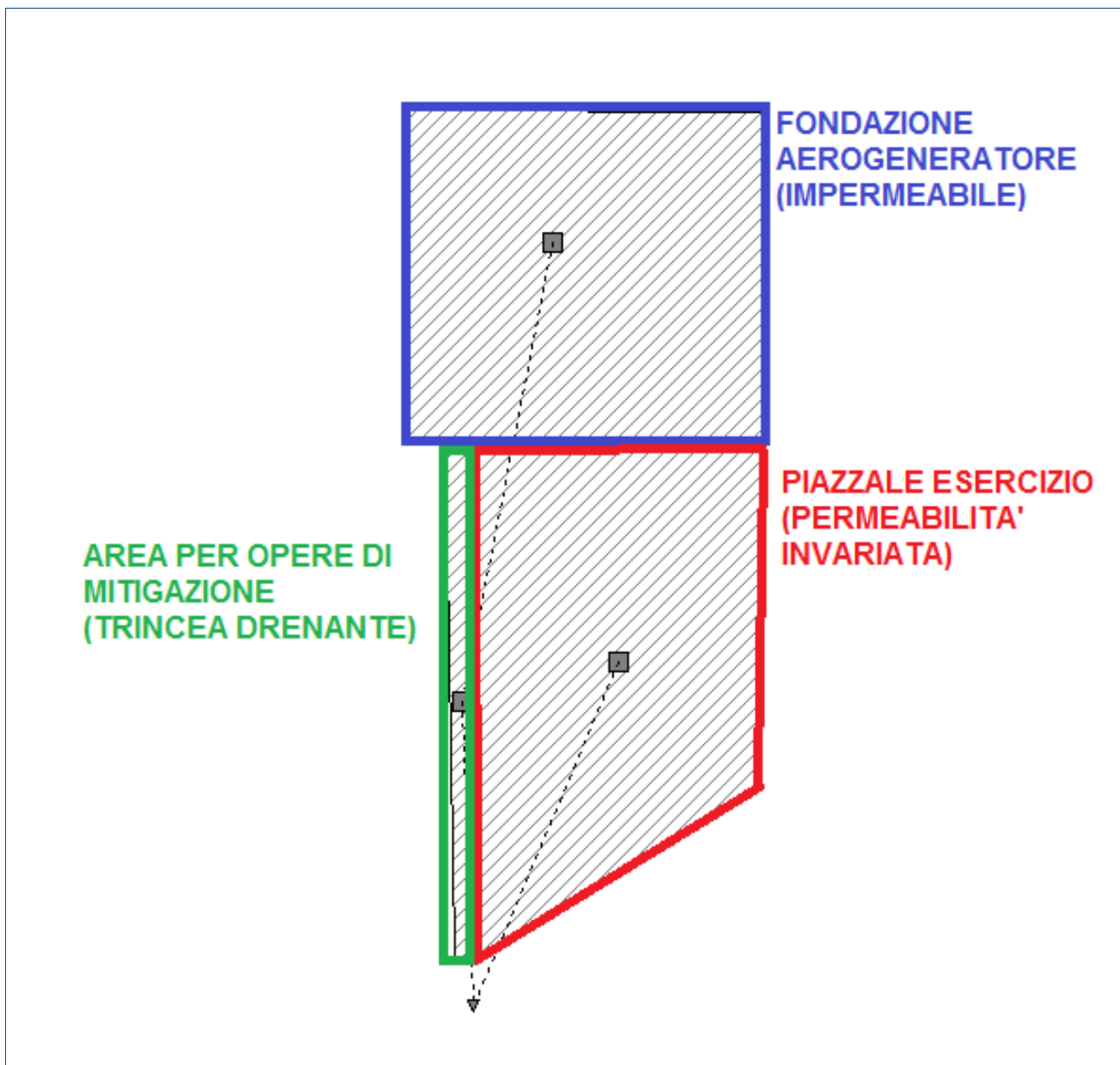


Fig. 54: Scomposizione superficie di intervento nelle tre differenti aree – STATO PROGETTO

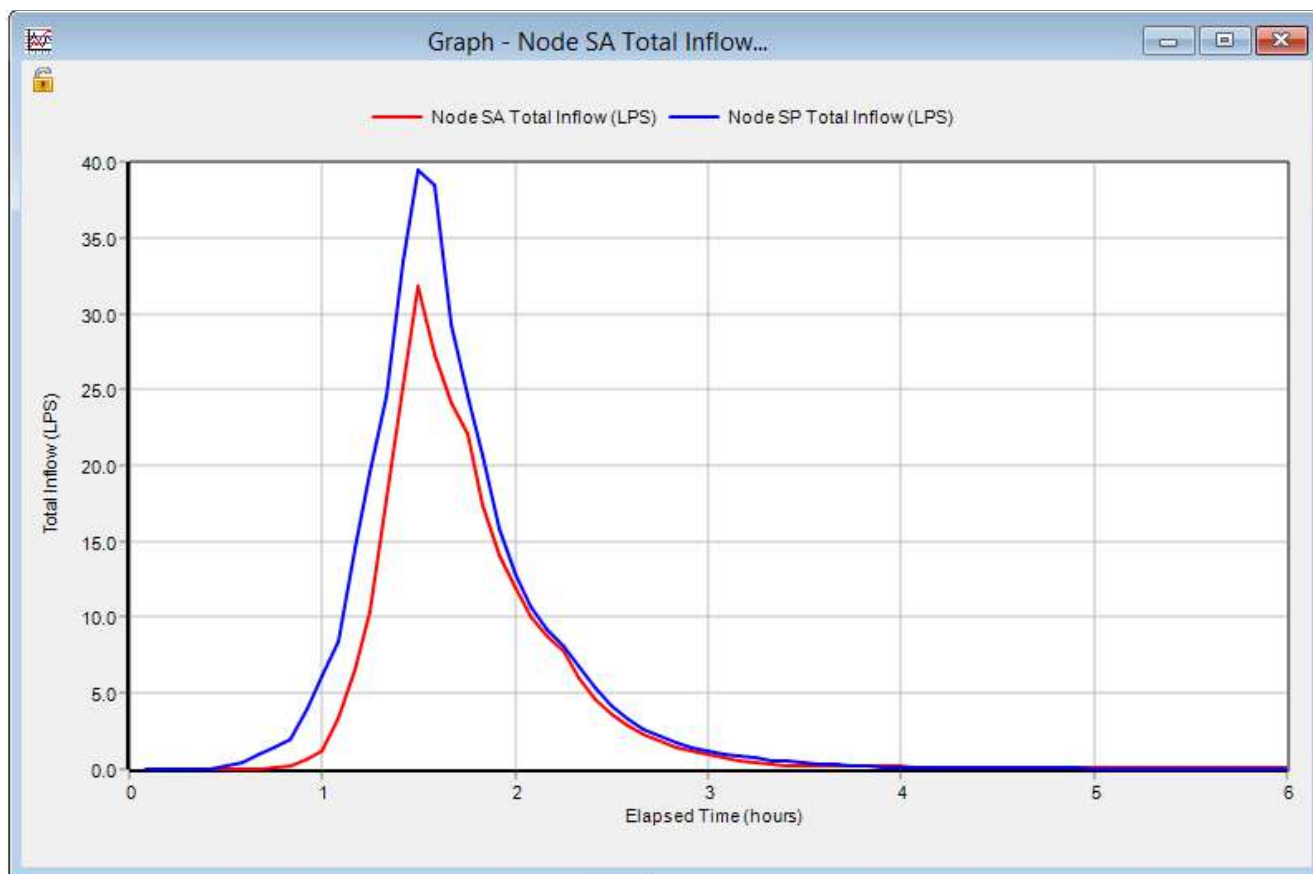


Fig. 55: Confronto idrogrammi stato attuale e di progetto alla sezione di chiusura – caso senza trincea drenante

Come mostrato nella Fig. 55, nello stato di progetto senza trincea drenante, si registra un aumento delle portate di piena di circa il 20%, riportando un valore di  $Q_{max}$  pari a circa 40 l/s contro i 31.77 l/s dello stato attuale. Per mitigare pertanto gli effetti legati all'impermeabilizzazione dell'area relativa alla fondazione dell'aerogeneratore, si è proceduto con l'inserimento della trincea drenante. Per modellare la trincea drenante è stato inserito un LID Control implementato secondo lo schema dell'Infiltration Tranch, disponibile all'interno del software SWMM, che consente di definire le dimensioni e caratteristiche della trincea drenante. In particolare, per il caso in esame, la trincea è stata definita con dimensioni pari a 2 m di larghezza, 35 m di lunghezza (per un totale di 70 mq di superficie) e una profondità di 0.55 m. Per quanto riguarda il materiale di riempimento con cui realizzare la trincea è stato fatto riferimento ad un misto granulare stabilizzato avente permeabilità  $K=220$  mm/h. Inoltre è stato previsto uno strato vegetale superiore di altezza pari a 0.20 m.

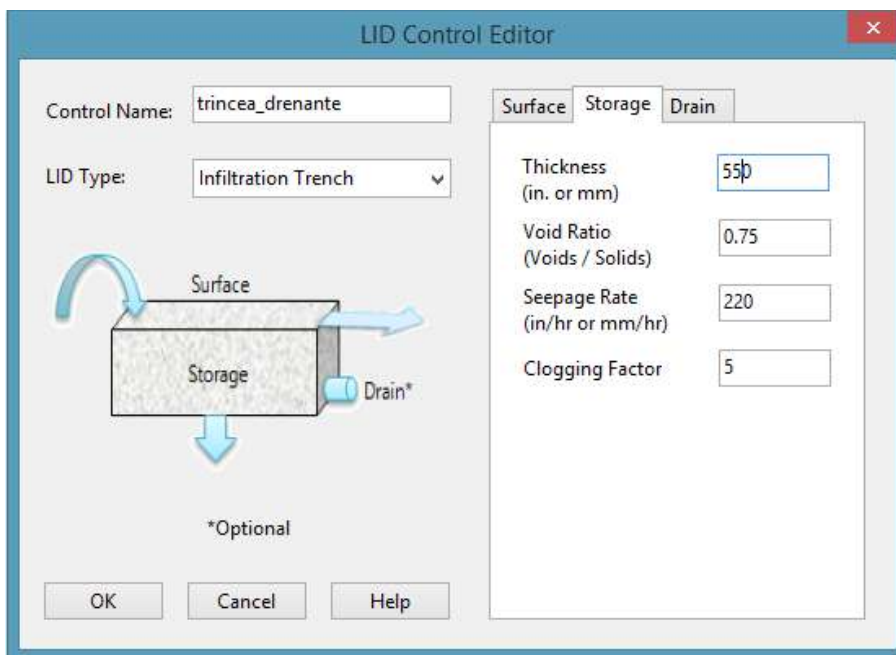


Fig. 56: Definizione dell'Infiltration Trench

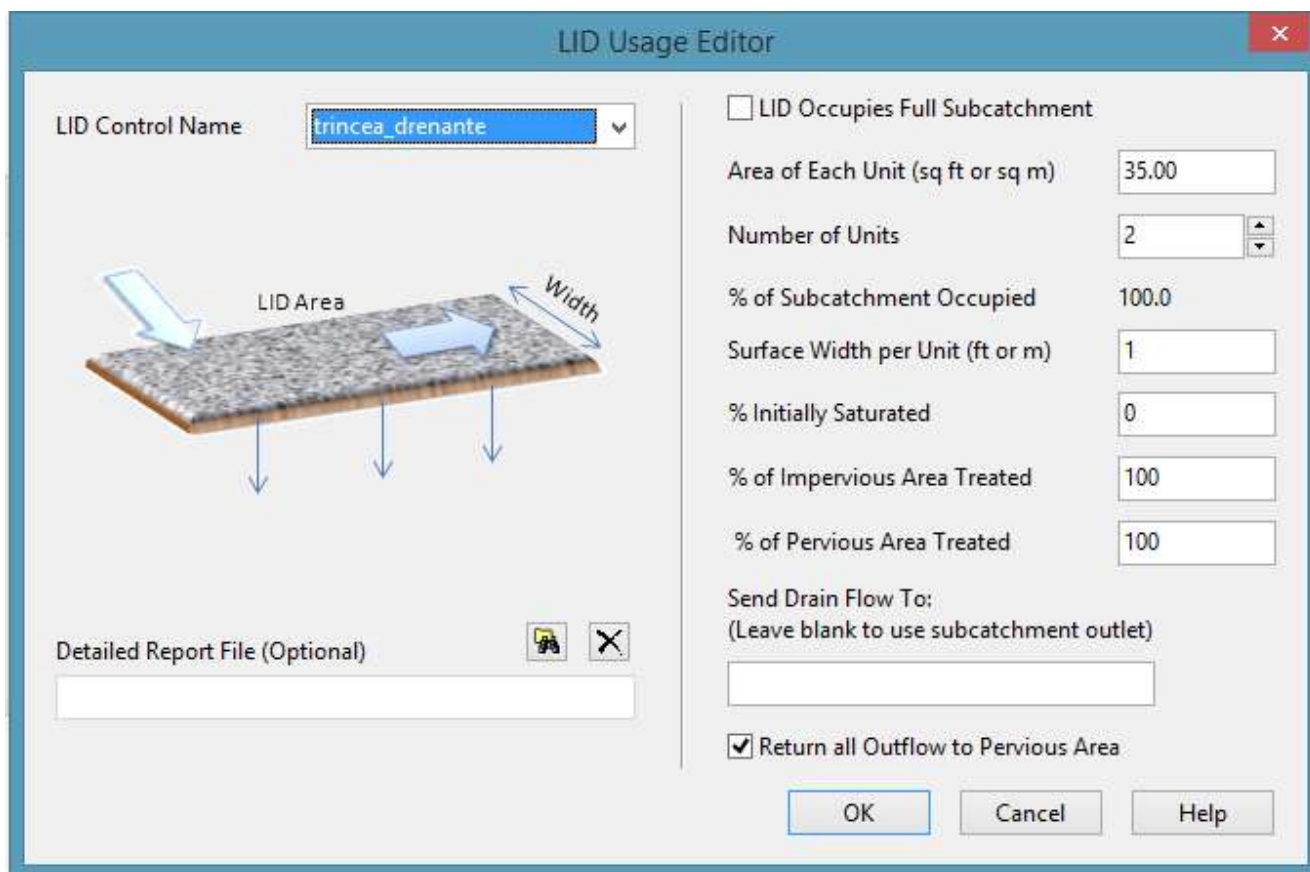


Fig. 57: Definizione della trincea

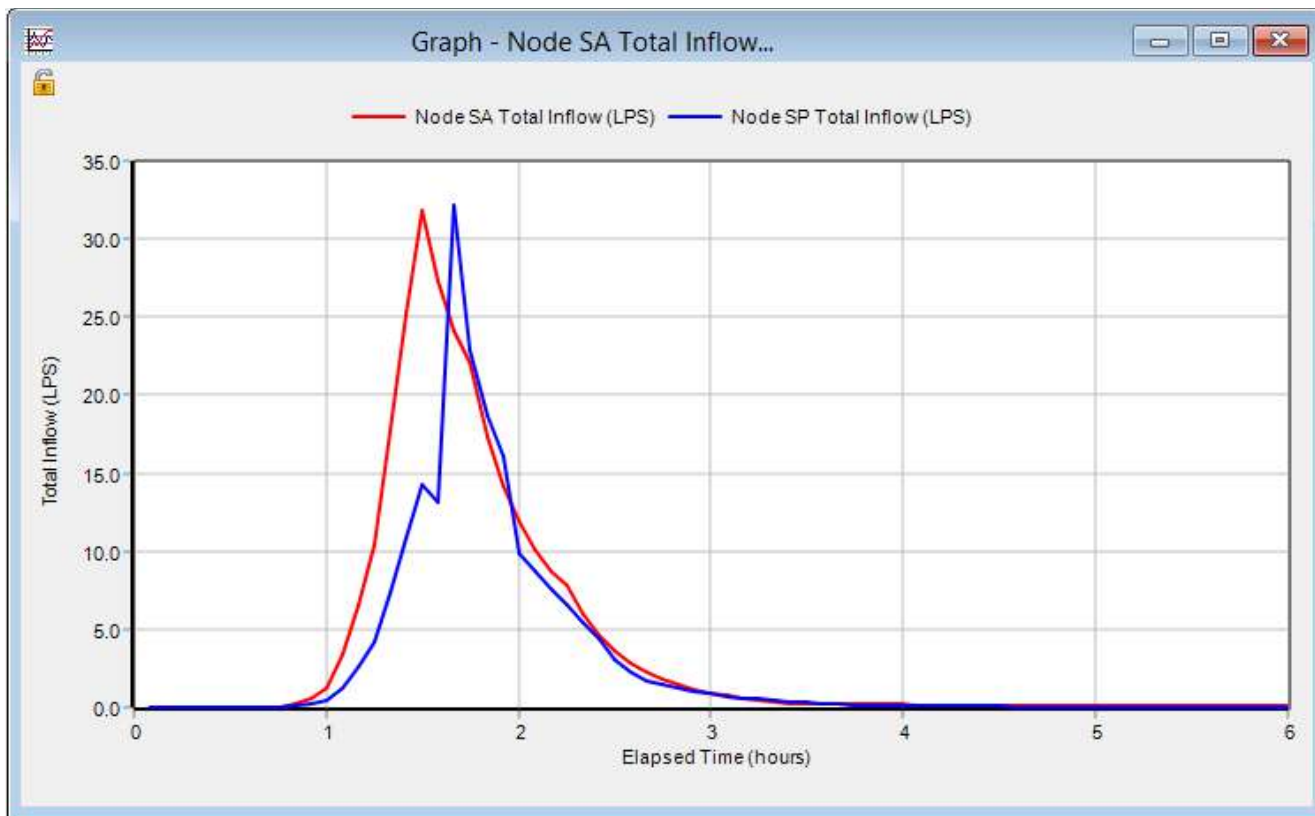


Fig. 58: Confronto idrogrammi stato attuale e stato di progetto – caso con trincea drenante

Come è possibile riscontrare dai risultati ottenuti e mostrati in Fig. 58, con l'inserimento della trincea drenante si ha un notevole effetto migliorativo, riducendo il valore di portata massima nelle condizioni di stato di progetto da circa 40 l/s (caso senza trincea) a circa 31.16 l/s (caso con trincea), registrando in definitiva un aumento della portata massima rispetto allo stato attuale di circa lo 0.97 % accertando che le opere di mitigazione previste consentono di affermare il pieno rispetto del principio di invarianza idraulica imposto dalla normativa vigente.

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

Per verificare la compatibilità idraulica dell'impianto eolico 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 devono essere posizionati all'esterno delle aree allagabili corrispondenti 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;
- la realizzazione di eventuali recinzioni dovrà avvenire garantendo una altezza libera da terra pari ad almeno 0.20 m ;
- la realizzazione della rete elettrica cavidottistica interna sarà interamente interrata e installata ad una profondità tale da non essere interessata da eventuali fenomeni di erosione da parte della corrente idrica;

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

- saranno previste opportune trincee drenanti finalizzate a ottemperare al principio di invarianza idraulica imposto dalla normativa, pertanto l'effetto al suolo che si ha nello stato di progetto rimane sostanzialmente invariato;
- 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;
- dai risultati dello studio idrodinamico di dettaglio sviluppato mediante il software SWMM si può affermare che la realizzazione delle trincee disperdenti consente di rispettare i limiti imposti dalla normativa vigente relativamente al principio di invarianza idraulica;
- dalle indagini svolte in sito non sono state rilevate presenze di falda in prossimità del piano campagna, pertanto la realizzazione delle trincee ed il conseguente smaltimento dei deflussi in eccesso, nel terreno, non provoca variazioni alle condizioni di rischio idraulico presenti nella zona;
- la realizzazione delle piazzole, come mostrato dai risultati della modellazione idraulica dello

stato di progetto, non provoca una variazione significativa delle condizioni di rischio idraulico presenti in zona. Nello specifico non si hanno nello stato di progetto allagamenti significativi in corrispondenza delle aree di intervento.

Si può pertanto concludere che la realizzazione degli interventi previsti dal progetto risulta compatibile con le condizioni di rischio idraulico presenti in zona.

## 4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha avuto lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona che comprende i comuni di Mazara del Vallo (TP), Salemi (TP) e Santa Ninfa (TP) dove il proponente, GEREMO SRL, ha predisposto il progetto per un intervento consistente nella realizzazione di un impianto eolico denominato “Anemos”. Il parco eolico sarà costituito da 10 aerogeneratori da 4.5 MW, per una potenza complessiva di 45 MW.

L'impianto eolico in progetto interferisce con i corsi d'acqua del reticolo idrografico minore, 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 Idrogeologica (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 eolico, 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 lo ietogramma di precipitazione netta 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 nelle condizioni di stato attuale e di progetto, utilizzando come base il 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.

In una ultima fase si è reso necessario approfondire le analisi idrauliche al fine di tener conto dell'esigenza di rispettare il principio dell'invarianza idraulica di cui al DPCM del 7 marzo 2019, con specifico riferimento alla norme di attuazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni, ed evidenziando le eventuali misure di mitigazione previste a tale fine. Inoltre tali interventi devono risultare idonei e compatibili con l'assetto idrogeologico dell'area vasta, secondo i metodi e tecniche richiamate nel D.D.G. 102 del 23/6/2021 emanato congiuntamente dalla DRU e dall'Autorità di Bacino della Regione

Sicilia.

A tal proposito nell'ambito dello studio idraulico relativo alla realizzazione del parco eolico in progetto, è stato realizzato un modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico implementato nel software SWMM e realizzato ad-hoc al fine di dimostrare che la realizzazione degli interventi relativi all'impianto eolico in progetto non altera le condizioni di permeabilità dei suoli e non produce una modifica sostanziale delle condizioni di rischio idraulico della zona. In particolare, al fine di rispettare i criteri legati al concetto di invarianza idraulica, come imposto dalla normativa vigente, si è reso necessario prevedere la realizzazione di apposite trincee disperdenti, finalizzate alla laminazione di parte dei deflussi che verranno dapprima intercettati dalle stesse trincee e quindi successivamente fatti disperdere nel suolo.

In definitiva per verificare la compatibilità idraulica dell'impianto eolico 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 devono essere posizionati all'esterno delle aree allagabili corrispondenti 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;
- la realizzazione di eventuali recinzioni dovrà avvenire garantendo una altezza libera da terra pari ad almeno 0.20 m ;
- la realizzazione della rete elettrica cavidottistica interna sarà interamente interrata e installata ad una profondità tale da non essere interessata da eventuali fenomeni di erosione da parte della corrente idrica;

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

- saranno previste opportune trincee drenanti finalizzate a ottemperare al principio di invarianza idraulica imposto dalla normativa, pertanto l'effetto al suolo che si ha nello stato di progetto rimane sostanzialmente invariato;
- dai risultati dello studio idrodinamico di dettaglio sviluppato mediante il software SWMM si può affermare che la realizzazione delle trincee disperdenti consente di rispettare i limiti imposti dalla normativa vigente relativamente al principio di invarianza idraulica;



- dalle indagini svolte in sito non sono state rilevate presenze di falda in prossimità del piano campagna, pertanto la realizzazione delle trincee ed il conseguente smaltimento dei deflussi in eccesso, nel terreno, non provoca variazioni alle condizioni di rischio idraulico presenti nella zona;
- la realizzazione delle piazzole, come mostrato dai risultati della modellazione idraulica dello stato di progetto, non provoca una variazione significativa delle condizioni di rischio idraulico presenti in zona. Nello specifico non si hanno nello stato di progetto allagamenti significativi in corrispondenza delle aree di intervento;
- 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.

pertanto la realizzazione degli interventi previsti dal progetto non produce una variazione significativa delle condizioni di rischio idraulico presenti in zona. Alla luce dei risultati ottenuti dal presente studio si può concludere che la realizzazione del parco eolico in progetto costituisce incremento delle condizioni di rischio idraulico presenti nella zona, pertanto l'intervento in progetto può considerarsi compatibile dal punto di vista idraulico, a condizione che nella fase realizzativa delle opere vengano osservate le indicazioni sopra riportate.

Marzo 2023

Ing. Dario Tricoli

