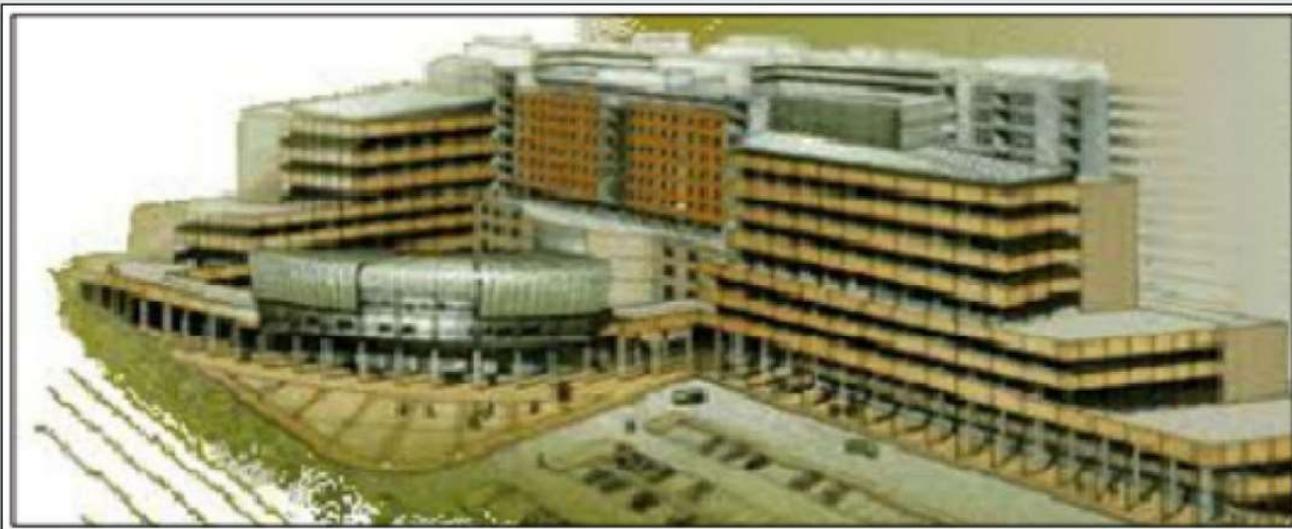


## LAVORI DI REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO AULE PRESSO IL CAMPUS UNIVERSITARIO SALVATORE VENUTA



### RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA



Ing Franca Comito  
Via Emilia n.66  
89900 Vibo Valentia

[francacomito.fc@libero.it](mailto:francacomito.fc@libero.it) – [franca.comito@pec.it](mailto:franca.comito@pec.it) - P.I. 03514430796





**UNIVERSITA' DEGLI STUDI MAGNA GRAECIA DI CATANZARO**  
**COMUNE DI CATANZARO**

**Lavori di realizzazione di un edificio aule presso il Campus Universitario Salvatore Venuta**

**RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA**

**per la progettazione idraulica degli interventi di sistemazione del canale presso il Campus Universitario Salvatore Venuta e Studio di compatibilità idraulica relativo alla realizzazione di un edificio aule**

Catanzaro, Agosto 2022

**Il tecnico**  
**Ing Franca Comito**



## Indice generale

<b>1. – Premessa.....</b>	<b>5</b>
<b>2. – Dati di base.....</b>	<b>9</b>
<b>3. – Ricostruzione quadro conoscitivo.....</b>	<b>10</b>
3.1 - Inquadramento area di studio.....	10
3.2 – Modello digitale del Terreno.....	13
3.3 – Geologia.....	16
3.4 – Uso del suolo.....	16
3.5 – Permeabilità.....	19
3.6 – Curve Number.....	19
3.7 – Pluviometria.....	22
3.7.1 Il Metodo TCEV del metodo VAPI Calabria.....	22
3.7.2 CPP di progetto.....	25
<b>4. – Rilievo topografico.....</b>	<b>27</b>
4.1 Piano quotato dell'area di intervento.....	27
4.2 Rilievo del corso d'acqua.....	28
<b>5. – Studio idrologico.....</b>	<b>33</b>
<b>6. – Verifiche idrauliche.....</b>	<b>40</b>
6.1 – Verifica idraulica monodimensionale in moto permanente.....	40
6.1.1 – Moto permanente monodimensionale (HEC-RAS).....	40
6.1.2 – Modellazione idraulica 1D stato attuale.....	42
6.1.3 Intervento di sistemazione del corso d'acqua e realizzazione attraversamento carrabile.....	51
6.1.4 Modellazione idraulica 1D stato di progetto.....	55
6.2 Verifica di compatibilità idraulica per la realizzazione dell'edificio aule.....	64
6.2.1 Moto vario bidimensionale (HEC-RAS).....	64
6.2.2 – Progetto per la realizzazione di un di un edificio aule presso il Campus Universitario Salvatore Venuta.....	72
6.2.3 Modellazione idraulica 1D - 2D stato di progetto.....	75
<b>7. – Conclusioni.....</b>	<b>80</b>
Allegato A – Verifica idraulica 1D stato attuale – Sezioni TR 50, 200 e 500 anni.....	
Allegato B – Verifica idraulica 1D stato attuale – Profili TR 50, 200 e 500 anni.....	
Allegato C – Verifica idraulica 1D stato di progetto – Sezioni TR 50, 200 e 500 anni.....	
Allegato D – Verifica idraulica 1D stato di progetto – Profili TR 50, 200 e 500 anni.....	
Allegato E – Verifica idraulica 2D stato di progetto – Battenti e velocità massimi TR 50, 200 e 500 anni.....	
Allegato F – Documentazione fotografica.....	

## Indice delle illustrazioni

Fig. 1: Planimetria perimetrazione vigente sul tratto del corso d'acqua di interesse.....	7
Fig. 2: Planimetria degli interventi del progetto di "Realizzazione di un edificio aule presso il Campus Salvatore Venuta".....	8
Fig. 3: Bacino idrografico contribuente con individuazione area oggetto di intervento.....	11
Fig. 4: Perimetrazione vigente sull'area di interesse.....	12
Fig. 5: Sottobacino di interesse – Lidar 1 m - Delimitazione bacino idrografico.....	14
Fig. 6: Inquadramento area di studio su modello digitale del terreno con cella spaziale di 1 m.....	15
Fig. 7: Carta geologica – Bacino idrografico contribuente.....	17
Fig. 8: Carta uso del suolo – Bacino idrografico di interesse.....	18
Fig. 9: Carta della permeabilità – Bacino idrografico di interesse.....	20
Fig. 10: Carta del Curve Number – Bacino idrografico di interesse.....	21
Fig. 11: Inquadramento sottozona VAPI del bacino di interesse.....	25
Fig. 12: Curve di Possibilità Pluviometrica per assegnato tempo di ritorno sottozona I3.....	26
Fig. 13: Piano quotato area di intervento.....	27
Fig. 14: Rilievo del corso d'acqua – ortofoto ottenuta con strumentazione drone.....	28
Fig. 15: Rilievo del corso d'acqua – modello digitale del terreno ottenuti con strumentazione drone.....	29
Fig. 16: Planimetria sezioni rilevate.....	30
Fig. 17: Sezione 3116 - Attraversamento esistente.....	31
Fig. 18: Sezione 3000 - Tratto alveo naturale.....	31
Fig. 19: Sezione 2900 - Tratto alveo naturale.....	32
Fig. 20: Sezione 2780 - Tratto rivestito in cls.....	32
Fig. 21: Schematizzazione modello di bacino in HEC-HMS.....	37
Fig. 22: Ietogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 50 anni e durata 3 ore.....	38
Fig. 23: Ietogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 200 anni e durata 3 ore.....	39
Fig. 24: Ietogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 500 anni e durata 3 ore.....	39
Fig. 25: Rappresentazione dei termini dell'equazione del moto.....	41
Fig. 26: Modellazione monodimensionale stato attuale – Planimetria modello idraulico .....	44
Fig. 27: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 50 anni.....	45
Fig. 28: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 200 anni.....	46
Fig. 29: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 500 anni.....	47
Fig. 30: Planimetria degli interventi in progetto.....	52
Fig. 31: Sezione trapezia di progetto .....	53
Fig. 32: Sezione scatolare di progetto.....	53
Fig. 33: Rivestimento in gabbioni – sezione tipo.....	54
Fig. 34: Sezione passerella pedonale da realizzare nell'ambito di un altro progetto.....	54
Fig. 35: Modellazione monodimensionale stato di progetto – Planimetria modello idraulico.....	55
Fig. 36: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 50 anni.....	58
Fig. 37: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 200 anni.....	59
Fig. 38: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 500 anni.....	60
Fig. 39: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno.....	68
Fig. 40: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.....	69
Fig. 41: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D.....	70
Fig. 42: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo .....	71
Fig. 43: Dettaglio della griglia di calcolo.....	71
Fig. 44: Inquadramento area intervento su ortofoto.....	72
Fig. 45: Planimetria di progetto.....	74
Fig. 46: Planimetria modello idraulico 1D - 2D e posizionamento delle Boundary Condition Lines (Condizioni al contorno).....	76
Fig. 47: Mappa dei battenti espressi in metri per $T_r = 200$ anni .....	78
Fig. 48: Mappa delle velocità espresse in m/s per $T_r = 200$ anni .....	79

## **1. – Premessa**

La presente relazione contiene lo studio idrologico e l'analisi idraulica di un tratto di un affluente in sinistra del Fiume Corace a corredo del progetto di realizzazione di un attraversamento carrabile previsto nell'ambito del progetto di realizzazione di un edificio aule presso il Campus Universitario Salvatore Venuta e finalizzato anche alla verifica di compatibilità idraulica dell'edificio aule.

Attualmente l'area in cui è previsto l'intervento risulta perimetrata come area di attenzione da PGRA nell'ambito delle Misure di Salvaguardia collegate alla adozione dei progetti di variante predisposti in attuazione degli aggiornamenti dei PAI alle nuove mappe del PGRA di cui alla delibera Cip n.1 del 20/12/2019 adottate con Decreto del Segretario Generale n. 540 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale del 13/10/2020.

La suddetta perimetrazione è riportata graficamente in Fig. 1.

L'intervento in oggetto è disciplinato dall'Art. 4 lett. d) delle Misure di Salvaguardia "Disposizioni per la aree di attenzione da PGRA" che consente la manutenzione, l'ampliamento o la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali a condizione che non producano un significativo incremento del valore del rischio idraulico dell'area. In particolare "Gli interventi di cui alla lett. d), a esclusione di quelli di manutenzione, devono essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica, predisposto nel rispetto delle disposizioni del Piano Stralcio territorialmente competente, che valuti i livelli di pericolosità e/o rischio della zona d'interesse ante e post operam e garantisca la compatibilità degli interventi con le disposizioni della normativa del Piano stralcio".

E' stato dunque predisposto il presente studio che si propone di analizzare in maniera dettagliata le condizioni di rischio idraulico dell'area di intervento nella configurazioni dello stato attuale, dimensionare gli interventi di sistemazione idraulica e l'attraversamento in progetto e valutare la compatibilità idraulica degli interventi previsti per la realizzazione dell'edificio aule, in accordo con quanto previsto dagli art. 4 e 5 delle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia (NAMS) del PGRA.

Il tratto del corso d'acqua studiato, che si estende per oltre un km, è un affluente del Fiume Corace che scorre tra tra le residenze universitarie e l'Area giuridica, economica e delle scienze sociali.

Le metodologie utilizzate nelle varie fasi, che saranno nel seguito descritte in dettaglio, sono in pieno accordo con le indicazioni contenute nel Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Calabria (PAI). In particolare, per la modellazione idrologica è stato utilizzato un modello a parametri concentrati con l'ausilio del software HEC – HMS; per quanto riguarda invece la valutazione della propagazione delle piene lungo il tratto studiato, è stato utilizzato un modello con schema monodimensionale in regime di moto permanente con l'ausilio del software HEC-RAS.

Lo studio ha riguardato in primo luogo la ricostruzione del quadro conoscitivo del bacino di interesse al fine di meglio inquadrare le problematiche del rischio idraulico nel contesto territoriale, in questa fase le informazioni recuperate e inserite in una apposita banca dati territoriale hanno riguardato

principalmente:

- orografia , geologia, permeabilità e uso del suolo del bacino sotteso;
- morfologia del tratto fluviale oggetto di studio;
- pluviometria della zona.

In una seconda fase, vedi cap. 5, è stato condotto uno studio idrologico basato su un modello afflussi-deflussi che ha permesso di individuare le caratteristiche degli eventi di piena attesi con i diversi tempi di ritorno richiesti dalla normativa (50, 200 e 500 anni).

Nella terza fase, vedi cap.6, sono state condotte le verifiche idrauliche nella configurazione attuale effettuate nel tratto d'interesse che hanno permesso di evidenziare le principali criticità dell'asta fluviale ed allo stesso tempo di definire la sezione idraulica necessaria al corretto smaltimento della piena duecentennale lungo il tratto del corso d'acqua oggetto di sistemazione idraulica e in corrispondenza dell'attraversamento in progetto. In particolare è stato in un primo momento implementato un modello idraulico con schema monodimensionale in moto permanente dell'asta fluviale che ha manifestato l'insufficienza della sponda sinistra lungo il tratto a monte dell'attraversamento esistente; è stato dunque implementata la verifica idraulica dello stato di progetto che prevede la sistemazione del corso d'acqua per un tratto di lunghezza circa pari a 270.00 m e la realizzazione di un attraversamento carrabile.

Al fine della verifica di compatibilità dell'edificio aule previsto in sinistra idraulica del corso d'acqua, è stato infine implementato un modello bidimensionale in moto vario dello stato di progetto per ricostruire lo scenario degli allagamenti relativi agli eventi di piena con tre tempi di ritorno  $T_r$  50, 200 e 500 anni.

Nello scenario dello stato di progetto è stata inserita anche la passerella pedonale la cui realizzazione è prevista nell'ambito del progetto di "realizzazione di un percorso pedonale di collegamento tra le residenze e l'Area Giuridica, Economia e delle Scienze Sociali dell'Università degli Studi Magna Graecia di Catanzaro".

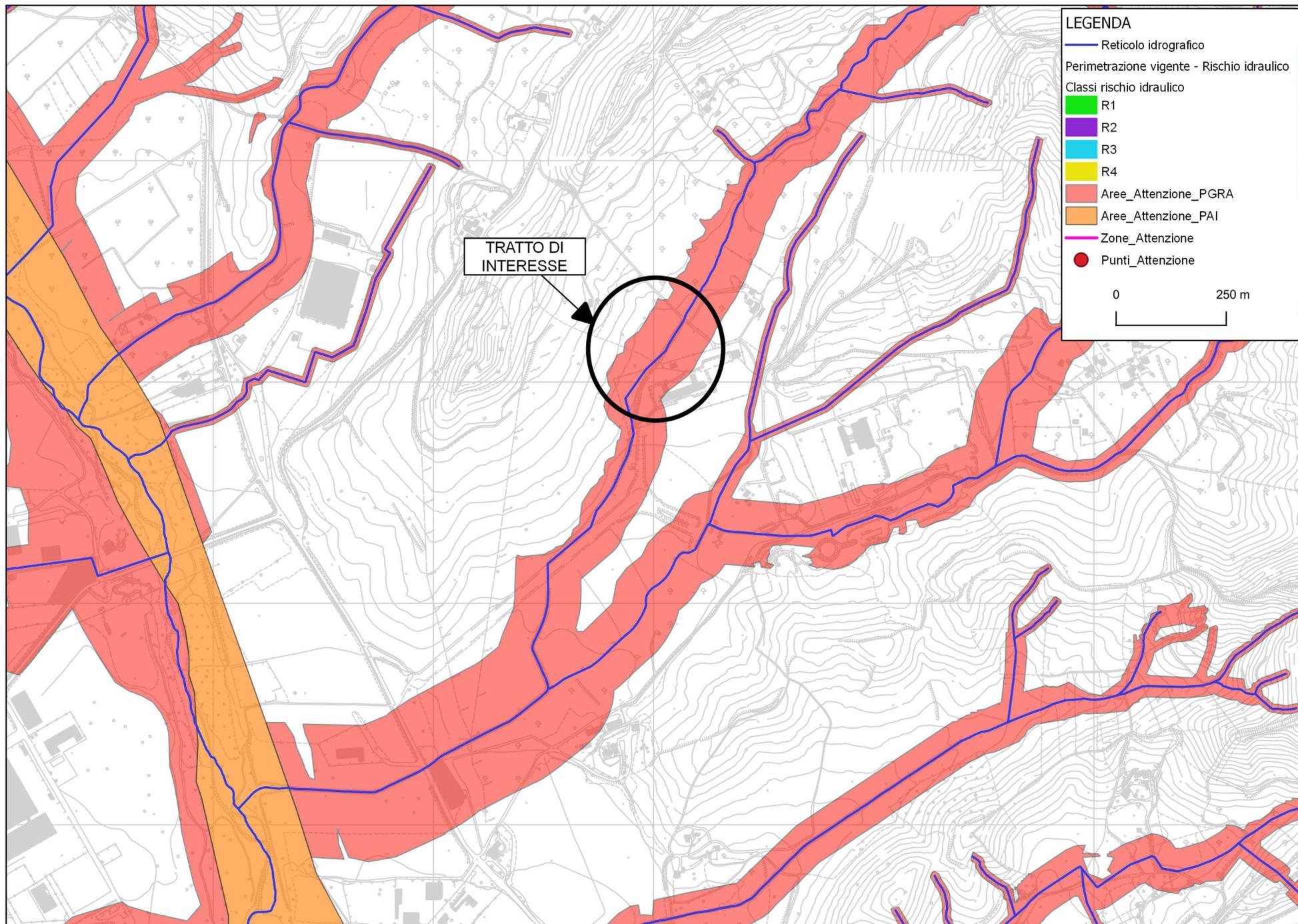


Fig. 1: Planimetria perimetrazione vigente sul tratto del corso d'acqua di interesse



Fig. 2: Planimetria degli interventi del progetto di “Realizzazione di un edificio aule presso il Campus Salvatore Venuta”

## 2. – Dati di base

La base dati necessaria per lo svolgimento dello studio è stata acquisita dai vari enti territoriali. In particolare sono stati reperiti:

- Il modello digitale del terreno da rilievo LiDAR del MATTM con risoluzione a terra 1mx1m nell'entroterra;
- Il modello digitale del terreno da rilievo LiDAR del MATTM con risoluzione a terra 5mx5m;
- Il modello digitale del terreno da rilievo LiDAR del MATTM con risoluzione a terra 20mx20m;
- Cartografia tecnica regionale in formato dwg;
- carta IGM 25000 in formato raster
- Lo shapefile relativo all'uso del suolo del 2012 (Corine land cover 2012 ISPRA) - <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/corine-land-cover>
- Gli shapefile relativi alla pericolosità idraulica connessa al PAI e al PGRA - <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/varianti-di-aggiornamento-mappe-pai-alle-mappe-pgra-menu/misure-di-salvaguardia-menu>
- Gli shapefile dei bacini e del reticolo idrografico della Regione Calabria dell'ex Adb Regionale;
- VAPI Calabria;
- Rilievo topografico di dettaglio con strumentazione GPS eseguito allo scopo;
- Rilievo del corso d'acqua e delle aree esterne eseguito con Drone.

### **3. – Ricostruzione quadro conoscitivo**

La ricostruzione del quadro conoscitivo ha riguardato in primo luogo lo studio idrologico del bacino idrografico dell'asta di interesse con sezione di chiusura posta in corrispondenza della SS208 teso a caratterizzare il bacino idrografico in termini di risposta idrologica e quindi di valutazione degli idrogrammi di piena attesi con i diversi tempi di ritorno.

Il secondo aspetto ha riguardato invece le verifiche idrauliche, condotte con riferimento ai tre diversi tempi di ritorno, 50, 200 e 500 anni, al fine di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione e gli scenari degli allagamenti.

#### **3.1 - Inquadramento area di studio**

##### ***Bacino Idrografico***

Il bacino imbrifero di interesse, riportato in Fig. 3, si estende per circa 1.70 kmq e sfocia nel Fiume Corace a valle della linea ferroviaria nel territorio comunale di Catanzaro. La sezione di chiusura del bacino considerato è posta 1 km a valle rispetto l'area di intervento.

Il bacino oggetto di studio è caratterizzato da una quota massima, media e minima pari rispettivamente a 246.55 mslm, 126.00 mslm e 40.00 mslm, da una lunghezza dell'asta principale pari a 3.50 km.

##### ***Area di studio***

L'area oggetto di studio ricade interamente nel territorio comunale di Catanzaro ed interessa in particolare un tratto di lunghezza pari a circa 1150 m di un affluente in sinistra del Fiume Corace dall'attraversamento comunale a monte dell'area universitaria fino a Viale Europa.

Come anticipato in precedenza, l'area in cui dovrà sorgere l'edificio aule in progetto risulta classificata come area di attenzione da PGRA nell'ambito delle Misure di Salvaguardia adottate con Decreto del Segretario Generale n. 540 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale del 13/10/202.

La perimetrazione vigente è riportata in in Fig. 4.

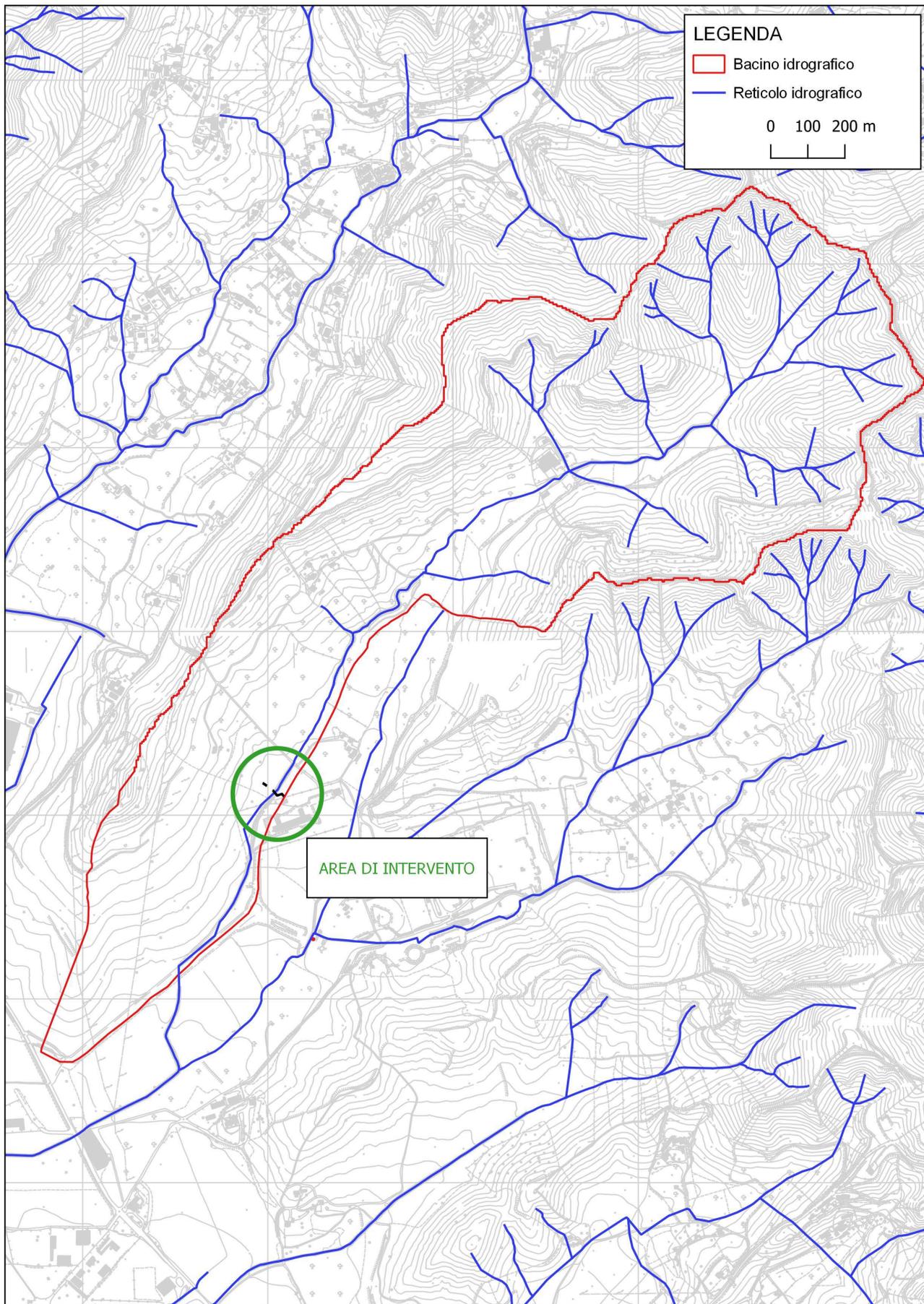


Fig. 3: Bacino idrografico contribuente con individuazione area oggetto di intervento

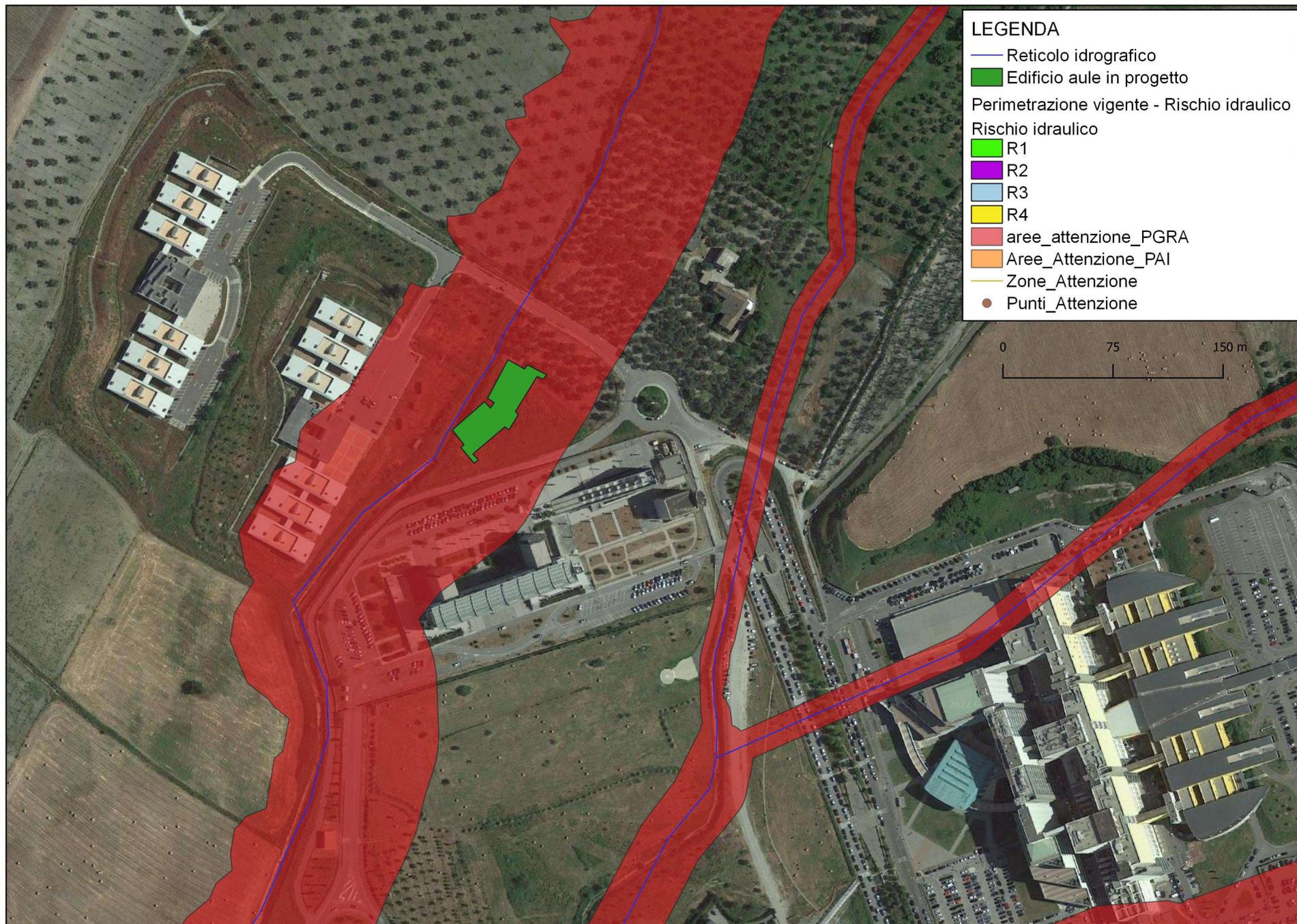


Fig. 4: Perimetrazione vigente sull'area di interesse

### **3.2 – Modello digitale del Terreno**

Al fine di estrarre i dati morfologici ed altimetrici del bacino idrografico oggetto di studio, dai dati cartografici esistenti, è stato implementato un sistema informativo territoriale della zona nel quale sono state inserite tutte le banche dati geografiche disponibili.

In particolare, al fine di ricostruire l'altimetria del bacino è stata utilizzata la Cartografia dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:25000 ed in formato digitale per la zona. E' stato quindi generato un modello digitale del terreno in forma di Digital Elevation Model (DEM) con cella spaziale di 1 m, vedi 5. Attraverso una procedura automatica implementata in ambiente GIS è stato possibile individuare la linea spartiacque del sottobacino idrografico contribuente all'area di intervento. La sezione di chiusura del bacino considerato è posta 1 km a valle rispetto l'area di intervento.

L'informazione cartografica relativa al modello digitale del terreno disponibile per la zona è risultato di particolare importanza per caratterizzare sia dal punto di vista idrologico il bacino idrografico contribuente che dal punto di vista idraulico per caratterizzare il tronco del corso d'acqua che sarà oggetto delle verifiche idrauliche.

Il modello digitale del terreno di minor dettaglio con cella spaziale di 5 m è stato utilizzato in ambiente GIS per caratterizzare alcuni parametri morfometrici del bacino utili ai fini della modellazione idrologica mentre il modello digitale del terreno di maggiore dettaglio con cella spaziale di 1 m, realizzato con tecnica Lidar dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PSTA, anno 2008), è stato utilizzato per caratterizzare la geometria dei corsi d'acqua afferenti all'area d'interesse, vedi Fig. 6.

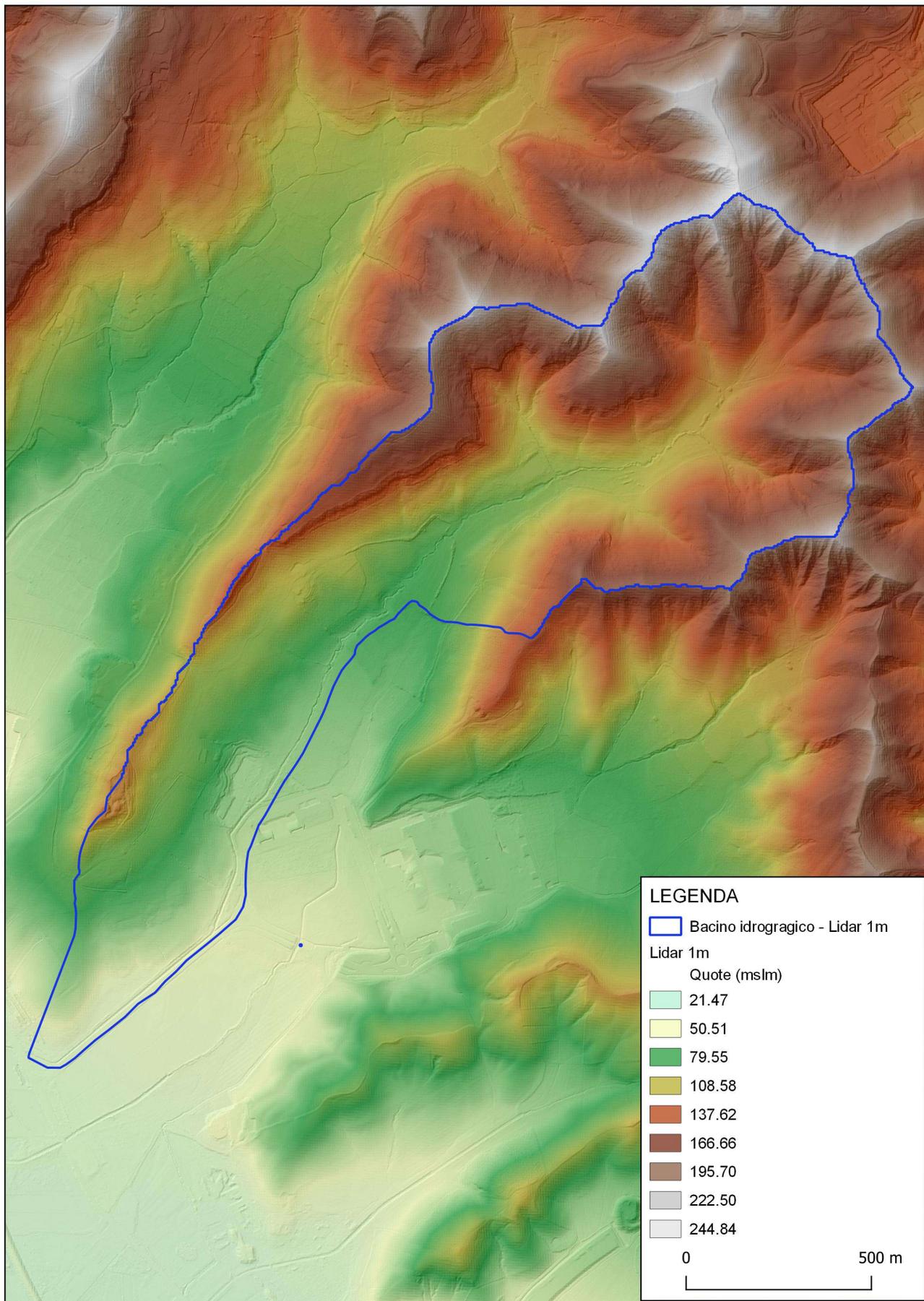


Fig. 5: Sottobacino di interesse – Lidar 1 m - Delimitazione bacino idrografico

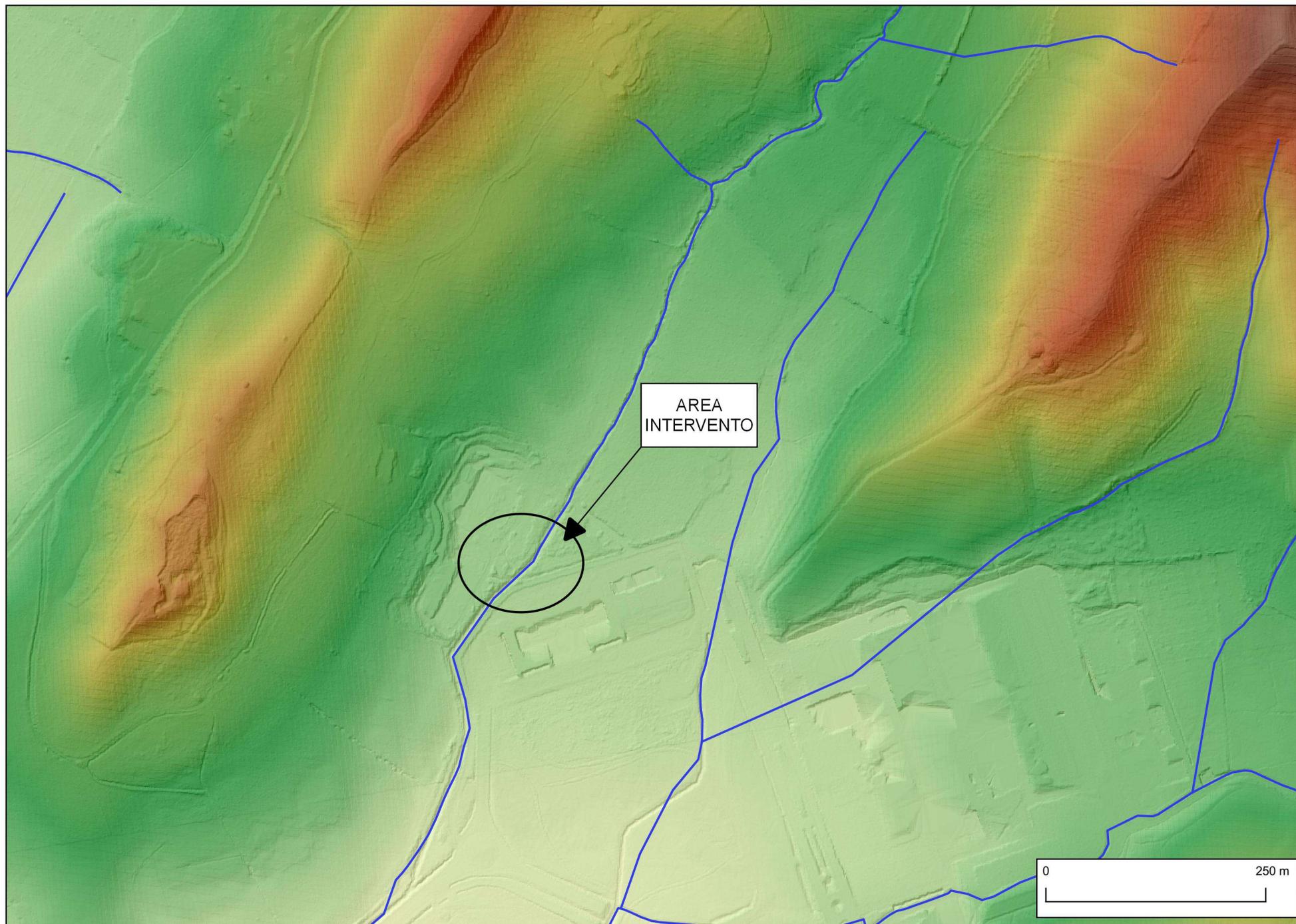


Fig. 6: Inquadramento area di studio su modello digitale del terreno con cella spaziale di 1 m

### 3.3 – Geologia

La carta geologica utilizzata è in scala 1:25.000, come mostra la Fig. 7.

Nella tabella 1 sono riepilogate le classi geologiche presenti con le relative aree, espresse in kmq e la percentuale di ogni classe rispetto alla superficie totale del bacino dalla quale si evince che il bacino è caratterizzato nella quasi totalità della sua area (81%) da argille siltose da grigio-azzurre a grigio chiare, brune o rossastre. Nella rimanente superficie si riscontra la presenza di prodotti di solifluzione e dilavamento (12%) e sabbie ed arenarie a grana da fine a grossolana (7%).

CLASSE GEOLOGICA	SIGLA	AREA (kmq)	AREA (%)
argille siltose da grigio-azzurre a grigio-chiare	P_a-2.3	1.36	80.82
prodotti di solifluzione e dilavamento	a	0.21	12.43
sabbie ed arenarie, a grana da fine a grossolana, bruno-chiare, brune o rossastre	P_s-2.3	0.11	6.75
TOTALE		1.68	100.00

Tabella 1: Geologia

### 3.4 – Uso del suolo

Per la caratterizzazione del bacino dal punto di vista dell'uso del suolo è stato utilizzato lo strato informativo del Corine Land Cover al III° livello, vedi Fig. 8.

Nella tabella 2 sono inoltre riportate per ogni classe dell'uso del suolo le superfici ricoperte con relative percentuali. La maggior parte del territorio è costituito da seminativi in aree non irrigue (79%); si osserva inoltre la presenza di uliveti per una percentuale 22%.

CLC LIVELLO 3	CODICE	AREA (kmq)	AREA (%)
Seminativi in aree non irrigue	211	1.31	77.82
Sistemi colturali e particellari permanenti	242	0.00	0.10
Uliveti	223	0.37	22.07
TOTALE		1.68	100.00

Tabella 2: Uso del suolo

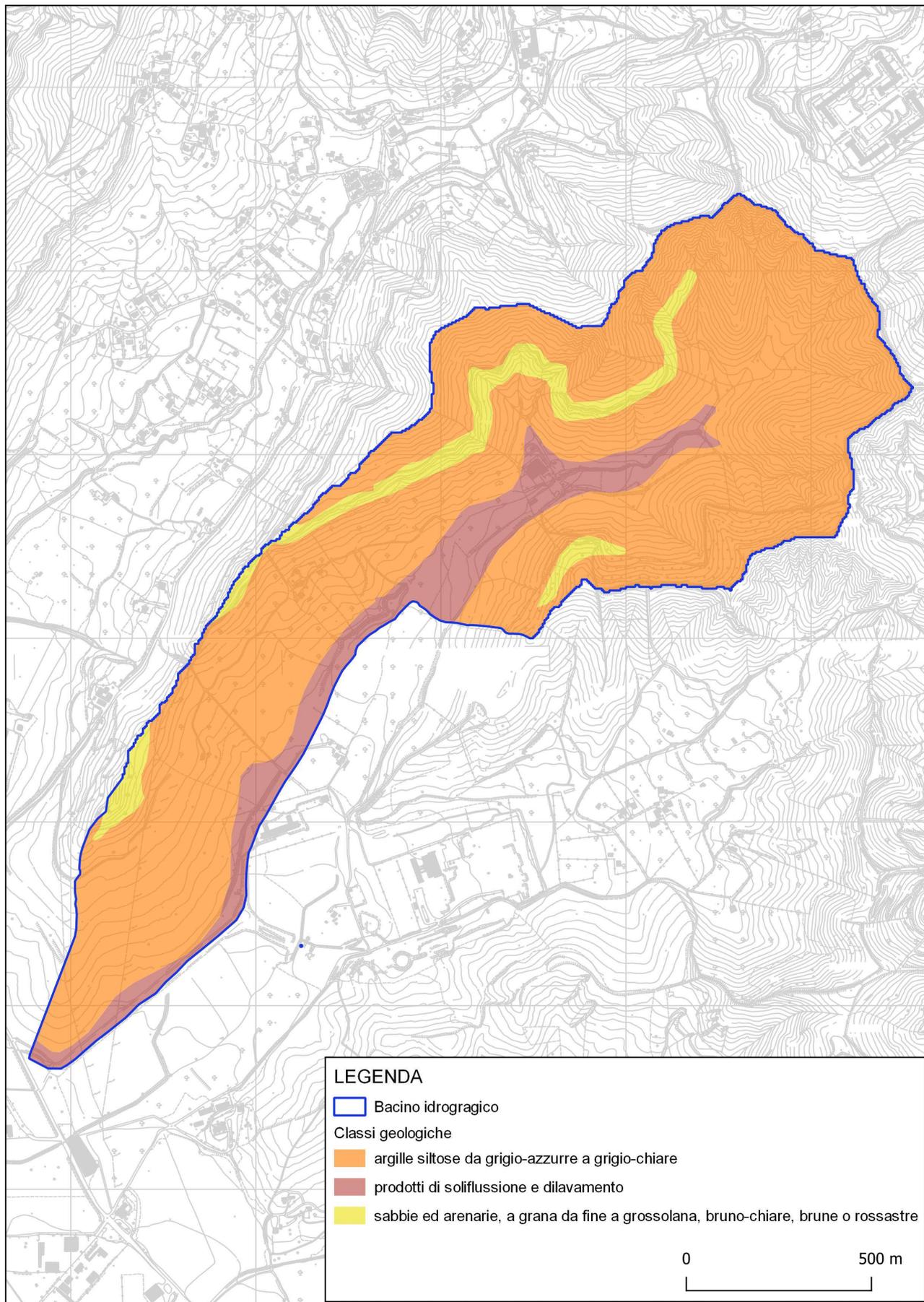


Fig. 7: Carta geologica – Bacino idrografico contribuente

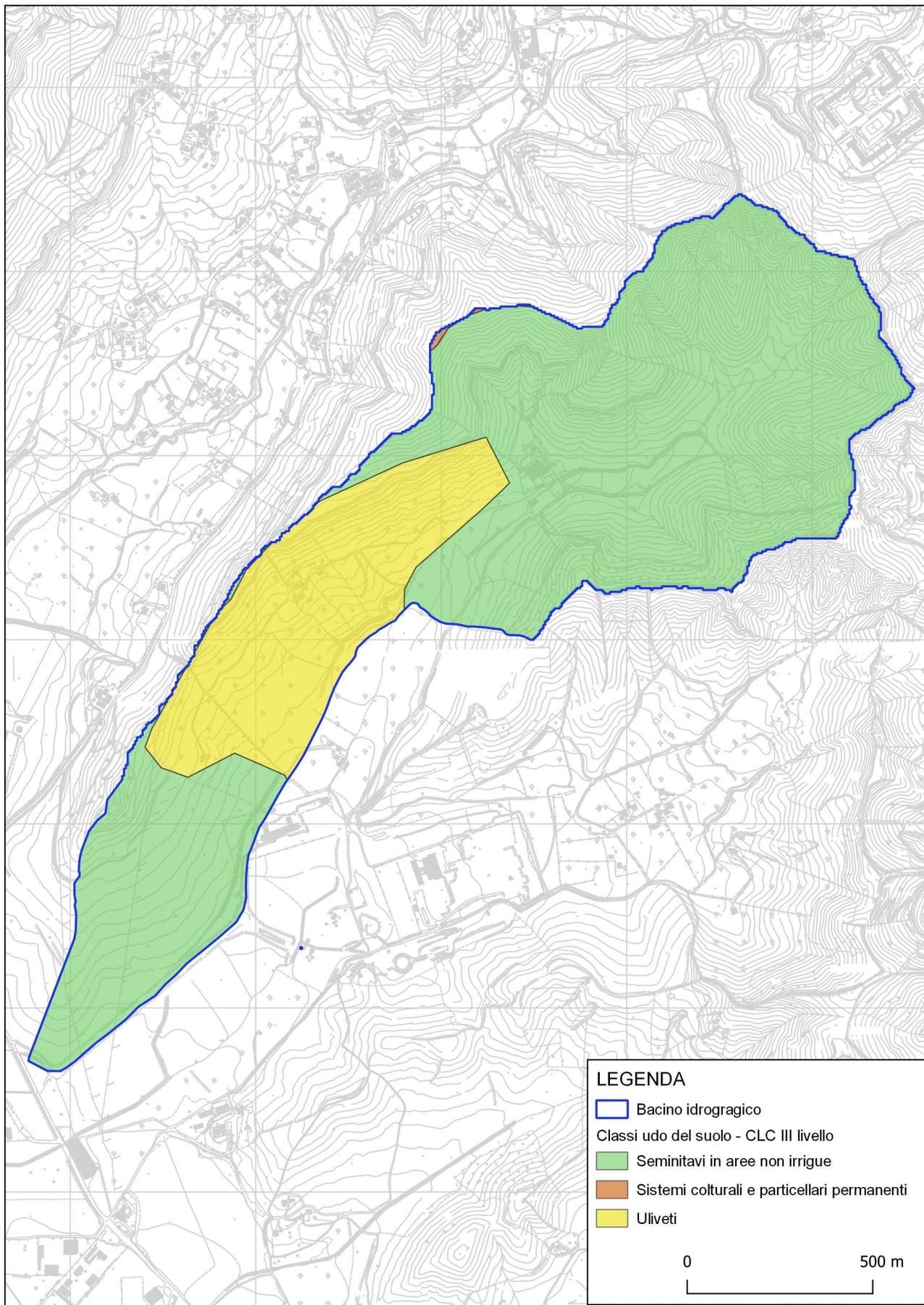


Fig. 8: Carta uso del suolo – Bacino idrografico di interesse

### 3.5 – Permeabilità

Per la caratterizzazione del bacino idrografico dal punto di vista della permeabilità sono state ricostruite le classi litologiche presenti nella zona oggetto di studio, come mostra la Fig. 9.

Nella Tabella 3 sono riportate le classi litologiche presenti con le relative aree, espresse in kmq, e la percentuale di ogni classe rispetto alla superficie totale dei bacini idrografici oggetto di studio. Dai risultati riportati sia in forma tabellare sia in forma grafica si evince che alle classi litologiche presenti corrisponde un grado di permeabilità del suolo alta per un percentuale dell'area totale pari a quasi il 90%.

LITOLOGIA	PERMEABILITA'	AREA (kmq)	AREA (%)
Conglomerati a grossi blocchi granitici e gneissici, conglomerati poligenici poco cementati con intercalazioni sabbioso-arenacee, arenarie poco cementate associate a sabbie, argille sabbiose e argille siltose.	ALTA	1.48	87.77
Depositi di spiaggia e dune costiere, detriti di falda, con di deiezione, depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso-argillosi dei fondivalle e delle pianure costiere, ghiaie sabbioso-ciottolose dei terrazzi, depositi sabbioso-limosi fluvio-lacustri.	MEDIA	0.21	12.23
TOTALE		1.68	100.00

Tabella 3: Litologia e classe di permeabilità

### 3.6 – Curve Number

Dalla sovrapposizione dell'uso del suolo con le classi di permeabilità è stato determinato il Curve Number (CN) parametro che caratterizza la risposta idrologica di un terreno.

La Fig. 10 mostra la carta del CN, ricavata dalla procedura sopra descritta, per il bacino idrografico oggetto di studio. Il valore del CN (AMCII) medio del bacino calcolato è pari a 88.

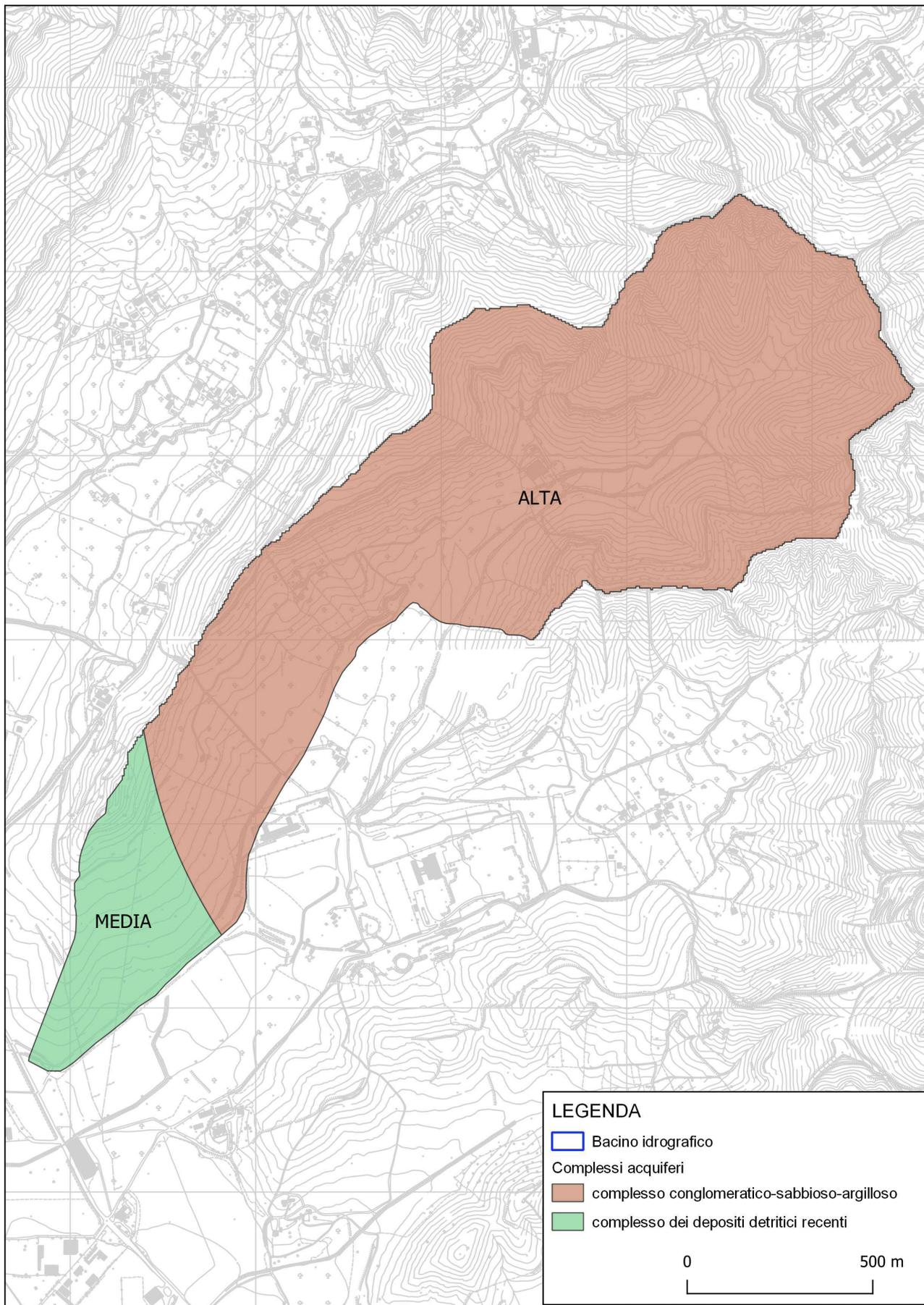


Fig. 9: Carta della permeabilità – Bacino idrografico di interesse

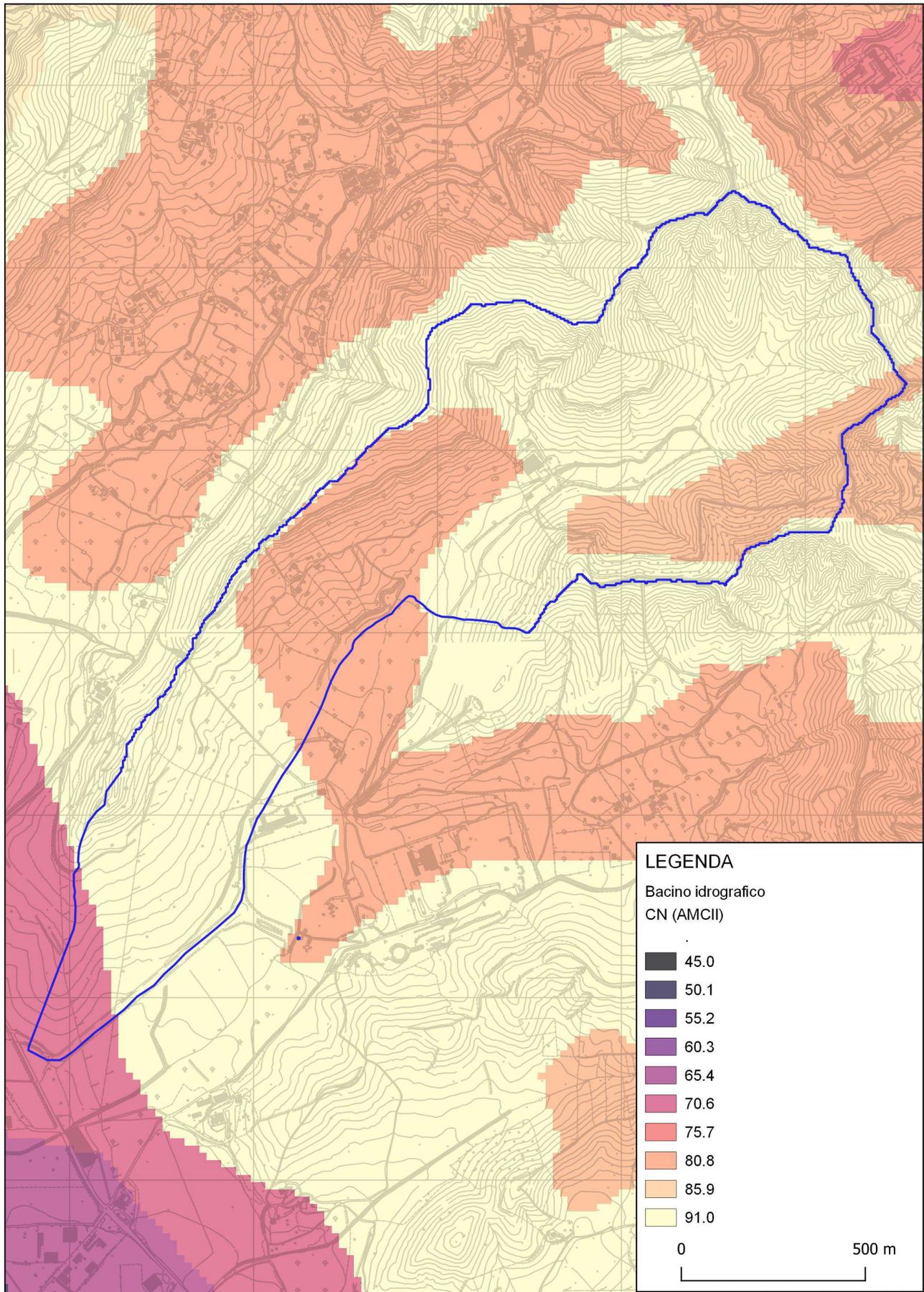


Fig. 10: Carta del Curve Number – Bacino idrografico di interesse

### 3.7 – Pluviometria

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per l'analisi del rischio idraulico oggetto del presente studio e per la determinazione dalle curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni è stato condotto a partire dalla metodologia sviluppata nell'ambito del VaPi Calabria (modello TCEV).

#### 3.7.1 Il Metodo TCEV del metodo VAPI Calabria

Il metodo VA.PI. è stato sviluppato a scala regionale e nazionale dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). In particolare, viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV), che interpreta gli eventi massimi annuali come risultato di una miscela di due popolazioni distinte di eventi (eventi massimi ordinari ed eventi massimi straordinari).

Le elaborazioni relative all'applicazione di tale modello fanno riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica in cui i parametri vengono valutati a scale regionali differenti, in funzione dell'ordine statistico.

Di fatto il modello TCEV adottato costituisce una generalizzazione del modello di Gumbel, il quale tende a sottostimare i valori più elevati registrati. Esso risulta costituito dal prodotto di due leggi di Gumbel, la prima delle quali destinata ad interpretare e descrivere, in chiave probabilistica i massimi valori ordinari e, la seconda, quelli straordinari (outliers) (aventi secondo il classico modello di Gumbel una probabilità di superamento inferiore del 5% e, quindi, tali da potersi ritenere straordinari).

Per la definizione del primo livello di regionalizzazione in Calabria sono state prese in considerazione tutte le serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere con dimensione N 48. Dal gruppo di stazioni così considerato sono state escluse le serie di S. Sosti, che mostra un andamento irregolare delle frequenze storiche cumulate, e di Vibo Valentia, che presenta un valore eccezionale che non trova contemporanea corrispondenza nelle stazioni limitrofe. Si tratta in definitiva di 53 stazioni ben distribuite spazialmente, per un totale di 2624 anni stazione.

Nella ipotesi che la Calabria possa essere considerata come una unica zona pluviometrica omogenea, si sono ottenute le seguenti stime TCEV-ML:

$$\vartheta^* = 0.418$$

$$\Lambda^* = 2.154$$

La probabilità che un massimo annuale delle piogge giornaliere possa provenire dalla componente straordinaria è:

$$p_2 = 0.298$$

Al secondo livello di regionalizzazione è stato verificato che la Calabria può essere suddivisa in 3 sottozone omogenee, denominate rispettivamente: Tirrenica, Centrale, Jonica e caratterizzate dai valori

di  $\Lambda_1$  riportati nella seguente tabella:

Sottozona	$\vartheta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
Tirrenica	2.154	0.418	48.914	5.173
Centrale			22.878	4.414
Ionica			10.987	3.681

Tabella 4: Secondo livello di regionalizzazione. Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Calabria

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della SZO pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita  $K_T$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda \Lambda_1^{1/\theta^*} e^{-\frac{\eta k}{\theta^*}})}$$

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $K_T$ . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito i valori di  $K_T$  ottenuti numericamente dalla per alcuni valori del periodo di ritorno.

$T_r$	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ -Tirreno	0.92	1.22	1.45	1.69	1.78	1.95	2.04	2.32	2.6	2.98	3.27
$K_T$ -Centrale	0.91	1.26	1.53	1.81	1.91	2.12	2.22	2.54	2.87	3.32	3.65
$K_T$ -Ionico	0.89	1.31	1.53	1.97	2.09	2.34	2.45	2.85	3.25	3.78	4.18

Tabella 5: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piogge in Calabria per alcuni valori del tempo di ritorno T

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nella individuazione di legami tra valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura. Nel caso della Calabria si è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si è pertanto ipotizzato che l'intera regione possa essere suddivisa in aree omogenee in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera  $m_{hg}$  e la quota sul mare Z, h, del tipo

$$m_{hg} = C Z + D$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area. Nel caso della Calabria sono state individuate

13 aree pluviometriche omogenee (APO) i cui coefficienti sono riportati in Tabella 7. Se si analizzano i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $d$ ,  $m[h(d)]$ , relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si nota che per ogni stazione esista, per  $d$  compreso tra 1 e 24 ore un legame del tipo:

$$m_{h(t)} = at^n$$

essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito.

Si è notato, inoltre, che il rapporto:

$$r = m_{h_g} / m_{h(24)}$$

relative ad uno stesso periodo di funzionamento, comprendente cioè solo gli anni per cui sono disponibili entrambi i valori, varia molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria  $r$  è distribuito normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031.

Si può quindi utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi. Più precisamente:

- assumendo che  $m[h(1)]$  è costante in ciascuna delle aree omogenee e pari al valor medio pesato con gli anni di funzionamento degli 1 x relativi alle serie con  $N^320$ ;
- assumendo che il rapporto  $r$  sia costante in tutta la regione e pari a 0.875;
- assumendo che in ogni stazione vale la (10.10);
- ricordando che in ciascuna area omogenea è nota la relazione;

si ottiene:

$$n = \frac{CZ + D + \text{Log } r - \text{Log } a}{\text{Log } 24}$$

I valori dei parametri necessari alla caratterizzazione delle sono riportati, per ogni APO, nella Tabella 7.

Per ricostruire le CPP di un'APO è necessario quindi ricavare:

- il parametro  $n$  secondo la relazione precedentemente indicata funzione dei parametri  $C$ ,  $D$ ,  $r$ ,  $a$  e dell'altitudine media del bacino;
- il parametro  $a(\text{Tr})$  moltiplicando il parametro  $a$  caratteristico dell'APO per il fattore di crescita  $K(\text{Tr})$ .

Area pluviometrica omogenea		a	c	d
T1	Pollino	27.79	0.00014	1.907
T2	Sila grande- sottozona tirrenica	23.75	0.00021	1.683
T3	Alto e medio tirreno	26.61	0.00022	1.769
T4	Stretto	26.73	0.00028	1.736
C1	Basso Crati	21.73	0.00049	1.69
C2	Sila grande- sottozona centrale	23.75	0.00021	1.683
C3	Sila greca	31.02	0.00016	1.951
C4	Sila piccola	33.22	0.00032	1.84
C5	Serre orientali	34.99	0.00036	1.815
I1	Alto Ionio	24.37	0.00026	1.778
I2	Marchesato	30.97	0.00025	1.922
I3	Medio e basso Ionio	39.58	0.00043	1.953
I4	Aspromonte merid.	34.13	0.00027	1.817

Tabella 6: Regionalizzazione delle piogge orarie. Elementi caratteristici delle aree pluviometriche omogenee

### 3.7.2 CPP di progetto

Il Bacino idrografico di interesse ai fini del presente studio ricade nella Sottozona VAPI I3 in relazione alla quale sono state calcolate le CPP. In Fig. 12 e nella Tabella 7 sono riportate le CPP del bacino rispettivamente in forma grafica e tabellare.

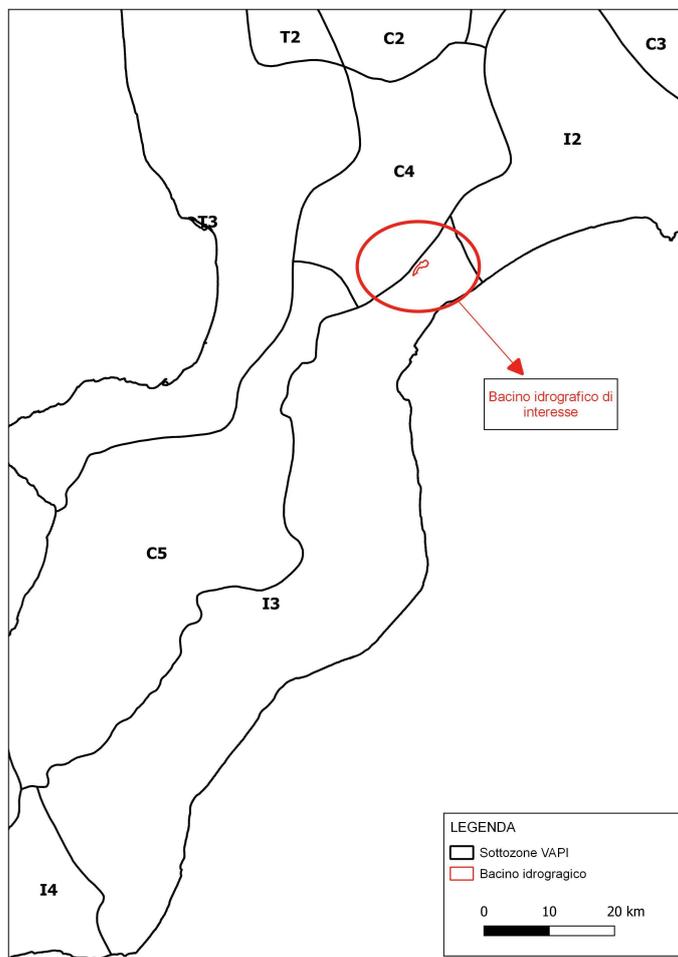


Fig. 11: Inquadramento sottozona VAPI del bacino di interesse

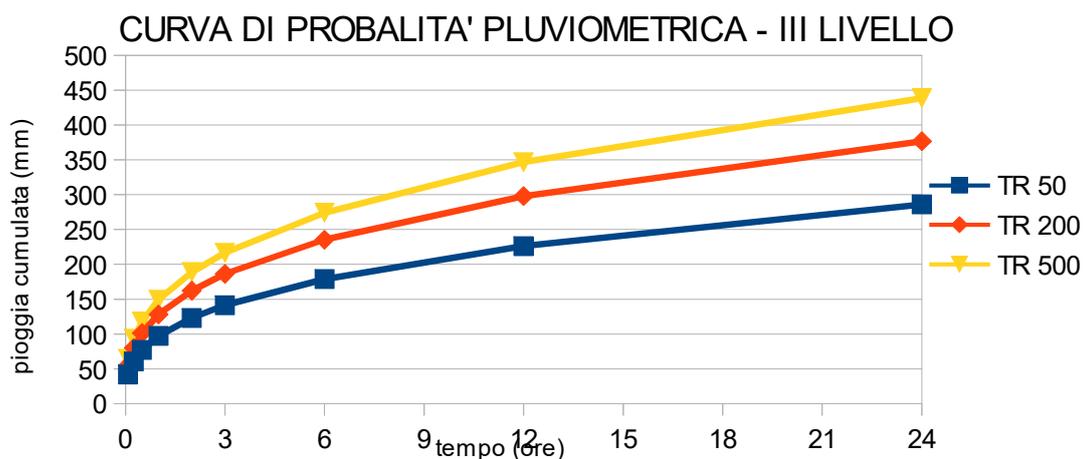


Fig. 12: Curve di Possibilità Pluviometrica per assegnato tempo di ritorno sottozona I3

TR (anni)	50	200	500
t(h)	h(mm)		
1.00	97.37	128.24	149.22
2.00	123.18	162.23	188.77
3.00	141.34	186.15	216.60
6.00	178.80	235.49	274.01
12.00	226.19	297.91	346.65
24.00	286.15	376.88	438.53

Tabella 7: Curve Possibilità Pluviometrica per assegnato tempo di ritorno sottozona I3

## 4. – Rilievo topografico

Nell'ambito del progetto in oggetto è stato eseguito sia un rilievo topografico con strumentazione GPS al fine di ricostruire il piano quotato dell'area di interesse, sia rilievo con drone di dettaglio del corso d'acqua.

### 4.1 Piano quotato dell'area di intervento

L'area oggetto di intervento ai fini del presente studio sono stati ricostruiti attraverso rilievo di dettaglio eseguito con strumentazione GPS che ha consentito di ricostruire il piano quotato riportato in Fig. 13.

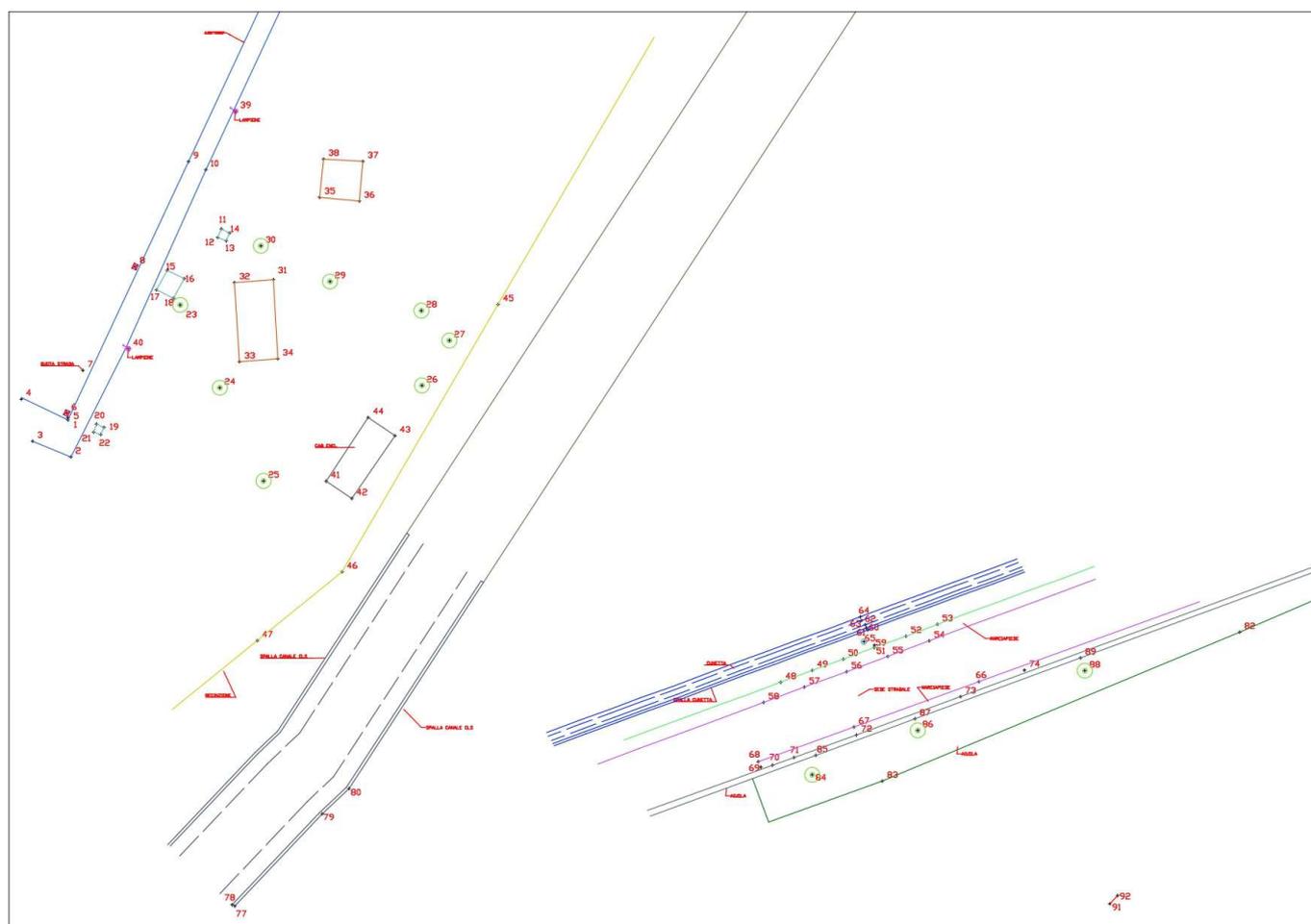


Fig. 13: Piano quotato area di intervento

## 4.2 Rilievo del corso d'acqua

E' stato eseguito il rilievo con drone del corso d'acqua e delle area limitrofe al fine di ricostruire con estrema accuratezza l'andamento altimetrico e le sezioni del canale. Nelle Figg. 14 e 15 si riportano le restituzioni del volo eseguito.



Fig. 14: Rilievo del corso d'acqua – ortofoto ottenuta con strumentazione drone

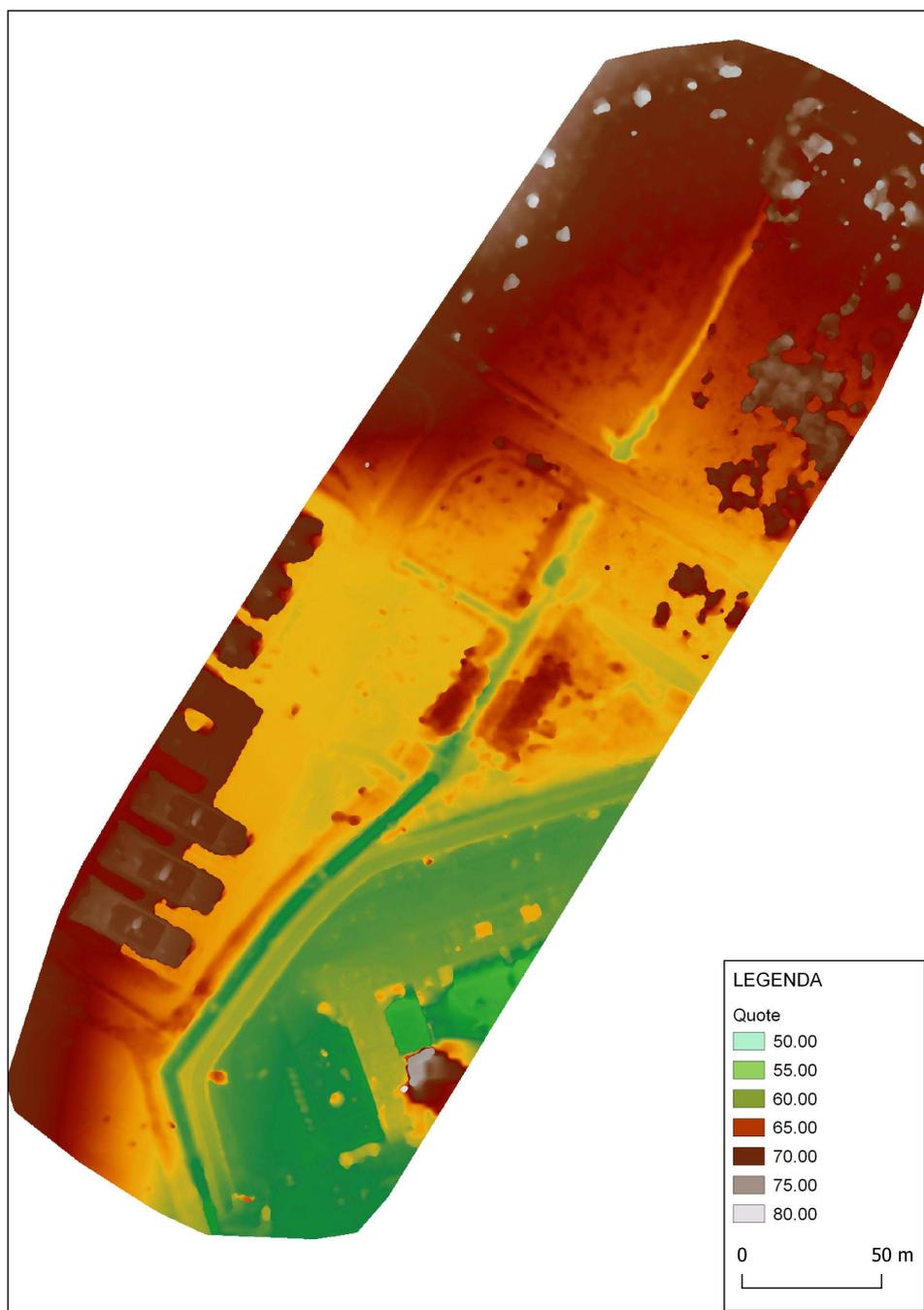


Fig. 15: Rilievo del corso d'acqua – modello digitale del terreno ottenuti con strumentazione drone

Come si evince dalla planimetria di Fig. 16, il corso d'acqua si presenta per un tratto nella configurazione di alveo naturale a sezione trapezia, mentre da circa 10.00 m a valle dell'attraversamento in progetto fino alla strada provinciale risulta completamente rivestito in cls mantenendo sezione trapezia. Nelle Figg. dalla 17 alla 20 sono riportate le sezioni dell'attraversamento esistente e due sezioni tipo del tratto rivestito in cls (sezioni situate come mostrato nella planimetria di Fig. 16). Nell'Allegato F – Documentazione fotografica sono riportate le foto dell'alveo nella configurazione attuale e di tutti i manufatti esistenti.



Fig. 16: Planimetria sezioni rilevate





Fig. 19: Sezione 2900 - Tratto alveo naturale

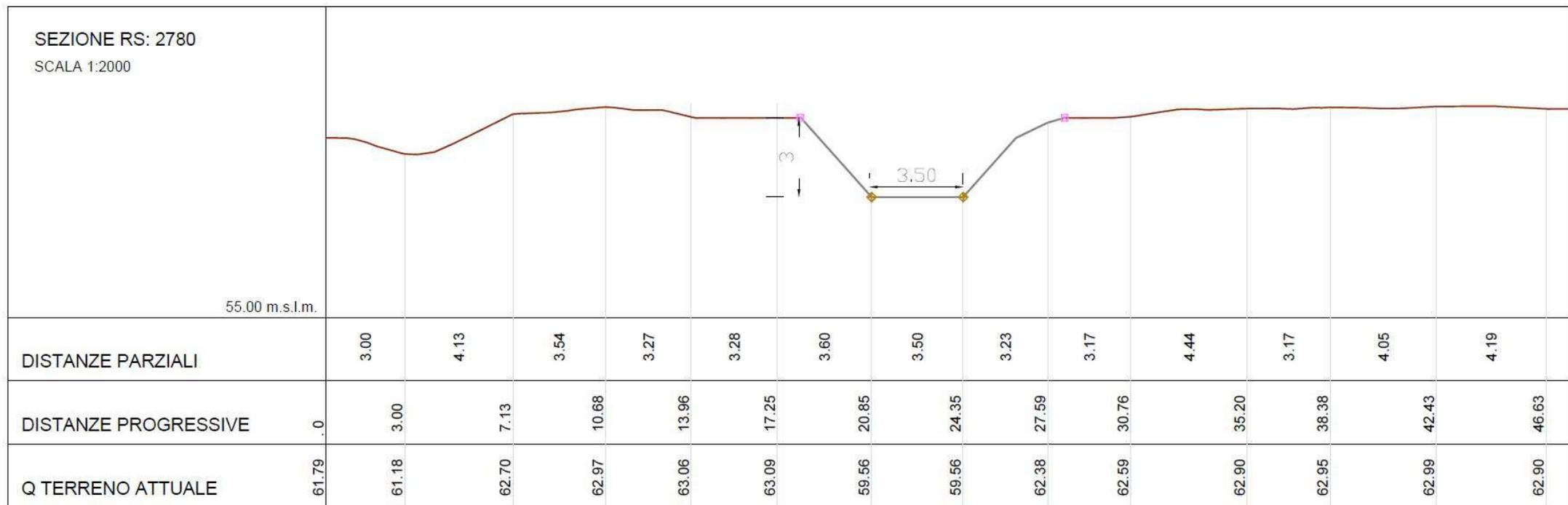


Fig. 20: Sezione 2780 - Tratto rivestito in cls

## 5. – Studio idrologico

È stato condotto uno studio idrologico per la determinazione delle caratteristiche delle piene attese con i diversi tempi di ritorno attraverso l'implementazione di un modello idrologico che consente di schematizzare il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi.

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 ci occuperemo esclusivamente dei 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.

Ai fini della modellazione idrologica si è scelto di schematizzare il bacino idrografico oggetto di studio come in Fig. 21, e per le varie fasi in cui è possibile schematizzare il fenomeno trasformazione afflussi-deflussi si è scelto di utilizzare i seguenti metodi:

- I fase: separazione della pioggia (calcolo della pioggia netta): metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS);
- II fase: formazione della piena: metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH) del Soil Conservation Service (SCS).

- III fase: propagazione della piena: metodo del "ritardo" (Lag)

Di seguito si da una breve descrizione teorica dei metodi utilizzati per schematizzare ognuna delle fasi sopra elencate.

### Separazione delle piogge

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

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

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

$$Ia = 0.2 \times S$$

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

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

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

Tabella 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

### Formazione delle piene

Per la valutazione del tempo di ritardo del bacino, 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. Il valore del tempo di ritardo del bacino è stato ricavato a partire dal tempo di corrivazione determinato considerando la media ponderata dei valori ottenuti attraverso le formulazioni riportate in Tabella 12.

### Caratteristiche dei sottobacini del modello idrologico

Nella Tabella 11 vengono riportate le principali caratteristiche del bacino idrografico; nella Tabella 12 vengono riportate tutte le formulazioni utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino con i rispettivi valori e il valore del tempo di corrivazione assunto che è stato calcolato come media ponderata.

Quanto ai principali parametri alla base del modello idrologico, per la fase di separazione delle piene è stato adottato un valore del CN pari a 80 mentre per la fase di formazione delle piene è stato adottato un Tlag pari a 40 minuti.

Caratteristiche bacino	
$L_b$ = lunghezza del bacino [Km]	4.23
$L$ = lungh. dell'asta princ. [Km]	3.50
$H_{min}$ = Quota della sezione di chiusura [m]	40.00
$H_{max}$ = Quota max sulla foce [m]	246.55
$H_m$ = Quota media del bacino [m]	126.00
$H_c$ = Quota media dell'asta princ. [m]	150.00
$A$ = Area del bacino [Km <sup>2</sup> ]	1.70
$i$ = pendenza media asta [m/m]	0.06
$i_v$ = pendenza media bacino [m/m]	0.06
$T_c$ (tempo di corrivazione) (h)	0.80
CN (AMCII)	88.00

Tabella 11: Caratteristiche morfologiche principali del bacino

Tempi di corrivazione [h]		
Puglisi	$t_c = 6 L^{0.67} * (H_{max} - H_{min})^{-0.33}$	2.34
Ogrosky	$t_c = 0.914 L^{1.15} C^{-0.38}$	0.48
Affl. Arno	$T_c = 0.416 (L_c + A/L)^{1.06} * (H + H_c)^{-0.27}$	0.42
Pasini	$t_c = 0.108 * (A * L)^{1/3} / i^{0.5}$	0.81
Giandotti	$t_c = (4 * \text{radq}(A) + 1.5 * L) / (0.8 * \text{radq}(H))$	1.41
Kirpich	$t_c = 0.000325 * L^{0.77} * i_v^{-0.385}$	0.00
Pezzoli	$t_c = 0.055 * L_c / i^{0.5}$	0.79
Ventura	$T_c = 0.127 * (\text{radq}(s) / \text{radq}(i))$	0.68
FAO	$t_c = L / 15 H_m^{0.38}$	0.40
Kerby	$t_c = (0.342 * L * 0.8 * i^{-0.5})^{0.467}$	1.37
Viparelli	$t_c = L / S$	2.06
media ponderata		0.80

Tabella 12: Calcolo del tempo di corrivazione del bacino

:

PARAMETRO	U.M.	VALORE
CN (AMCII)	-	80
Tlag	min	40

Tabella 13: Parametri modello idrologico – Separazione delle piogge e formazione delle piene

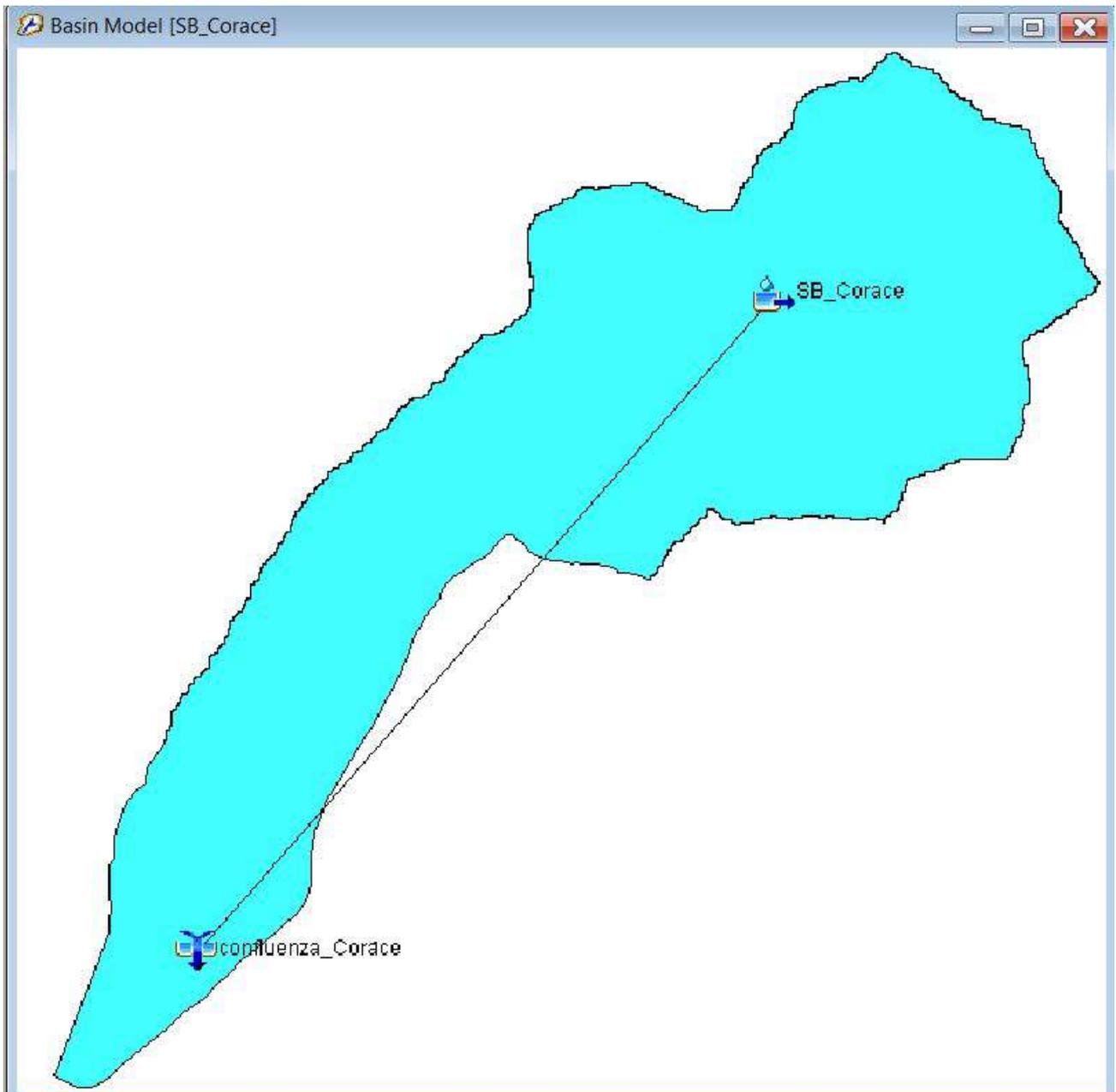


Fig. 21: Schematizzazione modello di bacino in HEC-HMS

## Stima dei deflussi

Sulla base della schematizzazione del bacino adottata con sezione di chiusura in corrispondenza dell'area di intervento e dei dati di pioggia ottenuti come specificato in precedenza, si è proceduto alla simulazione idrologica degli eventi di pioggia con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50, 200 e 500 anni e durata di 3 ore.

Di seguito si riassumono i principali risultati ottenuti per tutti e tre i tempi di ritorno considerati (TR 50, 200 e 500 anni).

TR	AREA	PORTATA	TEMPO DI PICCO	VOLUME
[anni]	[kmq]	[mc/s]		[1000mc]
50	1.7	26.9	14ott2021, 02:25	146.4
200		39.1	14ott2021, 02:20	215.8
500		47.7	14ott2021, 02:20	264.3

Tabella 14: Principali caratteristiche della piena per gli eventi con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Nelle Figg. 22, 23, 24 sono riportati gli ietogrammi e gli idrogrammi per tutti e tre i tempi di ritorno utilizzati e riferiti alle sezioni di chiusura in corrispondenza dell'immissione del sottobacino oggetto di studio nell'asta principale.

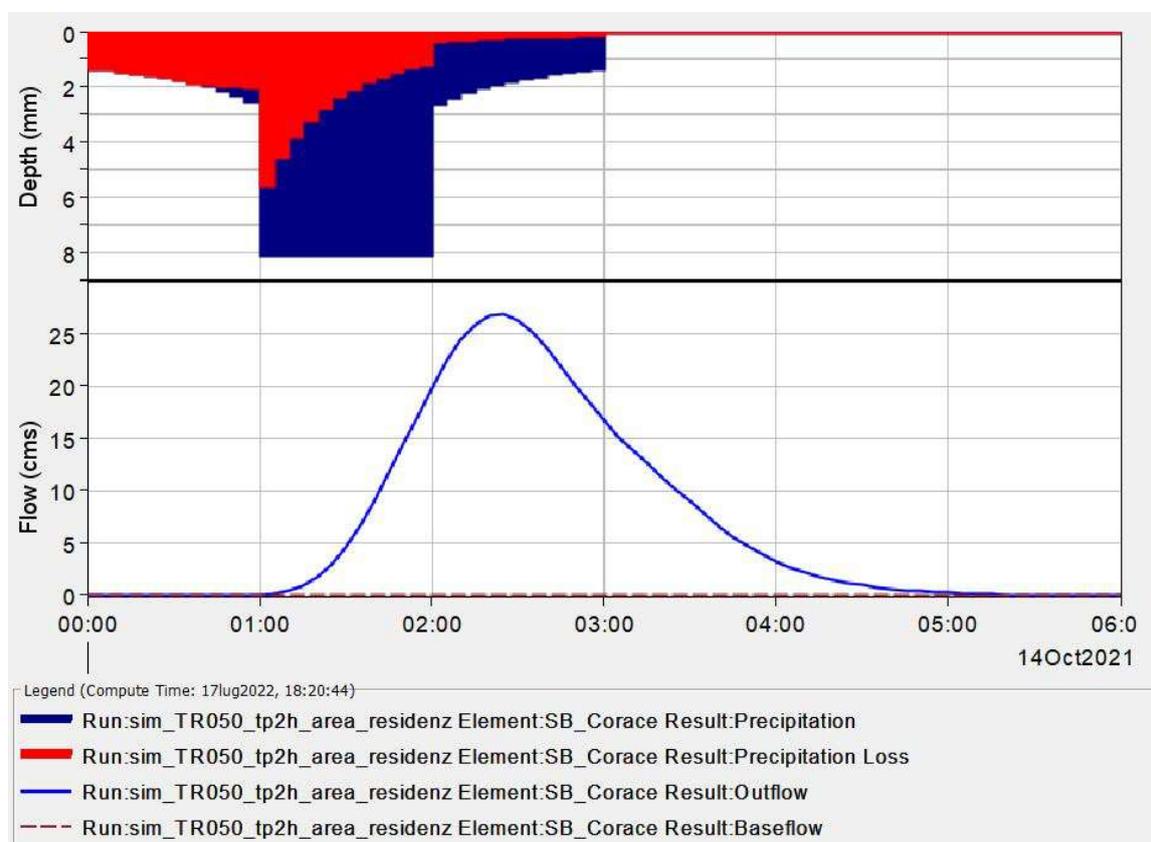


Fig. 22: Ietogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 50 anni e durata 3 ore

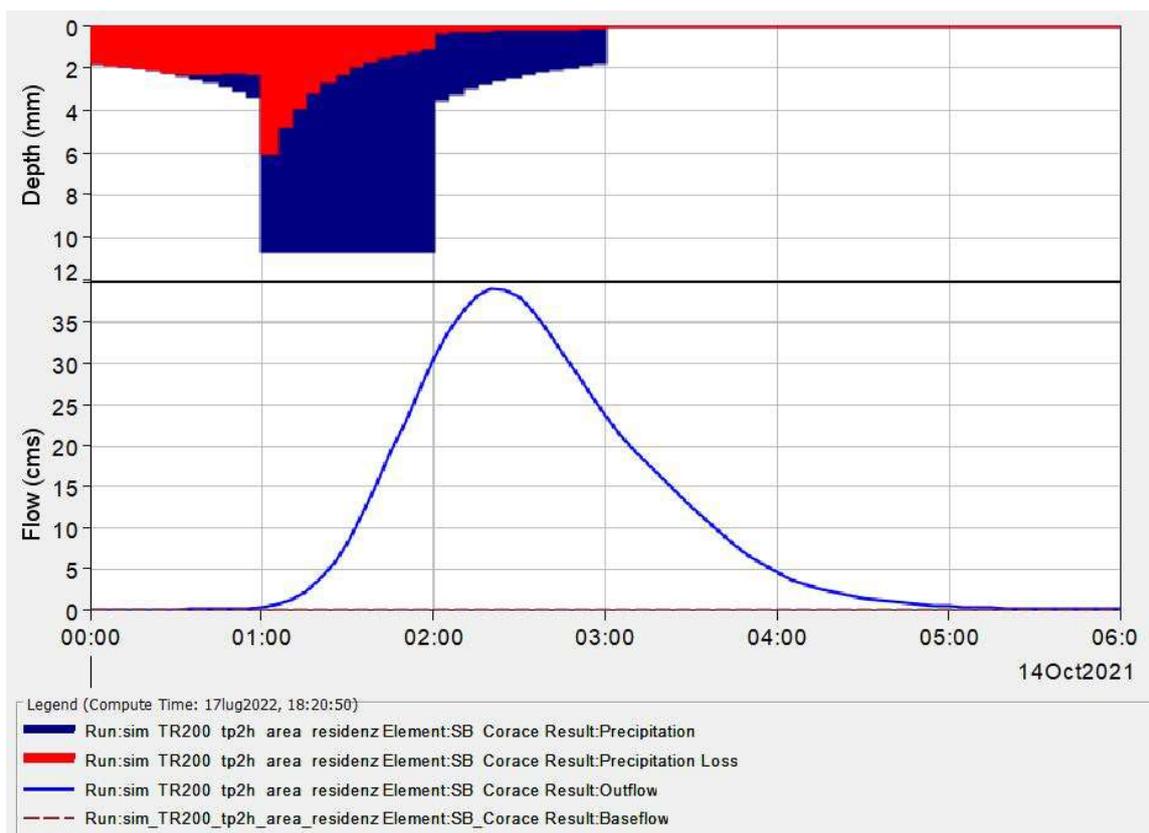


Fig. 23: letogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 200 anni e durata 3 ore

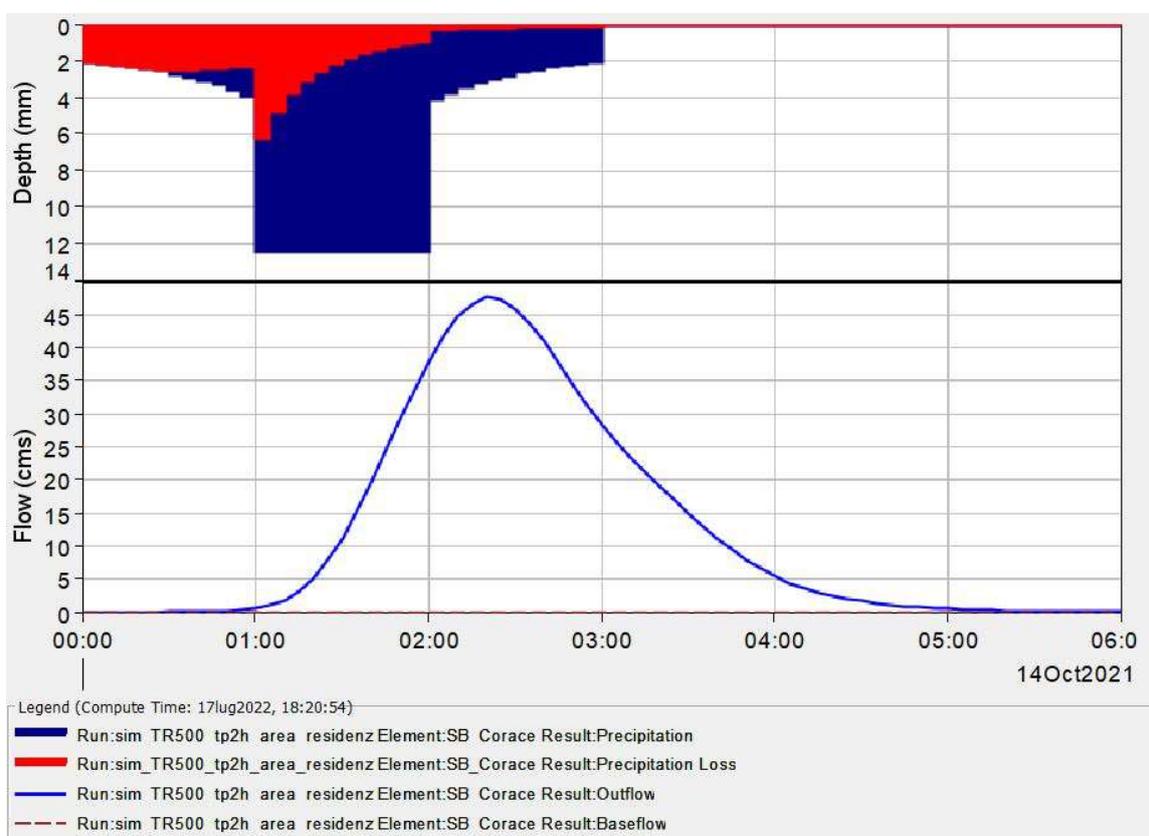


Fig. 24: letogramma e idrogramma di progetto con tempo di ritorno 500 anni e durata 3 ore

## 6. – Verifiche idrauliche

Lo studio idraulico in oggetto ha il duplice intento della progettazione degli interventi di sistemazione del corso d'acqua e dell'attraversamento e della verifica di compatibilità idraulica dell'edificio aule che ricade in aree perimetrata come area di attenzione PGRA.

E' stato dunque condotto dapprima uno studio idraulico monodimensionale con schema di moto permanente dello stato attuale al fine di determinare le portate smaltibili nel tratto del corso d'acqua. La geometria del corso d'acqua è stata ricostruita attraverso il rilievo lidar disponibile per l'area oggetto di studio con cella spaziale di 1.00 m e dal rilievo topografico di dettaglio eseguito.

E' stato poi implementato il modello idraulico con schema monodimensionale in regime di moto permanente dello stato di progetto che prevede la sistemazione del corso d'acqua per un tratto di lunghezza pari a 270.00 m e la realizzazione dell'attraversamento.

Considerato che la verifica idraulica così condotta ha manifestato l'insufficienza della sponda sinistra del corso d'acqua nel tratto più a monte rispetto a quello oggetto di intervento, la verifica di compatibilità idraulica dell'edificio aule previsto ha richiesto l'utilizzo di uno schema accoppiato mono - bidimensionale in moto vario per valutare la propagazione dei deflussi e quindi delle eventuali fuoriuscite all'esterno dell'alveo del corso d'acqua.

Di seguito vengono illustrate le verifiche idrauliche condotte.

### 6.1 – Verifica idraulica monodimensionale in moto permanente

#### 6.1.1 – Moto permanente monodimensionale (HEC-RAS)

Il modello di simulazione implementato dal software HEC-RAS (River Analysis System) presso l'Hydrologic Engineering Center dell'United States Army Corps of Engineers, consente il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario in reti di canali naturali o artificiali.

Con tale modello possono essere simulate condizioni di moto subcritico, supercritico e misto e possono essere valutati gli effetti di immissioni o emissioni laterali di portata, opere in alveo, ostacoli al flusso e costruzioni presenti lungo le sponde.

Nelle ipotesi di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali ponti o tombini per attraversamento) e pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive, per un dato tratto fluviale elementare, di lunghezza finita, il modello si basa sulla seguente equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte e di valle, rispettivamente indicate coi pedici 2 e 1:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / (2g) = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / (2g) + \Delta H$$

in cui  $Y_2$  e  $Y_1$  sono le profondità d'acqua,  $Z_2$  e  $Z_1$  le quote dei punti più depressi delle sezioni

trasversali rispetto a un piano di riferimento (superficie libera del medio mare),  $V_2$  e  $V_1$  le velocità medie (rapporto tra portata e area bagnata della sezione),  $\alpha_2$  e  $\alpha_1$  coefficienti di Coriolis di ragguaglio delle potenze cinetiche,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $\Delta H$  le perdite di carico nel tratto considerato.

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, si ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + A_2 Y_{2,b} + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot i - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot J_m - \frac{\beta_1 Q_1^2}{g A_1} - A_1 Y_{1,b} = 0$$

in cui si sono indicate con i pedici 2 e 1 rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato; a meno del peso specifico, che essendo presente in ciascun addendo è stato eliso, il primo e il quinto termine rappresentano le spinte idrodinamiche dovute alle quantità di moto (con  $\beta$  coefficiente di ragguaglio dei flussi di quantità di moto), il secondo e il sesto termine le spinte idrostatiche dovute alle pressioni (essendo  $Y_{2,b}$  e  $Y_{1,b}$  gli affondamenti dei baricentri delle sezioni bagnate), il terzo termine la componente del peso lungo la direzione del moto (essendo  $i$  la pendenza longitudinale del fondo dell'alveo, calcolata in base alle quote medie in ciascuna sezione) e il quarto termine la resistenza al moto.

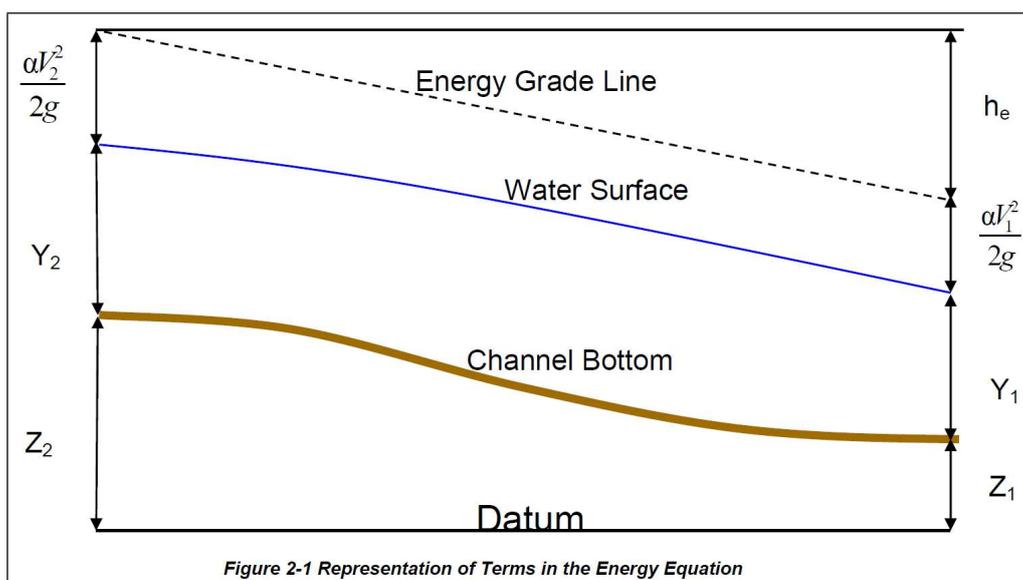


Fig. 25: Rappresentazione dei termini dell'equazione del moto

Per poter risolvere correttamente le equazioni di moto occorre disporre anche delle condizioni al contorno di monte e di valle che regolano il deflusso della corrente, come sarà illustrato nel successivo paragrafo in cui saranno riportati anche i risultati ottenuti.

## 6.1.2 – Modellazione idraulica 1D stato attuale

La modellazione è stata estesa a un tratto del corso d'acqua per una lunghezza di poco più di un km da 250 m a monte dall'attraversamento della strada comunale esistente verso valle. La modellazione con schema monodimensionale di questo tratto del canale è finalizzata a valutare le portate smaltibili nei vari tratti del reticolo idrografico. Per quanto concerne le condizioni al contorno, si è ritenuto opportuno utilizzare sia per la condizione al contorno di monte che di valle un valore della pendenza media rilevata nel tratto di monte pari al 2%.

Per quel che riguarda la resistenza al moto, è stato assunto in via cautelativa ed a vantaggio di sicurezza un valore del coefficiente di scabrezza “n” di Manning pari a 0.033 m<sup>1/3</sup>/sec nell'alveo centrale mentre per le aree golenali è stato assunto una scabrezza “n” pari a 0.035 m<sup>1/3</sup>/sec che tiene conto della vegetazione e del materiale litoide nelle aree golenali lungo il tratto naturale, e un valore pari a 0.02 m<sup>1/3</sup>/sec lungo tutto il tratto rivestito in cls.

Le portate di progetto considerate come input nel modello idraulico sono quelle ricavate a partire dallo studio idrologico condotto.

### Inserimento geometria aste fluviali

Si è passato quindi all'implementazione della geometria del modello idraulico attraverso l'inserimento delle sezioni e degli attraversamenti come da planimetria riportata in Fig. 26.

### Sezioni

Considerata la morfologia del corso d'acqua sono state considerate 35 sezioni .

### Attraversamenti

Nel tronco oggetto di studio è stato rilevato un solo un solo attraversamento esistente (RS 3150).

All'inizio del tratto rivestito, il corso d'acqua è attraversato da una condotta (RS 2775) anch'essa implementata nel modello idraulico.

Nell'Allegato F – Documentazione fotografica sono riportate le foto dei manufatti dei manufatti citati.

### Portate

Le portate utilizzate come input della verifiche idrauliche relative agli eventi con i tre tempi di ritorno TR 50, 200 e 500 anni, riepilogate nella Tabella 15, sono state determinate secondo la procedura descritta nel Capitolo 5.

TR [anni]	50	200	500
PORTATE [mc/s]	24.86	39.59	50.50

Tabella 15: Valori delle portate di input della verifica idraulica

### Risultati modellazione idraulica

Le verifiche idrauliche, condotte con riferimento ai tre diversi tempi di ritorno, hanno permesso di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione. In particolare

nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati ottenuti sia per le singole sezioni che per gli attraversamenti. Nelle figure 27, 28 e 29 sono riportati rispettivamente i profili di corrente relativi ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni nelle quali la linea di colore blu indica il profilo di corrente, le linee tratteggiate di colore verde e rossa indicano rispettivamente la quota del carico totale e la profondità critica della corrente mentre con le linee di colore rosa e viola sono indicate rispettivamente le quote delle sommità arginali in sinistra e destra idraulica.

Nella Allegato B – Verifica idraulica 1D stato attuale – Profili TR 50, 200 e 500 anni si riporta un confronto tra i profili di corrente relativi ai diversi tempi di ritorno mentre nell'Allegato A – Verifica idraulica 1D stato attuale – Sezioni TR 50, 200 e 500 anni sono riportate tutte le sezioni con indicazione del pelo libero per i tre tempi di ritorno utilizzati nel corso delle simulazioni.

Dall'esame dei risultati della verifica idraulica condotta in questa sede emerge che:

- il regime di corrente che si instaura all'interno del corso d'acqua studiato è torrentizio con velocità medie attorno i 4 m/s e velocità massime in alcuni punti superiori a 8 m/s;
- la luce dell'attraversamento della strada comunale esistente risulta sufficiente a smaltire le portate di progetto anche per tempi di ritorno di 500 anni senza però garantire il franco idraulico prescritto dalla normativa vigente;
- la condotta che attraversa l'alveo fluviale all'inizio del tratto rivestito non interferisce con i deflussi duecentennali;
- la simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni mostra come la portata di progetto sia contenuta all'interno dell'alveo del corso d'acqua con abbondante franco idraulico, vedi Fig. 27 e tabella 17;
- la simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni, il cui profilo è riportato in Fig.28 e in tabella 18, evidenzia come le sezioni siano sufficienti a smaltire i deflussi di piena con franchi idraulici in prevalenza superiori a 1.50 a valle dell'attraversamento esistente mentre si verificano fuoriuscite solo in sinistra idraulica a monte dell'attraversamento suddetto;
- i risultati della simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 500 anni mostrano che i deflussi sono contenuti con franchi idraulici quasi sempre superiori a 1.00 m ad eccezione del tratto a monte dell'attraversamento esistente con fuoriuscite in sinistra idraulica.

River Sta	TR	E.G. US.	Min El Prs	BR Open Area	Prs O WS	Q Total	Min El Weir Flow	Q Weir	Delta EG	BR Sluice Coef
	(anni)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	
3150	TR50	65.02	64.40	12.71	62.94	24.86	65.40	-	1.34	-
	TR200	65.33	64.40	12.71	63.25	39.59	65.40	-	1.20	-
	TR500	65.19	64.40	12.71	-	50.50	65.40	-	0.49	-
2775	TR50	61.78	61.85	12.74	-	24.86	62.50	-	0.07	-
	TR200	62.46	61.85	12.74	-	39.59	62.50	-	0.07	-
	TR500	63.42	61.85	12.74	-	50.50	62.50	-	0.22	-

Tabella 16: Caratteristiche idrauliche attraversamenti

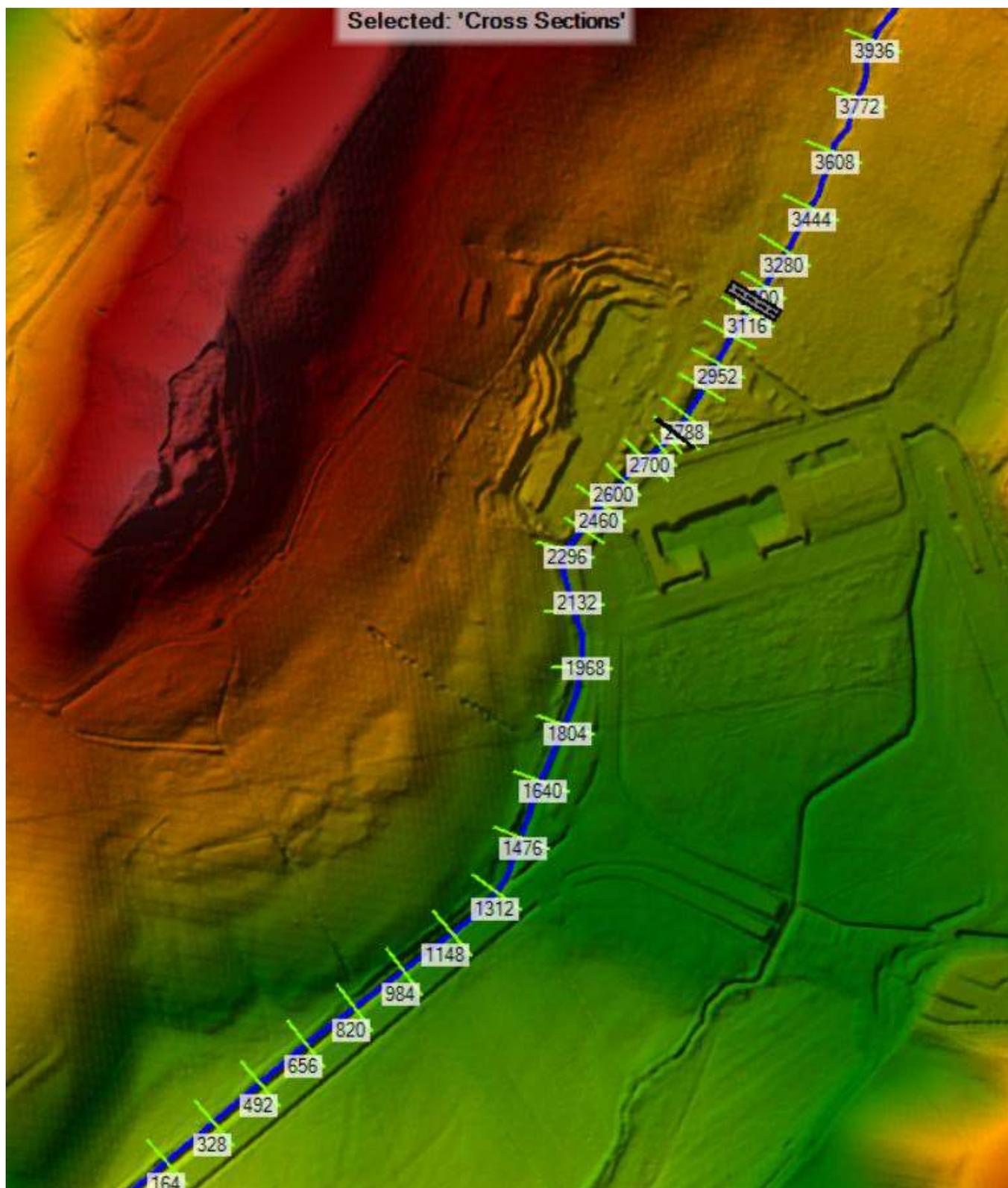


Fig. 26: Modellazione monodimensionale stato attuale – Planimetria modello idraulico

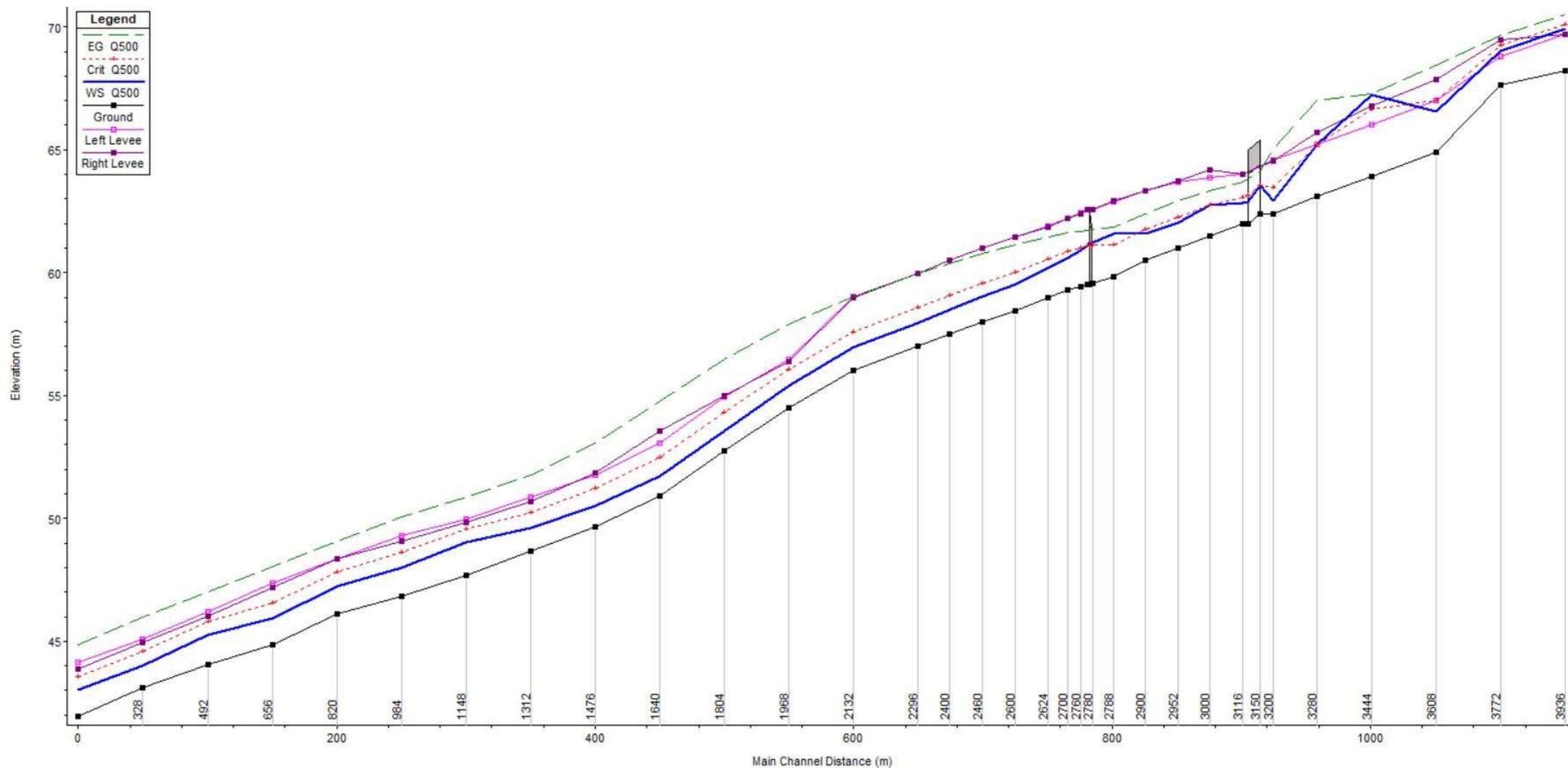


Fig. 27: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 50 anni

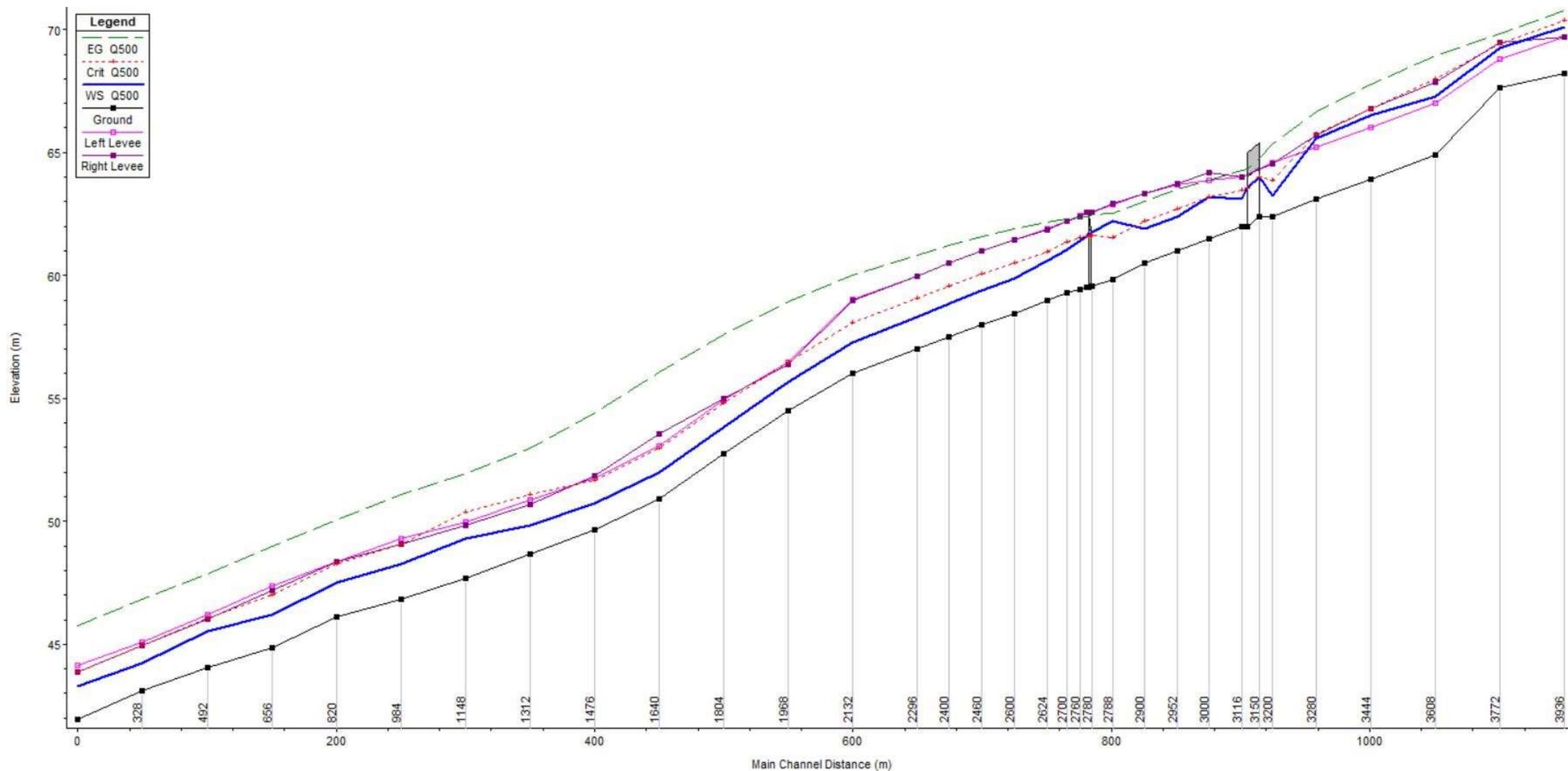


Fig. 28: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 200 anni

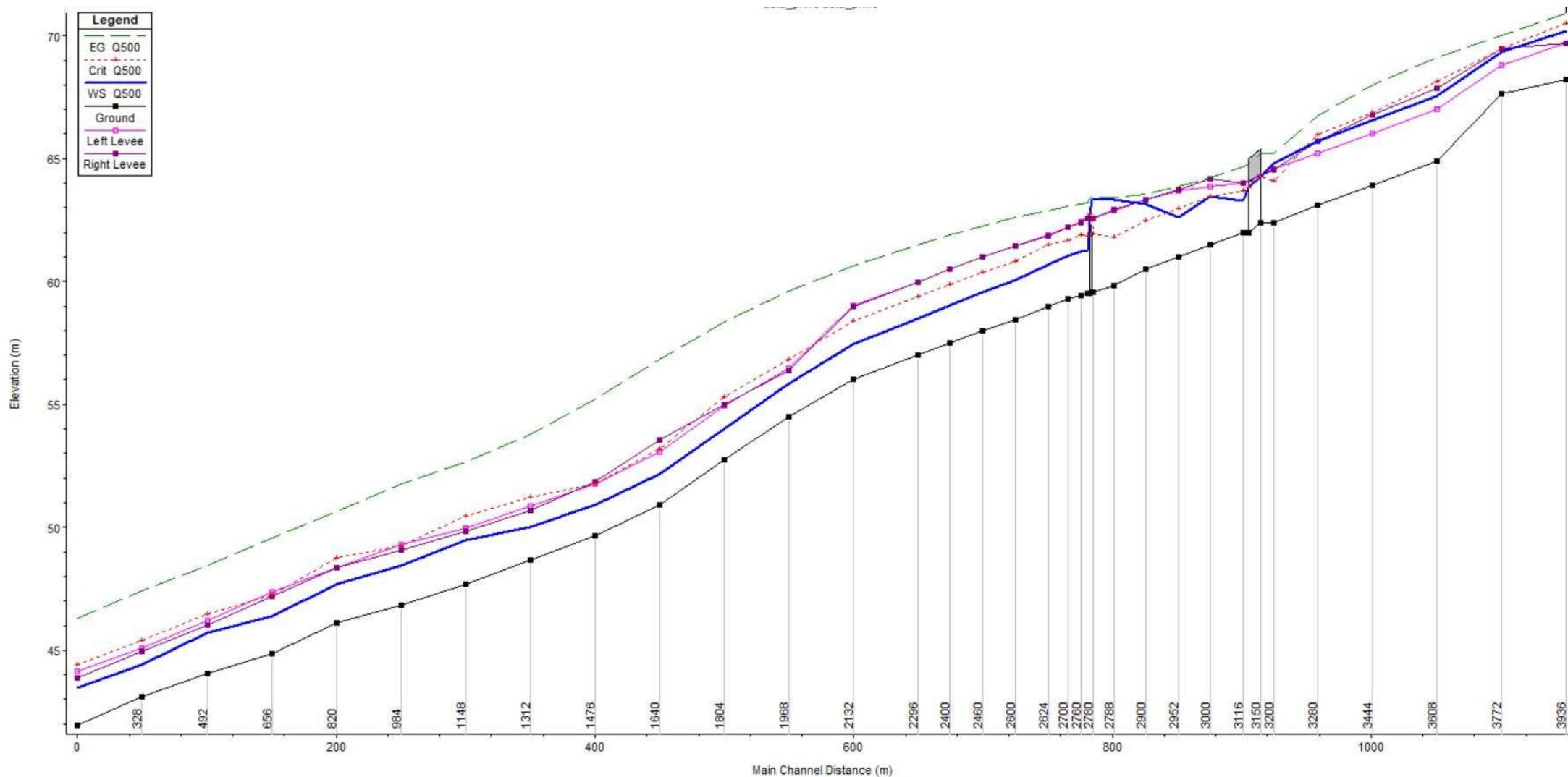


Fig. 29: Verifica idraulica Stato Attuale - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 500 anni

RS	QUOTA FONDO	QUOTA LIV IDRICO	QUOTA ARGINE SX	QUOTA ARGINE DX	FRANCO ARGINE SX	FRANCO ARGINE DX	CARICO CRITICO	CARICO TOT	PENDENZA	VELOCITA'	FROUDE
	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
3936	68.20	69.91	69.71	69.70	-0.20	-0.21	70.10	70.53	0.02	5.45	1.36
3772	67.63	69.04	68.82	69.46	-0.22	0.42	69.24	69.63	0.02	4.48	1.21
3608	64.92	66.54	66.99	67.88	0.45	1.34	66.99	68.44	0.03	6.59	1.69
3444	63.90	67.24	66.03	66.80	-1.21	-0.44	66.66	67.26	0.00	1.25	0.22
3280	63.10	65.21	65.22	65.72	0.01	0.51	65.21	67.02	0.04	8.56	1.91
3200	62.40	62.94	64.57	64.56	1.63	1.62	63.47	65.02	0.11	6.43	2.78
3150											
3116	62.00	62.84	64.01	64.01	1.17	1.17	63.07	63.68	0.03	4.11	1.43
3000	61.50	62.77	63.86	64.20	1.09	1.43	62.77	63.31	0.01	3.43	0.97
2952	61.00	62.03	63.70	63.74	1.67	1.71	62.27	62.91	0.02	4.33	1.36
2900	60.50	61.60	63.35	63.35	1.75	1.75	61.78	62.38	0.02	4.08	1.24
2788	59.84	61.59	62.88	62.91	1.29	1.32	61.12	61.86	0.00	2.42	0.58
2780	59.56	61.23	62.56	62.58	1.33	1.35	61.13	61.78	0.00	3.52	0.87
2775											
2770	59.50	61.07	62.59	62.59	1.52	1.52	61.07	61.71	0.00	3.79	0.97
2760	59.45	60.89	62.44	62.40	1.55	1.51	61.02	61.68	0.00	4.17	1.11
2700	59.30	60.59	62.21	62.20	1.62	1.61	60.86	61.60	0.01	4.72	1.33
2624	59.00	60.17	61.91	61.86	1.74	1.69	60.57	61.46	0.01	5.29	1.56
2600	58.45	59.50	61.46	61.44	1.96	1.94	60.02	61.15	0.01	5.95	1.85
2460	58.00	59.02	61.00	61.00	1.98	1.98	59.57	60.79	0.01	6.16	1.95
2400	57.50	58.50	60.50	60.52	2.00	2.02	59.07	60.38	0.02	6.35	2.03
2296	57.00	57.97	59.99	59.97	2.02	2.00	58.57	59.96	0.02	6.52	2.11
2132	56.00	56.95	59.02	58.99	2.07	2.04	57.57	59.04	0.02	6.67	2.18
1968	54.50	55.38	56.46	56.40	1.08	1.02	56.06	57.90	0.03	7.31	2.50
1804	52.74	53.56	54.93	54.98	1.37	1.42	54.31	56.45	0.03	7.81	2.74
1640	50.91	51.71	53.07	53.57	1.36	1.86	52.48	54.78	0.03	8.04	2.86
1476	49.67	50.51	51.75	51.86	1.24	1.35	51.20	53.08	0.03	7.44	2.59
1312	48.66	49.59	50.88	50.67	1.29	1.08	50.23	51.78	0.02	6.83	2.26
1148	47.68	49.01	49.96	49.85	0.95	0.84	49.58	50.86	0.01	6.84	1.91
984	46.85	48.00	49.29	49.05	1.29	1.05	48.63	50.07	0.02	7.30	2.19
820	46.13	47.23	48.37	48.37	1.14	1.14	47.80	49.09	0.02	7.14	2.19
656	44.87	45.94	47.37	47.21	1.43	1.27	46.55	48.05	0.02	7.67	2.40
492	44.04	45.26	46.20	46.03	0.94	0.77	45.81	47.00	0.02	7.14	2.08
328	43.10	44.00	45.09	44.93	1.09	0.93	44.57	45.98	0.03	7.33	2.48
164	41.93	43.01	44.12	43.88	1.11	0.87	43.56	44.86	0.02	6.99	2.19

Tabella 17: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato attuale per tempo di ritorno di 50 anni

RS	QUOTA FONDO	QUOTA LIV IDRICO	QUOTA ARGINE SX	QUOTA ARGINE DX	FRANCO ARGINE SX	FRANCO ARGINE DX	CARICO CRITICO	CARICO TOT	PENDENZA	VELOCITA'	FROUDE
	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
3936	68.20	70.09	69.71	69.70	-0.38	-0.39	70.37	70.76	0.02	5.84	1.38
3772	67.63	69.23	68.82	69.46	-0.41	0.23	69.41	69.85	0.02	4.91	1.25
3608	64.92	67.28	66.99	67.88	-0.29	0.60	68.00	68.92	0.02	6.44	1.36
3444	63.90	66.50	66.03	66.80	-0.47	0.30	66.80	67.75	0.03	8.63	1.73
3280	63.10	65.59	65.22	65.72	-0.37	0.13	65.76	66.64	0.02	7.74	1.58
3200	62.40	63.25	64.57	64.56	1.32	1.31	63.85	65.33	0.06	6.45	2.23
3150											
3116	62.00	63.13	64.01	64.01	0.88	0.88	63.45	64.28	0.02	4.83	1.45
3000	61.50	63.19	63.86	64.20	0.67	1.01	63.19	63.89	0.01	3.93	0.96
2952	61.00	62.38	63.70	63.74	1.32	1.36	62.69	63.51	0.02	4.97	1.35
2900	60.50	61.91	63.35	63.35	1.44	1.44	62.20	63.03	0.02	4.90	1.32
2788	59.84	62.21	62.88	62.91	0.67	0.70	61.55	62.53	0.00	2.70	0.56
2780	59.56	61.77	62.56	62.58	0.79	0.81	61.63	62.46	0.00	4.03	0.87
2775											
2770	59.50	61.57	62.59	62.59	1.02	1.02	61.57	62.38	0.00	4.34	0.96
2760	59.45	61.38	62.44	62.40	1.06	1.02	61.56	62.35	0.00	4.73	1.09
2700	59.30	61.04	62.21	62.20	1.17	1.16	61.37	62.28	0.01	5.31	1.28
2624	59.00	60.60	61.91	61.86	1.31	1.26	60.97	62.15	0.01	5.90	1.49
2600	58.45	59.89	61.46	61.44	1.57	1.55	60.52	61.88	0.01	6.65	1.77
2460	58.00	59.39	61.00	61.00	1.61	1.61	60.07	61.57	0.01	6.95	1.88
2400	57.50	58.84	60.50	60.52	1.66	1.68	59.57	61.21	0.01	7.22	1.99
2296	57.00	58.31	59.99	59.97	1.69	1.66	59.07	60.84	0.02	7.46	2.09
2132	56.00	57.27	59.02	58.99	1.75	1.73	58.07	59.99	0.02	7.73	2.19
1968	54.50	55.67	56.46	56.40	0.79	0.73	56.45	58.94	0.02	8.43	2.49
1804	52.74	53.84	54.93	54.98	1.09	1.14	54.83	57.61	0.03	9.03	2.75
1640	50.91	51.98	53.07	53.57	1.09	1.59	52.97	56.06	0.03	9.38	2.90
1476	49.67	50.75	51.75	51.86	1.00	1.11	51.69	54.39	0.03	8.96	2.76
1312	48.66	49.85	50.88	50.67	1.03	0.82	51.09	52.99	0.02	8.27	2.42
1148	47.68	49.31	49.96	49.85	0.65	0.54	50.37	51.95	0.02	8.34	2.11
984	46.85	48.28	49.29	49.05	1.01	0.77	49.06	51.09	0.02	8.67	2.33
820	46.13	47.50	48.37	48.37	0.87	0.87	48.25	50.04	0.02	8.51	2.34
656	44.87	46.22	47.37	47.21	1.15	0.99	46.99	48.98	0.02	8.95	2.49
492	44.04	45.55	46.20	46.03	0.65	0.48	46.05	47.88	0.02	8.45	2.21
328	43.10	44.25	45.09	44.93	0.84	0.68	44.93	46.85	0.02	8.55	2.56
164	41.93	43.29	44.12	43.88	0.83	0.59	43.89	45.73	0.02	8.18	2.28

Tabella 18: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato attuale per tempo di ritorno di 200 anni

RS	QUOTA FONDO	QUOTA LIV IDRICO	QUOTA ARGINE SX	QUOTA ARGINE DX	FRANCO ARGINE SX	FRANCO ARGINE DX	CARICO CRITICO	CARICO TOT	PENDENZA	VELOCITA'	FROUDE
	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
3936	68.20	70.21	69.71	69.70	-0.50	-0.51	70.50	70.92	0.02	6.09	1.39
3772	67.63	69.33	68.82	69.46	-0.51	0.13	69.49	70.00	0.02	5.18	1.28
3608	64.92	67.53	66.99	67.88	-0.54	0.35	68.13	69.11	0.02	6.62	1.32
3444	63.90	66.56	66.03	66.80	-0.53	0.24	66.86	67.98	0.03	9.50	1.88
3280	63.10	65.69	65.22	65.72	-0.47	0.03	65.98	66.73	0.02	8.02	1.61
3200	62.40	64.83	64.57	64.56	-0.26	-0.27	64.10	65.19	0.00	2.76	0.57
3150											
3116	62.00	63.29	64.01	64.01	0.72	0.72	63.69	64.70	0.02	5.35	1.50
3000	61.50	63.46	63.86	64.20	0.40	0.74	63.46	64.25	0.01	4.22	0.96
2952	61.00	62.61	63.70	63.74	1.10	1.14	62.96	63.89	0.02	5.32	1.34
2900	60.50	63.16	63.35	63.35	0.19	0.19	62.49	63.55	0.00	3.00	0.59
2788	59.84	63.33	62.88	62.91	-0.45	-0.42	61.82	63.43	0.00	1.75	0.30
2780	59.56	63.32	62.56	62.58	-0.76	-0.74	61.94	63.42	0.00	1.89	0.31
2775											
2770	59.50	61.29	62.59	62.59	1.30	1.30	61.86	63.21	0.01	6.62	1.58
2760	59.45	61.24	62.44	62.40	1.20	1.16	61.89	63.17	0.01	6.63	1.58
2700	59.30	61.04	62.21	62.20	1.17	1.16	61.68	63.07	0.01	6.80	1.65
2624	59.00	60.69	61.91	61.86	1.22	1.17	61.50	62.90	0.01	7.08	1.74
2600	58.45	60.04	61.46	61.44	1.42	1.40	60.84	62.59	0.01	7.57	1.91
2460	58.00	59.56	61.00	61.00	1.44	1.44	60.39	62.26	0.01	7.78	1.99
2400	57.50	59.02	60.50	60.52	1.48	1.50	59.89	61.88	0.01	7.99	2.07
2296	57.00	58.49	59.99	59.97	1.50	1.48	59.39	61.50	0.02	8.19	2.14
2132	56.00	57.45	59.02	58.99	1.57	1.54	58.39	60.65	0.02	8.43	2.24
1968	54.50	55.86	56.46	56.40	0.60	0.54	56.81	59.62	0.02	9.11	2.50
1804	52.74	54.02	54.93	54.98	0.92	0.97	55.31	58.34	0.03	9.74	2.75
1640	50.91	52.14	53.07	53.57	0.93	1.43	53.20	56.85	0.03	10.14	2.91
1476	49.67	50.90	51.75	51.86	0.85	0.96	51.76	55.23	0.03	9.83	2.83
1312	48.66	50.01	50.88	50.67	0.87	0.66	51.21	53.79	0.02	9.12	2.50
1148	47.68	49.48	49.96	49.85	0.48	0.37	50.48	52.67	0.02	9.25	2.22
984	46.85	48.45	49.29	49.05	0.84	0.60	49.26	51.76	0.02	9.54	2.43
820	46.13	47.67	48.37	48.37	0.70	0.70	48.75	50.66	0.02	9.35	2.43
656	44.87	46.38	47.37	47.21	0.99	0.83	47.22	49.58	0.02	9.73	2.55
492	44.04	45.72	46.20	46.03	0.48	0.31	46.49	48.45	0.02	9.26	2.30
328	43.10	44.41	45.09	44.93	0.68	0.52	45.42	47.39	0.02	9.28	2.61
164	41.93	43.46	44.12	43.88	0.66	0.42	44.42	46.28	0.02	8.87	2.32

Tabella 19: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato attuale per tempo di ritorno di 500 anni

### **6.1.3 Intervento di sistemazione del corso d'acqua e realizzazione attraversamento carrabile**

Considerate le criticità emerse nello scenario dello stato attuale, è stato previsto un intervento di sistemazione del corso d'acqua per un tratto di lunghezza pari a 270.00 m da 100.00 m a monte dell'attraversamento esistente fino all'inizio del tratto rivestito oltre alla realizzazione dell'attraversamento carrabile.

Con riferimento alla planimetria di Fig. 30, gli interventi in progetto sono:

- risagomatura del corso d'acqua per un tratto di lunghezza pari a 270.00 m da 100.00 m a monte dell'attraversamento esistente fino all'inizio del tratto rivestito in cls (RS 3608 - 2780) con sezione trapezia di larghezza al fondo pari a 7.00m, larghezza in testa pari a 10.00 m e altezza pari a 3.00 m;
- realizzazione di uno scatolare in c.a. con dimensioni interne pari a 7.00 m in larghezza e 3.50 m in altezza;
- rivestimento delle sponde con gabbioni per 40.00 m a cavallo dello scatolare di progetto.

Nell'ambito degli interventi in progetto, è stata considerata anche la passerella pedonale la cui realizzazione è prevista nell'ambito del progetto di "realizzazione di un percorso pedonale di collegamento tra le residenze e l'Area Giuridica, Economia e delle Scienze Sociali dell'Università degli Studi Magna Graecia di Catanzaro".



Fig. 30: Planimetria degli interventi in progetto

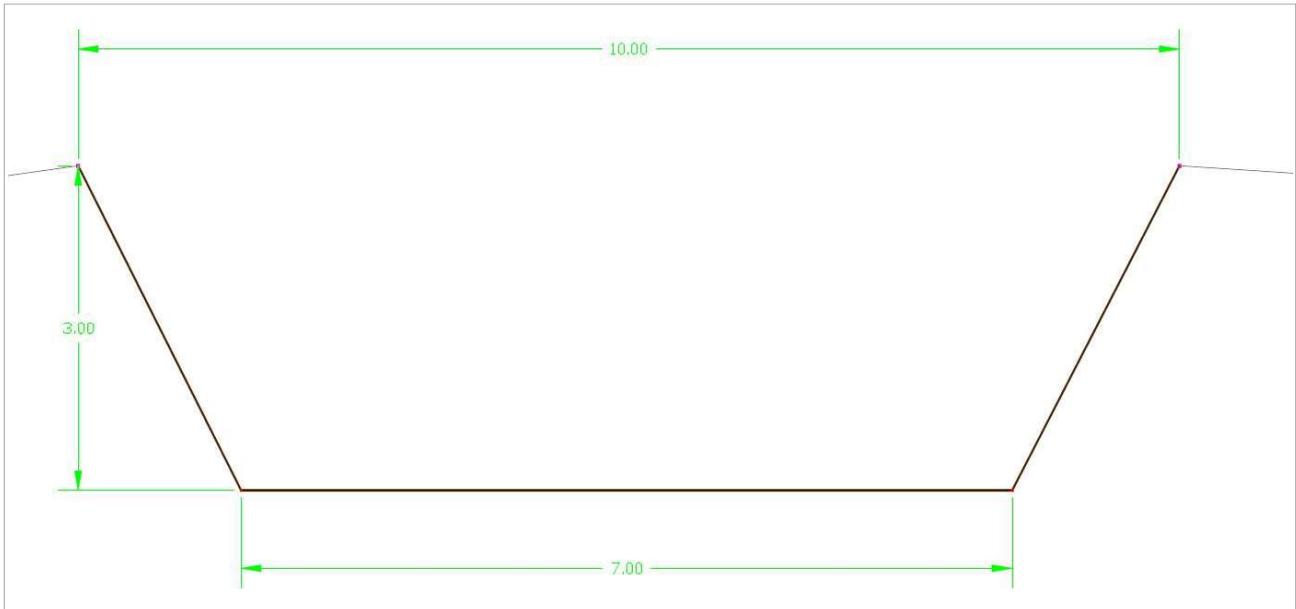


Fig. 31: Sezione trapezia di progetto

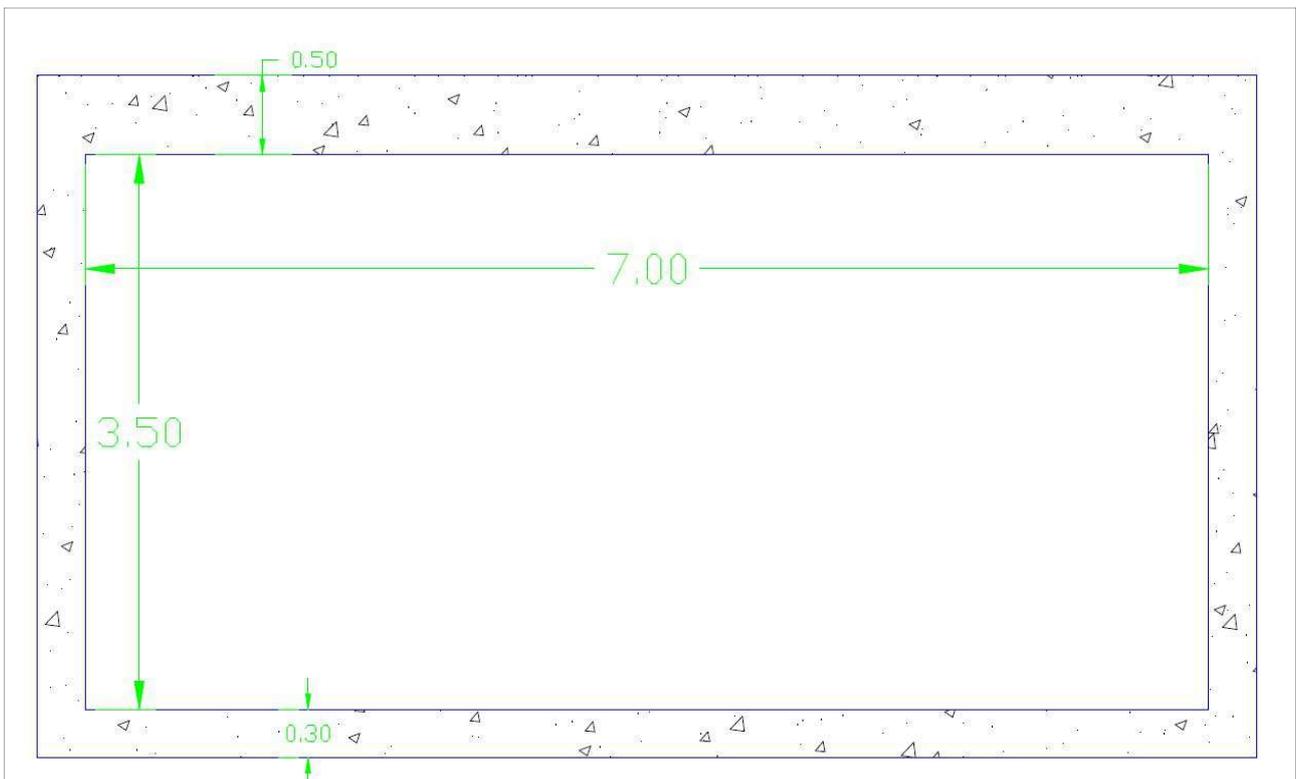


Fig. 32: Sezione scatolare di progetto

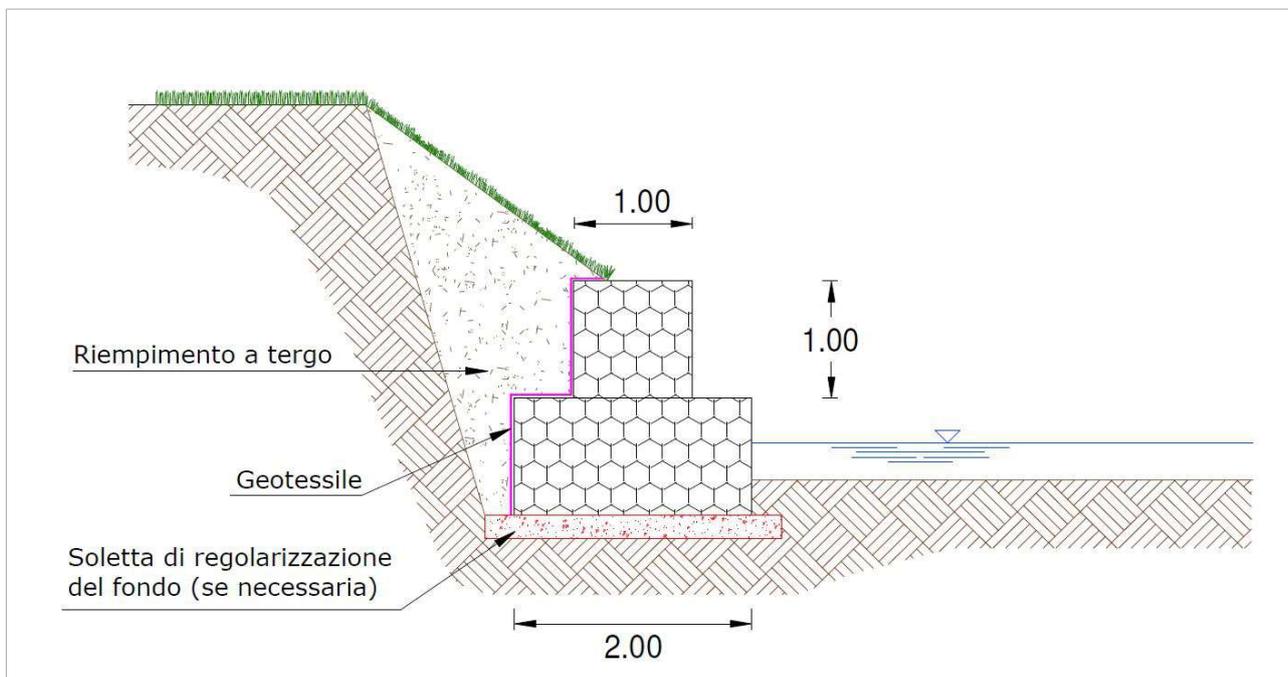


Fig. 33: Rivestimento in gabbioni – sezione tipo

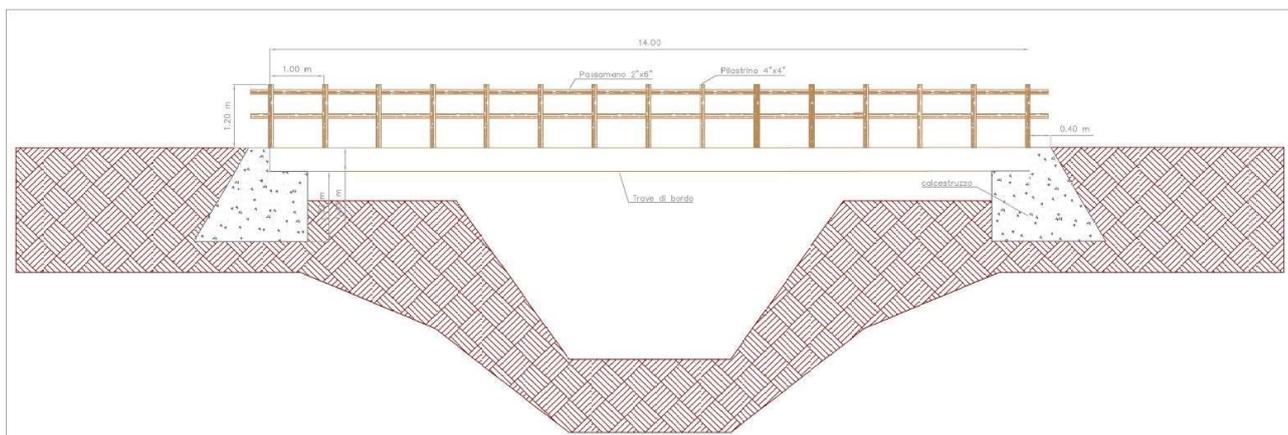


Fig. 34: Sezione passerella pedonale da realizzare nell'ambito di un altro progetto

### 6.1.4 Modellazione idraulica 1D stato di progetto

Al fine di verificare l'efficienza delle opere di progetto finalizzate al ripristino dell'efficienza idraulica e l'attraversamento in progetto, è stato implementato il modello idraulico dello stato di progetto. A partire dalla geometria dello stato attuale, sono state inserite le sezioni di progetto riportate al paragrafo 6.1.4 e lo scatolare in c.a. In Fig. 35 è riportata la geometria del modello idraulico nello dello stato di progetto.

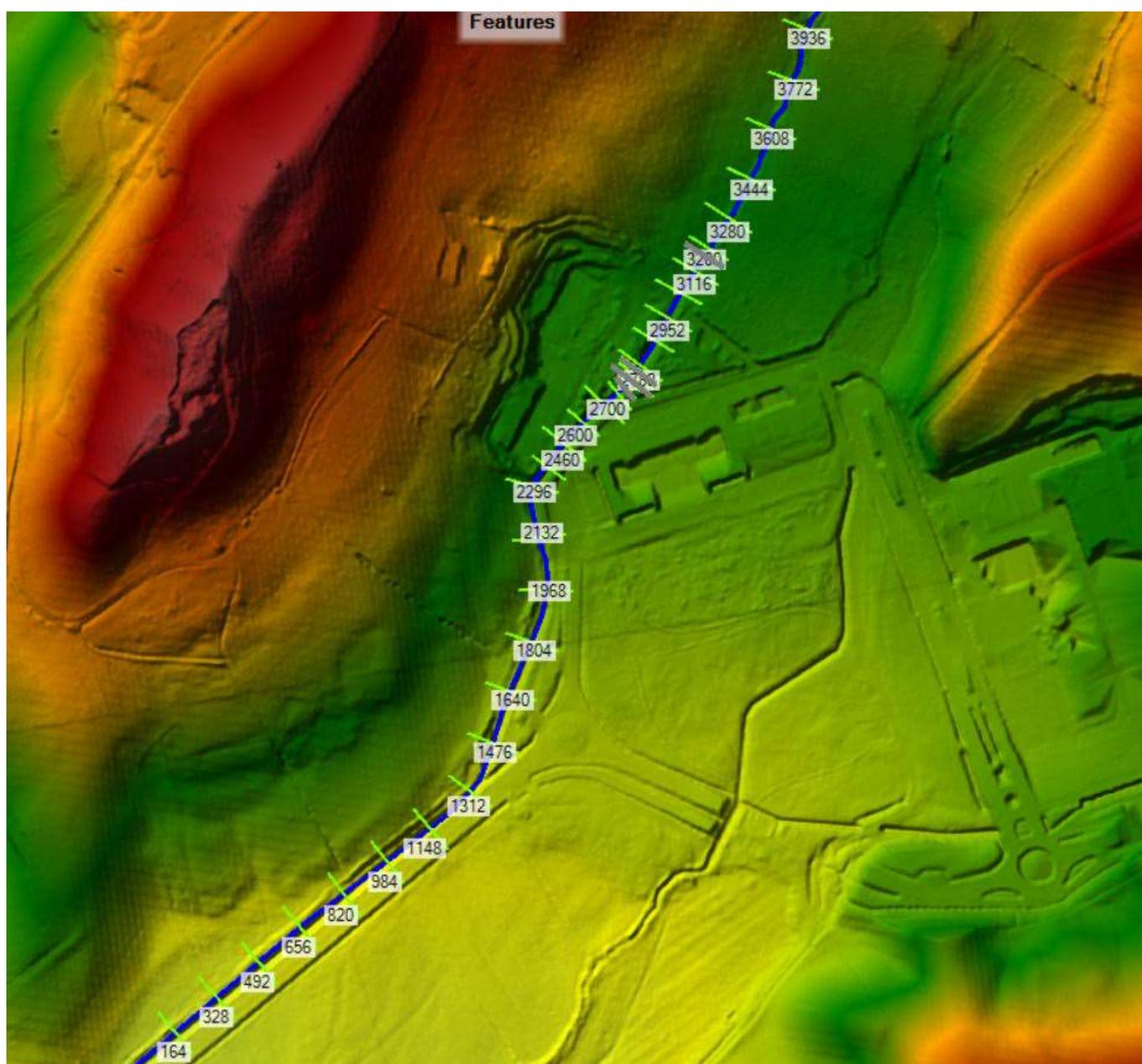


Fig. 35: Modellazione monodimensionale stato di progetto – Planimetria modello idraulico

### Risultati modellazione idraulica

Le verifiche idrauliche, condotte con riferimento ai tre diversi tempi di ritorno, hanno permesso di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione. In particolare

nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati ottenuti sia per le singole sezioni che per gli attraversamenti. Nelle figure 36, 37 e 38 sono riportati rispettivamente i profili di corrente relativi ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni nelle quali la linea di colore blu indica il profilo di corrente, le linee tratteggiate di colore verde e rossa indicano rispettivamente la quota del carico totale e la profondità critica della corrente mentre con le linee di colore rosa e viola sono indicate rispettivamente le quote delle sommità arginali in sinistra e destra idraulica.

Nella Allegato D – Verifica idraulica 1D stato di progetto – Profili TR 50, 200 e 500 anni si riporta un confronto tra i profili di corrente relativi ai diversi tempi di ritorno mentre nell'Allegato C – Verifica idraulica 1D stato di progetto – Sezioni TR 50, 200 e 500 anni sono riportate tutte le sezioni con indicazione del pelo libero per i tre tempi di ritorno utilizzati nel corso delle simulazioni.

Dall'esame dei risultati della verifica idraulica condotta in questa sede emerge che:

- il regime di corrente che si instaura all'interno del corso d'acqua studiato è torrentizio con velocità medie attorno i 4 m/s e velocità massime in alcuni punti superiori a 8 m/s;
- la luce dell'attraversamento della strada comunale esistente risulta sufficiente a smaltire le portate di progetto anche per tempi di ritorno di 500 anni senza però garantire il franco idraulico prescritto dalla normativa vigente;
- la condotta che attraversa l'alveo fluviale all'inizio del tratto rivestito non interferisce con i deflussi duecentennali per TR 50 e 200 anni;
- la simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni mostra come la portata di progetto sia contenuta all'interno dell'alveo del corso d'acqua con abbondante franco idraulico, vedi Fig. 36 e tabella 22;
- la simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni, il cui profilo è riportato in Fig. 37 e in tabella 23, evidenzia come le sezioni siano sufficienti a smaltire i deflussi di piena con franchi idraulici in prevalenza superiori a 1.50 per tutto il tratto oggetto di intervento mentre si verificano fuoriuscite solo in sinistra idraulica nel tratto di monte;
- i risultati della simulazione per l'evento con tempo di ritorno di 500 anni mostrano che i deflussi sono contenuti con franchi idraulici quasi sempre superiori a 1.00 m ad eccezione del tratto a monte dell'intervento:
- lo scatolare di progetto consente il passaggio in sicurezza della piena duecentennale assicurando un franco idraulico pari a 1.00 m (Tabella 21)

River Sta	TR	E.G. US.	Min El Prs	BR Open Area	Prs O WS	Q Total	Min El Weir Flow	Q Weir	Delta EG	BR Sluice Coef
	(anni)	(m)	(m)	(m2)	(m)	(m3/s)	(m)	(m3/s)	(m)	
3150	TR200	64.81	64.40	12.71	-	39.59	65.40	-	0.53	-
	TR50	64.20	64.40	12.71	-	24.86	65.40	-	0.55	-
	TR500	65.21	64.40	12.71	-	50.50	65.40	-	0.51	-
2775	TR200	62.51	62.00	12.86	-	39.59	62.50	-	0.03	-
	TR50	61.84	62.00	12.86	-	24.86	62.50	-	0.03	-
	TR500	63.44	62.00	12.86	-	50.50	62.50	-	0.20	-
2750	TR200	62.35	63.13	25.16	-	39.59	62.40	-	0.18	-
	TR50	61.75	63.13	25.16	60.76	24.86	62.40	-	0.17	-
	TR500	63.19	63.13	25.16	61.22	50.50	62.40	-	0.16	-

Tabella 20: Caratteristiche idrauliche attraversamenti esistenti

River Sta	TR	E.G. US.	W.S. US.	E.G. IC	E.G. OC	Min El Weir Flow	Q Culv Group	Q Weir	Delta WS	Culv Vel US	Culv Vel DS
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m/s)	(m/s)
2783	TR200	62.77	62.61	62.21	62.77	62.93	39.59	-	0.22	2.30	2.14
	TR50	62.03	61.91	61.57	62.03	62.93	24.86	-	0.14	1.93	1.76
	TR500	63.64	63.58	62.65	63.64	62.93	44.99	5.51	0.20	1.85	1.84

Tabella 21: Caratteristiche idrauliche scatolare di progetto

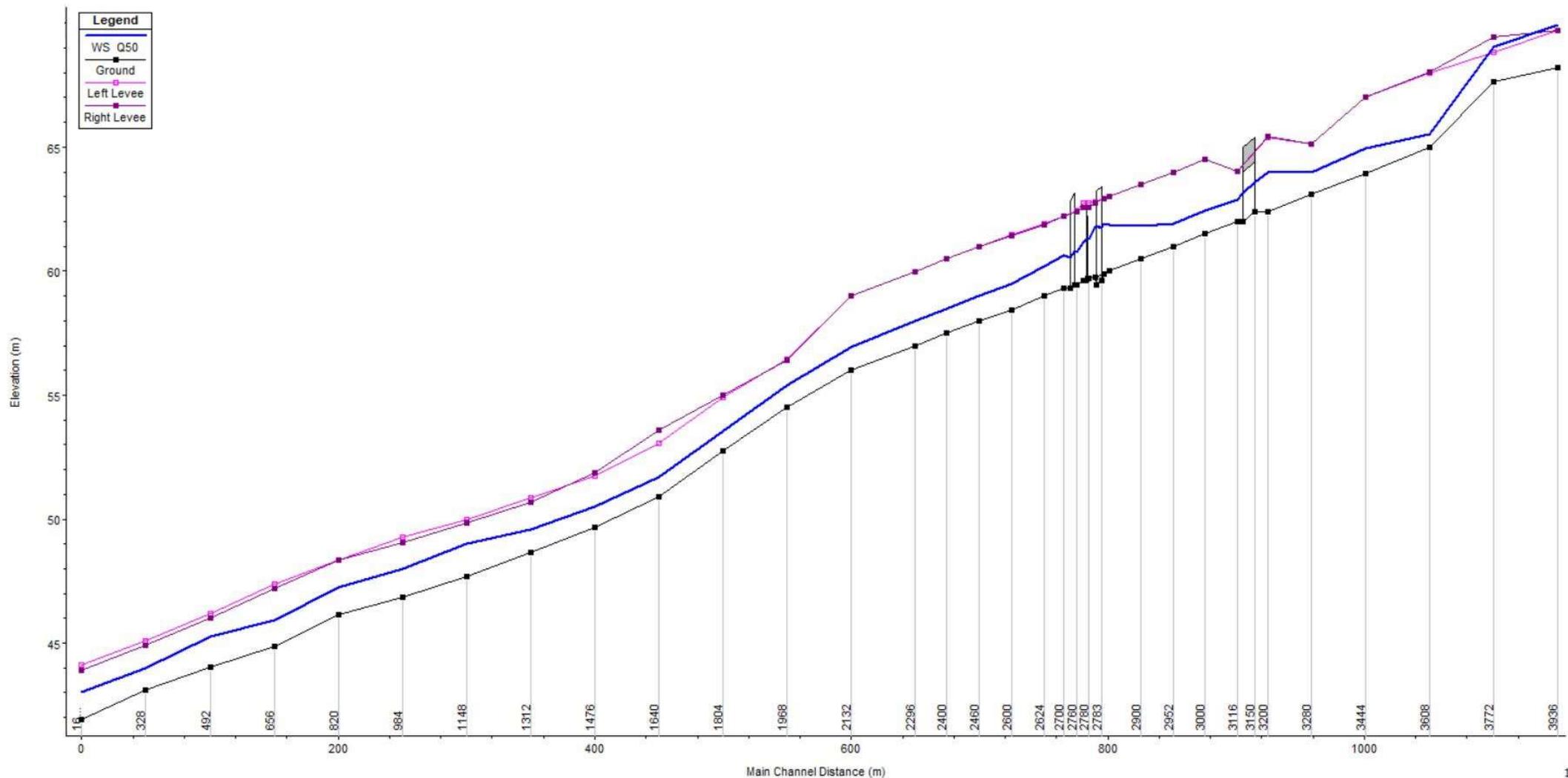


Fig. 36: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 50 anni

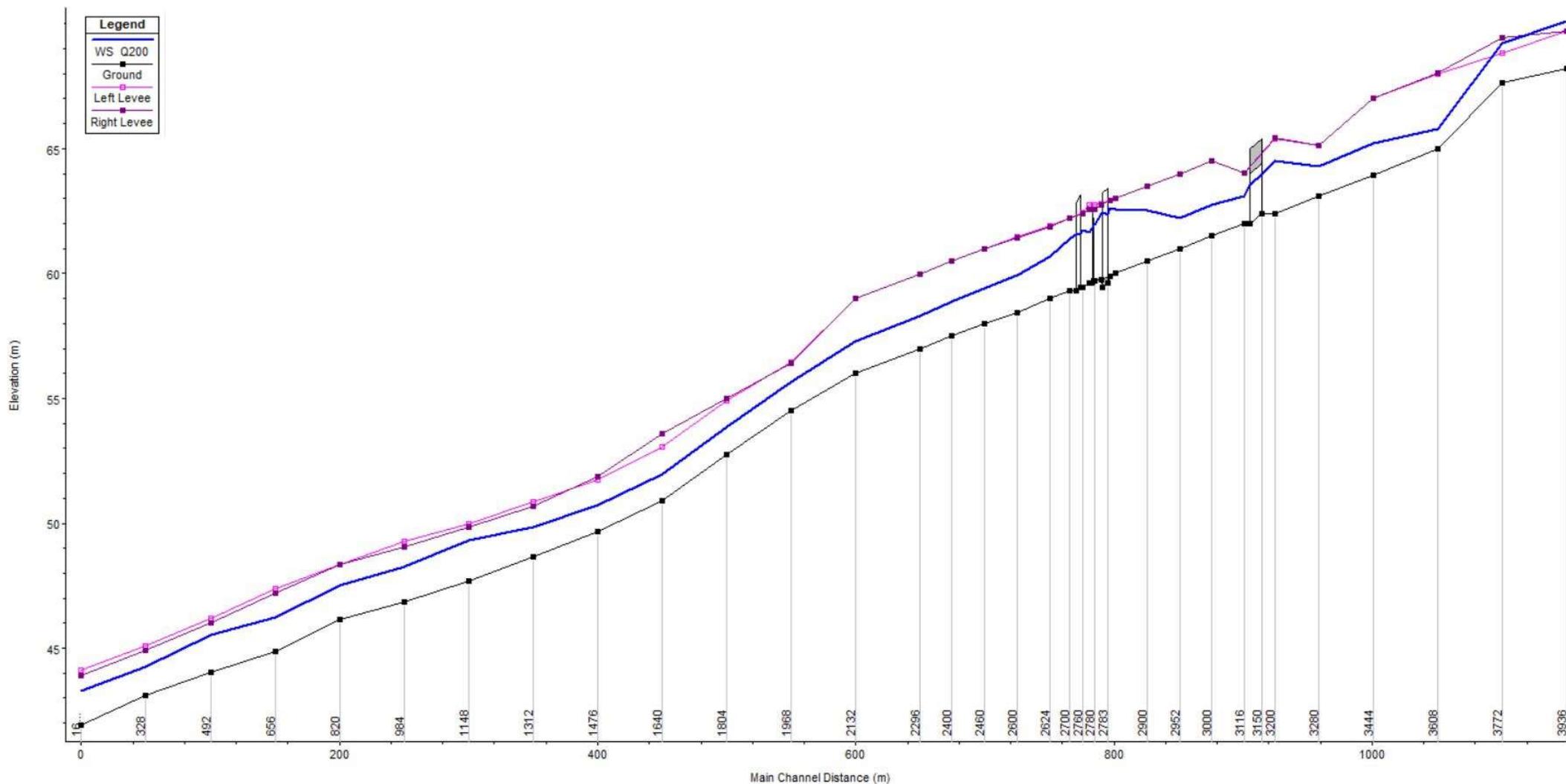


Fig. 37: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 200 anni

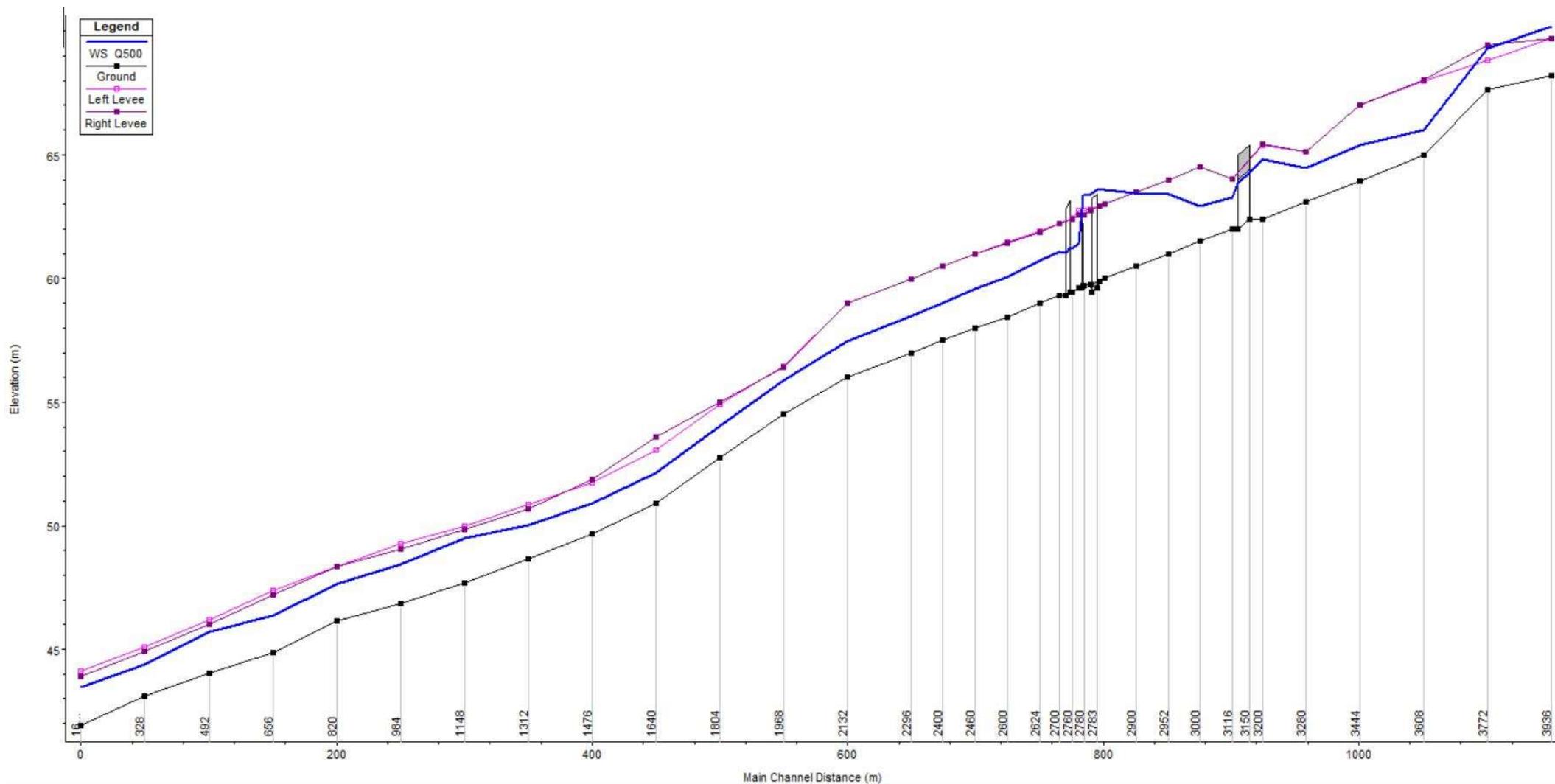


Fig. 38: Verifica idraulica Stato di progetto - Profilo di corrente per evento con tempo di ritorno di 500 anni

RS	QUOTA FONDO	QUOTA LIV IDRICO	QUOTA ARGINE SX	QUOTA ARGINE DX	FRANCO ARGINE SX	FRANCO ARGINE DX	CARICO CRITICO	CARICO TOT	PENDENZA	VELOCITA'	FROUDE
	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(mslm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
3936	68.20	69.91	69.71	69.70	-0.20	-0.21	70.10	70.53	0.02	5.45	1.36
3772	67.63	69.04	68.82	69.46	-0.22	0.42	69.24	69.63	0.02	4.48	1.21
3608	65.00	65.53	67.99	68.01	2.46	2.48	66.07	67.74	0.13	6.63	2.91
3444	63.95	64.93	67.00	67.00	2.07	2.07	65.02	65.55	0.02	3.53	1.14
3280	63.10	63.97	65.11	65.11	1.14	1.14	64.17	64.75	0.02	3.95	1.35
3200	62.40	63.97	65.39	65.43	1.42	1.46	63.47	64.20	0.00	2.18	0.56
3150	Bridge	63.86	64.20	1.09	1.43	62.77	63.31	0.01	3.43	0.97	
3116	62.00	62.86	64.01	64.01	1.15	1.15	63.07	63.65	0.02	3.98	1.37
3000	61.50	62.46	64.50	64.50	2.04	2.04	62.57	63.11	0.02	3.62	1.18
2952	61.00	61.91	63.99	64.00	2.08	2.09	62.07	62.64	0.02	3.83	1.28
2900	60.50	61.84	63.50	63.50	1.66	1.66	61.57	62.17	0.01	2.56	0.70
2788	60.00	61.89	63.01	63.00	1.12	1.11	61.07	62.05	0.00	1.79	0.42
2785	59.90	61.91	62.91	62.91	1.00	1.00	60.92	62.03	0.00	1.55	0.35
2783	Culvert	62.44	62.40	1.30	1.26	61.02	61.68	0.00	3.48	0.85	
2782	59.75	61.77	62.77	62.75	1.00	0.98	60.77	61.89	0.00	1.55	0.35
2780	59.70	61.29	62.74	62.58	1.45	1.29	61.22	61.84	0.00	3.52	0.89
2775	Bridge	61.91	61.86	1.68	1.63	60.57	61.38	0.01	5.00	1.44	
2770	59.60	61.17	62.73	62.59	1.56	1.42	61.17	61.81	0.00	3.78	0.96
2760	59.45	60.76	62.44	62.40	1.68	1.64	61.02	61.75	0.01	4.65	1.30
2750	Bridge	60.50	60.52	2.00	2.02	59.07	60.35	0.02	6.30	2.01	
2700	59.30	60.62	62.21	62.20	1.59	1.58	60.86	61.58	0.01	4.61	1.28
2624	59.00	60.19	61.91	61.86	1.72	1.67	60.57	61.44	0.01	5.22	1.53
2600	58.45	59.51	61.46	61.44	1.95	1.93	60.02	61.14	0.01	5.93	1.84
2460	58.00	59.03	61.00	61.00	1.97	1.97	59.57	60.78	0.01	6.15	1.94
2400	57.50	58.50	60.50	60.52	2.00	2.02	59.07	60.37	0.02	6.34	2.03
2296	57.00	57.97	59.99	59.97	2.02	2.00	58.57	59.96	0.02	6.52	2.11
2132	56.00	56.95	59.02	58.99	2.07	2.04	57.57	59.04	0.02	6.67	2.18
1968	54.50	55.38	56.46	56.40	1.08	1.02	56.06	57.90	0.03	7.31	2.49
1804	52.74	53.56	54.93	54.98	1.37	1.42	54.31	56.45	0.03	7.81	2.74
1640	50.91	51.71	53.07	53.57	1.36	1.86	52.48	54.78	0.03	8.04	2.86
1476	49.67	50.51	51.75	51.86	1.24	1.35	51.20	53.08	0.03	7.44	2.59
1312	48.66	49.59	50.88	50.67	1.29	1.08	50.23	51.78	0.02	6.83	2.26
1148	47.68	49.01	49.96	49.85	0.95	0.84	49.58	50.86	0.01	6.84	1.91
984	46.85	48.00	49.29	49.05	1.29	1.05	48.63	50.07	0.02	7.30	2.19
820	46.13	47.23	48.37	48.37	1.14	1.14	47.80	49.09	0.02	7.14	2.19
656	44.87	45.94	47.37	47.21	1.43	1.27	46.55	48.05	0.02	7.67	2.40
492	44.04	45.26	46.20	46.03	0.94	0.77	45.81	47.00	0.02	7.14	2.08
328	43.10	44.00	45.09	44.93	1.09	0.93	44.57	45.98	0.03	7.33	2.48
164	41.93	43.01	44.12	43.88	1.11	0.87	43.56	44.86	0.02	6.99	2.19

Tabella 22: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato di progetto per tempo di ritorno di 50 anni

RS	QUOTA FONDO (mslm)	QUOTA LIV IDRICO (mslm)	QUOTA ARGINE SX (mslm)	QUOTA ARGINE DX (mslm)	FRANCO ARGINE SX (m)	FRANCO ARGINE DX (m)	CARICO CRITICO (m)	CARICO TOT (m)	PENDENZA (m/m)	VELOCITA' (m/s)	FROUDE
3936	68.20	70.09	69.71	69.70	-0.38	-0.39	70.37	70.76	0.02	5.84	1.38
3772	67.63	69.23	68.82	69.46	-0.41	0.23	69.41	69.85	0.02	4.91	1.25
3608	65.00	65.81	67.99	68.01	2.18	2.20	66.46	68.16	0.08	6.86	2.44
3444	63.95	65.20	67.00	67.00	1.80	1.80	65.41	66.15	0.02	4.37	1.25
3280	63.10	64.27	65.11	65.11	0.84	0.84	64.55	65.33	0.02	4.64	1.37
3200	62.40	64.49	65.39	65.43	0.90	0.94	63.86	64.81	0.00	2.56	0.56
3150	Bridge	63.86	64.20	0.67	1.01	63.19	63.89	0.01	3.93	0.96	
3116	62.00	63.11	64.01	64.01	0.90	0.90	63.44	64.28	0.03	4.87	1.48
3000	61.50	62.76	64.50	64.50	1.74	1.74	62.95	63.70	0.02	4.35	1.24
2952	61.00	62.21	63.99	64.00	1.78	1.79	62.45	63.23	0.02	4.54	1.32
2900	60.50	62.54	63.50	63.50	0.96	0.96	61.96	62.88	0.00	2.63	0.59
2788	60.00	62.58	63.01	63.00	0.43	0.42	61.46	62.79	0.00	2.05	0.41
2785	59.90	62.61	62.91	62.91	0.30	0.30	61.28	62.77	0.00	1.80	0.35
2783	Culvert	62.44	62.40	0.69	0.65	61.55	62.35	0.00	3.80	0.80	
2782	59.75	62.39	62.77	62.75	0.38	0.36	61.13	62.56	0.00	1.86	0.36
2780	59.70	61.94	62.74	62.58	0.80	0.64	61.70	62.51	0.00	3.70	0.79
2775	Bridge	61.91	61.86	1.23	1.18	60.97	62.05	0.01	5.56	1.37	
2770	59.60	61.67	62.73	62.59	1.06	0.92	61.67	62.48	0.00	4.35	0.97
2760	59.45	61.75	62.44	62.40	0.69	0.65	61.56	62.35	0.00	3.80	0.80
2750	Bridge	60.50	60.52	1.64	1.66	59.57	61.16	0.01	7.13	1.95	
2700	59.30	61.37	62.21	62.20	0.84	0.83	61.37	62.17	0.00	4.33	0.96
2624	59.00	60.68	61.91	61.86	1.23	1.18	60.97	62.05	0.01	5.56	1.37
2600	58.45	59.93	61.46	61.44	1.53	1.51	60.52	61.81	0.01	6.46	1.70
2460	58.00	59.41	61.00	61.00	1.59	1.59	60.07	61.51	0.01	6.82	1.83
2400	57.50	58.86	60.50	60.52	1.64	1.66	59.57	61.16	0.01	7.13	1.95
2296	57.00	58.32	59.99	59.97	1.67	1.65	59.07	60.80	0.02	7.40	2.06
2132	56.00	57.27	59.02	58.99	1.75	1.72	58.07	59.97	0.02	7.69	2.18
1968	54.50	55.67	56.46	56.40	0.79	0.73	56.45	58.93	0.02	8.41	2.48
1804	52.74	53.84	54.93	54.98	1.09	1.14	54.83	57.61	0.03	9.02	2.74
1640	50.91	51.98	53.07	53.57	1.09	1.59	52.97	56.06	0.03	9.38	2.90
1476	49.67	50.75	51.75	51.86	1.00	1.11	51.69	54.39	0.03	8.96	2.76
1312	48.66	49.85	50.88	50.67	1.03	0.82	51.09	52.99	0.02	8.27	2.42
1148	47.68	49.31	49.96	49.85	0.65	0.54	50.37	51.95	0.02	8.34	2.11
984	46.85	48.28	49.29	49.05	1.01	0.77	49.06	51.09	0.02	8.67	2.33
820	46.13	47.50	48.37	48.37	0.87	0.87	48.25	50.04	0.02	8.51	2.34
656	44.87	46.22	47.37	47.21	1.15	0.99	46.99	48.98	0.02	8.95	2.49
492	44.04	45.55	46.20	46.03	0.65	0.48	46.05	47.88	0.02	8.45	2.21
328	43.10	44.25	45.09	44.93	0.84	0.68	44.93	46.85	0.02	8.55	2.56
164	41.93	43.29	44.12	43.88	0.83	0.59	43.89	45.73	0.02	8.18	2.28

Tabella 23: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato attuale per tempo di ritorno di 200 anni

RS	QUOTA FONDO (mslm)	QUOTA LIV IDRICO (mslm)	QUOTA ARGINE SX (mslm)	QUOTA ARGINE DX (mslm)	FRANCO ARGINE SX (m)	FRANCO ARGINE DX (m)	CARICO CRITICO (m)	CARICO TOT (m)	PENDENZA (m/m)	VELOCITA' (m/s)	FROUDE
3936	68.20	70.21	69.71	69.70	-0.50	-0.51	70.50	70.92	0.02	6.09	1.39
3772	67.63	69.33	68.82	69.46	-0.51	0.13	69.49	70.00	0.02	5.18	1.28
3608	65.00	66.01	67.99	68.01	1.98	2.00	66.71	68.42	0.06	6.95	2.21
3444	63.95	65.38	67.00	67.00	1.62	1.62	65.66	66.55	0.02	4.88	1.31
3280	63.10	64.46	65.11	65.11	0.65	0.65	64.80	65.72	0.02	5.08	1.39
3200	62.40	64.83	65.39	65.43	0.56	0.60	64.11	65.21	0.00	2.79	0.57
3150	Bridge	63.86	64.20	0.40	0.74	63.46	64.25	0.01	4.22	0.96	
3116	62.00	63.27	64.01	64.01	0.74	0.74	63.69	64.70	0.03	5.39	1.53
3000	61.50	62.94	64.50	64.50	1.56	1.56	63.21	64.09	0.02	4.81	1.28
2952	61.00	63.42	63.99	64.00	0.57	0.58	62.71	63.80	0.00	2.80	0.57
2900	60.50	63.47	63.50	63.50	0.03	0.03	62.21	63.71	0.00	2.25	0.42
2788	60.00	63.58	63.01	63.00	-0.57	-0.58	61.71	63.64	0.00	1.34	0.23
2785	59.90	63.58	62.91	62.91	-0.67	-0.67	61.52	63.64	0.00	1.27	0.21
2783	Culvert	62.44	62.40	1.20	1.16	61.89	63.17	0.01	6.63	1.58	
2782	59.75	63.38	62.77	62.75	-0.61	-0.63	61.37	63.45	0.00	1.35	0.23
2780	59.70	63.35	62.74	62.58	-0.61	-0.77	62.01	63.44	0.00	1.81	0.30
2775	Bridge	61.91	61.86	1.20	1.15	61.50	62.85	0.01	6.97	1.70	
2770	59.60	61.42	62.73	62.59	1.31	1.17	61.98	63.24	0.01	6.46	1.53
2760	59.45	61.22	62.44	62.40	1.22	1.18	61.89	63.19	0.01	6.69	1.60
2750	Bridge	60.50	60.52	1.47	1.49	59.89	61.85	0.01	7.94	2.05	
2700	59.30	61.06	62.21	62.20	1.15	1.14	61.68	63.03	0.01	6.71	1.62
2624	59.00	60.70	61.91	61.86	1.21	1.16	61.50	62.87	0.01	7.00	1.71
2600	58.45	60.05	61.46	61.44	1.41	1.39	60.84	62.56	0.01	7.51	1.90
2460	58.00	59.56	61.00	61.00	1.44	1.44	60.39	62.23	0.01	7.74	1.98
2400	57.50	59.02	60.50	60.52	1.48	1.49	59.89	61.86	0.01	7.96	2.06
2296	57.00	58.49	59.99	59.97	1.50	1.48	59.39	61.48	0.02	8.17	2.14
2132	56.00	57.45	59.02	58.99	1.57	1.54	58.39	60.64	0.02	8.42	2.23
1968	54.50	55.86	56.46	56.40	0.60	0.54	56.81	59.61	0.02	9.10	2.50
1804	52.74	54.02	54.93	54.98	0.91	0.96	55.31	58.34	0.03	9.73	2.75
1640	50.91	52.15	53.07	53.57	0.92	1.42	53.20	56.85	0.03	10.13	2.91
1476	49.67	50.90	51.75	51.86	0.85	0.96	51.76	55.22	0.03	9.83	2.83
1312	48.66	50.01	50.88	50.67	0.87	0.66	51.21	53.79	0.02	9.12	2.50
1148	47.68	49.48	49.96	49.85	0.48	0.37	50.48	52.67	0.02	9.25	2.22
984	46.85	48.45	49.29	49.05	0.84	0.60	49.26	51.76	0.02	9.54	2.42
820	46.13	47.67	48.37	48.37	0.70	0.70	48.75	50.66	0.02	9.35	2.43
656	44.87	46.38	47.37	47.21	0.99	0.83	47.22	49.58	0.02	9.73	2.55
492	44.04	45.72	46.20	46.03	0.48	0.31	46.49	48.45	0.02	9.26	2.30
328	43.10	44.41	45.09	44.93	0.68	0.52	45.42	47.39	0.02	9.28	2.61
164	41.93	43.46	44.12	43.88	0.66	0.42	44.42	46.28	0.02	8.87	2.32

Tabella 24: Caratteristiche idrauliche profilo di corrente stato attuale per tempo di ritorno di 500 anni

## **6.2 Verifica di compatibilità idraulica per la realizzazione dell'edificio aule**

Come in precedenza accennato, per verificare la compatibilità idraulica dell'edificio aule 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 nel caso in cui zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Tenendo conto che l'area di intervento risulta classificata come Area di Attenzione del PGRA, si richiama quanto disposto dall'art. 4 – Disposizioni per le aree di attenzione del PGRA delle Norme di Attuazione e Misura di Salvaguardia del Piano Gestione Rischio Alluvioni:

*“Nelle aree perimetrate come aree di attenzione PGRA nelle mappe dei progetti di varianti di aggiornamento che le prevedono, tutte le nuove attività e i nuovi interventi a farsi devono essere tali da:*

- a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;*
- b) non comportare significative alterazioni morfologiche o topografiche e un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone;*
- c) non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate; .....OMISSIS”.*

Considerato che il modello idraulico con schema monodimensionale dello stato di progetto ha manifestato possibili fuoriuscite in sinistra idraulica, per la verifica di compatibilità dell'edificio aule è stato implementato un modello idraulico accoppiato mono-bidimensionale che consente di implementare la geometria di progetto dell'asta fluviale adottando uno schema monodimensionale di simulare la propagazione dei deflussi nelle aree esterne in moto vario attraverso l'inserimento di un'area 2D.

### **6.2.1 Moto vario bidimensionale (HEC-RAS)**

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

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

Il problema della propagazione della onda di piena in un corso d'acqua naturale si risolve utilizzando la descrizione idraulica del fenomeno basata sulle equazioni differenziali del moto e di continuità. La teoria di De Saint Venant in particolare ipotizza che si tratti di un moto monodimensionale, in pratica le grandezze che definiscono la corrente idrica (portate e livelli) sono funzione esclusivamente del tempo e

della coordinata  $x$ , posta lungo l'asse longitudinale del corso d'acqua. Queste ipotesi conducono al fatto che le sezioni trasversali possano considerarsi piane e verticali con una pressione distribuita su di esse con legge idrostatica e quindi la corrente può considerarsi gradualmente variata.

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

$\lambda$  equazione del moto:

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

$\lambda$  equazione di continuità:

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

Applicando queste equazioni al corso d'acqua si ottiene un sistema di equazioni differenziali del primo ordine non lineari nelle incognite rappresentate dai livelli e le portate nei vari nodi in funzione del tempo.

Per la risoluzione di questo sistema esistono sostanzialmente tre metodi:

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

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

Nel caso in cui, per la presenza di arginature o di particolari situazioni morfologiche, durante il deflusso si abbiano fuoriuscite d'acqua per tracimazione dai contenimenti arginali in zone limitrofe al corso ma comunque ad esso idraulicamente connesse nelle quali l'acqua stessa tende ad avere una diffusione in più direzioni allora la schematizzazione monodimensionale non è più sufficiente a simulare tale fenomeno di propagazione. In questi casi occorre ricorrere ad una schematizzazione bidimensionale che però è molto complessa ed onerosa sia dal punto di vista del modello di calcolo che dei dati da utilizzare. Occorre infatti disporre di un modello digitale del terreno molto dettagliato ed accurato che va in genere realizzato ad hoc con l'impiego di consistenti risorse. In alcuni casi un buon compromesso tra complessità di calcolo e grado di precisione dei risultati si può ottenere utilizzando uno schema di moto cosiddetto quasi-bidimensionale che è caratterizzato da uno schema monodimensionale lungo il reticolo

idrografico e da celle d'accumulo, connesse idraulicamente con il reticolo e tra di loro, che rappresentano le zone limitrofe ai corsi d'acqua dove la propagazione dell'acqua non avviene attraverso uno schema monodimensionale. Questo schema è valido nel caso in cui le aree che sono interessate dall'esonazione delle acque del corso principale siano comunque confinate morfologicamente e quindi possano essere rappresentate da celle d'accumulo. Queste celle d'accumulo sono connesse con il corso d'acqua e possono essere connesse tra di loro. In alcune circostanze si può verificare che le acque che fuoriescono dal corso d'acqua principale si propagano al di fuori di esso seguendo un impluvio naturale o artificiale, nel quale comunque si può ritenere che esista una direzione prevalente di deflusso. In questo caso la simulazione può essere fatta inserendo un ramo fittizio per rappresentare proprio la propagazione di questi deflussi estraendo le sezioni dal modello digitale del terreno. Questo ramo fittizio potrebbe essere connesso a valle con quello principale oppure andare a confluire in una cella di accumulo a seconda di come si presenta la situazione reale.

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

- 1.** modellazione combinata 1D e 2D: La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi;
- 2.** equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;
- 3.** algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai volumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare

completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica critica, come per esempio in un risalto idraulico);

- 4.** algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia. In ogni passo temporale l'equazione di moto utilizza i risultati 1D e 2D per calcolare il flusso consentendo il calcolo preciso della sommersione delle aperture, in ogni passo temporale considerando la variazione di livelli che si ha nei due elementi. Inoltre il deflusso si può invertire (dall'area 2D al tronco 1D) una volta che la piena è passata e i tiranti nel fiume si riducono. 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 della maglia possono avere linee multi-point molto dettagliate che rappresentano le facce esterne di ciascuna cella. La maglia di calcolo non deve essere ortogonale ma se la maglia è ortogonale la discretizzazione numerica è semplificata e più efficiente;

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

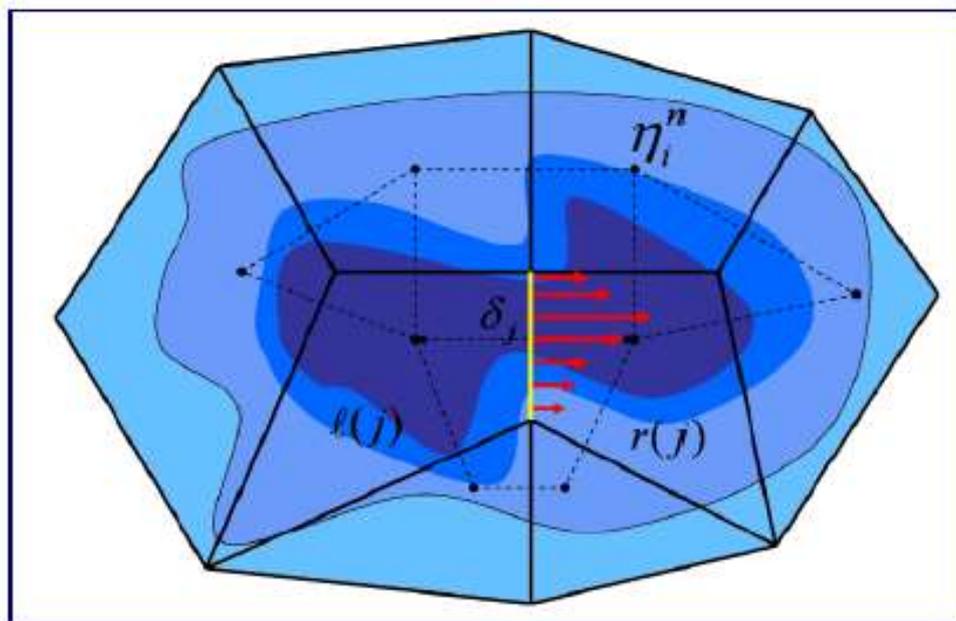


Fig. 39: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In Fig. 43 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. 40 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.

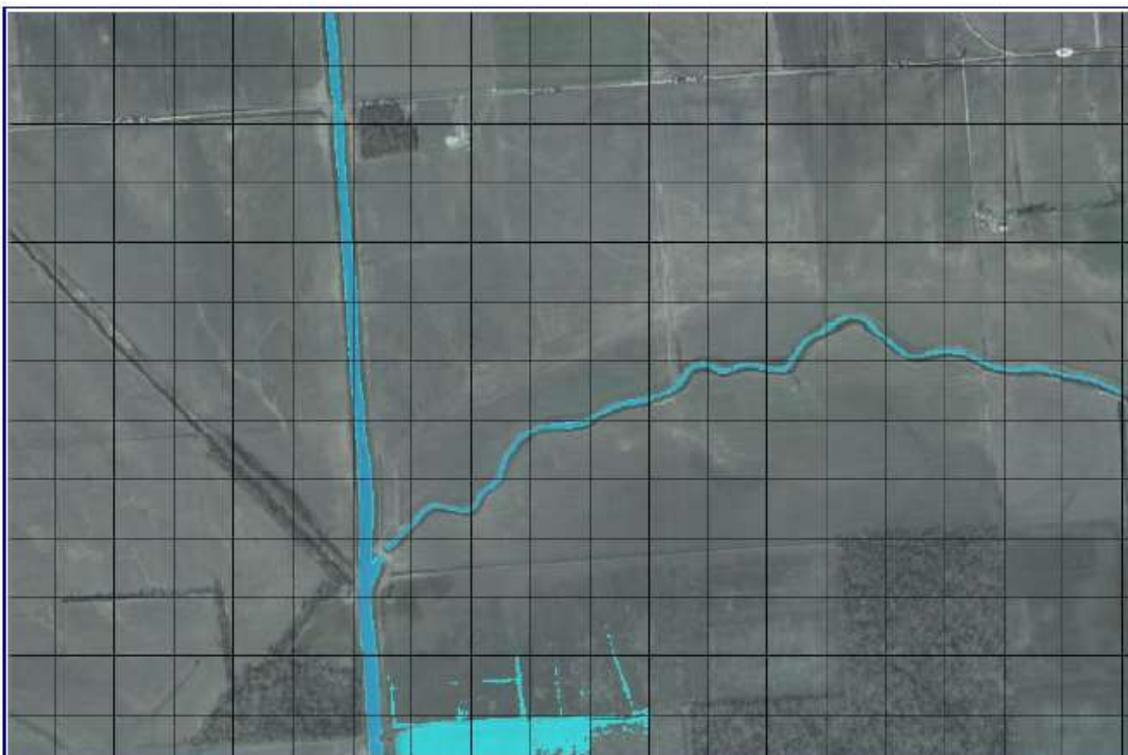


Fig. 40: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

6. Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree 2D allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte. La mappatura rifletterà questi dettagli, piuttosto che essere limitata a mostrare una cella di calcolo come tutta bagnata o tutta asciutta;
7. Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore dei nuovi computer (architettura parallela), consentendo di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
8. Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit. Il motore di calcolo a 64 bit funziona più velocemente rispetto ad uno a 32 bit e può gestire set di dati molto più grandi.

## Sviluppo del 2D Computational Mesh

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

1. tracciare il poligono di contorno dell'area 2D (fig.41);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (fig.39);
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.

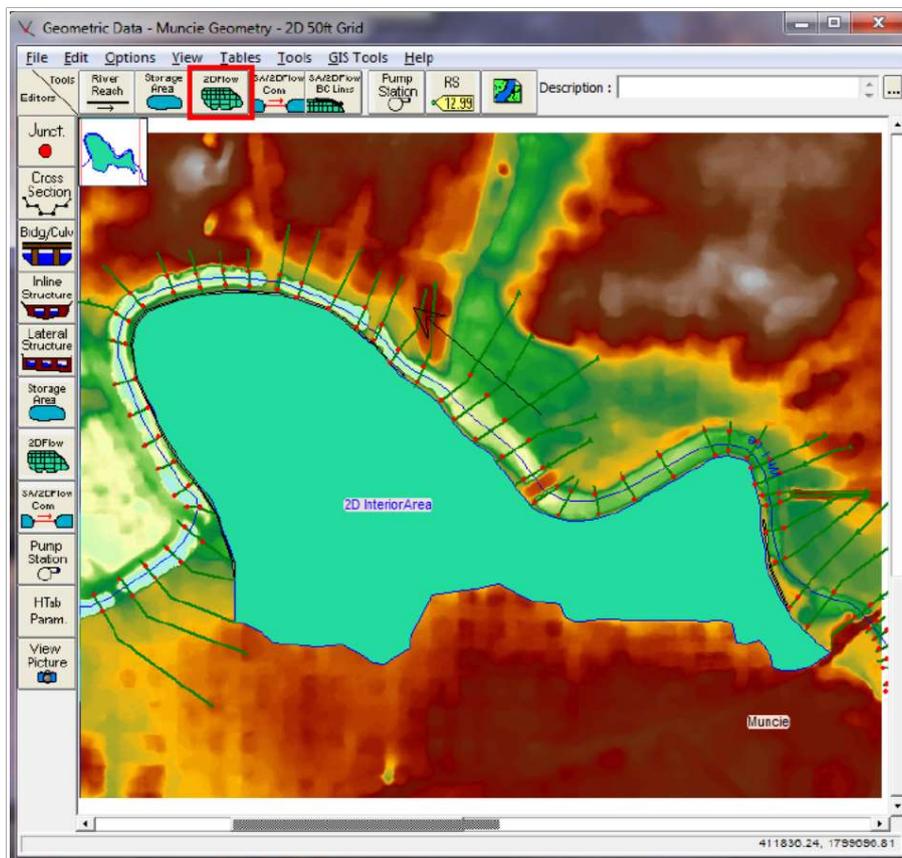


Fig. 41: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

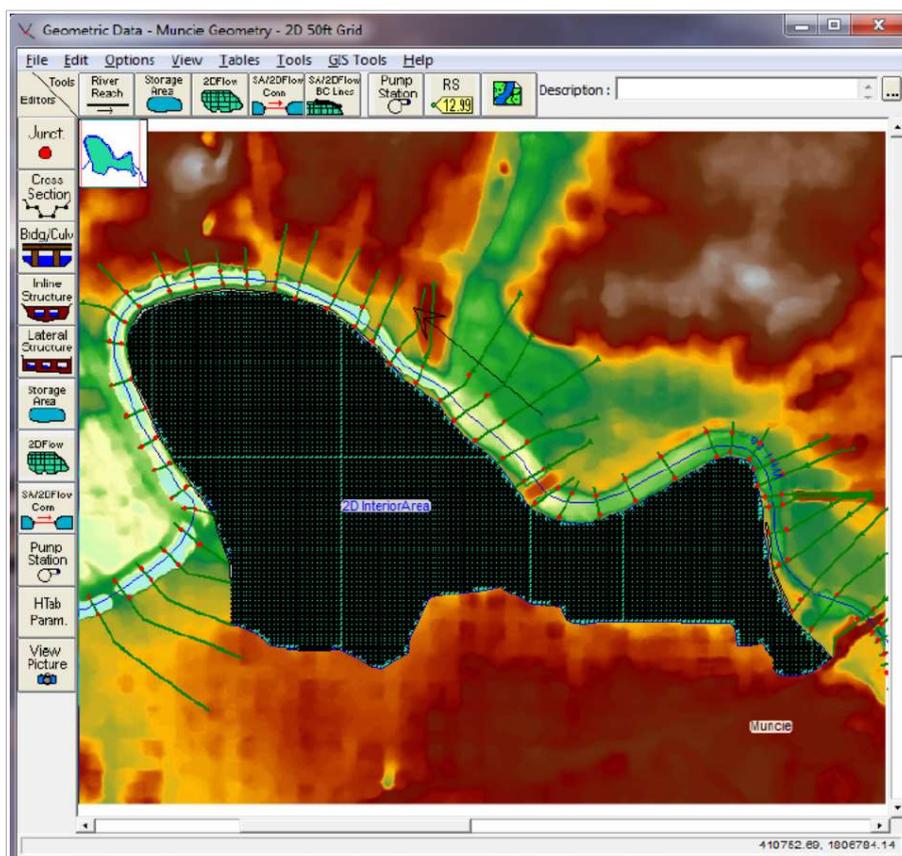


Fig. 42: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

9.

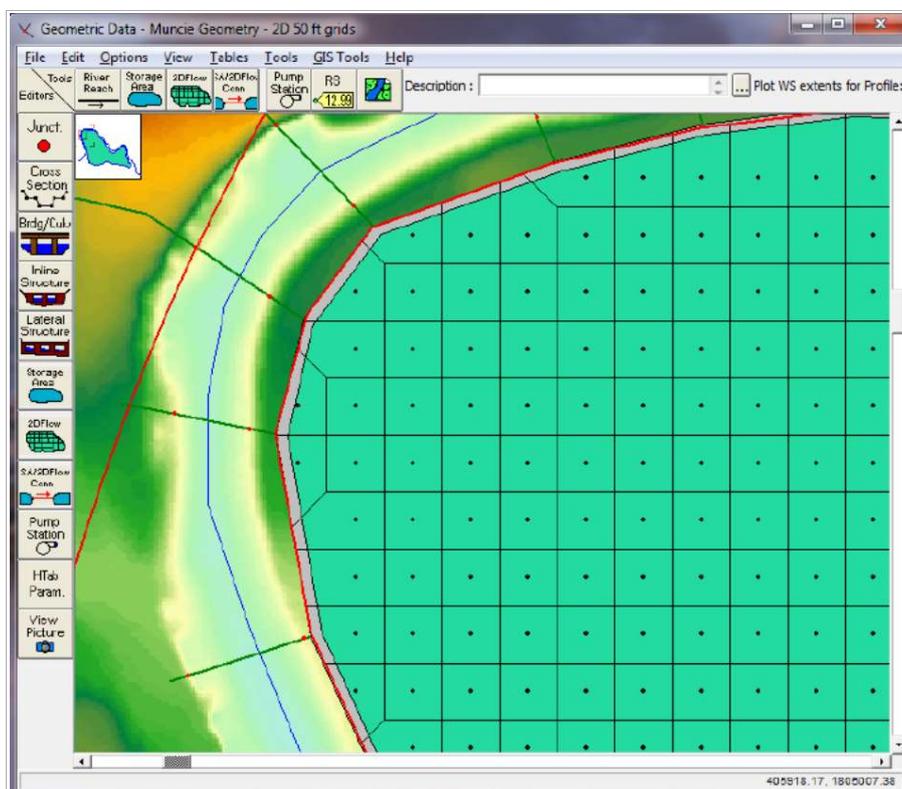


Fig. 43: Dettaglio della griglia di calcolo

## 6.2.2 – Progetto per la realizzazione di un di un edificio aule presso il Campus Universitario Salvatore Venuta

Il progetto di che trattasi riguarda i lavori di realizzazione di un edificio aule presso il campus universitario Salvatore Venuta. L'area oggetto di intervento, di proprietà dell'Università, è collocata in località Germaneto, margine nord del complesso Universitario vicino l'uscita dal Campus e si presenta in forma pressoché rettangolare ed allungata con un'estensione di circa 1700 mq.



Fig. 44: Inquadramento area intervento su ortofoto

L'impianto planimetrico generale dell'edificio in progetto è basato su due corpi di fabbrica principali (A e B) connessi da un corpo centrale (E) che assolve le funzioni di accesso e distribuzione, mentre i due corpi laterali hanno la funzione di ospitare le aule (A e B). L'edificio sarà realizzato su due livelli fuori terra con il piano copertura praticabile. L'accesso sui vari livelli sarà garantito da una scala interna e un ascensore posti nel corpo centrale, mentre alla testata dei due corpi di fabbrica (A e B) sono state inserite delle scale di emergenza che garantiscono l'evacuazione dallo stabile in caso di emergenza (C e D). La quota di calpestio del piano terra viene assunta pari alla quota assoluta di 64 m sul livello del mare e pertanto a ci rca 34 cm al di sopra della quota zero.

L'organismo edilizio si articola secondo le seguenti attività funzionali:

- *piano terra*
  - Corpo "E" una zona dedicate all'accesso alla struttura;
  - Corpo "A" una sala convegni con 223 posti a sedere e servizi igienici dedicati;
  - Corpo "B" due aule didattiche e Servizi igienici dedicati;

- *piano primo*
  - Corpo “E” una zona dedicate alla distribuzione sui due corpi A e B;
  - Corpo “A” tre aule didattiche con 66 posti a sedere e 6 aule con didattica individuale e annessi servizi igienici dedicati;
  - Corpo “B” tre aule didattiche con 66 posti a sedere e 6 aule con didattica individuale e annessi servizi igienici dedicati;
- *piano secondo*
  - Corpo “A” un locale tecnico;
  - Corpo “B” un locale tecnico;
  - Spazio aperto (terrazzo) corpo A e B fruibile dagli studenti.

La disposizione volumetrica e funzionale dell’organismo edilizio è basata sull’analisi delle strutture preesistenti nel Campus e delle attività richieste, che ha portato, dopo diverse ipotesi progettuali, alla soluzione proposta.



Fig. 45: Planimetria di progetto

## **6.2.3 Modellazione idraulica 1D - 2D stato di progetto**

### **Geometria del modello idraulico mono-bidimensionale**

Alla geometria dell'asta fluviale nello stato di progetto descritta al paragrafo 6.1.4, è stato accoppiato un dominio di calcolo 2D in sinistra idraulica, dove ricade l'edificio aule in oggetto.

Essendo la morfologia del territorio abbastanza pianeggiante, il dominio è stato esteso per un'area sufficientemente vasta perchè i limiti non influenzassero i risultati in corrispondenza dell'area di intervento mentre in destra è stato esteso finì al limite del bacino.

All'interno del dominio di calcolo il modello digitale del terreno è stato definito con una maglia di 5 x 5 mq. L'informazione topografica di base è rappresentata dal modello digitale del terreno ottenuto come restituzione del rilievo eseguito con drone in corrispondenza del corso d'acqua e dal modello digitale del terreno con cella di 1 m eseguito con tecnica Lidar dal MATTM nelle aree esterne; l'area di intervento è stata ricostruita a partire dal piano quotato rilevato con strumentazione GPS.

Come si può notare dalla Fig. 46, sono stati implementati i manufatti esistenti interferenti con il reticolo oggetto di studio consistenti nell'attraversamento della strada esistente e in una condotta che attraversa l'alveo e i manufatti in progetto rappresentati dal nuovo attraversamento e dalla passerella pedonale prevista nell'ambito di un altro progetto.

### **Condizioni al contorno**

Nell'implementazione di un modello di calcolo bidimensionale è essenziale definire nel modo più corretto le condizioni al contorno, proprio per questo motivo per sopperire a una non corretta conoscenza delle condizioni al contorno in genere si provvede ad estendere il dominio di calcolo in modo opportuno in modo da svincolare il funzionamento del modello nell'area di maggiore interesse rispetto a quello che avviene in corrispondenza dei contorni del dominio dove vengono imposte le condizioni al contorno. Per questo motivo, nel caso oggetto di studio si è prestata particolare attenzione nella definizione del dominio di calcolo in modo che fosse sufficientemente esteso. Come condizione al contorno in ingresso nell'asta principale sono stati considerati gli idrogrammi di piena ricavati come precedentemente specificato nell'ambito dello studio idrologico relativi ai tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, mentre come condizione di valle, per consentire la fuoriuscita dell'acqua dall'area 2D, è stato utilizzato il valore della pendenza naturale del terreno a valle pari a 0.02.

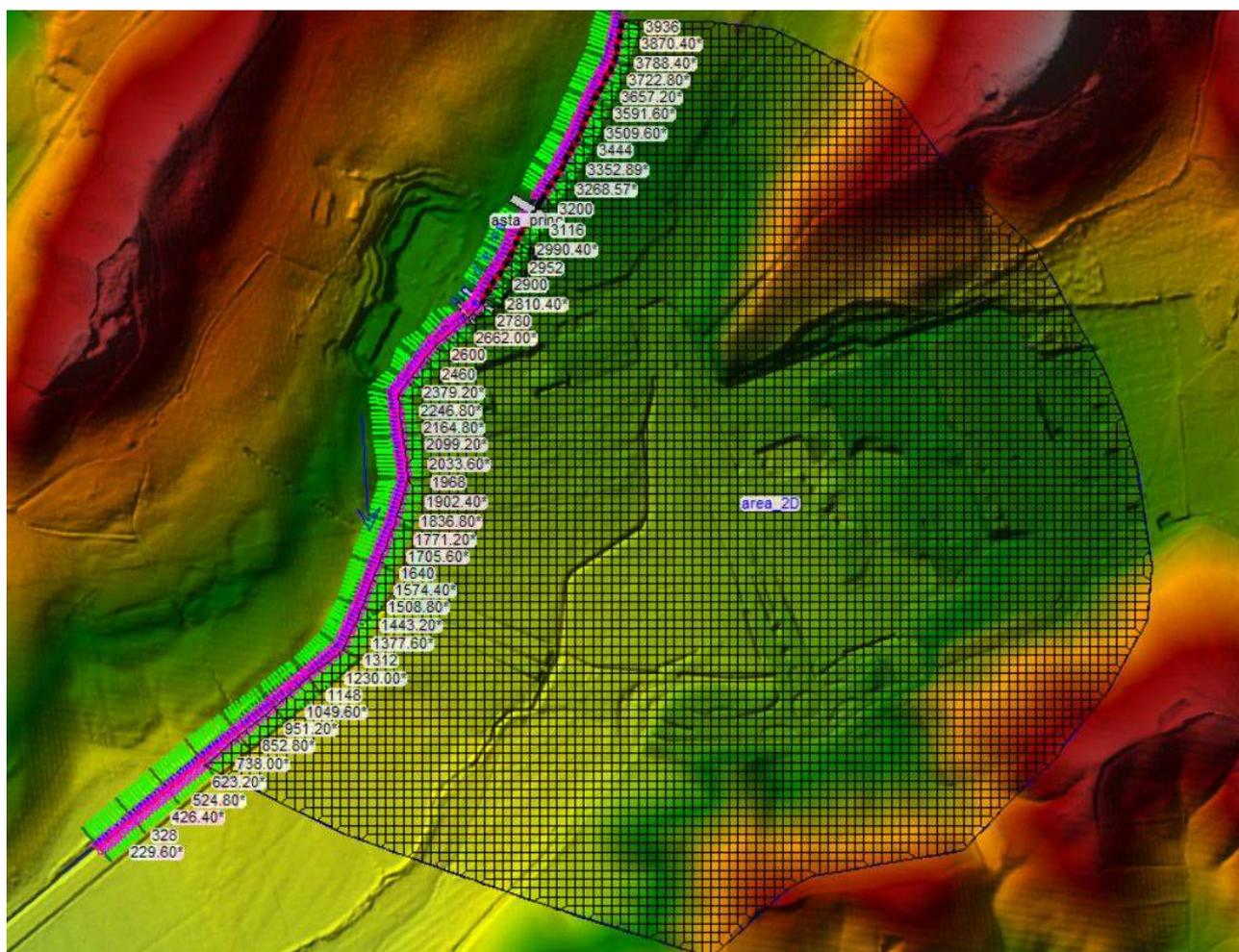


Fig. 46: Planimetria modello idraulico 1D - 2D e posizionamento delle Boundary Condition Lines (Condizioni al contorno)

## Risultati modellazione idraulica bidimensionale

Le simulazioni effettuate con riferimento ai tre tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, hanno permesso di individuare con maggiore dettaglio lo scenario degli allagamenti nella zona in cui ricade l'area di intervento. Si è proceduto dunque alla modellazione idraulica accoppiata in questa configurazione per valutare l'eventuale condizione di rischio idraulico della porzione di territorio su cui saranno realizzate le opere e per valutarne l'interferenza con il reticolo idrografico.

I risultati ottenuti mostrano sostanzialmente che lo scenario considerato è caratterizzato da un deflusso confinato all'interno dell'alveo. Modeste fuoriuscite si verificano nel tratto di monte con conseguenti deflussi che scorrono verso un'area esterna all'area di intervento. Nel dettaglio, l'area dove sorgerà il nuovo edificio aule risulta interessata solo marginalmente dai deflussi con battenti massimi compresi tra 10 e 20 cm nel caso di tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 10 cm per TR 50 anni e pari a 20 cm nel caso di TR 500 anni.

Nelle Figg. 47 e 48 sono riportate le mappe dei battenti e della velocità sull'intero dominio di calcolo relativamente ai valori massimi per la simulazione dello scenario duecentennale.

Le mappe dei battenti e della distribuzione della velocità sull'intero dominio di calcolo relativamente ai

valori massimi per la simulazione degli scenari relativi agli altri tempi di ritorno (50 e 500 anni) nella configurazione dello stato di progetto sono riportati nell' Allegato E – Verifica idraulica 2D stato di progetto – Battenti e velocità massimi TR 50, 200 e 500 anni.

Alla luce dei risultati ottenuti, considerato che:

- lo studio idrologico – idraulico condotto in questa sede ha dimostrato che le portate di piena 50-ennale, 200-ennale e 500-ennale sono contenute nel corso d'acqua con abbondante franco idraulico e non si verificano fuoriuscite lungo tutto il tratto di interesse;
- i deflussi provenienti dal tratto di monte interessano solo marginalmente l'area di interventi con battenti massimi compresi tra 10 e 20 cm nel caso di tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 10 cm per TR 50 anni e pari a 20 cm nel caso di TR 500 anni;
- l'attraversamento di progetto del corso d'acqua sarà realizzato secondo il dimensionamento condotto in questa sede, quindi assicurando il corretto smaltimento dei deflussi con tempo di ritorno pari a 200 anni con il franco idraulico prescritto dalla normativa vigente (1.00 m);

si può affermare che la realizzazione dell'edificio in oggetto non altera le condizioni di rischio idraulico della zona.



Fig. 47: Mappa dei battenti espressi in metri per  $Tr = 200$  anni



Fig. 48: Mappa delle velocità espresse in m/s per  $Tr = 200$  anni

## **7. – Conclusioni**

La presente relazione contiene lo studio idrologico e l'analisi idraulica di un tratto di un affluente in sinistra del Fiume Corace a corredo del progetto di realizzazione di un attraversamento carrabile previsto nell'ambito del progetto di realizzazione di un edificio aule presso il Campus Universitario Salvatore Venuta e finalizzato anche alla verifica di compatibilità idraulica dell'edificio aule.

Attualmente l'area in cui è previsto l'intervento risulta perimetrata come area di attenzione da PGRA nell'ambito delle Misure di Salvaguardia collegate alla adozione dei progetti di variante predisposti in attuazione degli aggiornamenti dei PAI alle nuove mappe del PGRA di cui alla delibera Cip n.1 del 20/12/2019 adottate con Decreto del Segretario Generale n. 540 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale del 13/10/2020.

L'intervento in oggetto è disciplinato dall'Art. 4 lett. d) delle Misure di Salvaguardia "Disposizioni per la aree di attenzione da PGRA" che consente la manutenzione, l'ampliamento o la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali a condizione che non producano un significativo incremento del valore del rischio idraulico dell'area. In particolare "Gli interventi di cui alla lett. d), a esclusione di quelli di manutenzione, devono essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica, predisposto nel rispetto delle disposizioni del Piano Stralcio territorialmente competente, che valuti i livelli di pericolosità e/o rischio della zona d'interesse ante e post operam e garantisca la compatibilità degli interventi con le disposizioni della normativa del Piano stralcio".

E' stato dunque predisposto il presente studio che si propone di analizzare in maniera dettagliata le condizioni di rischio idraulico dell'area di intervento nella configurazioni dello stato attuale, dimensionare gli interventi di sistemazione idraulica e l'attraversamento in progetto e valutare la compatibilità idraulica degli interventi previsti per la realizzazione dell'edificio aule, in accordo con quanto previsto dagli art. 4 e 5 delle Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia (NAMS) del PGRA.

Il tratto del corso d'acqua studiato, che si estende per oltre un km, è un affluente del Fiume Corace che scorre tra tra le residenze universitarie e l'Area giuridica, economica e delle scienze sociali.

Le metodologie utilizzate nelle varie fasi sono in pieno accordo con le indicazioni contenute nel Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Calabria (PAI). In particolare, per la modellazione idrologica è stato utilizzato un modello a parametri concentrati con l'ausilio del software HEC – HMS; per quanto riguarda invece la valutazione della propagazione delle piene lungo il tratto studiato, è stato utilizzato un modello con schema monodimensionale in regime di moto permanente con l'ausilio del software HEC-RAS.

Lo studio ha riguardato in primo luogo la ricostruzione del quadro conoscitivo del bacino di interesse al fine di meglio inquadrare le problematiche del rischio idraulico nel contesto territoriale, in questa fase le informazioni recuperate e inserite in una apposita banca dati territoriale hanno riguardato principalmente:

- orografia , geologia, permeabilità e uso del suolo del bacino sotteso;
- morfologia del tratto fluviale oggetto di studio;
- pluviometria della zona.

In una seconda fase, vedi cap. 5, è stato condotto uno studio idrologico basato su un modello afflussi-deflussi che ha permesso di individuare le caratteristiche degli eventi di piena attesi con i diversi tempi di ritorno richiesti dalla normativa (50, 200 e 500 anni).

Nella terza fase, vedi cap.6, sono state condotte le verifiche idrauliche nella configurazione attuale effettuate nel tratto d'interesse che hanno permesso di evidenziare le principali criticità dell'asta fluviale ed allo stesso tempo di definire la sezione idraulica necessaria al corretto smaltimento della piena duecentennale lungo il tratto del corso d'acqua oggetto di sistemazione idraulica e in corrispondenza dell'attraversamento in progetto. In particolare è stato in un primo momento implementato un modello idraulico con schema monodimensionale in moto permanente dell'asta fluviale che ha manifestato l'insufficienza della sponda sinistra lungo il tratto a monte dell'attraversamento esistente; è stato dunque implementata la verifica idraulica dello stato di progetto che prevede la sistemazione del corso d'acqua per un tratto di lunghezza circa pari a 270.00 m e la realizzazione di un attraversamento carrabile.

Al fine della verifica di compatibilità dell'edificio aule previsto in sinistra idraulica del corso d'acqua, è stato infine implementato un modello bidimensionale in moto vario dello stato di progetto per ricostruire lo scenario degli allagamenti relativi agli eventi di piena con tre tempi di ritorno  $T_r$  50, 200 e 500 anni.

Alla luce dei risultati ottenuti, considerato che:

- lo studio idrologico – idraulico condotto in questa sede ha dimostrato che nella configurazione di progetto le portate di piena 50-ennale, 200-ennale e 500-ennale sono contenute nel corso d'acqua con abbondante franco idraulico e non si verificano fuoriuscite lungo tutto il tratto di interesse;
- i deflussi provenienti dal tratto di monte interessano solo marginalmente l'area di interventi con battenti massimi compresi tra 10 e 20 cm nel caso di tempo di ritorno pari a 200 anni, pari a 10 cm per TR 50 anni e pari a 20 cm nel caso di TR 500 anni;
- l'attraversamento di progetto del corso d'acqua sarà realizzato secondo il dimensionamento condotto in questa sede, quindi assicurando il corretto smaltimento dei deflussi con tempo di ritorno pari a 200 anni con il franco idraulico prescritto dalla normativa vigente (1.00 m);

si può affermare che la realizzazione dell'edificio in oggetto non altera le condizioni di rischio idraulico della zona.

Vibo Valentia, Agosto 2022

Ing. Franca Comito

