

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza  
e Rio delle Vigne

SCALA:


-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 7 A


Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Polverelli	Gen. 2022	C. Cesali	Gen. 2022	G. Fadda	Gen. 2022	Vittorzi Gen. 2022

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili - Sezione delle Vigne  
Dott. Ing. Angelo Vittorzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova  
N° A2/0783

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	7
2.1	OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	8
2.2	ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO.....	8
3	STUDIO IDRAULICO.....	10
3.1	GENERALITÀ .....	10
3.2	DATI DI BASE .....	10
3.2.1	DATI TOPOGRAFICI.....	10
3.2.2	DATI IDROLOGICO-IDRAULICI .....	11
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO .....	14
3.3.1	APPROCCIO MATEMATICO (2D).....	14
3.3.2	GENERAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	19
3.3.3	DEFINIZIONE DEL DOMINIO E DELLA GRIGLIA DI CALCOLO .....	20
3.3.4	STRUTTURE IDRAULICHE ALL'INTERNO DEL MODELLO 2D .....	24
3.3.5	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	27
3.3.6	CALIBRAZIONE.....	28
3.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	29
3.4.1	SCENARIO "ANTE OPERAM" .....	29
3.4.2	SCENARIO "POST OPERAM" .....	31
4	VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO .....	34
5	VERIFICA ALLO SCALZAMENTO.....	35
6	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA.....	35
7	VERIFICA DELLE FASI DI REALIZZAZIONE DI OPERE IN ALVEO.....	37
8	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO .....	41
9	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO .....	42

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A


## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO.....	7
FIGURA 2: INFORMAZIONI TOPOGRAFICHE A DISPOSIZIONE.....	11
FIGURA 3: IDROGRAMMA DI PIENA DEL RIO CASAZZA ALL'INTERSEZIONE CON LA FERROVIA PER Tr 50, 200 E 500 ANNI.....	12
FIGURA 4: IDROGRAMMA DI PIENA DEL RIO DELLE VIGNE ALL'INTERSEZIONE CON LA FERROVIA PER Tr 50, 200 E 500 ANNI.....	13
FIGURA 5: ESTRATTO DELLE MAPPE DI ALLAGAMENTO DAL PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO PER IL RIO CASAZZA ..	14
FIGURA 6 – SOFTWARE HEC RAS 6.0: SISTEMA DI RIFERIMENTO. ....	17
FIGURA 7 – SOFTWARE HEC RAS: IN GRIGIO IL DATO DELLA GRIGLIA DTM, IN ROSSO LA CELLA DI CALCOLO DEL MODELLO IDRAULICO. A DESTRA LA SCHEMATIZZAZIONE EFFETTUATA DA HEC RAS SULLE FACCE DEL BORDO DELLA CELLA. ....	19
FIGURA 8: ESTRATTO DEL DTM OTTENUTO INTEGRANDO IL DTM ORIGINARIO CON LE SEZIONI TRASVERSALI; IL RIQUADRO MOSTRA UN DETTAGLIO DEL TRATTO INTERPOLATO.....	20
FIGURA 9: ESTENSIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO.....	21
FIGURA 10: DOMINIO DI CALCOLO E POSIZIONE DEI RILEVATI UTILIZZATI PER LA DEFINIZIONE DELLA MESH.....	22
FIGURA 11: DETTAGLIO DELLA MESH ALLA CONFLUENZA TRA RIO CASAZZA E RIO DELLE VIGNE .....	23
FIGURA 12: ESEMPIO DI DEM A SINISTRA ESTRAZIONE DEI PROFILI LUNGO I CONFINI DELLE CELLE, A DESTRA CURVA LIVELLO-VOLUME INVASATO .....	24
FIGURA 13: STRUTTURE IDRAULICHE INSERITE ALL'INTERNO DEL MODELLO.....	25
FIGURA 14: SCHEMATIZZAZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA REGIONE CASAZZA SUL RIO CASAZZA.....	26
FIGURA 15: CANALE DI CONFLUENZA DEL RIO DELLE VIGNE NEL RIO CASAZZA.....	26
FIGURA 16: CONDIZIONI AL CONTORNO IMPOSTE AL MODELLO.....	27
FIGURA 17: CONFRONTO TRA GLI ALLAGAMENTI OTTENUTI CON IL MODELLO E QUELLI DEFINITI DAL PAI PER IL RIO CASAZZA E IL RIO DELLE VIGNE .....	28
FIGURA 18: MODELLO NUMERICO 2D, RIO CASAZZA E RIO DELLE VIGNE: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, ANTE OPERAM, Tr = 200 ANNI. ....	30
FIGURA 19: STRALCIO DELLA PLANIMETRIA DI PROGETTO IN QUEL DI BORGHETTO SANTO SPIRITO. ....	31
FIGURA 20: STRALCIO DEL PROFILO DEL RIO CASAZZA, DOVE SI MOSTRA L'INNALZAMENTO DEL FONDO DELL'ALVEO SOPRA LA GALLERIA CASTELLARI.....	32
FIGURA 21: STRALCIO DEL PROFILO DI PROGETTO, NUOVO VIADOTTO IV03. ....	32
FIGURA 22: MODELLO NUMERICO 2D, RIO CASAZZA E RIO DELLE VIGNE: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, POST OPERAM, Tr = 200 ANNI. ....	33
FIGURA 23 – RIO CASAZZA, SOPRA LA GALLERIA CASTELLARI: SEZIONE DI PROGETTO.....	36
FIGURA 24: CORRELAZIONE TRA TEMPO DI RITORNO DI VERIFICA DELLE OPERE PROVVISORIALI E VITA NOMINALE DELL'OPERA IN FUNZIONE DELLA DURATA DEL CANTIERE, FISSATO UN TEMPO DI RITORNO DI RIFERIMENTO PARI A 200 ANNI.....	39
FIGURA 25: LIVELLI IDRICI - VI03.....	40

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 4 di 43

## INDICE DELLE TABELLE


TABELLA 1 – ELENCO ELABORATI ANNESSI.....	9
TABELLA 2 – VALORI DI PICCO DEGLI EVENTI ESTREMI CONSIDERATI .....	12
TABELLA 3: SCABREZZE ADOTTATE NEL MODELLO .....	28
TABELLA 4: LIVELLI MASSIMI IN CORRISPONDENZA DEL TRACCIATO FERROVIARIO PER VARI TEMPI DI RITORNO (ANTE OPERAM) .....	30
TABELLA 5: LIVELLI MASSIMI IN CORRISPONDENZA DEL TRACCIATO FERROVIARIO PER VARI TEMPI DI RITORNO (POST OPERAM) .....	34
TABELLA 6 – VIADOTTO IV03 (RIO CASAZZA): VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO. ....	34

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne</p>	<p><b>COMMESSA</b> IV0I</p>	<p><b>LOTTO</b> 00</p>	<p><b>CODIFICA</b> D 09 RI</p>	<p><b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007</p>	<p><b>REV.</b> A</p>	<p><b>FOGLIO</b> 5 di 43</p>

## 1 PREMESSA

Il presente studio idraulico è stato redatto nell'ambito del progetto definitivo per gli interventi di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, nella tratta Finale Ligure - Andora.

Lo studio idraulico in oggetto ha lo scopo di definire l'idrodinamica del tratto investigato per i più rilevanti tempi di ritorno di interesse tecnico (50, 200 e 500 anni), ponendo particolare attenzione all'interferenza tra i corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne e la linea ferroviaria in progetto.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI


Per quanto riguarda la normativa relativa alla definizione del rischio allagamenti, il riferimento normativo principale è costituito dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE (recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 per ogni distretto idrografico). Lo scopo del PGRA è quello di orientare, nel modo più efficace, l'azione sulle aree a rischio significativo organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio, definire gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le amministrazioni e gli enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

Allo stato attuale, sia a livello nazionale che all'interno del distretto dell'Appennino Settentrionale, non sussiste completa uniformità relativamente alla valenza dei PGRA quali strumenti tecnico-normativi di riferimento per l'indirizzo e la regolazione delle trasformazioni del territorio e la gestione del rischio idraulico nei confronti dell'attività edilizia e dell'urbanistica. In particolare variano il rapporto tra PGRA e Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) a suo tempo approvati – e in parte ancora vigenti – alla scala dei bacini idrografici della legge 183/1989, oggi abrogata. Con riferimento a questo importante aspetto, per il territorio del distretto idrografico Appennino Settentrionale, negli ex bacini regionali liguri il PAI si applica sia per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica che per la parte di pericolosità idraulica, sia come norme che come perimetrazioni.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne, vengono presi in esame nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino del Torrente Nimbalto, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 577 del 03/02/2021.

Altri riferimenti normativi includono

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

La zona di studio è ubicata nel Comune di Borgetto Santo Spirito (SV), al limite con i Comuni di Loano e Boissano, tra l'abitato di Boissano, poco a valle del viadotto autostradale della A10, e il paese di Loano. Immediatamente a monte del tracciato ferroviario in progetto il Rio Castagne si immette nel Rio Casazza. Invece, 200 m a valle del tracciato in progetto è presente la confluenza del Rio delle Vigne con il Rio Casazza. Il Rio Casazza è poi attraversato da alcuni ponti della viabilità minore, tra cui si citano, da monte valle: gli attraversamenti di Via Montello, Via Regione Vigne, Via Magenta e Via dei Prigliani.

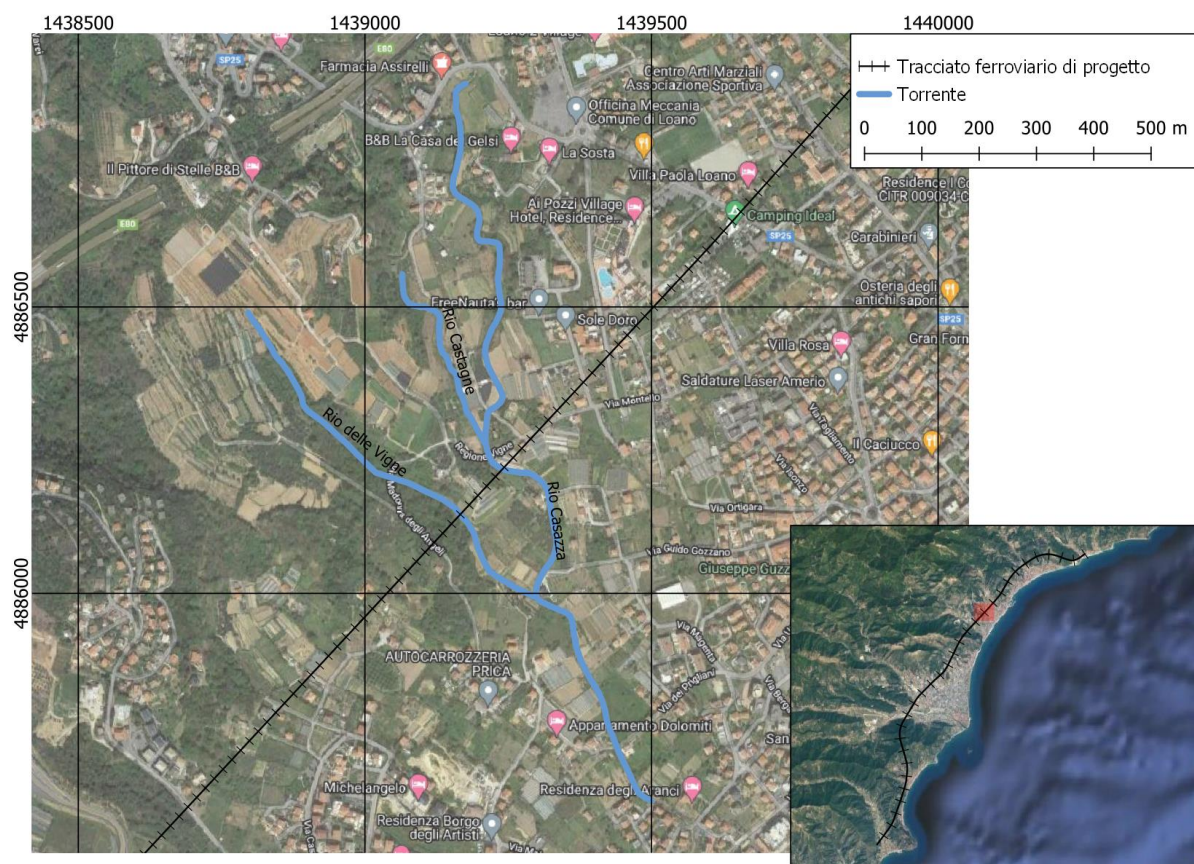



Figura 1 – Inquadramento generale dell'area di studio

*NOTA: il sistema di riferimento adottato per le coordinate indicate nelle mappe presentate nel presente rapporto è Gauss Boaga Fuso Ovest.*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 2.1 OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare allo stato attuale i processi idrodinamici che caratterizzano gli eventi estremi relativi ai corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne, in particolare all'intersezione con la linea ferroviaria in progetto.

L'obiettivo sopra riportato è stato raggiunto articolando lo studio secondo le seguenti attività principali, descritte nella presente relazione:


- Studio delle normative di riferimento;
- Reperimento di analisi idrauliche esistenti nell'area di studio;
- Analisi dei dati idrologico-idraulici;
- Implementazione di un modello numerico bidimensionale per l'analisi dello stato attuale.

## 2.2 ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

Nella tabella seguente, gli elaborati annessi al presente studio.


ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica generale	-	IV0I00D09RIID0001001
Planimetria livelli idrici Rio Casazza e Rio delle Vigne - Modello 2D - ante operam - Tr 50 anni	1:2000	IV0I00D09P7ID0002025
Planimetria livelli idrici Rio Casazza e Rio delle Vigne - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni	1:2000	IV0I00D09P7ID0002026
Planimetria livelli idrici Rio Casazza e Rio delle Vigne - Modello 2D - ante operam - Tr 500 anni	1:2000	IV0I00D09P7ID0002027
Planimetria valori velocità Rio Casazza e Rio delle Vigne - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni	1:2000	IV0I00D09P7ID0002031
Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - ante operam - Tav. 1 di 2	varie	IV0I00D09WZID0002017
Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - ante operam - Tav. 2 di 2	varie	IV0I00D09FZID0002018
Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - post operam - Tav. 1 di 2	varie	IV0I00D09WZID0002019
Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - post operam - Tav. 2 di 2	varie	IV0I00D09FZID0002020



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 9 di 43

<b>ELABORATO</b>	<b>SCALA</b>	<b>CODIFICA</b>
Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - ante operam	varie	IV0I00D09FZID0002013
Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Rio Casazza e Rio delle Vigne - post operam	varie	IV0I00D09FZID0002014
Planimetria sistemazione idraulica – Rio Casazza e Rio delle Vigne		IV0I00D09PZID0002007

**Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

### 3 STUDIO IDRAULICO

#### 3.1 GENERALITÀ

Lo studio idraulico è stato basato sull'implementazione di un modello numerico atto a rappresentare le dinamiche idrauliche durante gli eventi di piena del fiume in fase di studio. L'approccio metodologico seguito è partito dall'integrazione ed elaborazione di dati di base, fondamentale di natura topografica per poter correttamente implementare la geometria del sistema. Una volta elaborata la base topografica è stato possibile sviluppare un modello idraulico con il software HEC-RAS<sup>1</sup>(ver. 6.1), con schema puramente bidimensionale. La taratura dei modelli è stata effettuata in riferimento a quanto riportato nel Piano stralcio di assetto idrogeologico. Lo scenario analizzato è quello relativo allo stato di fatto.

#### 3.2 DATI DI BASE

I dati di base utilizzati per lo sviluppo dello studio idraulico includono:

- Dati topografici;
- Dati idrologico-idraulici.

##### 3.2.1 Dati topografici

I dati topografici utilizzati per la ricostruzione della geometria del sistema comprendono diverse tipologie di informazione, provenienti da fonti differenti:

- Rilievo delle sezioni trasversali del 2010;
- Rilievo delle sezioni trasversali del 2021;
- Rilievo celerimetrico del 2010;
- Modello Digitale del Terreno del Ministero dell'Ambiente con risoluzione a 1 m.

La Figura 2 fornisce la mappa con il dettaglio dell'estensione delle informazioni topografiche a disposizione.

<sup>1</sup> <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

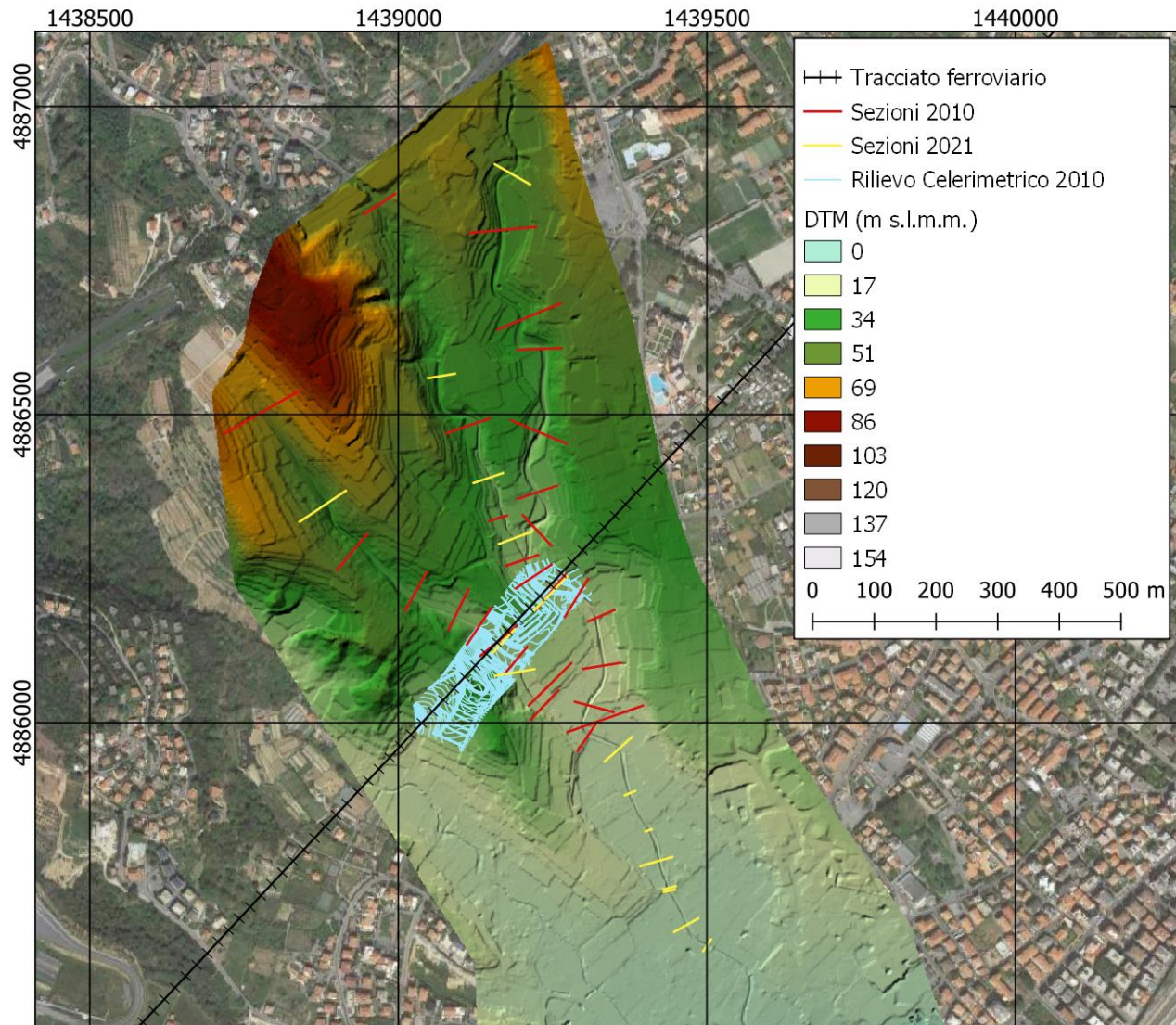



Figura 2: Informazioni topografiche a disposizione

### 3.2.2 Dati idrologico-idraulici

Le informazioni di base di carattere idrologico-idraulico includono i dati utilizzati per la definizione delle condizioni al contorno dei modelli e per la loro calibrazione.

Per quanto riguarda l'idrologia, si è fatto riferimento all'elaborato IV0I00D09RIID0001001A, che ha portato alla definizione degli idrogrammi di piena per assegnato tempo di ritorno immediatamente a monte del tratto di asta analizzato. Tali idrogrammi sono stati determinati secondo diversi approcci statistici applicati ai dati di precipitazione, sia secondo Gumbel sia secondo VAPI, comunemente accettati in letteratura nella valutazione degli eventi estremi, implementando su tale base un modello di trasformazione afflussi-deflussi e scegliendo poi i valori più cautelativi

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

per la condizione al contorno del modello idraulico. Gli idrogrammi più cautelativi sono risultati quelli ottenuti con il metodo Gumbel per il Rio Casazza, quelli ottenuti con il metodo VAPI per il Rio delle Vigne e il Rio delle Castagne, e sono stati utilizzati per la determinazione delle aree potenzialmente inondabili di riferimento.

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m <sup>3</sup> /s)
<b>Rio Casazza</b>	
Tr 50	25
Tr 200	34
Tr 500	39
<b>Rio delle Vigne</b>	
Tr 50	2
Tr 200	3
Tr 500	4
<b>Rio Castagne</b>	
Tr 50	9
Tr 200	12
Tr 500	14

Tabella 2 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

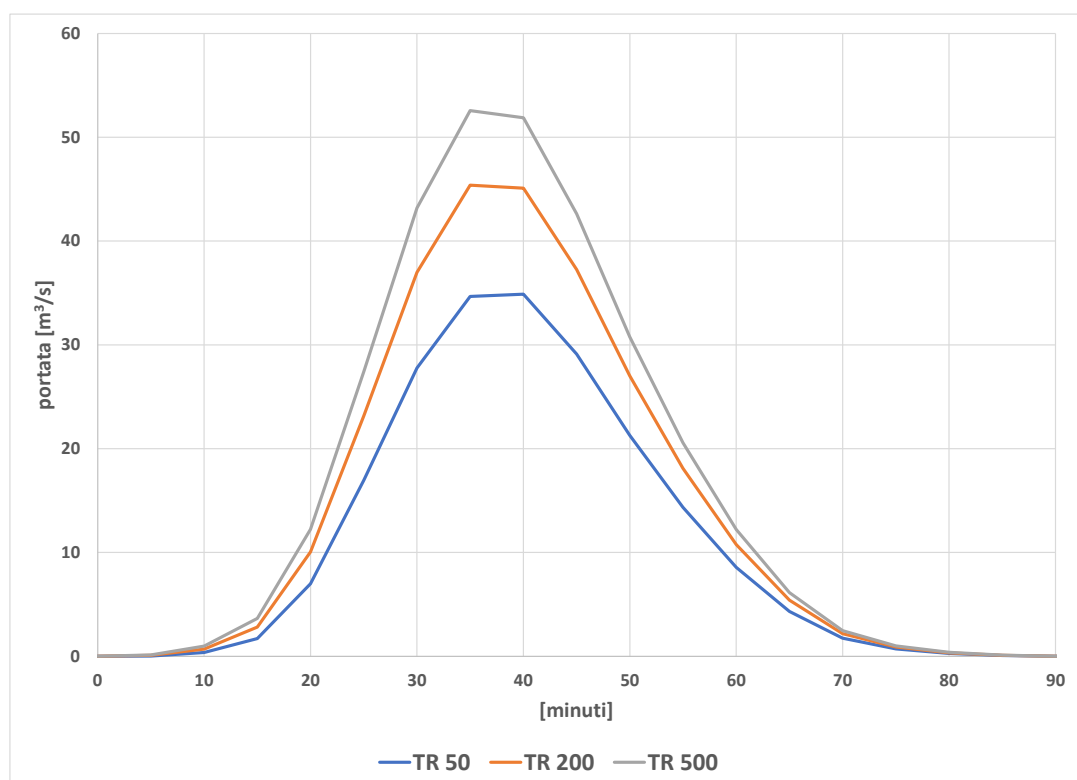


Figura 3: idrogramma di piena del Rio Casazza all'intersezione con la ferrovia per Tr 50, 200 e 500 anni

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 09 RI	ID 0002 007	A	13 di 43

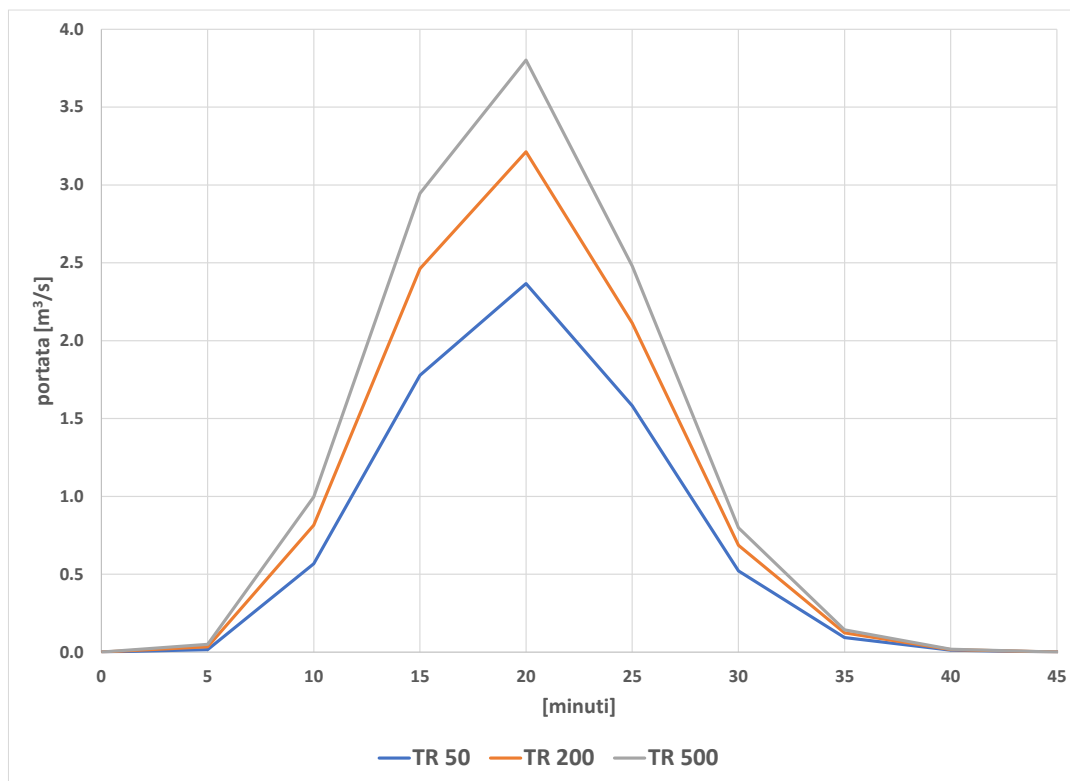


Figura 4: idrogramma di piena del Rio delle Vigne all'intersezione con la ferrovia per Tr 50, 200 e 500 anni

Altra informazione utilizzata è costituita dalle aree di allagamento per evento con duecento anni di tempo di ritorno definite dall'Autorità di Bacino. La mappa a disposizione riguarda solamente il tratto a valle della confluenza tra il Rio Casazza e il Rio delle Vigne.



**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RI	ID 0002 007	A	14 di 43

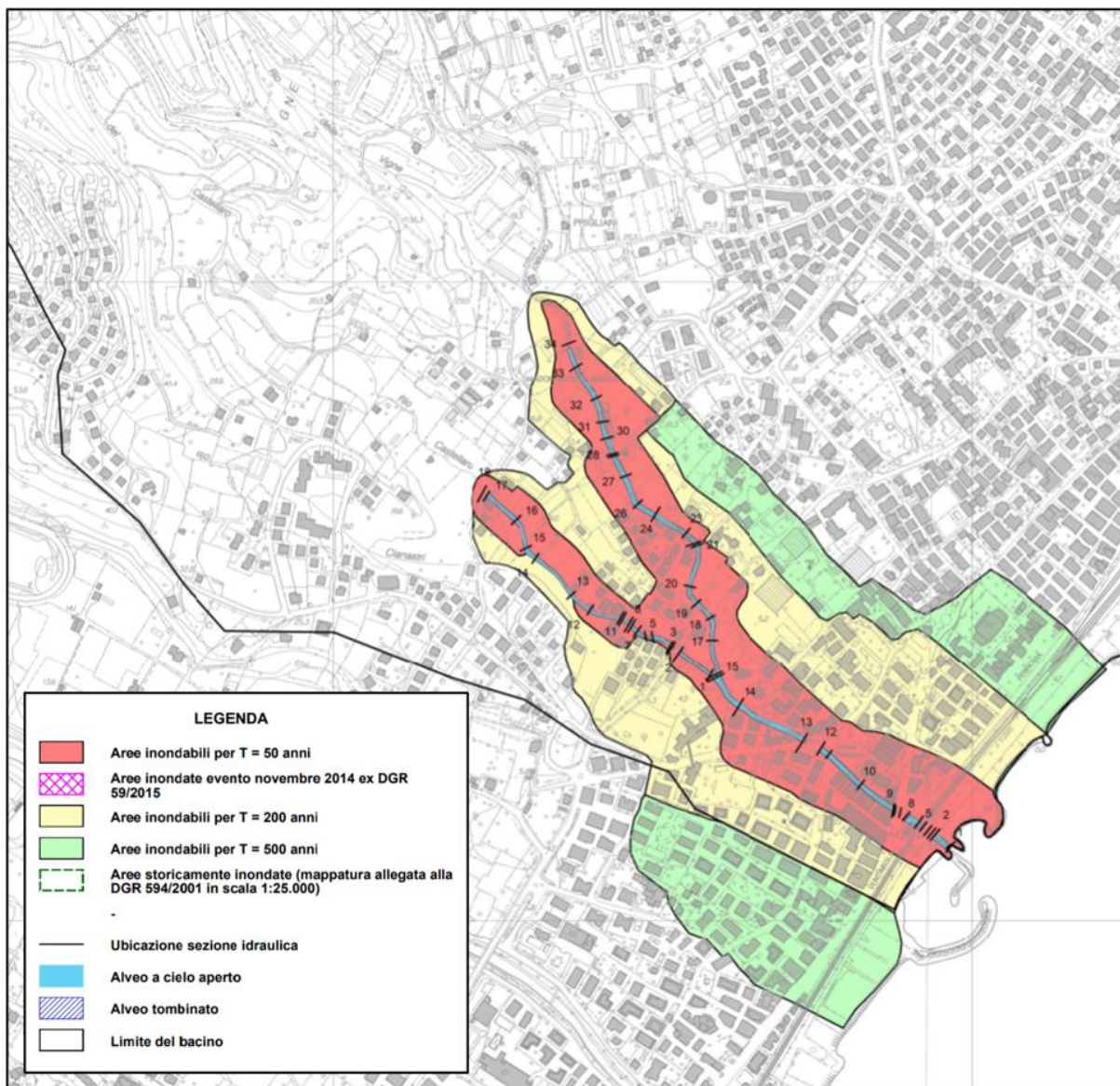



Figura 5: Estratto delle mappe di allagamento dal Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico per il Rio Casazza

### 3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO


#### 3.3.1 Approccio matematico (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale dei tratti in fase di studio è il software HEC-RAS 6.1 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione del software HEC-RAS sono:


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. 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.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step 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 agli elementi finiti.
- 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 permettendo una perfetta coerenza a ogni step 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.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 16 di 43

- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborato per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molti grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- 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 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.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è 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.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

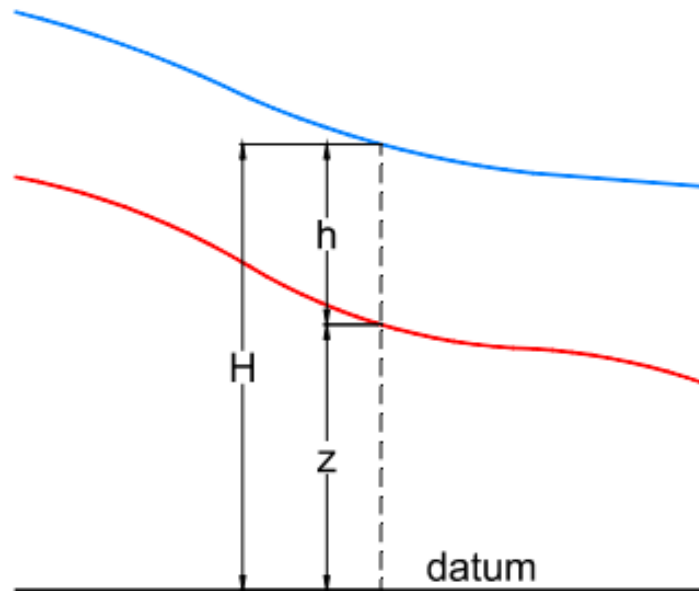


Figura 6 – Software Hec Ras 6.0: sistema di riferimento.


Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con  $z(x,y)$ , l'altezza idrica con  $h(x,y,t)$  e l'altezza del pelo libero con  $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ .

**Conservazione della massa:** assumendo il fluido incompressibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui  $t$  è il tempo,  $u$  e  $v$  sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni  $x$  e  $y$ , e  $q$  è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

**Conservazione della quantità di moto:** quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\nu_t$  è il coefficiente di viscosità turbolenta,  $c_f$  è il coefficiente di attrito al fondo, ed  $f$  è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$


in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $|V|$  è il modulo del vettore velocità,  $C$  è il coefficiente di Chézy e  $R$  è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning  $C = R^{1/6}/n$ , in cui  $n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \cdot |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli.

Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo, infatti, in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa.

Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

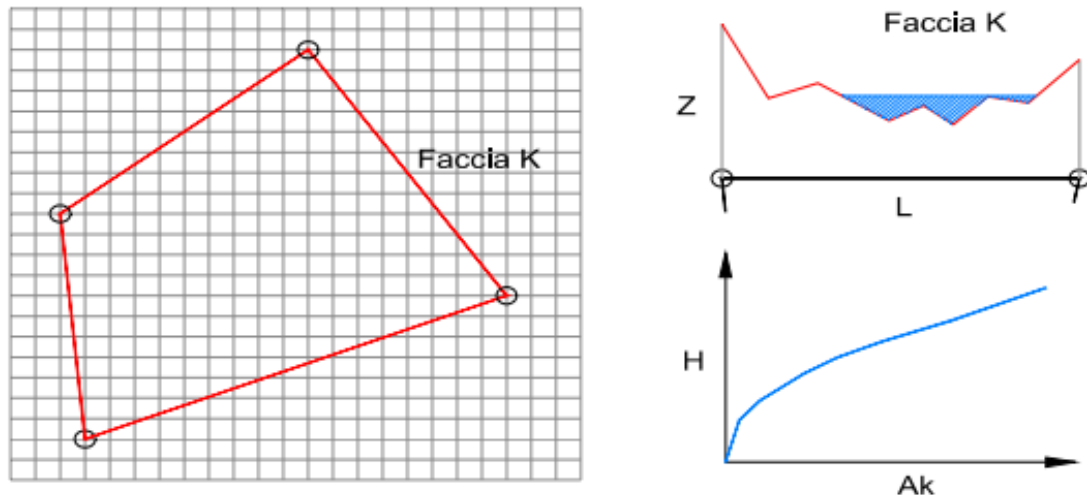



Figura 7 – Software Hec Ras: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

### 3.3.2 Generazione del Modello Digitale Del Terreno

Il primo passo per l'implementazione della geometria del modello prevede la definizione delle quote del terreno dell'alveo e della pianura alluvionale tramite la generazione di un Modello Digitale del Terreno (DTM). Tali informazioni sono state estratte dai dati topografici disponibili descritti nel paragrafo 3.2.1, avendo cura di integrare le informazioni derivate dalle sezioni trasversali rilevate in alveo con quelle relative al piano campagna provenienti dal modello digitale del terreno. Effettivamente si è scelto di sostituire il dato in alveo fornito dal DTM con quello ottenibile dall'interpolazione tra le sezioni, poiché il confronto tra le due tipologie di dati ha evidenziato una non corretta definizione dell'alveo nel DTM;

Siccome i valori ottenibili dal DTM in tutto il tratto di studio si discostano significativamente dalle sezioni, si è scelto di interpolare queste ultime, integrando la morfologia in alveo ricostruita con il DTM al di fuori dell'alveo. Pertanto, a tale scopo è stata effettuata una interpolazione geospaziale delle sezioni rilevate, in ambiente GIS tramite il software XS Interpolator<sup>2</sup>, in modo da poter prendere in considerazione le variazioni puntuali presenti tra due sezioni rilevate, siano esse dovute a restringimenti, allargamenti o cambiamenti di direzione del corso d'acqua; il risultato di tale

<sup>2</sup><https://shop.m3eweb.com/home/32-xs-interpolator.html>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

interpolazione è costituito da un modello digitale dell'alveo, integrato con il DTM per le quote del terreno di piano campagna.

Inoltre, l'interpolazione è stata effettuata considerando anche il rilievo celerimetrico del 2010.

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo; in figura sono indicati anche i profili delle sezioni trasversali rilevate, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

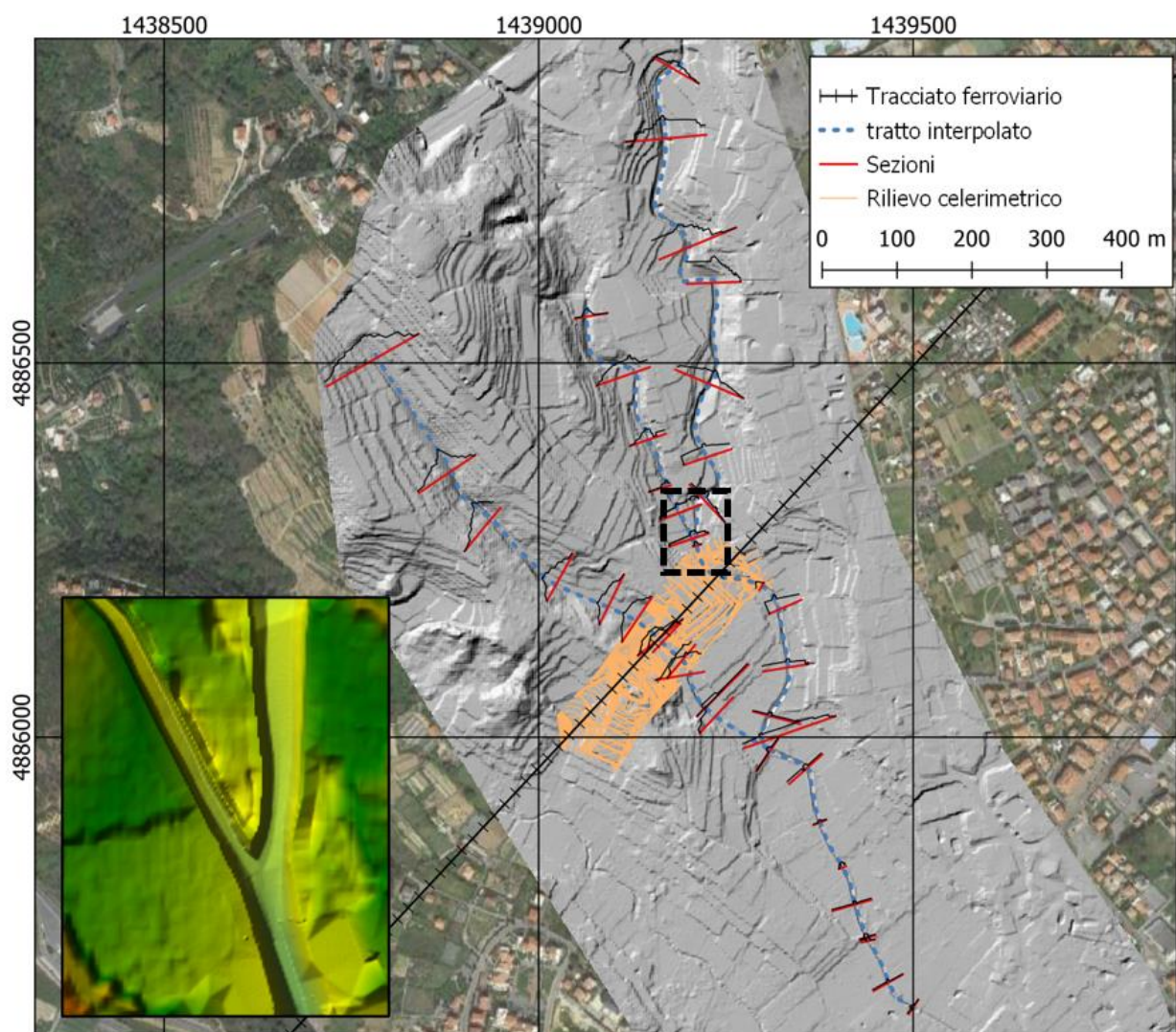



Figura 8: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali; il riquadro mostra un dettaglio del tratto interpolato

### 3.3.3 Definizione del dominio e della griglia di calcolo

Per l'implementazione del modello si è in prima battuta identificato un dominio di calcolo che fosse coperto dalle informazioni topografiche disponibili e che fosse sufficientemente esteso a monte e a valle del nodo di interesse, in modo che il calcolo non risenta delle condizioni al contorno imposte.





 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 22 di 43

La griglia così definita è costituita da 60'094 celle, di estensione media pari a 3.61 m<sup>2</sup>, con una variazione da 0.29 m<sup>2</sup> a 20.02 m<sup>2</sup>.

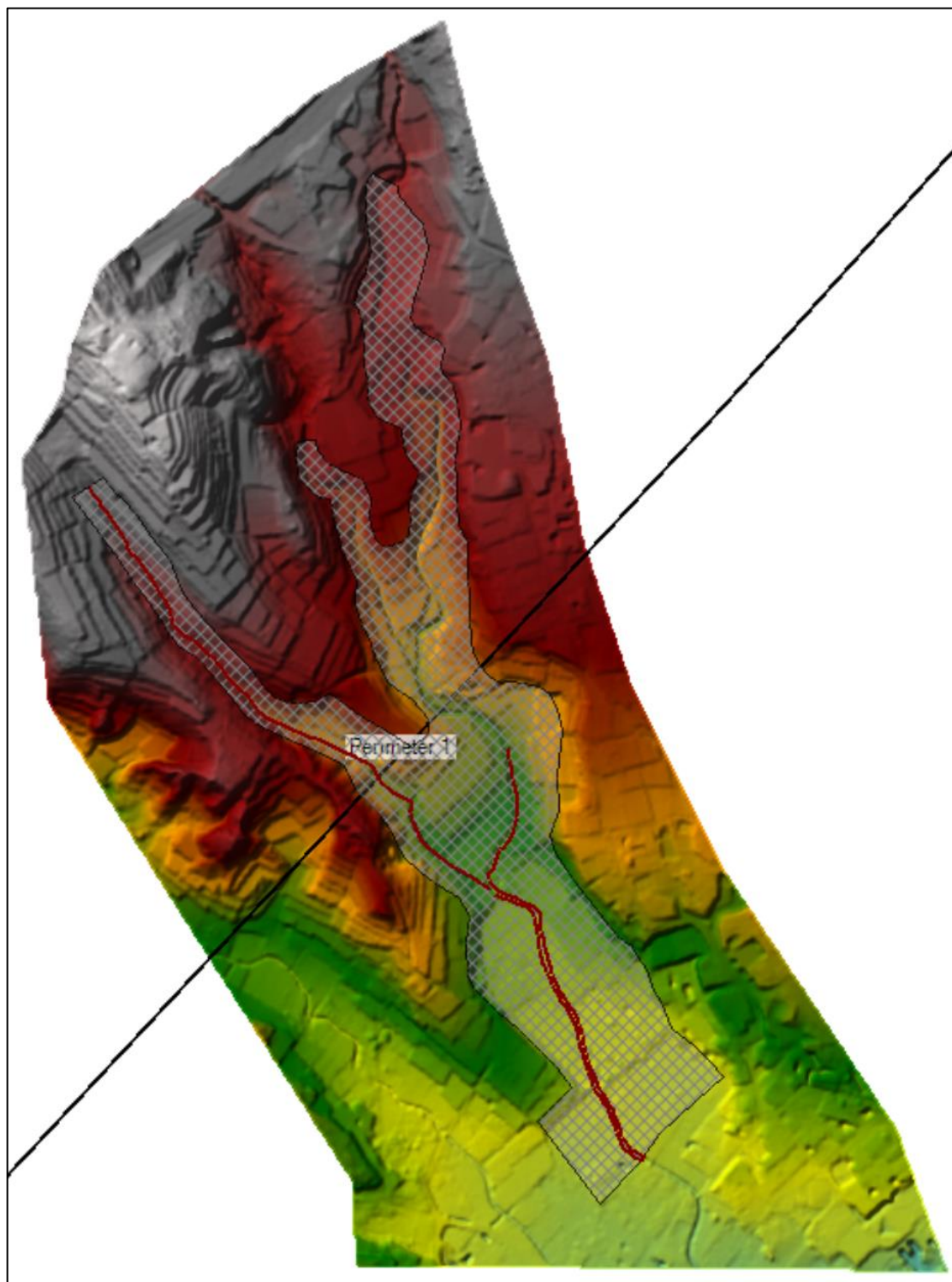


Figura 10: Dominio di calcolo e posizione dei rilevati utilizzati per la definizione della mesh



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

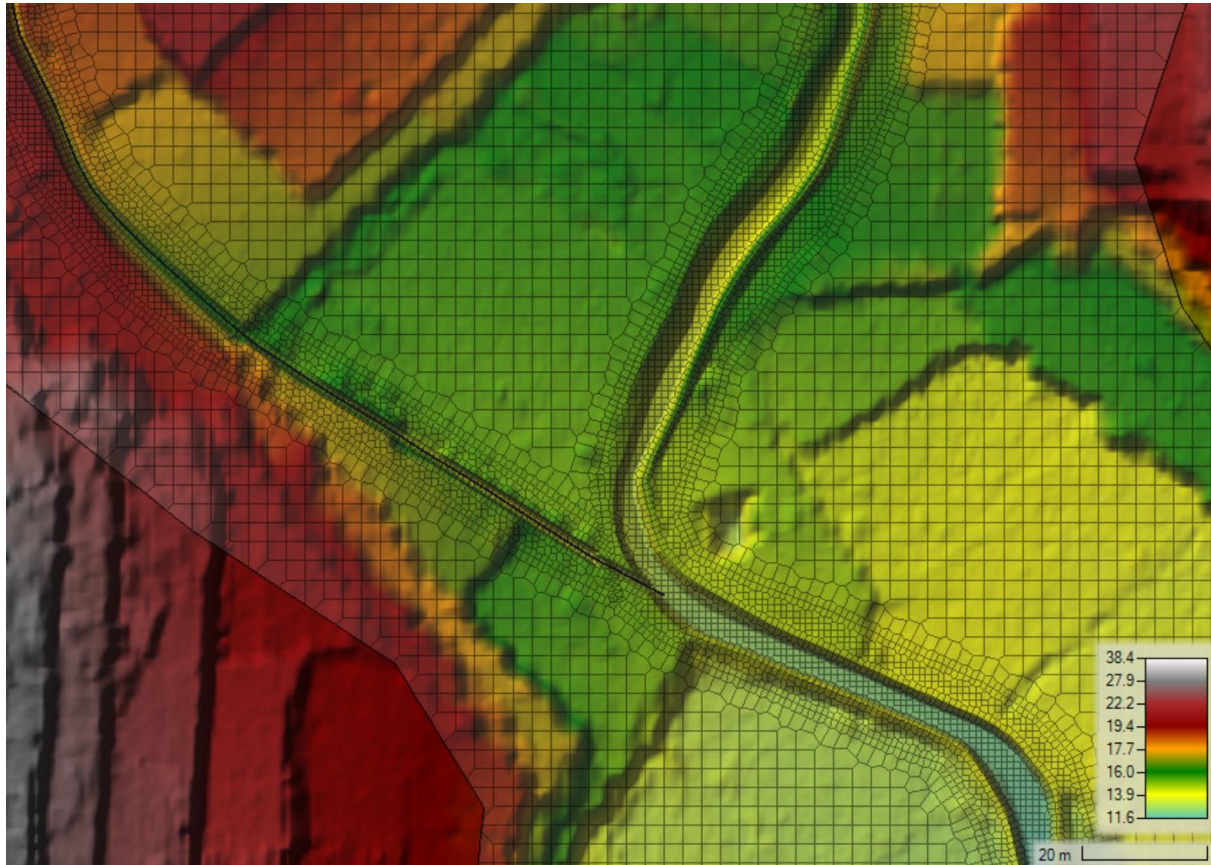



Figura 11: Dettaglio della mesh alla confluenza tra Rio Casazza e Rio delle Vigne

La discretizzazione delle celle è stata ritenuta sufficientemente dettagliata per rappresentare la dinamica di allagamento; tuttavia, è opportuno considerare che, in realtà, il livello di dettaglio del modello HEC-RAS non dipende solo dalle dimensioni della cella. La specificità della modellazione in RAS 2D è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Questa prerogativa lo differenzia in maniera netta rispetto a tutti gli altri software di modellazione 2D, dove l'informazione topografica è al più sui nodi di calcolo.

Infatti, pur mantenendo un solo punto di calcolo all'interno di ogni cella della griglia e quindi calcolando un solo livello, il pre-processore del software per ogni cella determina, sulla base del DEM sotteso dalla cella:

- la relazione livello-volume invasato nella cella, che utilizza nella soluzione dell'equazione di continuità,
- la relazione livello area di deflusso per ogni contorno di scambio tra 2 celle, che utilizza nella soluzione dell'equazione del moto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IVOI	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

Questa tecnica permette quindi di considerare dettagli topografici non legati alla dimensione delle celle di calcolo, ma legati alla definizione del DEM di base.

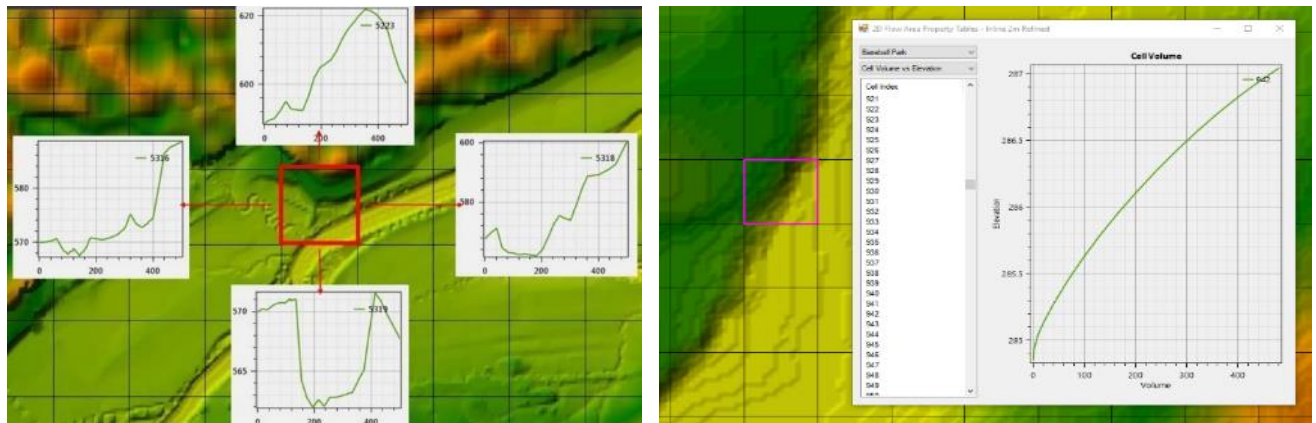


Figura 12: Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato

Anche il post-processore del software per identificare le aree allagate utilizza il DEM, quindi all'interno di una cella di calcolo considera allagati solo i pixel del DEM che hanno una quota inferiore a quella del livello idrico calcolato per la cella stessa.

### 3.3.4 Strutture idrauliche all'interno del modello 2D

Tutti gli attraversamenti individuati nel dominio di calcolo sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti, secondo le informazioni geometriche disponibili.

In aggiunta, è stato poi stati inserito anche il canale che costituisce la parte terminale del Rio delle Vigne, conflueno così nel Rio Casazza; tale canale è stato schematizzato come modifica locale al DTM.

Le figure seguenti mostrano le posizioni delle strutture, la schematizzazione di un attraversamento sul Rio Casazza all'interno del modello, e il canale che costituisce la confluenza del Rio delle Vigne nel Rio Casazza.



**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 09 RI	ID 0002 007	A	25 di 43

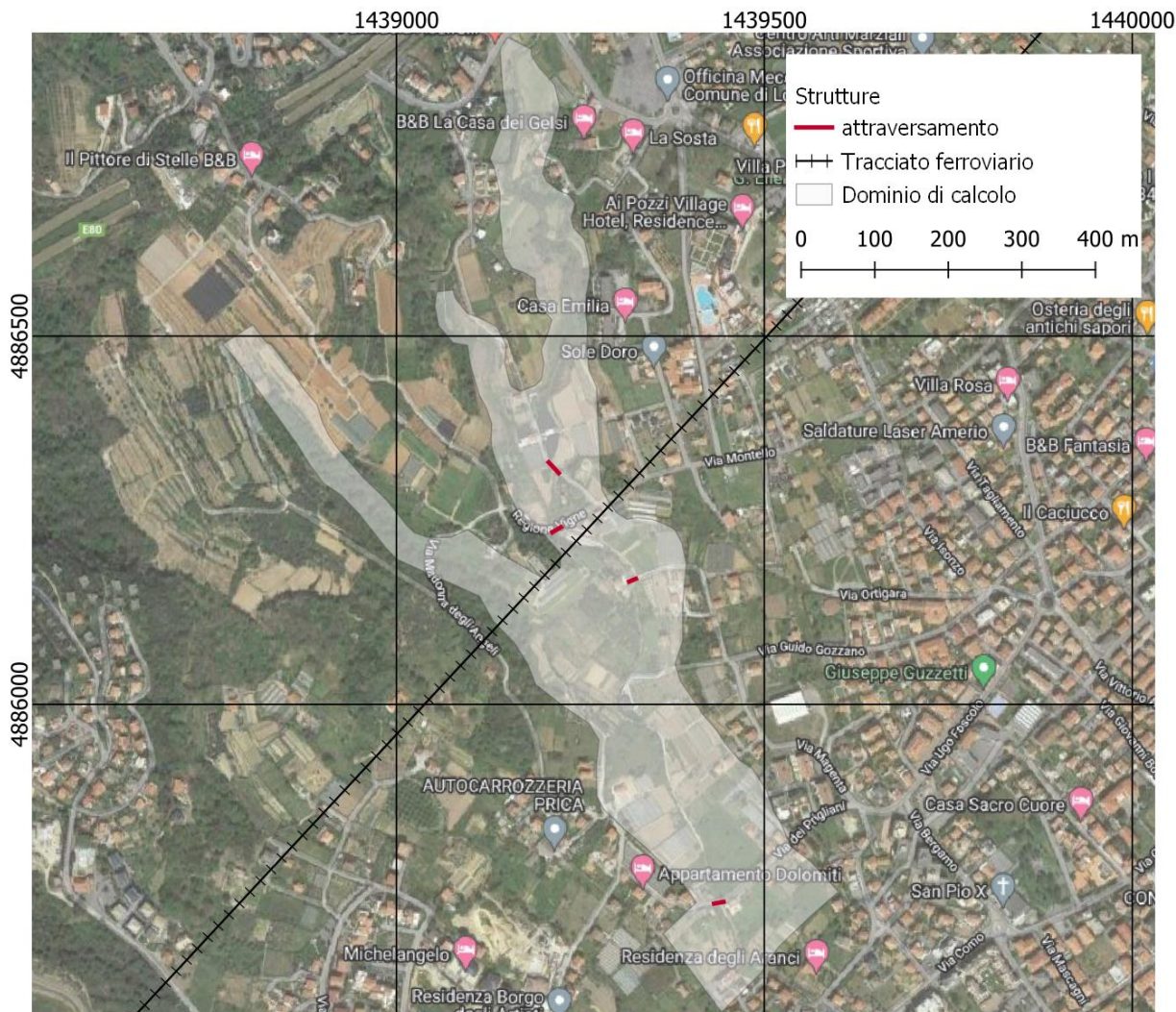


Figura 13: Strutture idrauliche inserite all'interno del modello

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

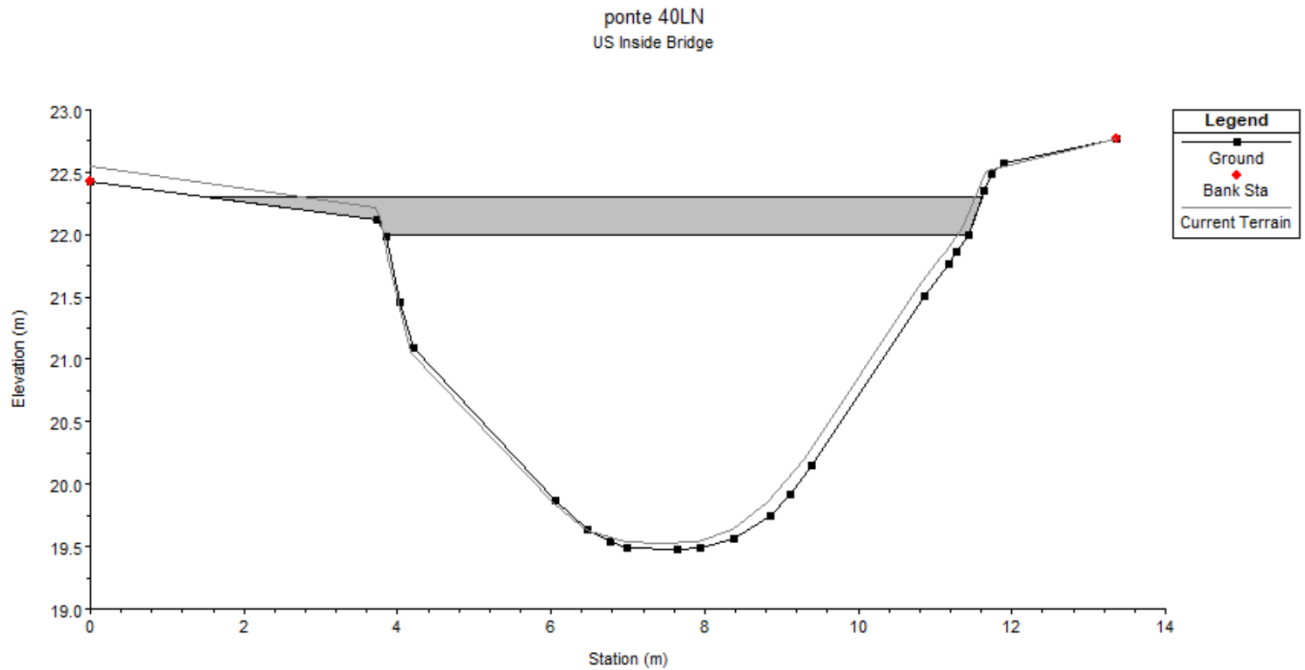


Figura 14: Schematizzazione dell'attraversamento di Via Regione Casazza sul Rio Casazza

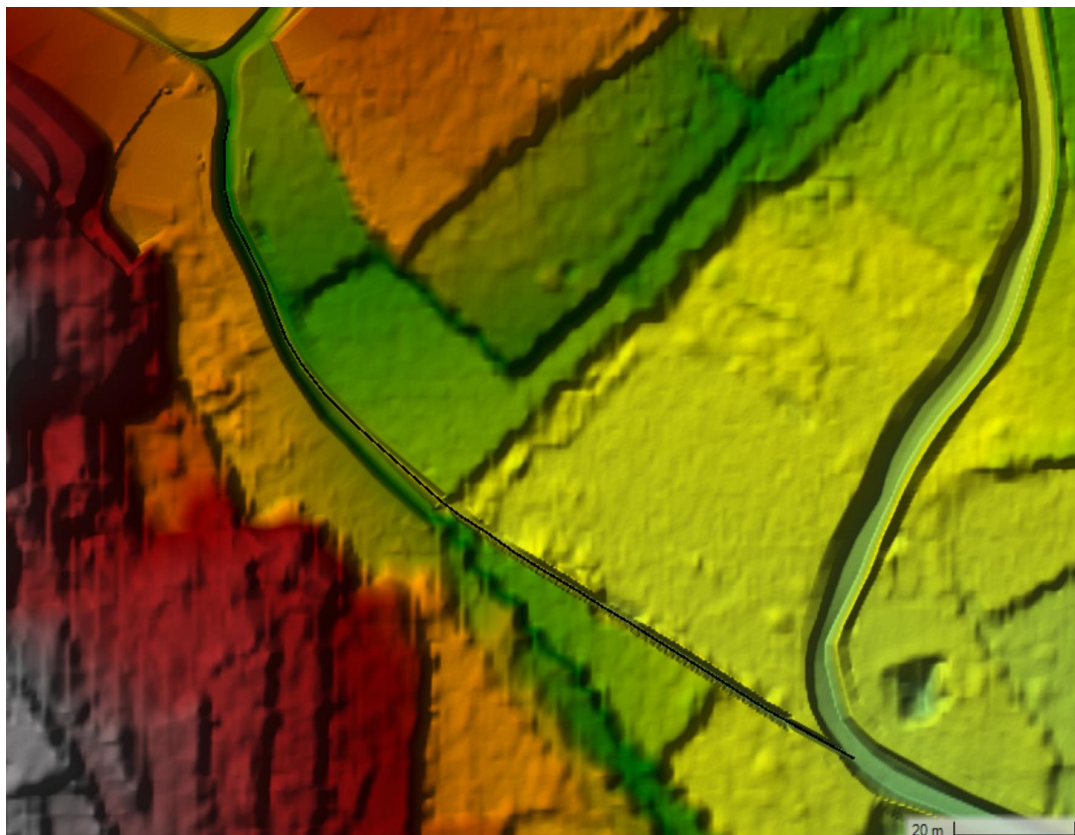


Figura 15: Canale di confluenza del Rio delle Vigne nel rio Casazza



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

### 3.3.5 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:


- idrogrammi di piena di riferimento in input a monte;
- condizioni al contorno di valle, considerando anche una condizione laterale a sud-ovest del dominio, dove è previsto il passaggio di acqua attraverso il contorno del dominio: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno.

Si sottolinea che le simulazioni numeriche sono state eseguite nell'ipotesi di non contemporaneità degli eventi di piena, ossia gli idrogrammi sono stati traslati nel tempo in modo da ottenere, secondo una procedura iterativa, un picco combinato sul Rio Casazza a valle della confluenza pari a quello definito dall'Autorità di Bacino a valle della confluenza per i tre tempi di ritorno di riferimento.

La Figura 16 mostra la schematizzazione delle principali condizioni al contorno imposte.



Figura 16: Condizioni al contorno imposte al modello

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

### 3.3.6 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, si è potuto calibrare il modello unicamente sulla base degli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino per un evento duecentennale.

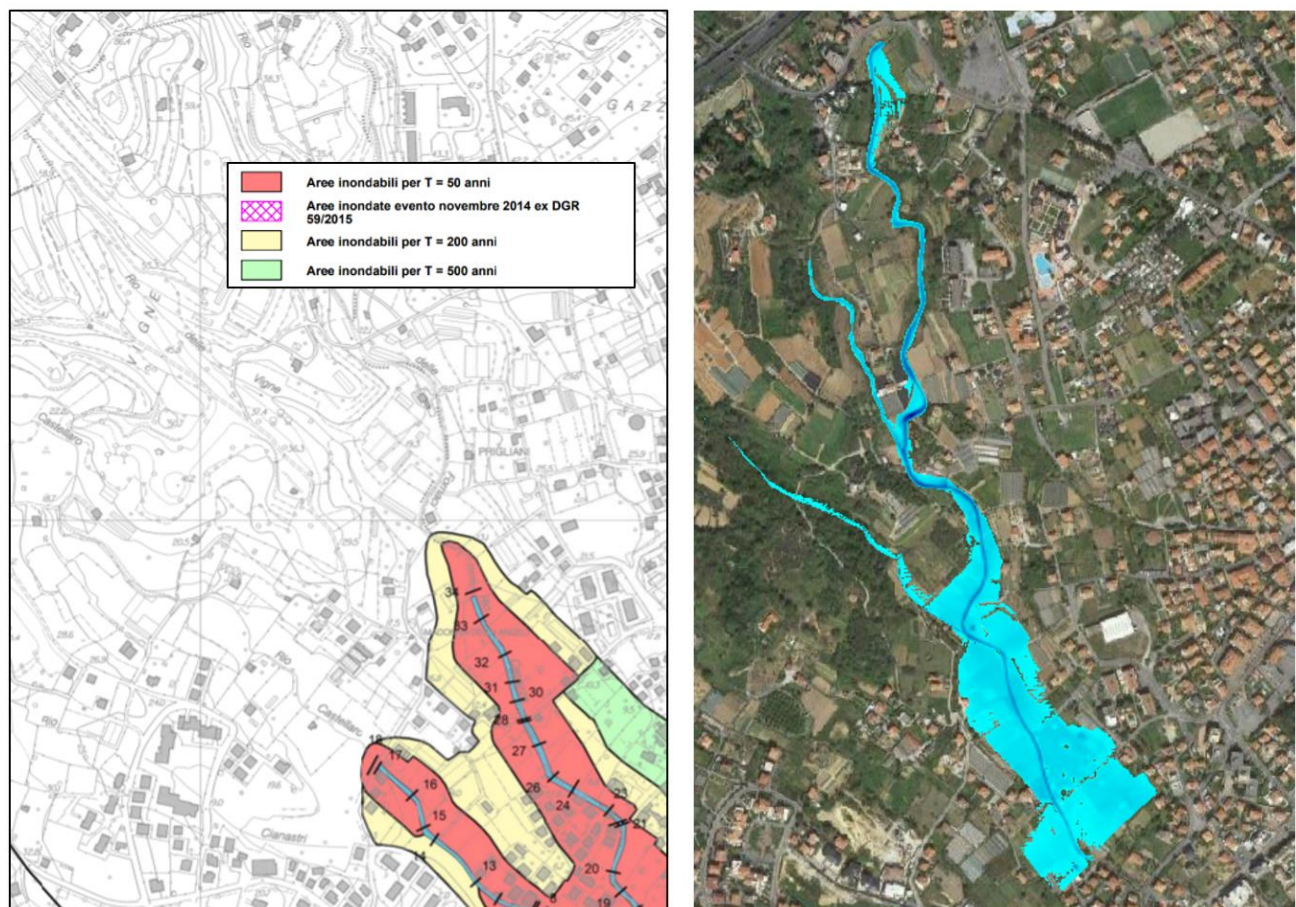



Figura 17: Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI per il Rio Casazza e il Rio delle Vigne

I risultati descritti nelle figure precedenti sono stati ottenuti con il seguente set di scabrezze, riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning  $n$  [ $s \cdot m^{-1/3}$ ]. In particolare, il valore assegnato in alveo è stato scelto sia secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari, che in funzione dell'estensione degli allagamenti definiti dal PAI; il valore assegnato all'area di piana alluvionale è stato invece valutato in modo da considerare la presenza degli edifici; tale scabrezza non appare tuttavia influenzare in modo significativo i livelli in alveo, che costituiscono l'oggetto dell'analisi condotta.

Tabella 3: Scabrezze adottate nel modello



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

<b>Copertura</b>	<b>n</b>
Alveo torrenti	0.05
Alveo canale Rio delle Vigne	0.03
Pianura alluvionale	0.08

### 3.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Dopo le procedure di calibrazione, il modello 2D, così come descritto nel paragrafo 3.3, è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, utilizzando gli idrogrammi definiti nel paragrafo 3.2.2.

Nello specifico, per la configurazione:

- *ante operam*, si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam*, si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica o di sistemazione idraulica dell'alveo.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione del campo dei tiranti e delle velocità in tutto il dominio di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario.

#### 3.4.1 Scenario "ante operam"

Di seguito, si riportano gli stralci delle aree potenzialmente inondabili, ottenute da modello 2D, per il tempo di ritorno di progetto ( $Tr = 200$  anni). Si rimanda agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 2.2.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 09 RI	ID 0002 007	A	30 di 43

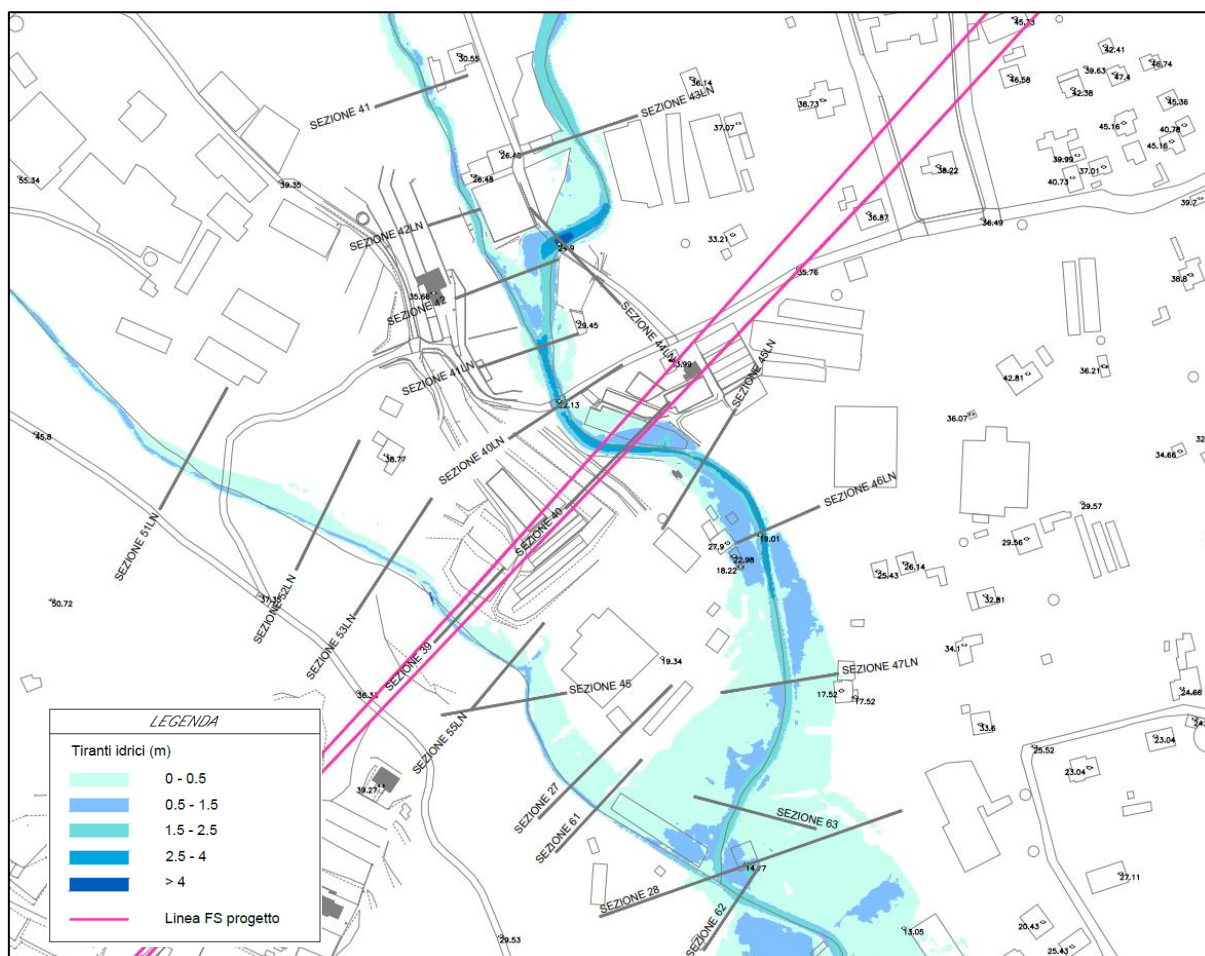



Figura 18: Modello numerico 2D, Rio Casazza e Rio Delle Vigne: aree potenzialmente inondabili, ante operam, Tr = 200 anni.

Come evidenziato nella figura precedente, l'area di intervento è soggetta ad esondazioni delle piene dei due rii oggetto di studio. Nella tabella seguente sono riportati i livelli idrici ( $Tr = 50, 200, 500$  anni), allo stato attuale, in corrispondenza del tracciato ferroviario.

Tabella 4: Livelli massimi in corrispondenza del tracciato ferroviario per vari tempi di ritorno (ante operam)

	Livello (m s.l.m.m.)
<b>Rio Casazza (Sezione 40)</b>	
Tr 50	21.41
Tr 200	21.70
Tr 500	21.85
<b>Rio delle Vigne (Sezione 39)</b>	
Tr 50	21.86
Tr 200	21.96
Tr 500	22.05

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

### 3.4.2 Scenario “post operam”

Sulla base dei risultati ottenuti nello scenario “*ante operam*”, si è proceduto all’implementazione della configurazione “*post operam*”. Nello specifico, in quel di Borghetto Spirito, si prevede la realizzazione delle seguenti opere ed interventi:

- nuovo viadotto stradale IV03, per l’attraversamento del Rio Casazza;
- innalzamento del fondo dell’alveo del Rio Casazza, per permettere il passaggio della nuova galleria Castellari in progetto;
- opere di sistemazione/protezione idraulica in alveo del Rio Casazza e del Rio Delle Vigne.

Nella figura seguente uno stralcio della planimetria di progetto in quel di Borghetto Santo Spirito.

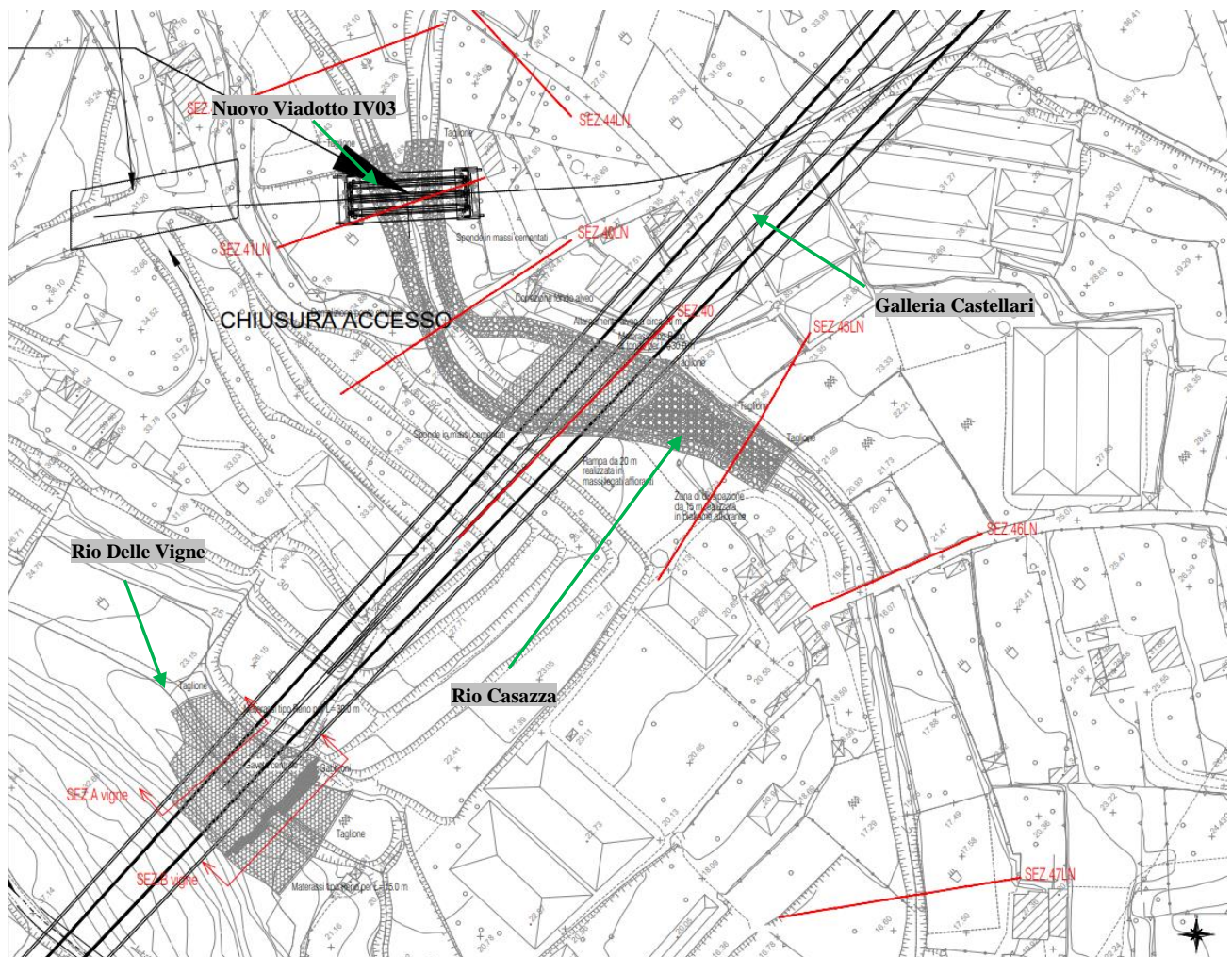



Figura 19: Stralcio della planimetria di progetto in quel di Borghetto Santo Spirito.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

Nella seguente figura, il profilo del rio Casazza, si mostra l'innalzamento del fondo dell'alveo del Rio Casazza, per permettere il passaggio della nuova galleria Castellari in progetto.

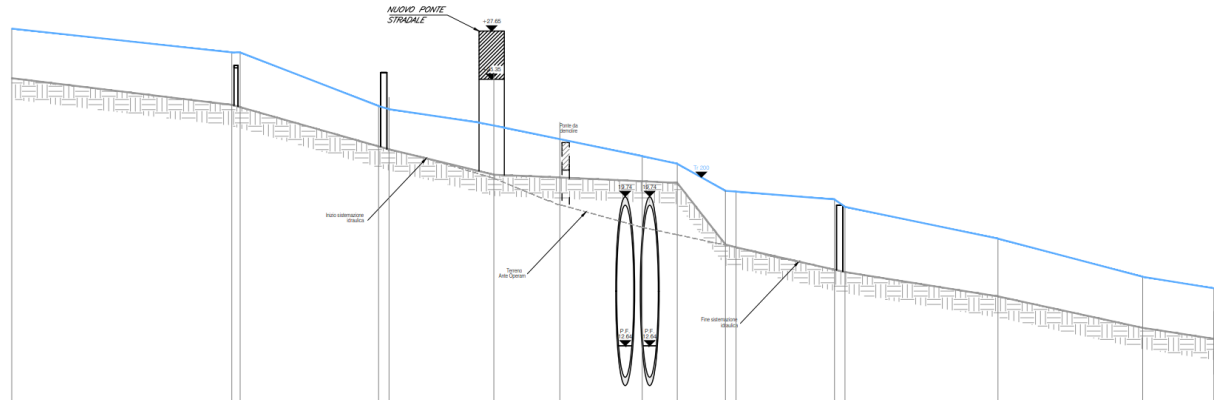


Figura 20: Stralcio del profilo del Rio Casazza, dove si mostra l'innalzamento del fondo dell'alveo sopra la galleria Castellari.

Di seguito invece uno stralcio del profilo, da cui si evince la configurazione/scansione del nuovo viadotto IV03.

Nello specifico, il viadotto IV03 è costituito di un'unica campata che scavalca completamente l'alveo inciso del R. Casazza.

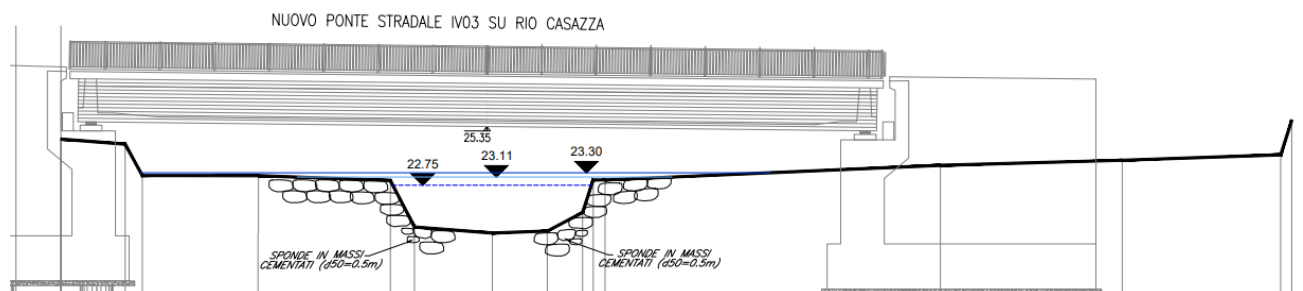


Figura 21: Stralcio del profilo di progetto, nuovo viadotto IV03.

Gli interventi di sistemazione dell'alveo consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, con modifiche della pendenza e delle sezioni, con sponde di altezza e larghezza variabile.

Implementate le opere in progetto nel modello numerico 2D sviluppato, tramite appositi elementi presenti nel codice di calcolo Hec Ras o modifiche locali del DTM di base, si è proceduto alla simulazione della propagazione delle piene del Rio Casazza e Rio Delle Vigne, per i tre tempi di ritorno di riferimento, nello scenario "post operam".



**PROGETTO DEFINITIVO**

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 09 RI	ID 0002 007	A	33 di 43

Nella figura seguente, si riportano i risultati ottenuti, in termini di aree potenzialmente inondabili, per il tempo di ritorno di progetto,  $Tr = 200$  anni. Si rimanda comunque agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 2.2.

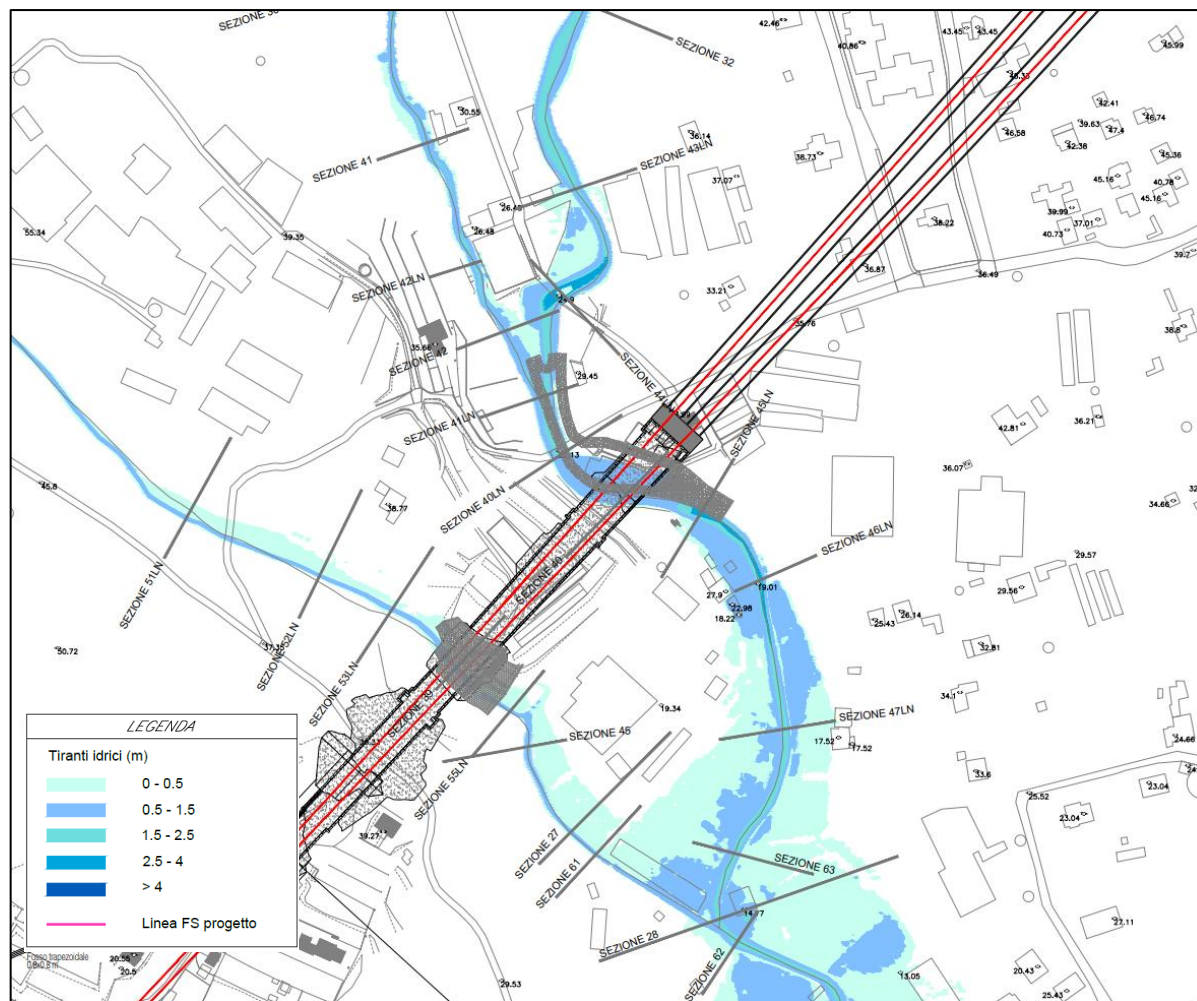


Figura 22: Modello numerico 2D, Rio Casazza e Rio Delle Vigne: aree potenzialmente inondabili, post operam,  $Tr = 200$  anni.

Non si osservano variazioni sensibili delle aree di esondazione del Rio Casazza e Rio Delle Vigne.

In analogia allo stato attuale, nella tabella seguente si riportano i livelli idrici ( $Tr = 50, 200, 500$  anni) del post operam, in corrispondenza del tracciato ferroviario.


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

Tabella 5: Livelli massimi in corrispondenza del tracciato ferroviario per vari tempi di ritorno (post operam)

	Livello (m s.l.m.m.)
<b>Rio Casazza (Sezione 40)</b>	
Tr 50	21.62
Tr 200	21.84
Tr 500	21.97
<b>Rio delle Vigne (Sezione 39)</b>	
Tr 50	21.71
Tr 200	21.81
Tr 500	22.90


La variazione dei livelli è dovuta al tipo di intervento che prevede la modifica della livelletta di fondo alveo.

#### 4 VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO

Nelle tabelle seguenti è riportata la verifica del franco idraulico di progetto della nuova opera di attraversamento IV03 sul Rio Casazza, eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018, M.d.P. RFI, NTA Pianificazione di Bacino).

Tabella 6 – Viadotto IV03 (Rio Casazza): verifica del franco idraulico di progetto.

Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena Tr200 [m slm]	Carico Cinetico Tr200 [m]	Carico totale Tr200 [m slm]	Franco sul livello Idrico Tr200 [m]	Franco sul carico totale Tr200 [m]	Verifica NTC2018; MdP RFI	Verifica NTA-P.A.I.
+25.35	+23.20	0.44	+23.64	+2.15 (> 1.50 m)	+1.71 (> 0.50 m)	Franco idraulico > 1.5 m → <b>OK</b> Franco sul carico idraulico > 0.5 m → <b>OK</b>	Franco idraulico > max (carico cinetico; 1.5/2.0 m) → <b>OK</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 5 VERIFICA ALLO SCALZAMENTO

Non essendo previste pile in alveo non è stata effettuata una verifica allo scalzamento.

## 6 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del Rio Casazza. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, con sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.


A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui  $d_{50}$  = diametro medio dei massi;  $V_a$  = velocità media (ft/s);  $d_{avg}$  = tirante medio (ft);  $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$ ;  $S_g$  = peso specifico dei massi (t/mc);  $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$  ( $SF$  = coefficiente di sicurezza,  $\in [1; 2]$ );  $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$ ;  $\theta$  = inclinazione delle sponde;  $\phi$  = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d50: 0.15 ÷ 0.70 m*

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento alla formulazione (e.g. Blevins, 2003; NCHRP, 2006):

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S - 1)} \quad (**)$$

in cui:

- $C$  = costante di Isbach ( $C = 0.86$  per condizioni di flusso fortemente turbolento,  $C = 1.2$  per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- $d_{50}$  = diametro medio dei massi di protezione (m)
- $g$  = accelerazione di gravità ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
- $S$  = peso specifico dei massi
- $V$  = velocità della corrente (m/s)

Con riferimento ai rivestimenti spondali (massi cementati), applicando la formulazione (\*) con i parametri: velocità media =  $2.5 \text{ m/s}$  ( $Tr = 200 \text{ anni}$ ); tirante =  $3 \text{ m}$ ;  $SF = 2$ ; sponde =  $1/1$  ( $\theta = 45^\circ$ ),  $\phi = 50^\circ$ ,  $Sg = 2.6 \text{ t/mc}$ , si ha:  $d_{50} = 0.50 \text{ m}$ . Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (\*\*) con i parametri: velocità =  $3.5 \text{ m/s}$  ( $Tr = 200 \text{ anni}$ );  $C = 0.86$ ;  $S = 2.6 \text{ t/mc}$ , si ha:  $d_{50} = 0.50 \text{ m}$ . Nella figura seguente, si riporta la sezione “di progetto” in corrispondenza del passaggio sopra la galleria (rif. IV0I00D09WZID0002019A).

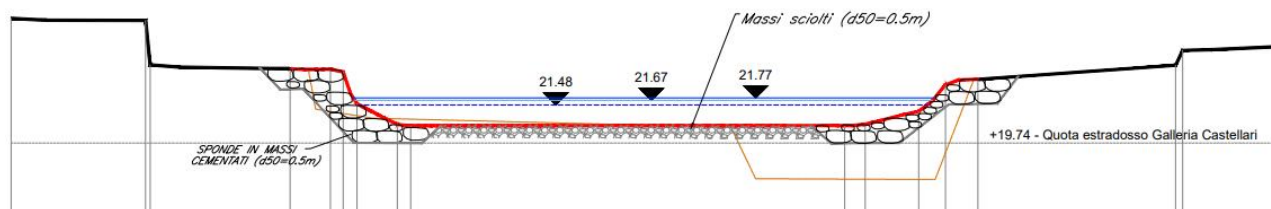



Figura 23 – Rio Casazza, sopra la galleria Castellari: sezione di progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 7 VERIFICA DELLE FASI DI REALIZZAZIONE DI OPERE IN ALVEO

Durante la costruzione delle opere di attraversamento fluviale, nel caso specifico del nuovo viadotto IV03 sul Rio Casazza, rispetto alla sezione d'alveo attuale del corso d'acqua, le lavorazioni necessarie per la realizzazione delle fondazioni delle spalle non interferiscono con i deflussi ordinari. È comunque effettuata un'analisi ai fini della determinazione di un livello idrico di riferimento per valutazioni sulla falda, necessarie per la definizione delle opere da prevedersi per gli scavi relativi alla realizzazione delle fondazioni.

Si pone il problema della definizione della portata di riferimento per il dimensionamento delle eventuali opere provvisorie del periodo transitorio, di costruzione.

Per quanto concerne le opere provvisorie, necessarie per la costruzione dei manufatti di attraversamento o delle sistemazioni dell'alveo, la Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po (deliberazione 11 maggio 1999) stabilisce al paragrafo 4-8.3 - Condizioni fisiche di riferimento - che per le "fasi significative" di costruzione dell'opera, tenendo conto delle opere provvisorie eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata [...] il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera. Tale definizione richiama il concetto di "rischio idraulico", cioè la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da tempo di ritorno assegnato, TR, si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N.

Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l'evento si manifesti all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:


$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^N$$

nella quale:

R = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;

TR = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);

N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

L'assunto della Direttiva sopraccitata viene inteso nella condizione per cui il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisionali nel periodo di installazione del cantiere (periodo di costruzione dell'opera) deve essere uguale al rischio idraulico che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

$TR$  = tempo di ritorno di progetto (anni);

$V$  = durata dell'opera (anni);

$c$  = durata di costruzione (anni);

$T_{pr}$  = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali (anni);

il concetto precedentemente esposto si trasforma nella seguente eguaglianza:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T_{pr}}\right)^c = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^V$$

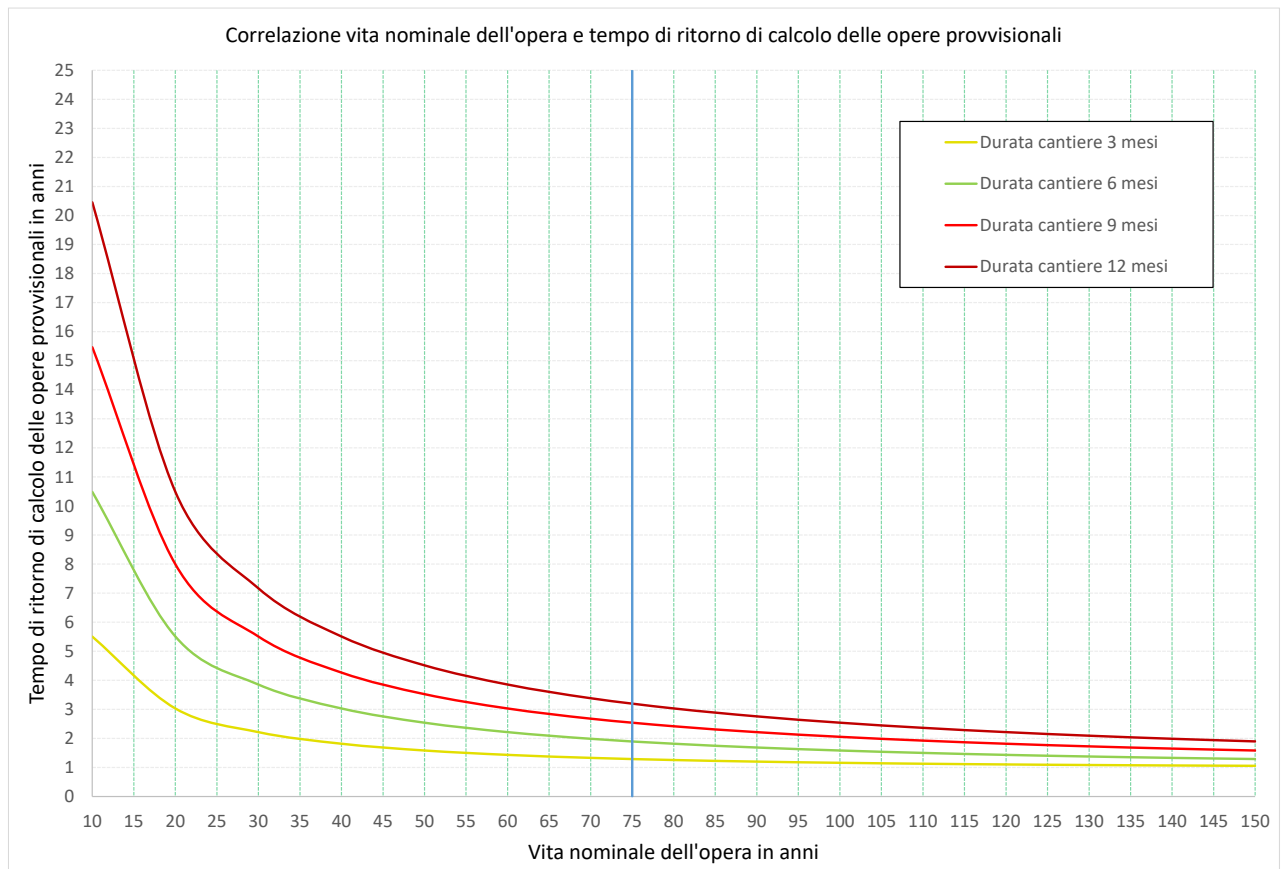
dalla quale si ricava quindi il tempo di ritorno di calcolo per le opere provvisionali,  $T_{pr}$ :

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{\frac{V}{c}}}$$

La relazione così ottenuta può essere graficata fissato il tempo di ritorno di calcolo dell'opera, nella fattispecie  $TR = 200$  anni, e il tempo di cantierizzazione, mettendo in relazione il tempo di ritorno di calcolo delle opere provvisionali con la vita nominale dell'opera; si ottengono le curve di riferimento al variare della durata del cantiere che consentono di definire un tempo minimo di ritorno di verifica delle opere provvisionali in funzione della vita dell'opera.

La Figura 24 riporta l'elaborazione condotta con riferimento specifico alla vita nominale delle opere pari a 75 anni e per durate variabili della cantierizzazione che ad ogni modo viene preventivamente stimata in 6 mesi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A




**Figura 24: Correlazione tra tempo di ritorno di verifica delle opere provvisionali e vita nominale dell'opera in funzione della durata del cantiere, fissato un tempo di ritorno di riferimento pari a 200 anni**

Con una vita nominale dell'opera pari a 75 anni e una durata del cantiere pari a 6 mesi, il tempo di ritorno per il calcolo delle opere provvisionali connesse alla realizzazione delle strutture di attraversamento è stimato in poco meno di 2 anni.

Tuttavia, vista la criticità idraulica del territorio ove si dovrà operare, nonché cambiamenti climatici che hanno interessato e influenzato il regime idrologico con particolare riferimento anche a recenti e frequenti episodi alluvionali che hanno colpito la zona ligure, nondimeno la possibile variabilità dei tempi di cantierizzazione in alveo, è auspicabile considerare eventi caratterizzati da tempi di ritorno più significativi e pari ad almeno 5 anni.

In effetti, con riferimento anche alle indicazioni riportate nel testo "Sistemazione dei corsi d'acqua a cura di Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin dell'Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica" e in mancanza di una specifica analisi di

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

rischio si ritiene opportuno considerare una probabilità di accadimento massima del 5-10%. Per la durata di 6 mesi, ammettendo una probabilità di accadimento del 10%, si perviene a  $Tr = 5$  anni.

La portata di riferimento con  $Tr=5$  anni, per le valutazioni sulla falda necessarie per la definizione delle opere provvisionali da prevedersi per gli scavi relativi alla realizzazione delle fondazioni del nuovo viadotto IV03 sul Rio Casazza, è stata calcolata con modello HEC HMS, ed è pari a  $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . La verifica idraulica della fase transitoria di cantiere è stata eseguita utilizzando il modello bidimensionale 2D descritto in precedenza, considerando una portata costante, e adottando le medesime impostazioni riguardanti scabrezze, regime della corrente, condizioni al contorno.

Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli).

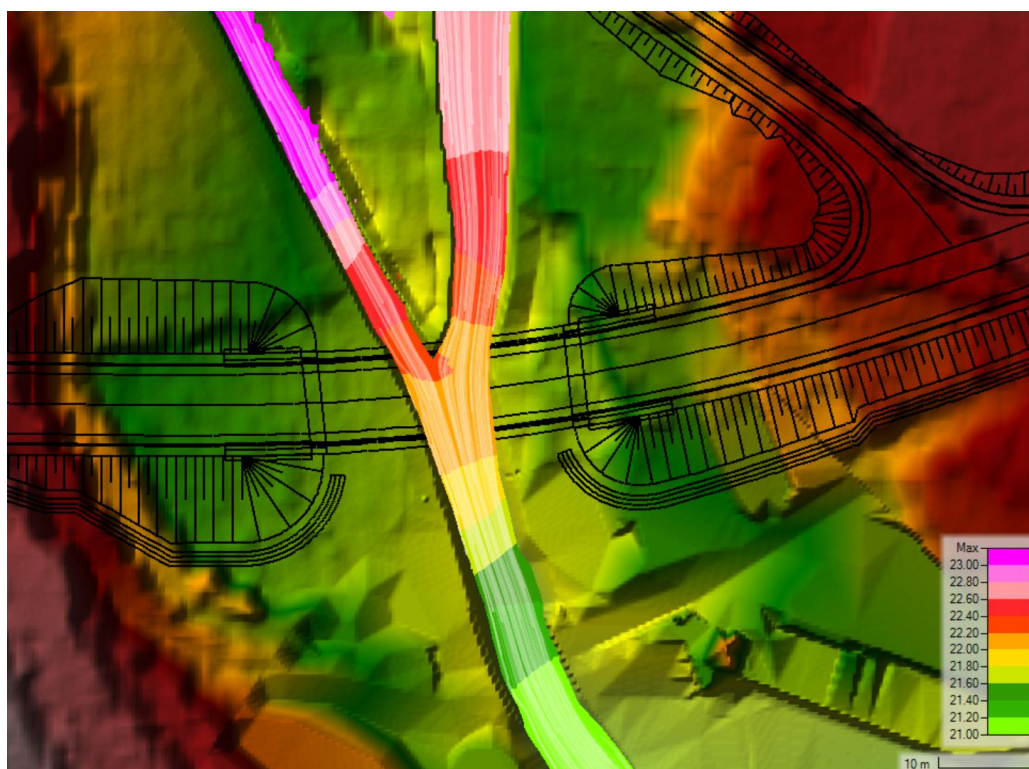



Figura 25: Livelli idrici - VI03

Il livello massimo in corrispondenza dell'attraversamento previsto IV03 si attesta a  $+22.35 \text{ m slm}$ .



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV0I	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 8 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO


Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “*IV0I00D09RIID0001001*”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alla portata di progetto del Rio Casazza, ad oggi stimata per il  $Tr = 200$  anni in 34 mc/s, si ottiene un valore della portata di progetto  $Tr_{200}$  proiettata nel periodo 2061-2090 pari a 38 mc/s circa, che corrisponderebbe alla portata ad oggi stimata per il  $Tr = 500$  anni (i.e. 39 mc/s).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti le aree potenzialmente inondabili per  $Tr = 500$  anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto ( $Tr_{200}$ ) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario  $Tr = 500$  anni (di progetto al 2090), in corrispondenza del viadotto IV03 sul Rio Casazza, sopra analizzato.

	<b>Quota minima impalcato [m slm]</b>	<b>Livello di piena Tr 500 [m slm]</b>	<b>Franco sul livello idrico Tr 500 [m]</b>
IV03 (Rio Casazza)	+25.35	+23.50	+1.85

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “*portate incrementate*” per effetto dei cambiamenti climatici, anche con un franco superiore a quello minimo (1.5 m), previsto dalle NTC 2018.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne	<b>COMMESSA</b> IV01	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007	<b>REV.</b> A

## 9 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

La modellazione numerica del Rio Casazza elaborata nell'ambito del presente studio ha permesso di fornire una valutazione dell'interferenza del nuovo attraversamento stradale IV03 con il corso d'acqua suddetto, interessato da nuove opere civili nell'ambito della progettazione definitiva del *“Raddoppio della Linea ferroviaria Genova-Ventimiglia, Tratta Finale Ligure - Andora”*.

Le verifiche idrauliche sono state condotte sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione numerica del tratto fluviale interessato dagli interventi. Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS e sono state condotte sulla base delle portate di riferimento relative ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

La configurazione di progetto è costituita dal viadotto IV03 sul Rio Casazza e dalla sistemazione idraulica dei torrenti in prossimità del tracciato ferroviario.

Nello specifico, per consentire il passaggio della galleria sotto entrambi i torrenti, viene ridotta la pendenza del fondo dell'alveo sopra la galleria e successivamente aumentata a valle della stessa. Nel tratto dove la pendenza viene diminuita, la sistemazione prevede un allargamento della sezione utile al deflusso.

Per quanto riguarda il Rio Casazza, lungo tutto il tratto della sistemazione le sponde sono sostenute da una scogliera in massi cementati che evita la possibile erosione al piede; inoltre, nel tratto dove la pendenza è ridotta sono sistemati sul fondo dell'alveo dei massi sciolti, seguiti a valle da una rampa con aumento di pendenza con massi legati affioranti e da una zona di dissipazione in pietrame affiorante.


Nel Rio Delle Vigne la nuova pendenza è ottenuta con la sistemazione di materassi di tipo Reno e da gabbioni posti nel tratto più a valle dell'area di intervento.

Dai risultati della modellazione bidimensionale (dello stato *“post operam”*) emerge come l'intervento di sistemazione produca una piccola variazione dei livelli nel tratto di intervento, mentre non sono presenti variazioni delle aree di inondazione.

La verifica idraulica della nuova opera di attraversamento ha evidenziato come la portata di piena di progetto, con tempo di ritorno pari a 200 anni, riesce a transitare in sicurezza al di sotto del viadotto in progetto, con franco idraulico superiore ai valori minimi stabiliti nelle normative vigenti.

Riassumendo, gli interventi previsti:

- comprendono infrastrutture pubbliche a servizio della mobilità;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei corsi d'acqua Rio Casazza e Rio delle Vigne</p>	<p><b>COMMESSA</b> IV01</p>	<p><b>LOTTO</b> 00</p>	<p><b>CODIFICA</b> D 09 RI</p>	<p><b>DOCUMENTO</b> ID 0002 007</p>	<p><b>REV.</b> A</p>	<p><b>FOGLIO</b> 43 di 43</p>

- non aumentano le condizioni di rischio,
- in corrispondenza dell'attraversamento progettato i franchi idraulici risultano soddisfatti;
- non modificano le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio.

Pertanto, le opere previste in progetto si possono definire idraulicamente compatibili.