

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**LINEA LAMEZIA T. - CATANZARO L.**

**U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.**

**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO.**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**Relazione Idraulica Fiume Fallaco**

SCALA:

-

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

RC0Y 00 R 10 RI ID0002 002 B

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	
A		Emissione esecutiva	E. Frank	Febbraio 2020	M. Villani E Lucia	Febbraio 2020	S. Vanfiori	Febbraio 2020
B		Emissione esecutiva	P. Martini	Marzo 2021	M. Villani	Marzo 2021	I. D'Amore	Marzo 2021



File: RC0Y.00.R.10.RI.ID0002.002.B

n. Elab.:

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
<b>Relazione Idraulica Fiume Fallaco</b>	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10	DOCUMENTO RI ID0002 -002	REV. B	FOGLIO 2 di 47

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>AREE SENSIBILI RFI</b>	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO</b>	<b>10</b>
4.1	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	10
4.2	IL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA CALABRIA	11
4.3	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	14
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO</b>	<b>16</b>
5.1	IL MODELLO DI CALCOLO	16
5.1.1	<i>Geometria di calcolo</i>	16
<b>6</b>	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</b>	<b>22</b>
6.1	CONFIGURAZIONE ANTE OPERAM	22
6.1.1	<i>Curva 27 – pk linea storica 27+013 – 27+467</i>	23
6.1.2	<i>Ponte esistente (IN470) pk linea storica 27+908</i>	24
6.1.3	<i>Curva 28/29, Ponte esistente (IN510)</i>	25
6.1.4	<i>Parallelismo con il tracciato ferroviario</i>	26
6.2	CONFRONTO CON I RISULTATI PAI	29
6.3	CONFIGURAZIONE POST OPERAM	31
6.3.1	<i>Curva 27 – pk linea storica 27+013 – 27+467</i>	33
6.3.2	<i>Nuovo attraversamento sul fiume Fallaco (VI06)</i>	33
6.3.3	<i>Nuovo attraversamento sul Fallaco (VI03)</i>	36
6.3.4	<i>Parallelismo con il tracciato ferroviario</i>	39

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1 – Inquadramento dell’area di studio.....	10
Figura 4.2 – Perimetrazione aree a rischio idraulico - Progetto di variante PAI (2020). Lotto 2, pk storica km27+000÷29+295.....	14
Figura 5.1 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM.....	16
Figura 5.2 – Modello del terreno ed estensione del dominio di calcolo. ....	17
Figura 5.3 – Confronto sezione come da rilievo topografico (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde). ....	18
Figura 5.4 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.....	19
Figura 5.5 – Ubicazione degli attraversamenti principali modellati. ....	20
Figura 6.1 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200 – massime altezze d’acqua.....	22
Figura 6.2 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR300 – massime altezze d’acqua.....	23
Figura 6.3 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per gli eventi TR300 e TR200 – massime altezze d’acqua. ....	24
Figura 6.4 - Risultati della simulazione per lo Scenario ante operam per l’evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell’attraversamento IN470 e ubicazione del punto di rilievo dei risultati. ....	25
Figura 6.5 – Confronto tra i livelli ante opera e post operam con l’evento TR200 anni. ....	25
Figura 6.6 – Risultati della simulazione per lo Scenario ante operam per l’evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell’attraversamento IN510.....	26
Figura 6.7 –Ubicazione sezioni trasversali su ortofoto e su DTM con estensione massima degli allagamenti per TR300. ....	27
Figura 6.8 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale A-A con indicazione del massimo livello idrico attestato. ....	27
Figura 6.9 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale B-B con indicazione del massimo livello idrico attestato. ....	28

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b> <b>TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO <b>RC0Y</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 10 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID 0002 002</b>	REV. <b>B</b>

Figura 6.10 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale C-C con indicazione del massimo livello idrico attestato. ....	28
Figura 6.11 – Confronto risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 e fasce PAI (2016).....	30
Figura 6.12 – Risultati della simulazione per lo scenario post operam per l'evento TR200 – massime altezze d'acqua.....	31
Figura 6.13 – Risultati della simulazione per lo scenario post operam per l'evento TR300 – massime altezze d'acqua.....	32
Figura 6.14 – Risultati della simulazione per lo scenario ante e post operam per l'evento TR200: le aree allagabili in verde coincidono per ante operam e post operam, quelle blu corrispondono solo all'ante operam.....	33
Figura 6.15 – Interventi di sistemazione.....	34
Figura 6.16 – Ricucitura sponde esempio sponda destra.....	34
Figura 6.17 - Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento VI06. ....	35
Figura 6.18 - Viadotto ferroviario VI06 in progetto con indicate le quote idrometriche, con linea tratteggiata è indicata la quota relativa a TR200 mentre con linea continua la quota per TR300 . ....	36
Figura 6.19 – Risezionamento di progetto in corrispondenza dell'attraversamento IN510. ....	37
Figura 6.20 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento VI03.....	38
Figura 6.21 – viadotto ferroviario VI03 .....	38
Figura 6.22 –Ubicazione sezioni trasversali su ortofoto e su DTM con estensione degli allagamenti per TR300.....	39
Figura 6.23 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale A-A con indicazione del massimo livello idrico attestato. ....	40
Figura 6.24 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale B-B con indicazione del massimo livello idrico attestato. ....	40
Figura 6.25 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale C-C con indicazione del massimo	

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b> <b>TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

livello idrico attestato. .... 41

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.I – Sintesi degli interventi di variante nel tratto analizzato mediante modello idraulico bidimensionale.....	7
Tabella 2.I – Sintesi normativa di riferimento .....	8
Tabella 3.I – Criticità ed interventi effettuati per la risoluzione.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Tabella 4.I – Quadro sintetico delle modifiche da inserire. ....	13
Tabella 5.I – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d’acqua. ....	20
Tabella 5.II – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.....	21
Tabella 6.I – – Massimi tiranti e livelli idrici in corrispondenza dell’attraversamento IN470– fiume Fallaco. A sinistra l’ubicazione dei punti di misura.....	24
Tabella 6.II – – Massimi tiranti e livelli idrici in corrispondenza dell’attraversamento IN510 – fiume Fallaco. ....	26
Tabella 6.III – – Quota del piano ferroviario, massimo livello idrico e franco idraulico in corrispondenza delle sezioni considerate .....	29
Tabella 6.IV – Massimi tiranti, livelli idrici e velocità in corrispondenza degli attraversamenti studiati ....	35
Tabella 6.V – Massimi tiranti, livelli idrici e velocità in corrispondenza degli attraversamenti studiati .....	38
Tabella 6.VI – Quota del piano ferroviario, massimo livello idrico e franco idraulico in corrispondenza delle sezioni considerate .....	41

## 1 PREMESSA

Il collegamento Lamezia Terme – Settingiano ha uno sviluppo complessivo pari a circa 29 km, mentre gli interventi di velocizzazione (oggetto del presente PFTE) sono limitati a tre segmenti compresi tra le progressive chilometriche 10+000 – 13+000, 19+000 - 24+000 e 27+000 – 29+310.

Nei suddetti segmenti la velocizzazione della tratta è ottenuta o prevedendo varianti plano-altimetriche di tracciato o per mezzo di sole modifiche della sopraelevazione. Nella tabella seguente è indicato, per ogni tratta di intervento, il nome della variante di progetto e il numero della curva della linea storica (LS) interessata dalla variante:

VELOCIZZAZIONE TRAMITE AUMENTO DELLA SOPRAELEVAZIONE				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva LS	Pk LS inizio - fine	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
km 10+000 - 13+000	VARIANTE 10	CURVA 7	10+096 - 10+490	80/90
		CURVA8	10+825 - 11+425	
		CURVA9	11+455 – 11+740	
		CURVA 10	12+137 – 12+843	
VELOCIZZAZIONE TRAMITE VARIANTI DI TRACCIATO				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva compresa nell'intervento	Sviluppo intervento (m)	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
Km 19+000-24+000	VARIANTE 5	CURVA 20a e 20b	19+888 - 20+068 / 20+156-20+237	30 / 110-140
	VARIANTE 6	CURVA21	21+922 - 22+201	80 / 140
	VARIANTE 7	CURVE 22, 23 e 24	22+894 - 23+802	80 / 140
Km 27+000-29+310	VARIANTE 8	CURVA 27	27+139 - 27+291	80 / 140
	VARIANTE 9	CURVE 28 e 29	28+325 - 29+310	80 / 140

Gli interventi di velocizzazione operati con le modifiche di tracciato di cui alla Tabella precedente hanno compreso, la valutazione della sicurezza della linea sia dal punto di vista idraulica, sia geotecnico e sia strutturale. Nelle tre tratte di progetto sono previsti infatti sia interventi volti ad assicurare la sicurezza della sede ferroviaria rispetto agli incrementi delle sollecitazioni conseguenti alla velocizzazione o a fenomeni di dissesto presenti, sia ad assicurare la compatibilità della linea con riferimento al rischio idraulico esistente. Inoltre, il presente progetto prevede la sostituzione del ponte esistente alla pk 18+806 della linea storica.

La presente relazione è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) di velocizzazione mediante rettifiche di tracciato della linea ferroviaria esistente tra Lamezia e Settingiano e ha ad oggetto lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica bidimensionale del Fiume Fallaco. In particolare, la velocizzazione della linea richiede n. 2 interventi di varianti di tracciato ricadenti

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO <b>RC0Y</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 10 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID 0002 002</b>	REV. <b>B</b>

nell'area modellata tramite modello bidimensionale. Di seguito una tabella sintetica degli interventi studiati mediante modello bidimensionale.

Nome intervento	Curva compresa nell'intervento	Sviluppo intervento (m)	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
VARIANTE 8	CURVA 27	454	80 / 140
VARIANTE 9	CURVE 28 e 29	924	80 / 140

Tabella 1.1 – Sintesi degli interventi di variante nel tratto analizzato mediante modello idraulico bidimensionale.

Le portate utilizzate nel modello numerico sono desunte dallo studio idrologico, parte integrante del presente progetto, di cui all'elaborato RC0Y00R10RIID0001001C, a cui si rimanda per i dettagli. In accordo con il manuale di progettazione ferroviario (anno 2020) e le NTC2018 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni, le verifiche sono state inoltre condotte per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

La portata duecentennale rappresenta l'evento minimo di riferimento per le verifiche previste dalle NTC e dal manuale di progettazione ferroviario per i ponti e i tombini.

Il calcolo delle piogge nette è stato effettuato col metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS), considerando una perdita iniziale (initial abstraction), antecedente all'inizio dei deflussi, pari ad  $0.2 \cdot S$ . La trasformazione delle piogge nette in idrogrammi di piena viene fatta adoperando il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo dell'SCS e adottando per ogni bacino un valore del tempo di ritardo (tlag: tempo che separa i baricentri del pluviogramma efficace e dell'idrogramma) pari a 0.6 il tempo di corrivazione del singolo bacino. I valori delle quote idriche ottenute da tale modello sono stati poi utilizzati come condizione al contorno per i tratti dei corsi minori modellati fino alla confluenza con il corso d'acqua principale (si rimanda alla Relazione Idraulica Corsi D'acqua Minori, RC0Y00R10RIID0002003B).

I valori delle quote idriche ottenute da tale modello sono stati poi utilizzati come condizione al contorno per i tratti dei corsi minori modellati fino alla confluenza con il corso d'acqua principale (si rimanda alla Relazione Idraulica Corsi D'acqua Minori, RC0Y00R10RIID0002003B).

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione ferroviaria (anno 2020), il quale prevede che i manufatti (ponti e tombini) siano verificati per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

- linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni
- deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- franco idraulico tra intradosso manufatto e livello della superficie libera non inferiore a 1.5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- franco minimo tra intradosso manufatto e quota di carico idraulico totale almeno pari a 50 cm.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONE IDRAULICA	RC0Y	00	R 10 RI	ID 0002 002	B	8 di 47

Nel caso di attraversamento mediante tombinatura del corso d'acqua, la sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Le opere devono, inoltre, rispondere a quanto previsto dall'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”» (DM 17 gennaio 2018 – di seguito NTC 2018) che riportano le indicazioni per la redazione della compatibilità idraulica dei ponti stradali e ferroviari. I criteri richiesti sono i seguenti:

- “piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni”;
- “Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.”;
- “Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1.50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture ed il fondo alveo.”.

Per quanto riguarda i tombini, la circolare applicativa delle NTC 2018 (circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP) riporta quanto segue:

*Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m<sup>3</sup>/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti.*

[...]

*Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:*

[...]

*- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;*

[...]

*- nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva.*

In Tabella 2.1 è riportata una sintesi della normativa di riferimento con alcuni elementi a integrazione di quanto sopra descritto.

Tabella 2.1 – Sintesi normativa di riferimento

	<b>Manuale di progettazione ferroviaria</b>	<b>NTC 2018 e circolare applicativa NTC2018</b>
--	---------------------------------------------	-------------------------------------------------

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RC0Y	00	R 10 RI	ID 0002 002	B	9 di 47

	<b>Manuale di progettazione ferroviaria</b>	<b>NTC 2018 e circolare applicativa NTC2018</b>
<b>Manufatti di attraversamento principali (ponti e viadotti)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>linea ferroviaria Tr= 200 anni</i></li> <li>• <i>deviazioni stradali Tr=200 anni</i></li> </ul>	<i>Tr = 200 anni</i>
<b>Verifica Franco di Progetto ponti.</b>	<i>Franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico.</i>	<i>Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1.,50 m</i>
<b>Dislivello tra fondo e sottotrave</b>	-	<i>Non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto</i>
<b>Posizione spalle</b>	<i>Posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena.</i>	<i>Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali.</i>
<b>Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)</b>	<i>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</i>	<i>Grado di riempimento non superiore ai 2/3 della sezione totale e franco almeno pari a 0.5m</i>

Per quanto riguarda la tipologia di opere minori adottata, sono inoltre rispettate le seguenti indicazioni riportate nel manuale di progettazione delle opere ferroviarie:

- tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1,5 m e tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2,0 x 2.0 m (per garantire l'ispezionabilità del manufatto);
- tombini in affiancamento: massimo 2;
- pendenza longitudinale del fondo dell'opera non inferiore al 2‰.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

#### 3.1 Inquadramento dell'area di studio

La Figura 3.1 riporta l'inquadramento dell'area di studio, delimitata in rosso. L'area di studio occupa una superficie di circa 4.3 km<sup>2</sup> e si sviluppa in un tratto del fiume Fallaco di circa 5 km. Nello studio sono compresi quattro affluenti di sinistra (per una lunghezza complessiva di circa 6.5 km) e due affluenti di destra (per una lunghezza complessiva di circa 1.5 km). Il tratto oggetto di studio si estende, indicativamente, tra i comuni di Marcellinara e Settingiano.

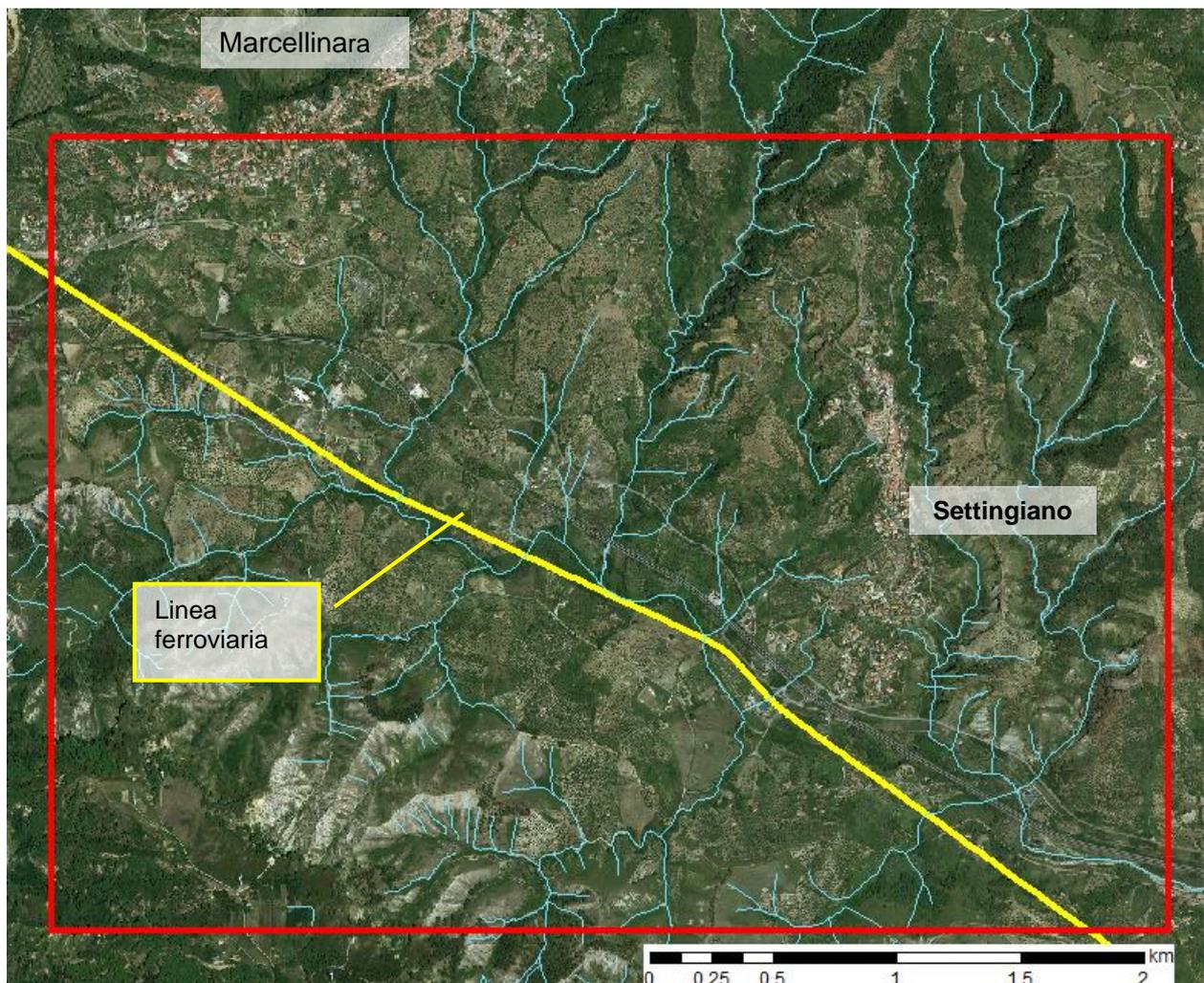


Figura 3.1 – Inquadramento dell'area di studio.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b> <b>TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

### 3.2 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Calabria

In merito al rischio di esondazione dell'area di intervento si è fatto riferimento al Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) ed al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

Il PAI vigente è quello della ex Autortà di Bacino della Regionale della Calabria, approvato con Delibera di Consiglio Regionale n. 115 del 28.12.2001, "DL 180/98 e successive modificazioni. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico". Il Piano ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e di pianificazione mediante il quale l'Autorità di Bacino Regionale della Calabria (in seguito denominata ABR), pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate alla salvaguardia delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture e del suolo.

Le norme specifiche relative all'assetto idraulico sono stabilite nelle Norme di Attuazione e Misure di salvaguardia (testo aggiornato con Delibera del C.I. n°27 del 02/08/2011) ed in particolare agli artt. 21-24 per quanto riguarda la disciplina delle aree a rischio di inondazione e delle aree d'attenzione per pericolo d'inondazione.

Come riportato nella Relazione Generale del PAI, la valutazione del rischio idraulico è stata conseguita utilizzando:

1. i risultati di modelli idrologico-idraulici, che hanno permesso di individuare le sezioni di esondazione per portate di piena con assegnati tempi di ritorno, usualmente pari a  $T=20\div 50, 100\div 200$  e  $300\div 500$  anni;
2. criteri geomorfologici, per tener conto dell'andamento plano-altimetrico degli alvei fluviali e delle evidenze relative ai depositi alluvionali conseguenti a fenomeni di trasporto dei materiali solidi;
3. le informazioni storiche, da cui si è dedotto per i vari eventi alluvionali in quali località si siano verificate le inondazioni;
4. le aerofotogrammetrie, utili per l'osservazione delle tracce di piena.

Per quanto riguarda l'assegnazione delle classi di rischio, nel PAI si è tenuto conto dei seguenti elementi:

1. se il calcolo idraulico ha mostrato esondazioni in specifiche sezioni trasversali, in sponda destra o in sponda sinistra o in entrambe, il livello di rischio è stato valutato in maniera inversamente proporzionale al tempo di ritorno e proporzionale all'importanza degli elementi esposti. Nelle sezioni risultate critiche per  $T=20\div 50$  anni, e in presenza di edifici, strutture viarie principali e aree industriali, si è stabilito un livello di rischio R4. Analogamente, nel caso di esondazioni per  $T=100\div 200$  anni, si è scelto il livello di rischio R3. Infine, per  $T=500$  anni, il rischio è stato valutato come R2 o R1;
2. nelle sezioni in cui il calcolo idraulico non ha mostrato esondazioni, ma per le quali risulta dalle informazioni storiche e aerofotogrammetriche che le stesse esondazioni sono occorse, per rotture di argini o sormonti, si è preferito operare delle scelte di classi di rischio cautelative. Ciò tiene in considerazione i limiti del calcolo idraulico. Pertanto, nel caso di informazioni tratte da documentazione storico-cronachistica riguardante località soggette a inondazioni negli eventi del passato, il livello di rischio adottato varia da R1 (aree allagate o allagabili in base all'andamento altimetrico della zona) a R2 (aree inondate con danni economici meno rilevanti) a R3 (aree inondate con danni economici più rilevanti).

In mancanza di studio idrologico-idraulico, non essendo state valutate aree di esondazione a diversi tempi di ritorno e, quindi, aree a rischio, sono state comunque individuate aree, punti e zone di attenzione (art. 24 delle Norme di Attuazione), che derivano dall'utilizzo del criterio geomorfologico e, in presenza di dati storici, del criterio storico.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

Le aree perimetrare nel PAI 2001 come aree a rischio idraulico sono state recepite nel vigente PGRA1 dell'AdB del Distretto idrografico Appennino Meridionale come aree di pericolosità idraulica secondo il criterio sinteticamente ripotato di seguito

- aree R4 → P3 (pericolosità elevata) aree allagabili con tempi di ritorno di 50 anni;
- aree R3 → P2 (pericolosità media) aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni;
- aree R2, R1 → P1 (pericolosità bassa) aree allagabili con tempi di ritorno di 500 anni;
- aree e zone di attenzione → P3 (pericolosità elevata).

Attualmente è in corso il II Ciclo del PGRA (2016-2021) che dovrà concludersi con l'adozione del piano entro il 2021 e le cui mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni sono già disponibili.

Con Decreto n. 250 del 04/05/2020 del Segretario Generale dell'AdB dell'Appennino Meridionale è stato dato avvio alle procedure di aggiornamento dei contenuti del vigente PAI 2001 dell'ex Regionale della Calabria alle nuove mappe PGRA, per la parte relativa al rischio idraulico.

Con DS n.375 del 14/07/2020 tale procedura di aggiornamento è stata decretata conclusa; l'iter di approvazione del progetto di variante è tuttora in corso, ma risultano disponibili i contenuti delle mappe PAI aggiornate sul sito dell'AdB (<http://www.distrettoappenninomeridionale.it/>), che sono state utilizzate nella valutazione del rischio idraulico della linea ferroviaria in oggetto.

Secondo quanto disposto dalle Misure di Salvaguardia adottate con DS n. 540 del 13/10/2020, infatti, in tutte le aree perimetrare nelle mappe dei progetti di variante di aggiornamento, si applicano, a titolo di misure di salvaguardia le norme di attuazione dei relativi Piani Stralcio, facendo riferimento alla condizione più gravosa in termini di classificazione della pericolosità e/o del rischio, tra quella delle mappe del PAI vigente e quelle del Progetto di variante.

Come specificato nel Documento Tecnico-Descrittivo allegato al DS n.250/2020 nelle nuove mappe PGRA sono confluiti 5 aggiornamenti che sono stati a loro volta recepiti nell'aggiornamento del PAI 2001 come indicato in Tabella 3.I.

Nel medesimo documento si specifica che:

Per quanto riguarda la proposta IDn4 la stessa, stante le modalità di predisposizione, l'importante dimensione territoriale, e la generale classificazione in elevata pericolosità (P3) empiricamente attribuita, non possiede i requisiti per potere essere inserita nell'aggiornamento PAI/PGRA, ma di fatto si identifica come ambito complessivo di approfondimento di studio, e pertanto da inquadrare nelle attività del DS 211/2020 relativo alle definizioni degli studi successivi necessari per completare la rivisitazione del PAI stesso.

Parallelamente, l'esclusione di tale proposta dall'aggiornamento lascerebbe i relativi territori senza alcun tipo di tutela generalizzata in materia di rischio idraulico, quantomeno fino alla proposizione della successiva variante di approfondimento, che richiede comunque tempi medio-lunghi. In tale contesto potranno trovare utile collocazione soltanto le successive proposte di variante eventualmente avanzate dai Comuni e non contenute nelle vigenti mappe PGRA.

---

<sup>1</sup> Il Primo Piano di Gestione Rischio di Alluvioni PGRA DAM è stato **adottato**, ai sensi dell'art. 66 del d.lgs. 152/2006, con Delibera n° 1 del Comitato Istituzionale Integrato del **17 dicembre 2015**, è stato **approvato dal** Comitato Istituzionale Integrato in data **3 marzo 2016**. Con l'emanazione del DPCM in data 27/10/2016 si è concluso il I ciclo di Gestione.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

In tale scenario, ai fini della configurazione della proposta di aggiornamento, e dovendo contemperare le opposte esigenze rappresentate, le aree relative alla ID n.4 verranno perimetrate complessivamente come aree di attenzione PGRA. Su tali aree all'atto dell'adozione del progetto di variante di aggiornamento saranno adottate specifiche misure di salvaguardia, ai sensi dell'art.65 comma 7 del D.lgs. 152/2006 fino all'adozione delle varianti di approfondimento e comunque per non più di tre anni.

Tabella 3.I – Quadro sintetico delle modifiche da inserire.

ID	Cod. UoM	Procedimento aggiornamento	Proponente oggetto	tipo	Aggiornamento PAI 2001
1	ITI016/ ITR181	richiesta ripermetrazione (ID 1)	Comune di Catanzaro T.Fiumarella Catanzaro Lido	4b	no
2	ITI016/ ITR181	richiesta ripermetrazione (ID 8)	Comuni di Isca (CZ) e Badolato (CZ)	4a	si
3	ITI016/ ITR181	richiesta ripermetrazione (ID 7)	Comune di S Luca	4a	si
4	ITI016/ ITR181	aggiornamento PAI 2016	ABR Calabria	2	Come aree di attenzione PGRA con MdS
5	ITI016/ ITR181	Evento alluvionale 2015 Comune di Corigliano-Rossano	ABR Calabria Tribunale di Castrovillari	2	si

Il progetto di variante del PAI è rappresentato negli elaborati grafici RC0Y00R10C4ID0002002C del presente PFTE, di cui si riporta uno stralcio planimetrico in Figura 3.2.

Come si evince da tali figure le tratte oggetto di intervento della linea ferroviaria Lamezia-Settingiano attraversano, nella quasi totalità dei casi, quelle che nel progetto di variante del PAI sono classificate come "Aree di attenzione PGRA" alle quali si applicano le disposizioni di cui agli artt. 4 e 5 delle Misura di Salvaguardia adottate con DS n. 540 del 13/10/2020, che resteranno in vigore fino all'approvazione delle varianti di approfondimento (e comunque non oltre tre anni) e quindi escluse dalla disciplina delle norme di attuazione dei PAI anche successivamente all'approvazione delle variante di aggiornamento.

Per quanto riguarda le interferenze IN470 e IN510 esse riguardano il fiume Fallaco e un affluente di sinistra del fiume Fallaco che risultano caratterizzati da un rischio idraulico di tipo R4, disciplinato all'art. 21 delle Norme di Attuazione del PAI.

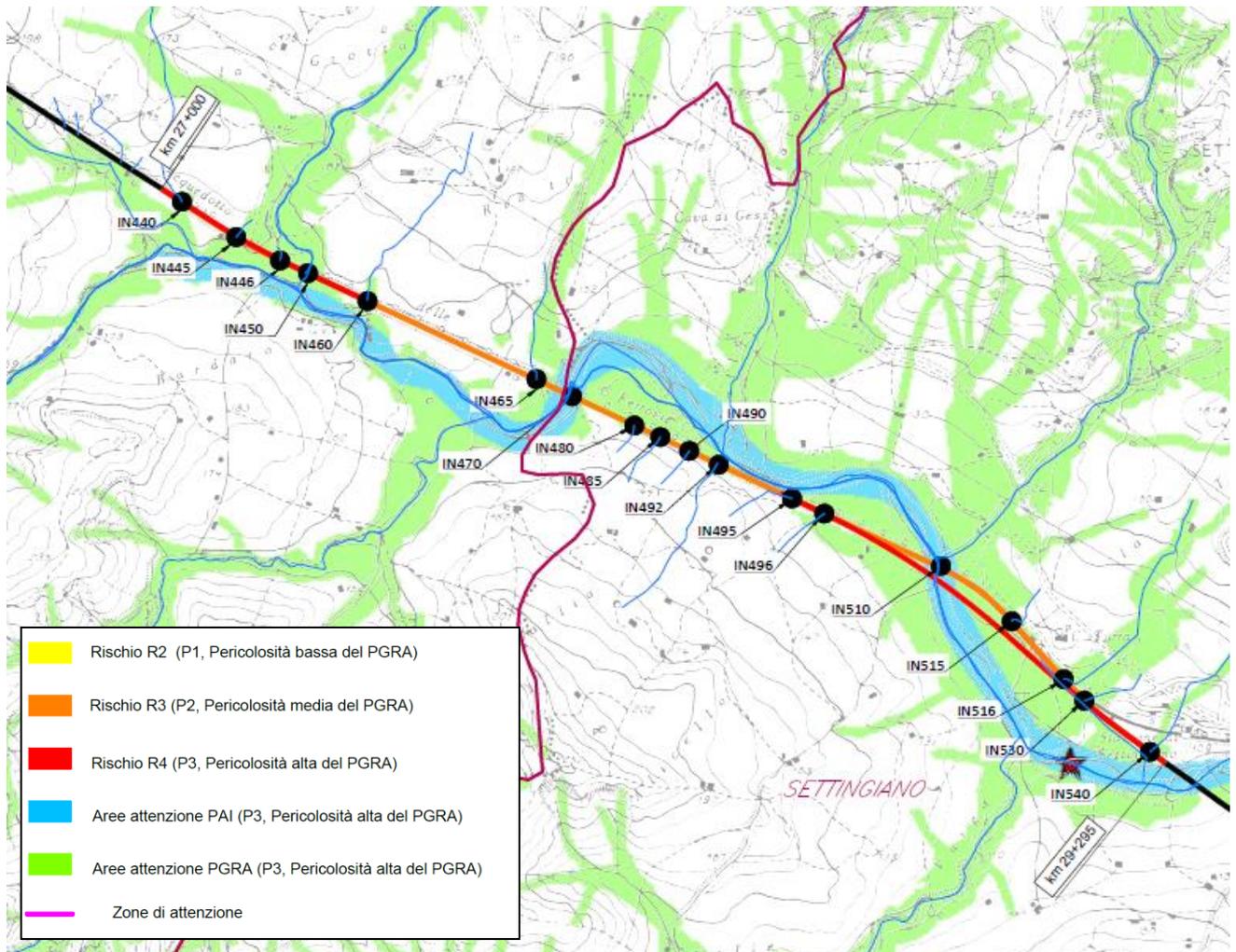


Figura 3.2 – Perimetrazione aree a rischio idraulico - Progetto di variante PAI (2020). Lotto 2, pk storica km27+000+29+295.

### 3.3 Obiettivi dello studio idraulico

Scopo dello studio idraulico condotto è di verificare la sicurezza idraulica delle varianti di tracciato in progetto e dei relativi attraversamenti idraulici esistenti e di progetto.

In particolare, sono state svolte simulazioni nella configurazione ante operam dei luoghi che hanno permesso di ricavare con dettaglio le mappe di allagamento, le massime altezze d'acqua e velocità, nonché le modalità di propagazione della piena nella zona in esame per eventi associati a diversi tempi di ritorno.

Sono inoltre state svolte le simulazioni nella configurazione post operam dei luoghi al fine di verificare la sicurezza idraulica delle opere in progetto, che nello specifico sono:

- Variante 7 - curva 27 (pk linea storica 27+013 – 27+467) di lunghezza 454 m circa,
- IN470 (pk linea storica 27+908) che comprende un ponte ad una singola campata con luce pari a 35m (VI06)

	<p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b>  <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b>  <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b>  <b>TRACCIATO</b></p>					
<p>RELAZIONE IDRAULICA</p>	<p>PROGETTO RC0Y</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA R 10 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 002</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 15 di 47</p>

- Variante 8 - curve 28 e29 di lunghezza 920 m circa, comprende ponte ferroviario (VI03) lungo a singola campata di luce pari a 45m.

## 4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

### 4.1 Il modello di calcolo

L'analisi idraulica è stata svolta implementando il modello matematico InfoWorks ICM sviluppato dall'azienda inglese Innovyze (ex HR Wallingford software) (Figura 4.1). Una descrizione del modello è disponibile in Appendice A.

InfoWorks ICM è un recente e completo applicativo di simulazione idraulica, nato per consentire la modellazione numerica integrata di reti di drenaggio costituite da alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane. All'interno di un'unica interfaccia utente, si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, ambiti in cui il moto avviene con andamento bidimensionale, reti di drenaggio chiuse e un numero elevato di tipologie di manufatti presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena, ecc.).

Le aste fluviali possono essere liberamente rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) o con uno schema misto (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

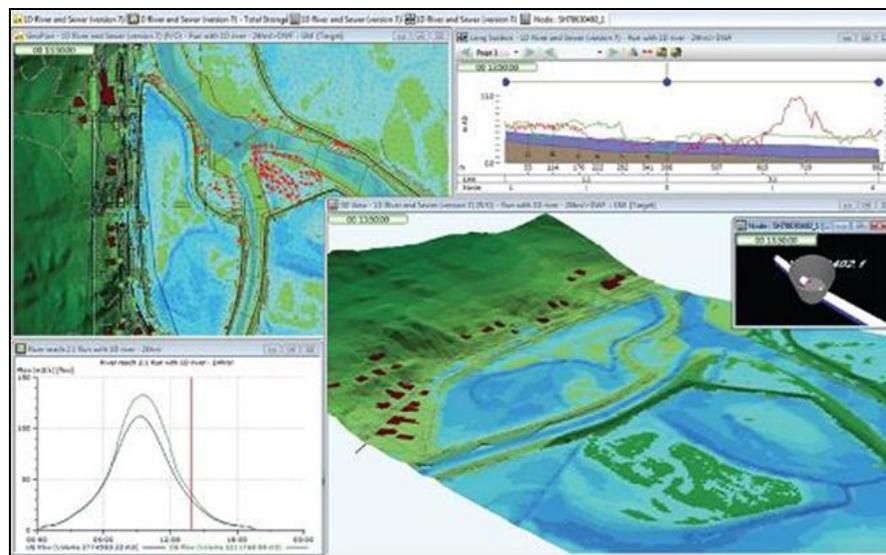
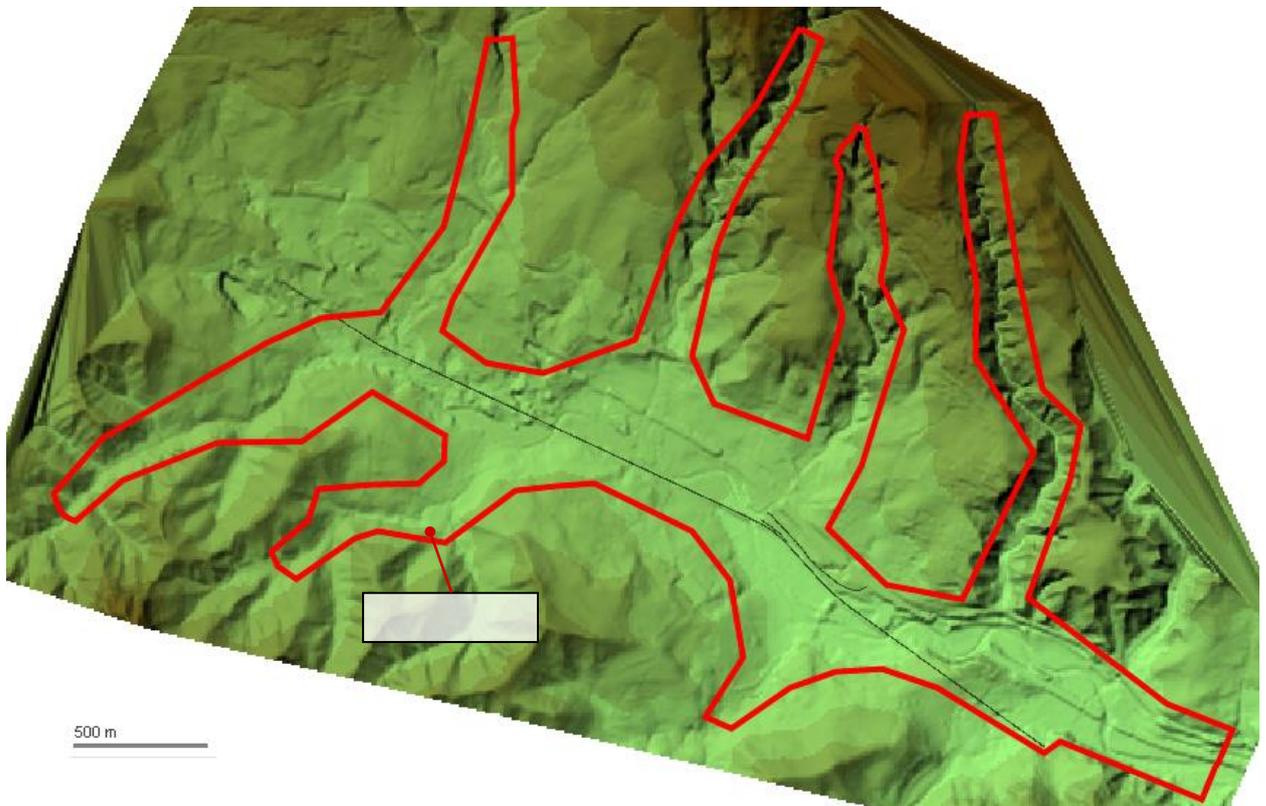


Figura 4.1 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM

Vista la conformazione dell'area di studio e del corso d'acqua da analizzare, nonché dell'informazione topografica disponibile, si è scelto di implementare un modello in configurazione geometrica completamente bidimensionale. Un modello bidimensionale, infatti, consente una analisi degli allagamenti nelle zone perifluviali più approfondita per tutti gli eventi caratterizzati da esondazioni.

#### 4.1.1 Geometria di calcolo

Per rappresentare l'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo bidimensionale è stato reperito il rilievo LiDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente (2008-2010), avente una risoluzione pari a 1 m (Figura 4.2).



*Figura 4.2 – Modello del terreno ed estensione del dominio di calcolo.*

Al fine di valutare la bontà del dato LiDAR ed eventuali necessità di integrazione dell'informazione topografica, è stato effettuato un confronto sui valori di quota del terreno forniti dal DTM ottenuto tramite il rilievo LiDAR con quelli ottenuti con i rilievi effettuati con drone nell'Agosto 2019, che restituiscono valori puntuali delle quote del terreno in corrispondenza di una maglia regolare di lato 10m.

Quale ulteriore dato topografico, è stato utilizzato un rilievo topografico di sezioni d'alveo effettuate nell'Agosto 2019: tale informazione è stata utilizzata per verificare, ed eventualmente correggere, le quote del fondo alveo.

A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 4.3 il confronto tra il dato ricavato da rilievo topografico (in grigio) e dalla sezione LiDAR corrispondente (in verde). Il confronto delle sezioni topografiche con le corrispettive sezioni ricavate da DTM mostra un sostanziale accordo dei dati topografici.

Alla luce dei risultati di tali confronti, data la coerenza dei valori di quota del terreno, si è ritenuto che il DTM estratto dai dati LIDAR forniti dal Ministero dell'Ambiente è adeguato per implementare un modello con dominio completamente bidimensionale, senza necessità di integrazioni.

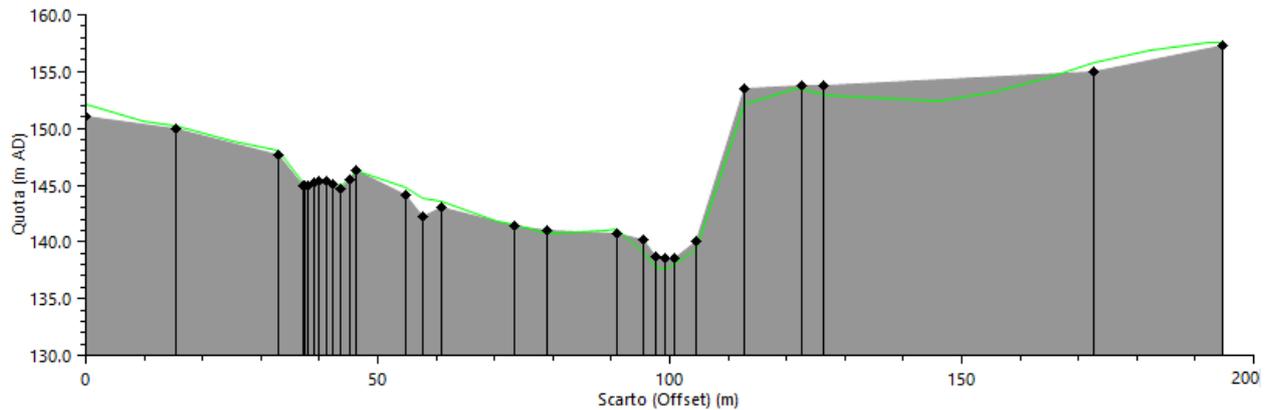


Figura 4.3 – Confronto sezione come da rilievo topografico (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde).

La **geometria di calcolo bidimensionale** è definita da una *mesh* ad elementi triangolari le cui caratteristiche plano-altimetriche sono determinate sulla base del modello digitale del terreno e degli elementi antropici presenti (rilevati, edifici).

In particolare, con riferimento al caso in esame, la *mesh* è stata ottenuta mediante una funzionalità del programma che, sulla base di parametri impostati dall'utente e delle variazioni morfologiche-altimetriche del terreno, permette di ottimizzare la *mesh* stessa al fine di massimizzare l'accuratezza di calcolo, minimizzando nel contempo la durata delle simulazioni. Tale funzionalità permette di generare elementi di calcolo più grandi dove le aree si presentano più "piatte" ed elementi più piccoli quando si hanno variazioni di pendenza. Nel caso in esame, sono tali elementi sono caratterizzati da area variabile compresa tra 1 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup> (Figura 4.4). Ai fini di una più precisa modellazione dell'alveo dei corsi d'acqua oggetto di studio sono stati utilizzati elementi quali *zone di magliatura* che hanno permesso di rappresentare con maggior grado di dettaglio l'andamento plano-altimetrico degli alvei, mediante celle di calcolo di area variabile compresa tra i 0.5 m<sup>2</sup> e i 9 m<sup>2</sup>. Tale magliatura di dettaglio ha permesso di recepire nella *mesh* di calcolo del modello bidimensionale la presenza di salti di fondo (soglie) e altre peculiarità relative all'andamento plano-altimetrico dell'alveo. Lo stesso elemento di calcolo (zona di magliatura) è stato utilizzato per definire l'alveo dei corsi d'acqua minori interferenti, che hanno effetto sulla dinamica di propagazione della piena.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO <b>RC0Y</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 10 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID 0002 002</b>	REV. <b>B</b>

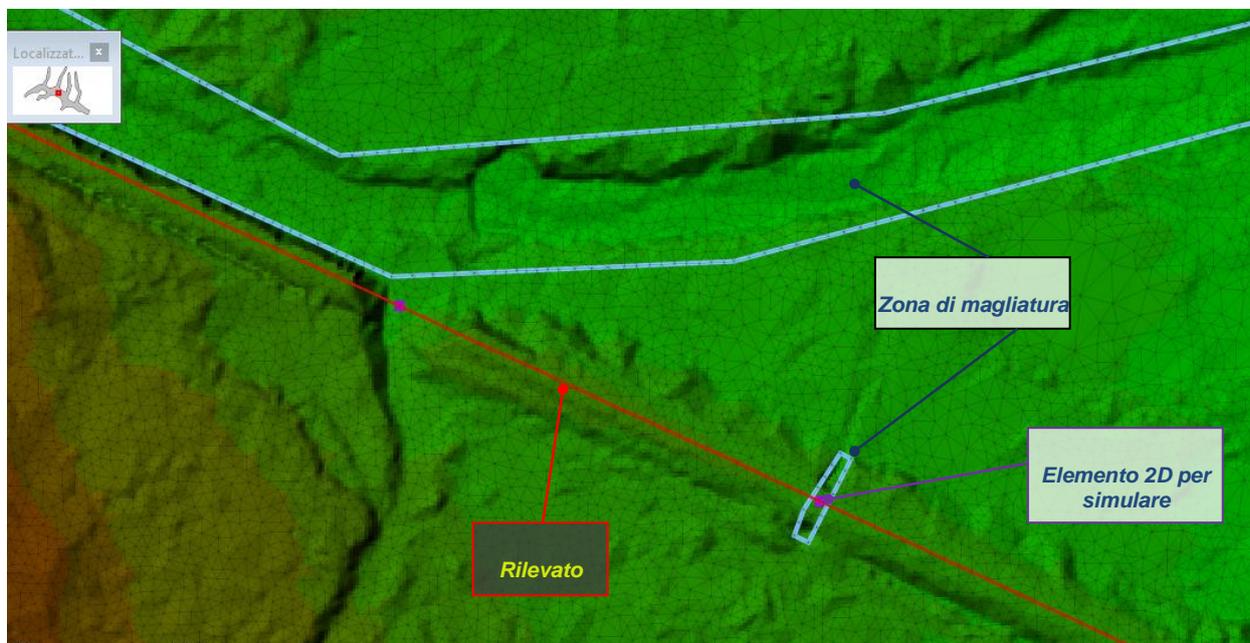


Figura 4.4 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.

La procedura di creazione della *mesh* di calcolo del dominio bidimensionale ha tenuto conto di definire mediante opportuni elementi, quali *breakline*, elementi lineari quotati, ecc., la presenza di rilevati e di elementi morfologici significativi per la propagazione della piena nelle aree allagate.

In particolare, si è avuto cura di modellare in dettaglio mediante elemento denominato *base line structure* (BLS) (in rosso in Figura 3.1) i seguenti elementi di rilievo ai fini dello studio della dinamica di propagazione della portata esondata:

- il rilevato ferroviario: tale elemento quotato ha permesso di recepire nel modello idraulico l'esatto andamento piano-altimetrico del piano ferroviario secondo rilievo;
- la strada provinciale SP 168/1, così da permettere una precisa e puntuale caratterizzazione altimetrica dello stesso come da rilievo LiDAR.

Nel modello idraulico sono stati considerati e modellati gli attraversamenti ferroviari oggetto di studio, quali i ponti esistenti IN470 e IN510 sul fiume Fallaco (Figura 4.5), utilizzando elementi bidimensionali (struttura lineare Ponte 2D), nonché le interferenze minori, secondo le caratteristiche geometriche da rilievo topografico. Sono stati inoltre considerati nel dominio di calcolo bidimensionale gli attraversamenti minori (tombini) presenti lungo il rilevato della Strada Statale SS280, e le due interferenze relative al primo affluente in sinistra idraulica in prossimità della confluenza (IN 446 ed IN450), che sono state già analizzate in dettaglio nella Relazione Idraulica Corsi D'acqua Minori, RC0Y00R10RIID0002003B.

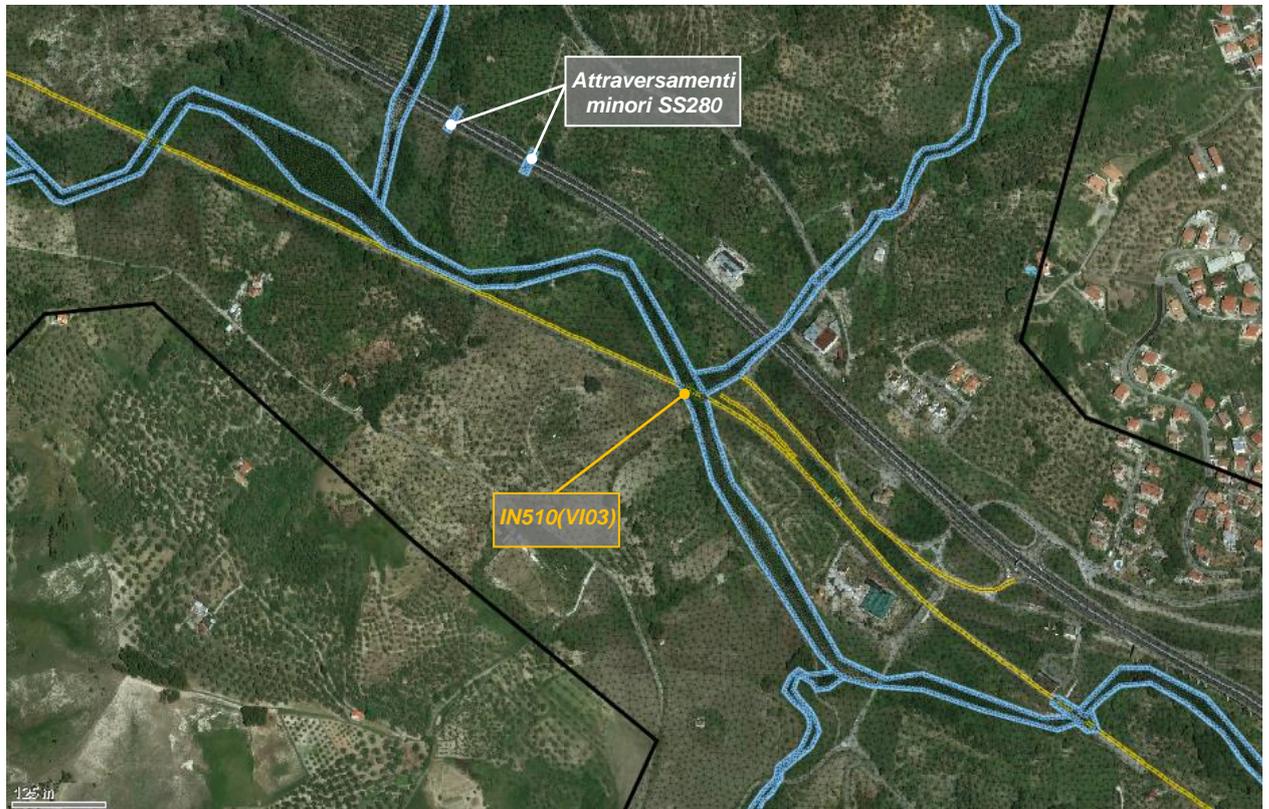


Figura 4.5 – Ubicazione degli attraversamenti principali modellati.

Le caratteristiche di scabrezza del dominio di calcolo sono state definite distinguendo valori del coefficiente di Manning ( $n$ ) adeguati rispetto ai diversi usi del suolo. In particolare, i valori di scabrezza, come suggerito anche dall’Autorità di Bacino nelle linee guida per la redazione degli studi di compatibilità, sono stati assunti da letteratura e nello specifico le zone di scabrezza individuate sono:

- **Alveo:** alveo caratterizzato da modeste irregolarità moderata presenza di vegetazione,  $n = 0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  (Tabella 4.I);

Tabella 4.I – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d’acqua.

Descrizione	Manning $n$ [ $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ ]
alvei con fondo compatto, senza irregolarità	0.022÷0.028
alvei regolari con vegetazione erbacea	0.028÷0.033
alvei con ciottoli e irregolarità modeste	0.033÷0.040
alvei fortemente irregolari	0.040÷0.066

- **Zona esterna:** zona caratterizzata da predominanza di uso del suolo di tipo seminativo e insediamenti residenziali isolati,  $n = 0.045 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  (Tabella 4.II).

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO. VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 21 di 47

Tabella 4.II – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.

Copertura del suolo	Manning n [ $m^{-1/3}s$ ]
Aree boscate	0.06
Tessuto residenziale sparso o isolato	0.07
Insediamenti industriali, artigianali, commerciali e tessuto residenziale continuo	0.10
Prati, parchi giardini e seminativi	0.04
Reti stradali	0.02

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

## 5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i principali risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche, in termini di massimi livelli idrici e velocità per lo scenario ante operam.

### 5.1 Configurazione Ante operam

L'analisi dei risultati condotti per lo scenario ante operam per eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni (Figura 5.1 e Figura 5.2 rispettivamente) ha permesso di riscontrare la presenza di allagamenti localizzati lungo il tratto di studio. Tali allagamenti risultano essere di estensione confrontabile tra i due scenari simulati, con le principali differenze relative all'entità degli stessi (i.e. massime altezze d'acqua instauratesi).

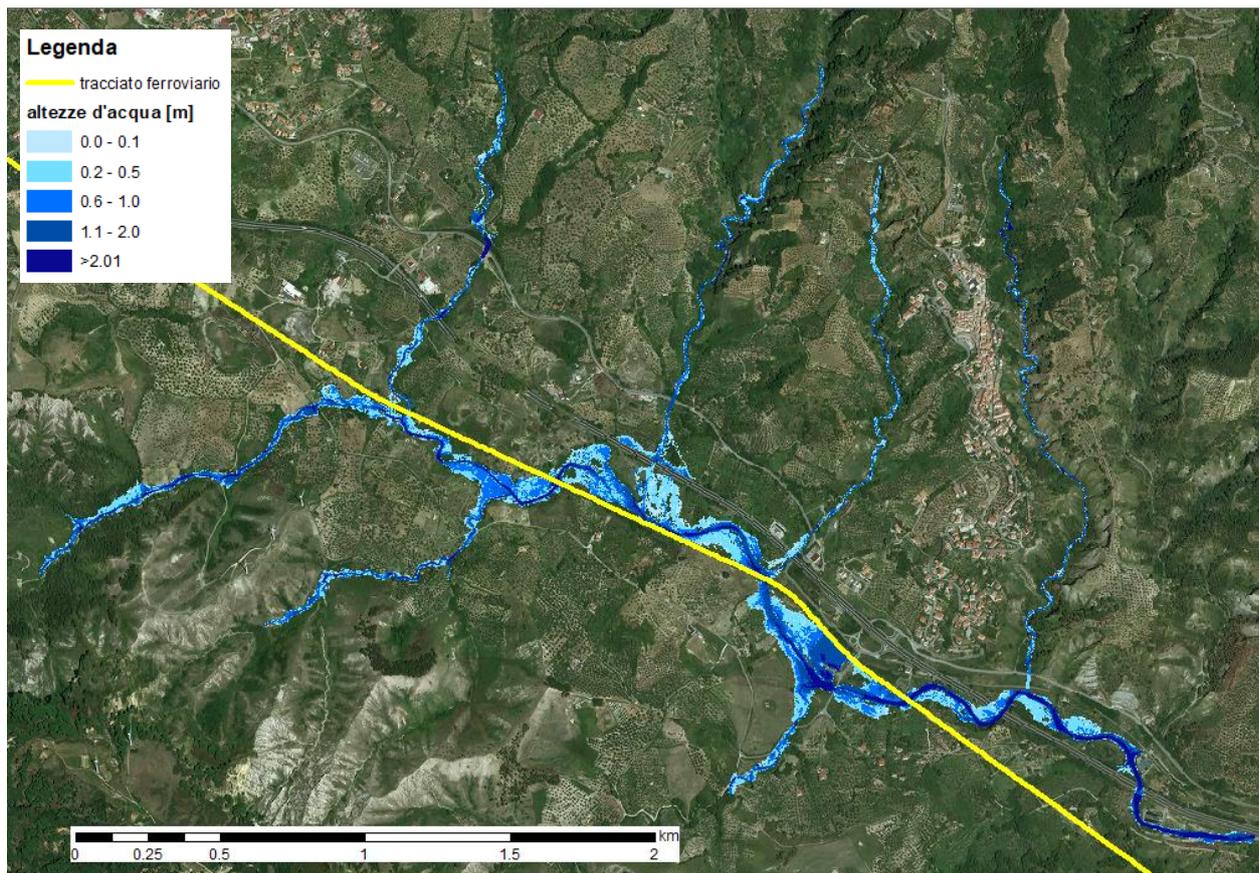


Figura 5.1 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200 – massime altezze d'acqua.

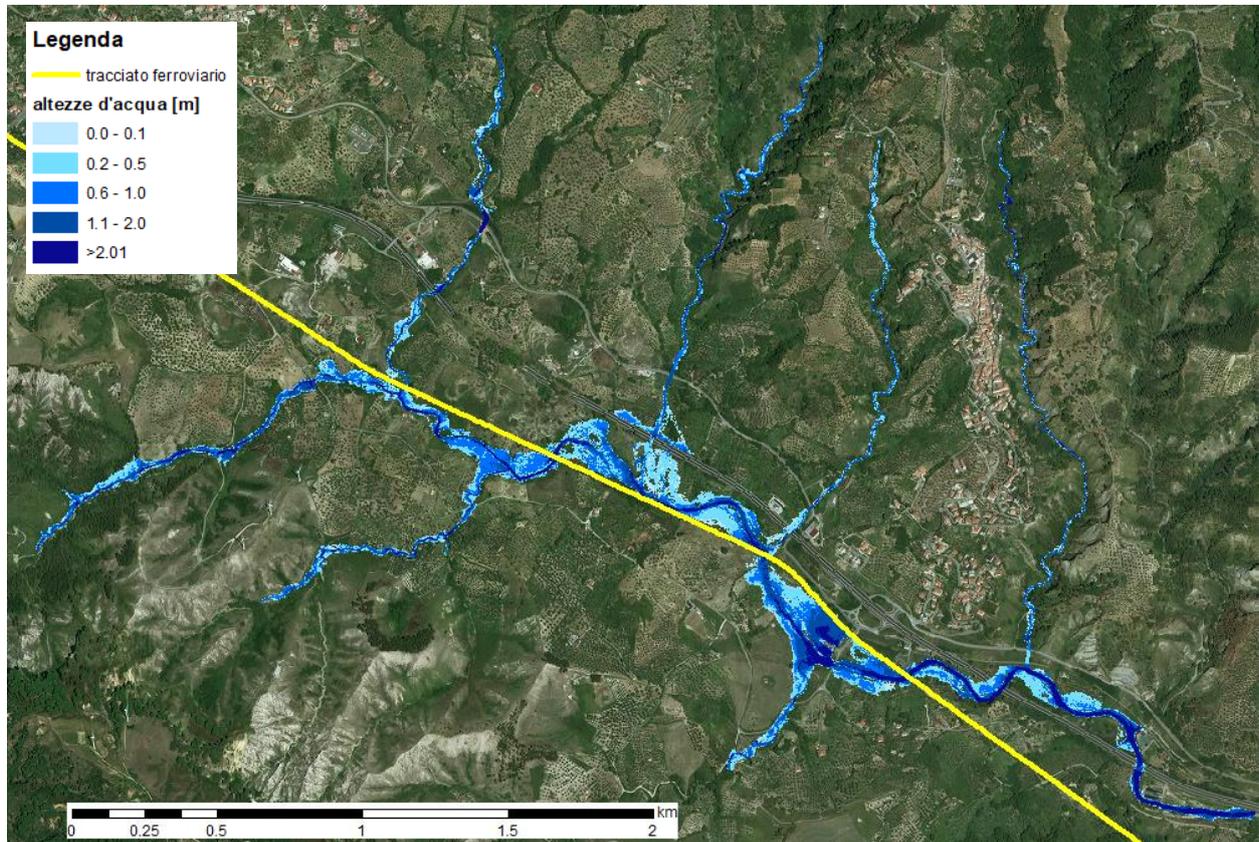


Figura 5.2 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR300 – massime altezze d'acqua.

### 5.1.1 Variante 6 - Curva 27 – pk linea storica 27+013 – 27+467

Le simulazioni mostrano che la linea esistente non è interessata dagli allagamenti del Fallaco per eventi di ritorno pari a 200 e 300anni; il fiume, nel tratto che sarà oggetto di intervento scorre parallelamente alla linea esistente (Figura 5.3).

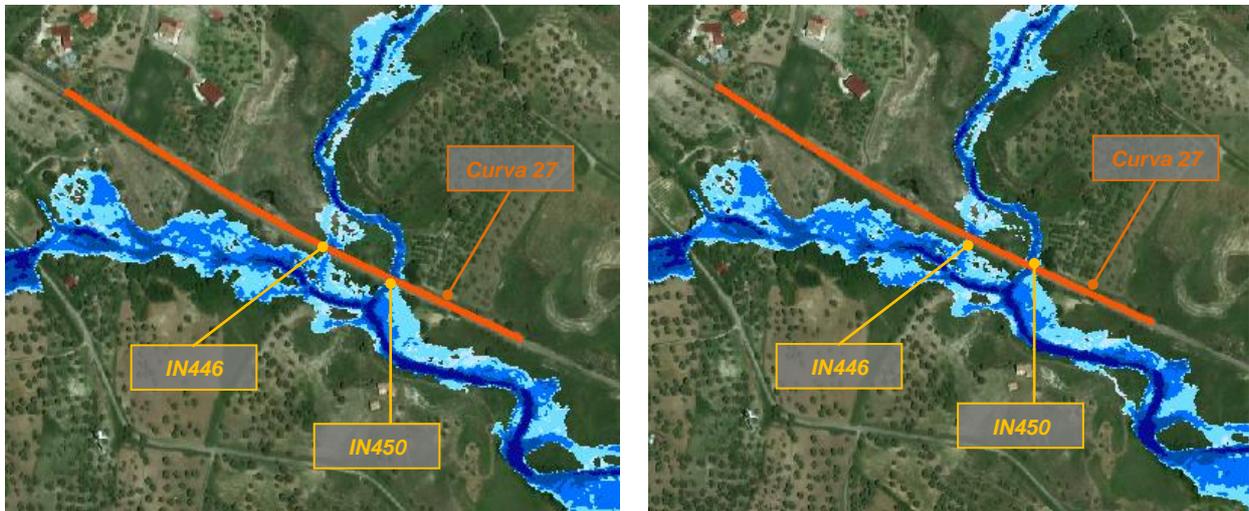


Figura 5.3 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per gli eventi TR300 e TR200 – massime altezze d'acqua.

Per l'analisi di dettaglio delle interferenze IN446 e IN450 (VI05) si rimanda all'elaborato relativo ai corsi d'acqua minori (RC0Y00R10RIID0002003B).

### 5.1.2 Ponte esistente (IN470, VI06) pk linea storica 27+908

L'attraversamento IN470 che si trova alla pk della linea storica 27+908 è un ponte ad una campata le cui spalle vengono lambite dal livello idrico che si instaura sia con TR200 che TR300 anni.

Il tratto in cui si trova l'attraversamento è un tratto non oggetto di variante, ma è necessario l'adeguamento del ponte ferroviario per motivi strutturali.

Il massimo livello misurato a monte della struttura interferente è di 130.35 m s.m.m. e 130.53 m s.m.m. per TR200 e TR300 anni rispettivamente, pertanto il franco rispetto all'intradosso risulta essere di 2.41 m per TR 200 e 2.23 m per TR 300 (Tabella 5.1). Si riporta di seguito (Figura 5.4) un'analisi di dettaglio di massimi tiranti e livelli idrici nel fiume Fallaco in corrispondenza dell'attraversamento esistente stesso.

Tabella 5.1 – – Massimi tiranti e livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento IN470– fiume Fallaco. A sinistra l'ubicazione dei punti di misura.

Scenario	Quota fondo [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico[m s.m.m.]	Massimo Tirante idrico Y [m]	Intradosso [m]	Franco [m]	Massima velocità corrente [m/s]
ante operam TR200	126.91	130.35	3.44	132.76	2.41	3.45
ante operam TR300	126.91	130.53	3.62	132.76	2.23	3.48

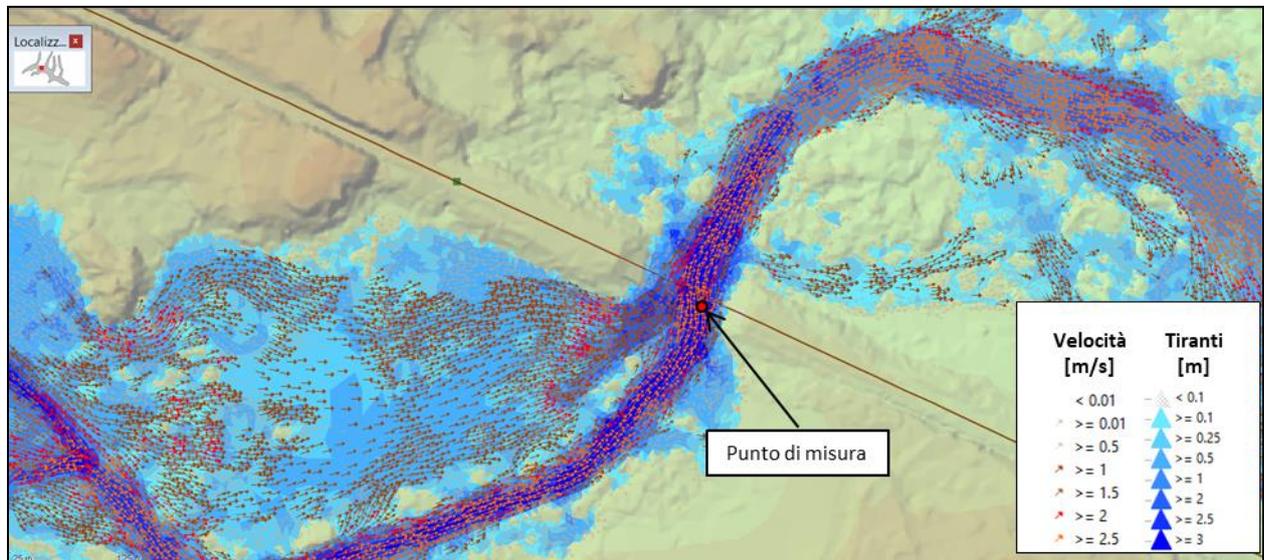


Figura 5.4 - Risultati della simulazione per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento IN470 e ubicazione del punto di rilievo dei risultati.

Di seguito si riporta un grafico (Figura 5.5) con rappresentato il profilo idraulico in corrispondenza del manufatto di attraversamento nella configurazione ante operam e post operam.

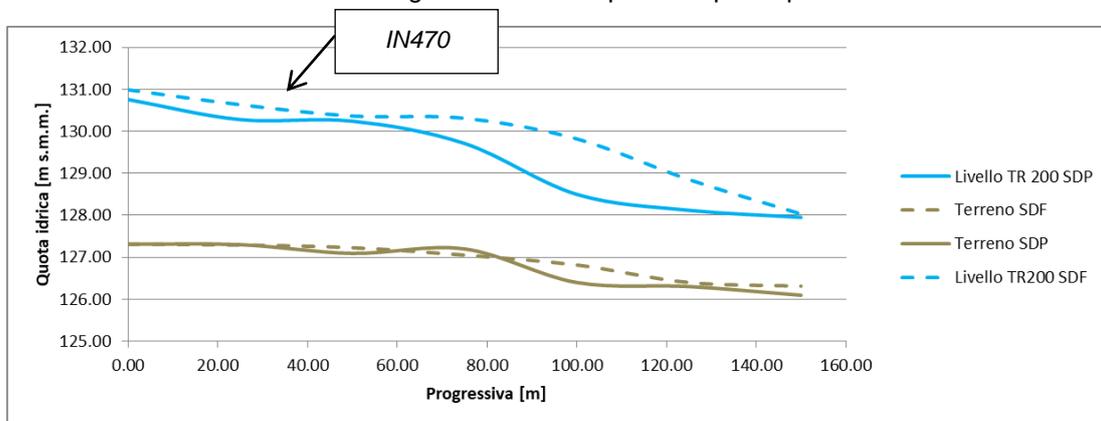


Figura 5.5 – Confronto tra i livelli ante opera e post operam con l'evento TR200 anni.

### 5.1.3 Variante 8 - Curva 28/29, Ponte esistente (IN510)

L'attraversamento esistente crea un restringimento che costringe la portata a riconvogliare in alveo; tuttavia, la stessa fuoriesce nuovamente a valle dell'attraversamento, allagando le aree perfluviali in sinistra e destra (Figura 5.6).

Il massimo livello misurato in corrispondenza della struttura interferente è di 113.8 m s.m.m. e 113.95 m s.m.m. per TR200 e TR300 anni rispettivamente, pertanto il franco rispetto all'intradosso risulta essere di 1.2 m per TR 200 e 1.05 m per TR 300. Si riporta di seguito (Figura 5.6) un'analisi di dettaglio di massimi tiranti e livelli idrici nel fiume Fallaco in corrispondenza dell'attraversamento esistente stesso.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

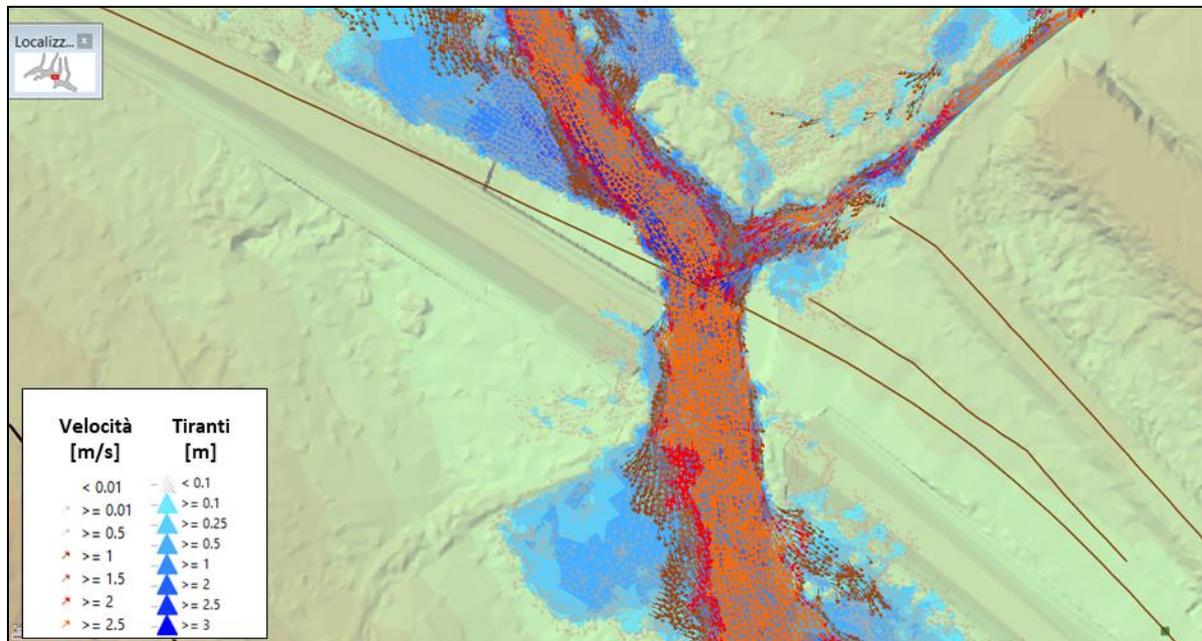


Figura 5.6 – Risultati della simulazione per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento IN510

Tabella 5.II – – Massimi tiranti e livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento IN510 – fiume Fallaco.

Scenario	Quota fondo [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico [m s.m.m.]	Massimo Tirante idrico Y [m]	Intradosso [m]	Franco [m]	Massima velocità corrente [m/s]
ante operam TR200	111.5	113.8	2.3	115.00	1.2	2.95
ante operam TR300	111.5	113.95	2.45	115.00	1.05	2.98

#### 5.1.4 Parallelismo con il tracciato ferroviario

Sono state prese in esame quattro sezioni in corrispondenza del rilevato ferroviario esistente lungo il corso del fiume Fallaco (Figura 5.7) per poter valutare il franco di sicurezza rispetto al piano del ferro che si verifica durante importanti eventi di piena, quali quelli analizzati nelle modellazioni in oggetto. Per queste sezioni si riportano nei grafici seguenti (Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10,) i massimi livelli idrici simulati per un tempo di ritorno di 300 anni.

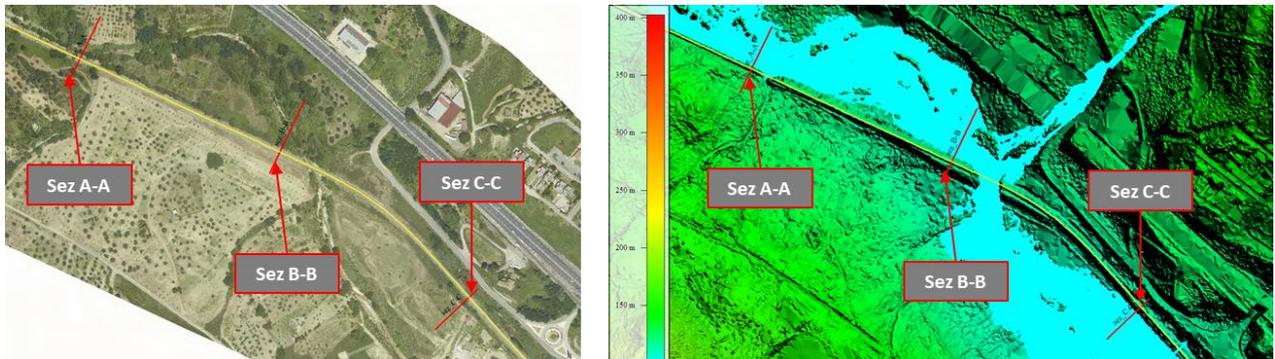


Figura 5.7 – Ubicazione sezioni trasversali su ortofoto e su DTM con estensione massima degli allagamenti per TR300.

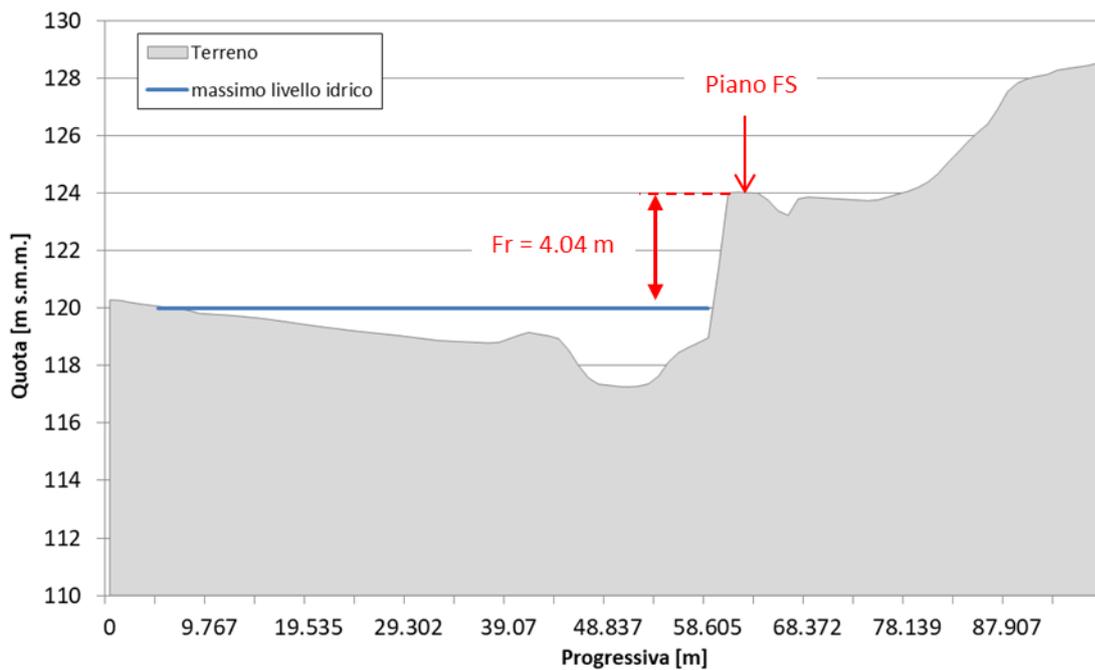


Figura 5.8 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale A-A con indicazione del massimo livello idrico attestato.

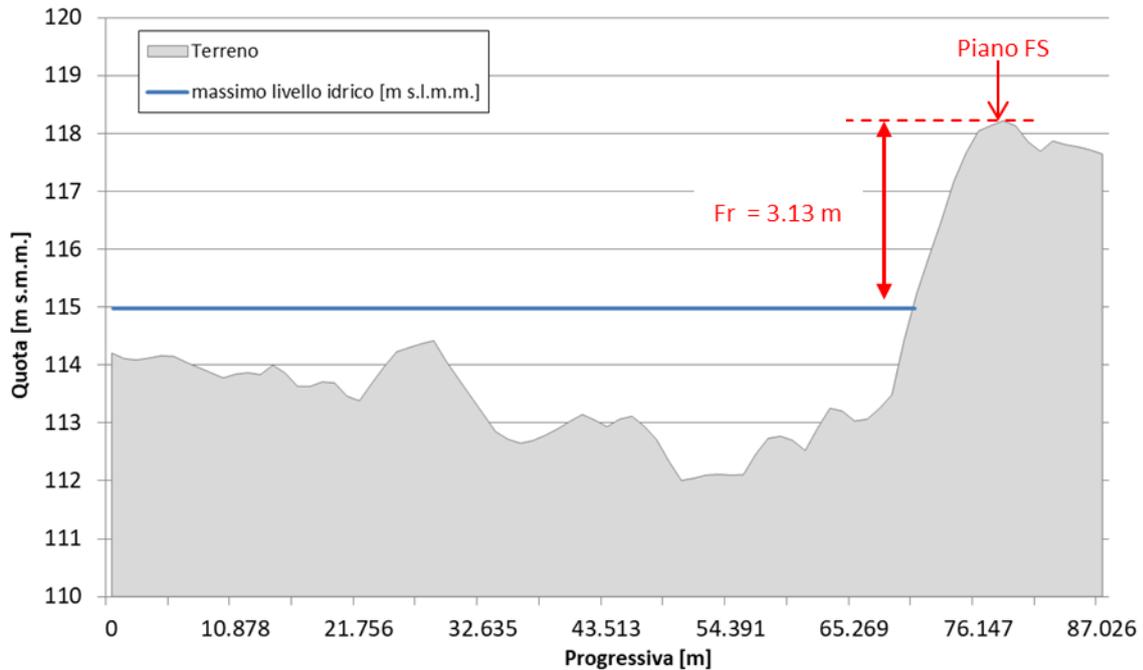


Figura 5.9 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale B-B con indicazione del massimo livello idrico attestato.

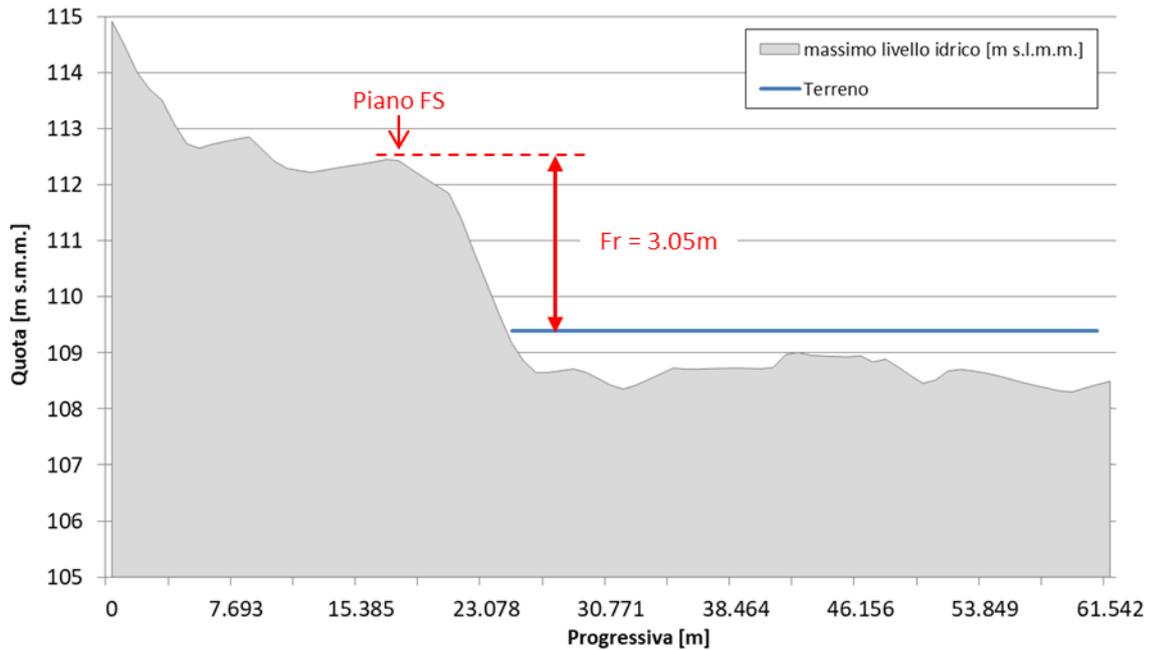


Figura 5.10 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale C-C con indicazione del massimo livello idrico attestato.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

In si riporta un riassunto dei livelli idrici rilevati in corrispondenza delle sezioni considerate e i franchi idraulici riscontrati.

Tabella 5.III – – *Quota del piano ferroviario, massimo livello idrico e franco idraulico in corrispondenza delle sezioni considerate*

Scenario	Quota Piano FS [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico [m s.m.m.]	Franco [m]
Sez A-A	124.04	120.00	4.04
Sez B-B	118.10	114.97	3.13
Sez C-C	112.44	109.39	3.05

## 5.2 Confronto con i risultati PAI

I risultati ottenuti mediante implementazione del modello bidimensionale in InfoWorks risultano in generale accordo con le perimetrazioni PAI.

Per quanto concerne l'estensione delle aree allagate, in Figura 5.11 è possibile osservare un confronto tra i risultati per l'evento TR200 e le perimetrazioni PAI aggiornate al 2016. Differenze localizzate di estensione delle aree interessate da allagamento sono imputabili a differenze del modello di calcolo di diversi software di modellazione: la differente modellazione del tratto oggetto di modellazione, a carattere bidimensionale nel presente studio, permette un'affidabile valutazione della propagazione dell'onda di piena nonché dei livelli d'acqua.

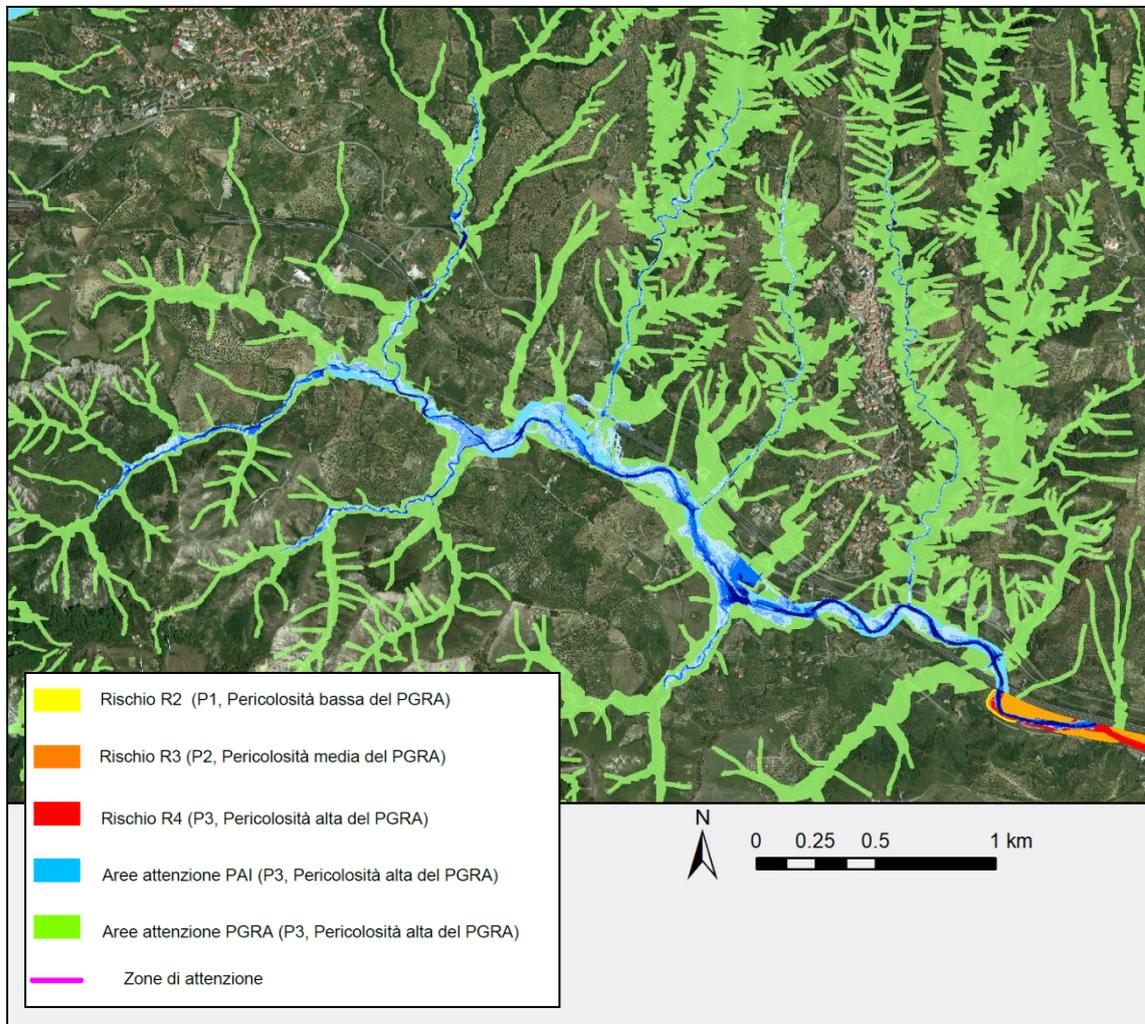


Figura 5.11 – Confronto risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 e fasce PAI (2016)

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

### 5.3 Configurazione Post operam

I risultati dello scenario post operam, come per lo scenario ante operam, presentano aree allagabili molto simili per tempi di ritorno pari a 200 e 300 anni (Figura 5.12 e Figura 5.13 rispettivamente), data la conformazione della valle. Tali allagamenti risultano essere di estensione confrontabile tra i due scenari simulati, con le principali differenze relative all'entità degli stessi (i.e. massime altezze d'acqua instauratesi).

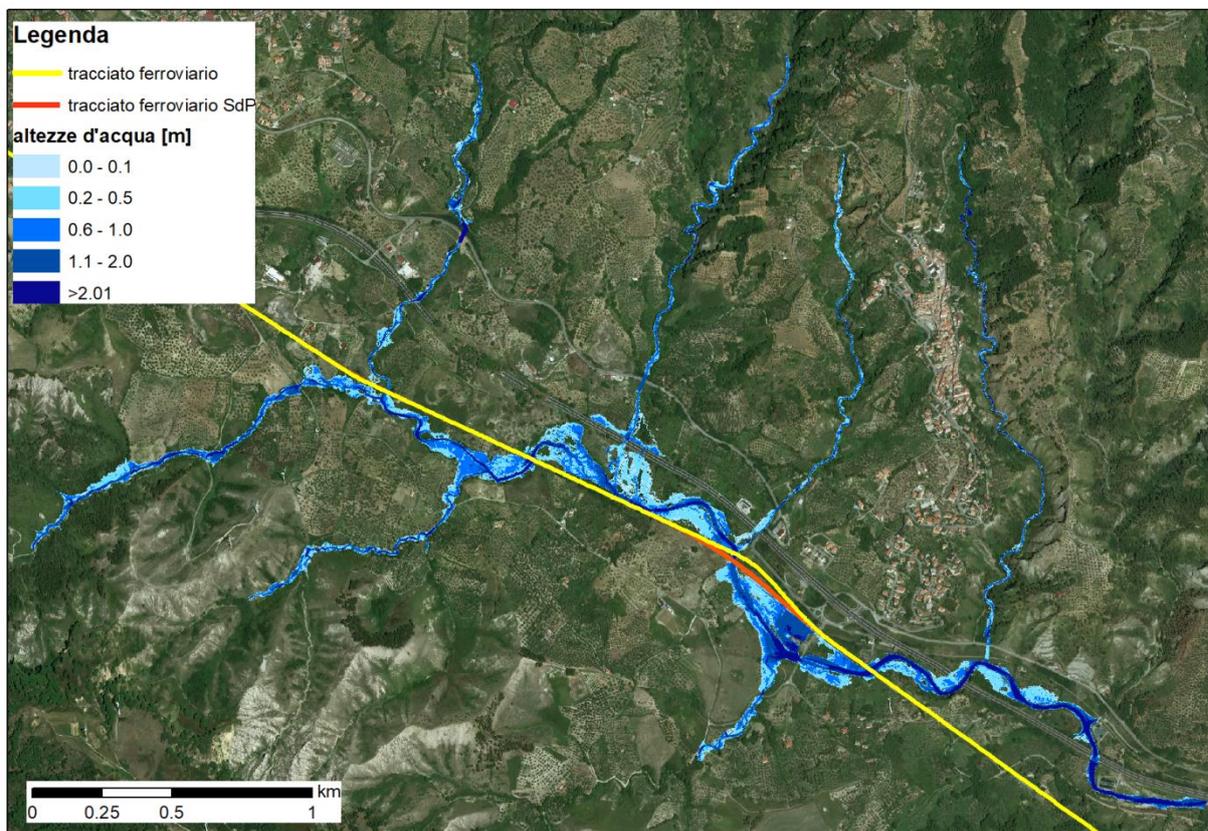


Figura 5.12 – Risultati della simulazione per lo scenario post operam per l'evento TR200 – massime altezze d'acqua.

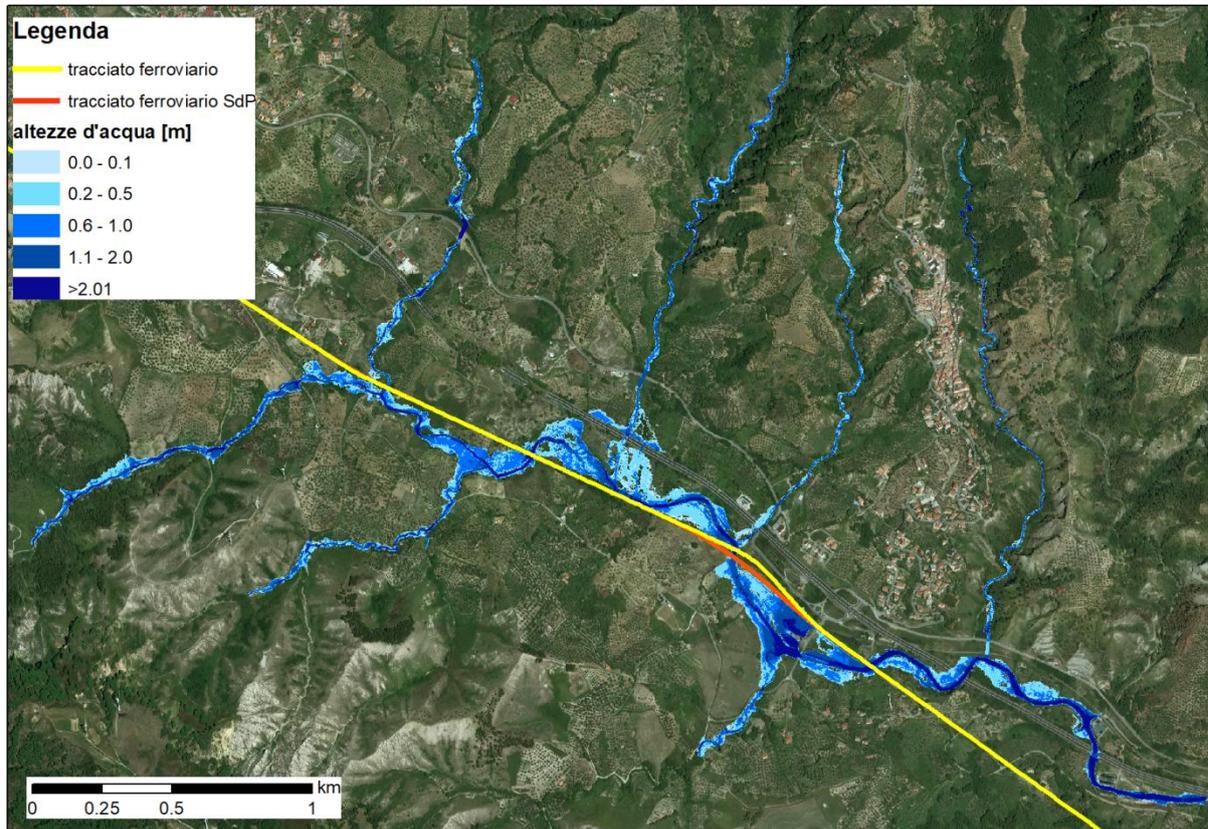


Figura 5.13 – Risultati della simulazione per lo scenario post operam per l'evento TR300 – massime altezze d'acqua.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

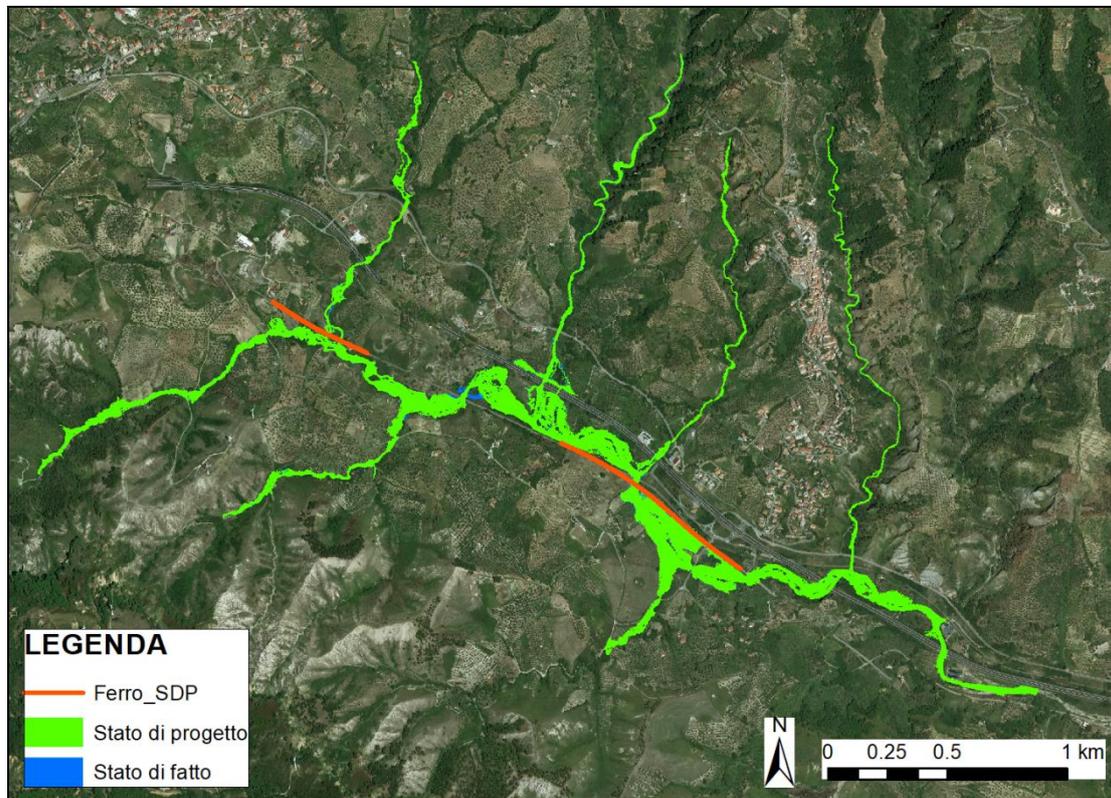


Figura 5.14 – Risultati della simulazione per lo scenario ante e post operam per l'evento TR200: le aree allagabili in verde coincidono per ante operam e post operam, quelle blu corrispondono solo all'ante operam.

Dal confronto tra l'estensione delle aree allagate degli scenari ante operam e post operam per TR200, si osserva che non c'è una modifica sostanziale dell'estensione delle aree allagate (Figura 5.14).

### 5.3.1 Variante 6 - Curva 27 – pk linea storica 27+013 – 27+467

La variazione di tracciato per la variante 7 è tale che la sede di progetto è sovrapposta planimetricamente alla sede esistente. L'incremento di ingombro in pianta è dovuto all'adeguamento della sede ferroviaria che passa dalla sezione attuale di 5.50m a quella di progetto di 7.5m. Le simulazioni mostrano che il corpo ferroviario di progetto non è interessato dagli allagamenti del Fallaco per eventi di ritorno pari a 200 e 300anni.

### 5.3.2 Nuovo attraversamento sul fiume Fallaco (VI06)

L'attraversamento IN470 sarà demolito e sostituito dalla struttura VI06 nella medesima posizione. Il progetto prevede la regolarizzazione dell'alveo del fiume Fallaco in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario.

Al fine di proteggere il rilevato ferroviario dagli allagamenti prodotti dall'evento con tempo di ritorno 200 anni, a monte dell'attraversamento si prevede la realizzazione di due argini di protezione, un argine in sinistra idraulica a quota 130.90 m s.m.m. di lunghezza 37 m, un argine in sinistra idraulica a quota

131.50 m s.m.m. di lunghezza circa 65 m. A valle del rilevato per contenere le portate all'interno dell'alveo del fiume Fallaco è prevista una sistemazione di sponda per regolarizzare la quota delle sponde attraverso dei riempimenti, in destra idraulica la quota di regolarizzazione è pari a 130.40 m s.m.m. ed il volume necessario è pari a 50 m<sup>2</sup>, mentre a sinistra è pari a 130.60 m s.m.m. ed il volume necessario è pari a 90 m<sup>2</sup> (Figura 5.15 e Figura 5.16).



Figura 5.15 – Interventi di sistemazione.

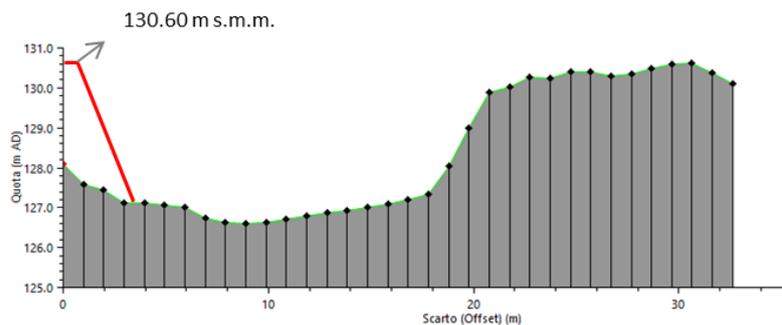
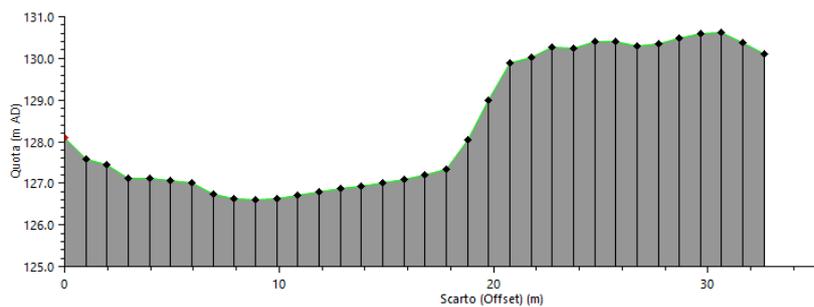


Figura 5.16 – Ricucitura sponde esempio sponda destra..

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

E' stata prevista una sezione d'alveo regolarizzata quanto più prossima alla sezione d'alveo naturale e l'intervento in progetto non modifica il profilo longitudinale dell'asta. Il fondo dell'alveo in corrispondenza dell'attraversamento verrà protetto con materassi tipo reno per 20m a monte e 20m a valle del ponte in progetto.

Si nota come gli interventi di progetto riducono le aree di allagamento e garantiscono il contenimento della portata di progetto in corrispondenza dell'attraversamento (Figura 5.17).

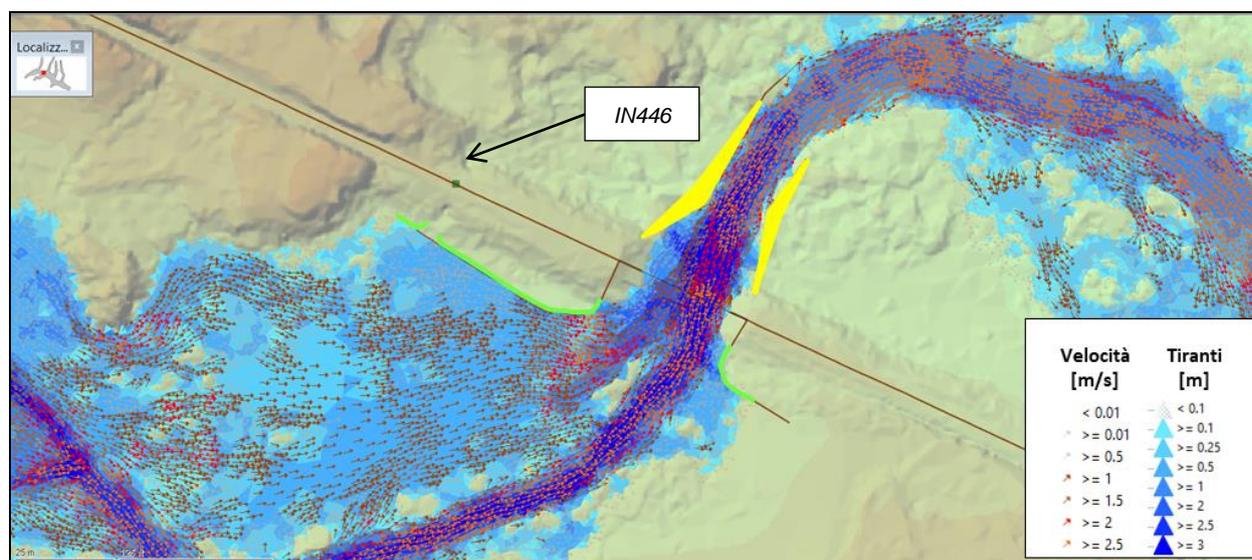


Figura 5.17 - Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento VI06.

I massimi tiranti idrici in prossimità dell'argine destro sono pari a 1.10 m quindi si prevede la realizzazione di un argine in terra di altezza massima pari a 1.60 m per garantire il franco di 50 cm. Mentre in prossimità dell'argine sinistro i tiranti massimi sono di 1.23 m, quindi si prevede la realizzazione di un argine in terra di 1.80 m, tale argine dovrà essere interrotto in corrispondenza dalla IN446 per garantirne la continuità idraulica (Figura 5.17).

Si riportano di seguito in Tabella 5.IV i dati relativi all'attraversamento mentre in Figura 5.18 si riporta l'immagine del VI06 in progetto con indicazione dei livelli idrici.

Tabella 5.IV – Massimi tiranti, livelli idrici e velocità in corrispondenza degli attraversamenti studiati

Struttura	Scenario	Quota fondo [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico [m s.m.m.]	Massimo Tirante Y [m]	Intradosso [m]	Franco [m]	Massima velocità corrente [m/s]
VI06	post operam TR200	126.84	130.24	3.40	132.44	2.20	3.65
	post operam TR300	126.84	130.45	3.61	132.44	1.99	3.67

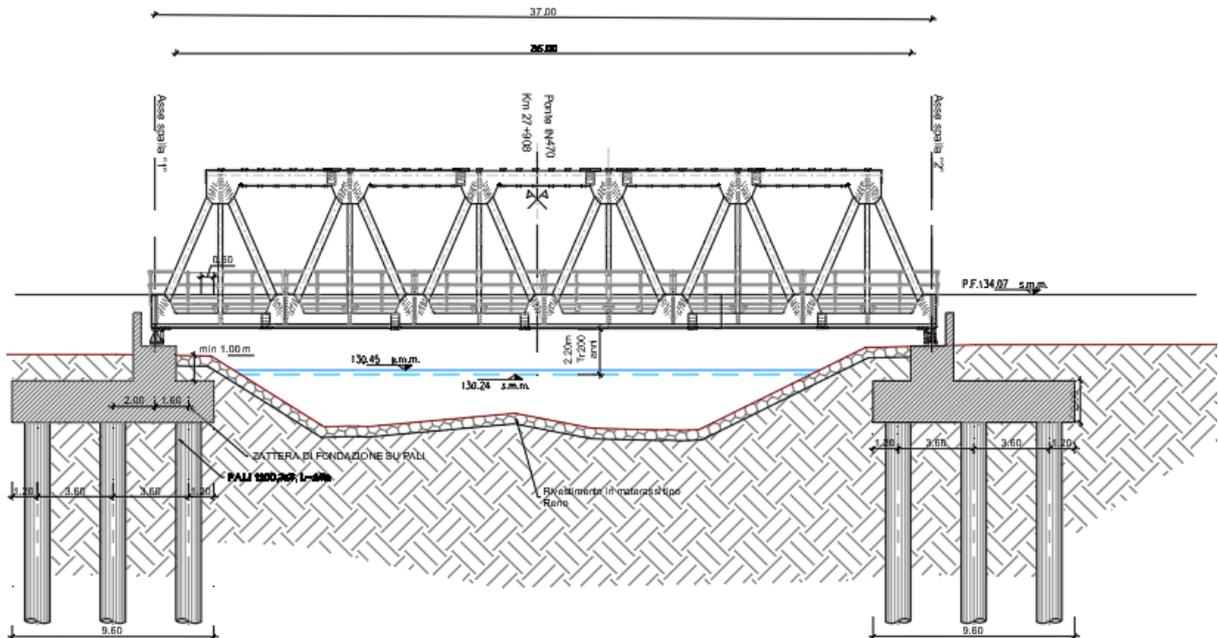


Figura 5.18 - Viadotto ferroviario VI06 in progetto con indicate le quote idrometriche, con linea tratteggiata è indicata la quota relativa a TR200 mentre con linea continua la quota per TR300.

### 5.3.3 Nuovo attraversamento sul Fallaco (VI03)

L'attraversamento esistente (IN510) sul Fiume Fallaco sarà demolito e sostituito dalla struttura VI03 nella posizione del nuovo tracciato. Il progetto prevede inoltre una regolarizzazione dell'alveo del Fiume Fallaco per il contenimento della portata in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario. Tale regolarizzazione d'alveo ha una lunghezza di 200m, una sezione trapezia rivestita in Materassi di Tipo Reno di dimensioni 8.0x1.5x13m (Figura 5.19).

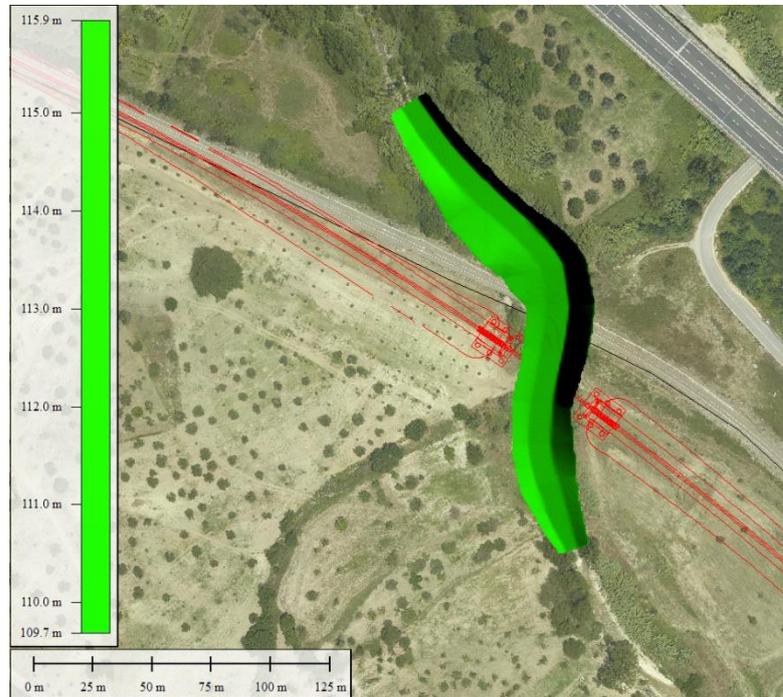


Figura 5.19 – Risezionamento di progetto in corrispondenza dell'attraversamento IN510.

Si nota come gli interventi di progetto riducono le aree di allagamento e garantiscono il contenimento della portata di progetto in corrispondenza dell'attraversamento (Figura 5.20).

La distanza tra il rilevato esistente e quello di progetto permetterebbe l'ingresso di acqua dell'area interclusa tra i due rilevati. Per evitare ciò, nel modello è stata inserita una barriera di altezza infinita tra i due rilevati ferroviari, tale barriera vuole quindi simulare la presenza di un argine di progetto che avrà lo scopo di impedire l'allagamento nell'area interclusa tra il rilevato di progetto e quello esistente. Le massime quote idrometriche in prossimità dell'apertura tra i rilevati risultano pari a 114 m s.m.m., pertanto, considerando cautelativamente 1m di franco sui livelli idrici di progetto al fine di evitare l'eventuale ingresso di acqua tra il rilevato esistente e quello di progetto è da prevedersi un arginello in terra di lunghezza pari a 15m e altezza pari a 2.0m

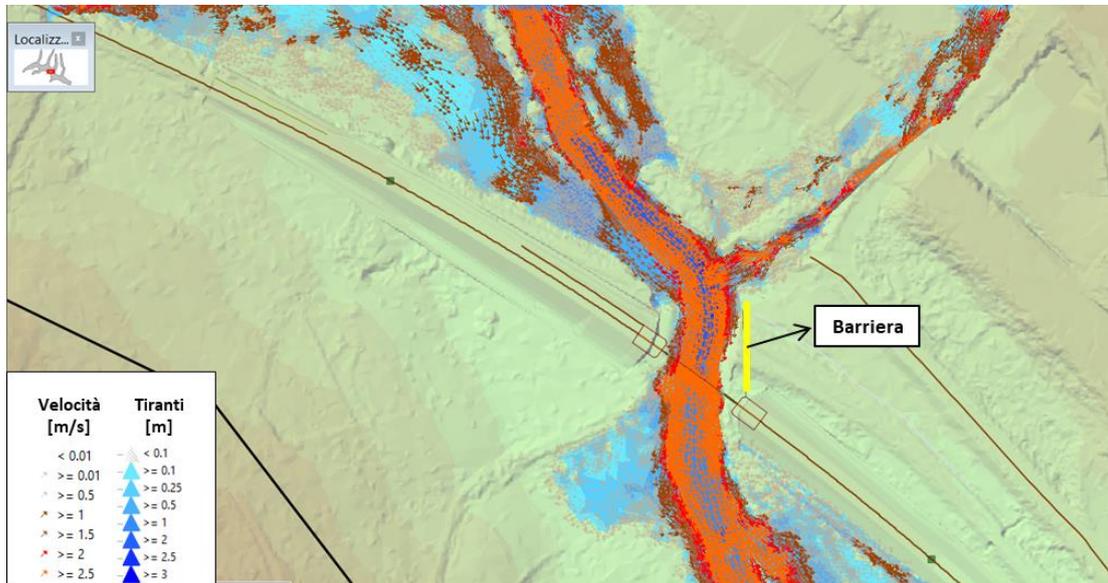


Figura 5.20 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento VI03

Si riportano di seguito l'immagine del VI03 in progetto con indicazione dei livelli idrici.

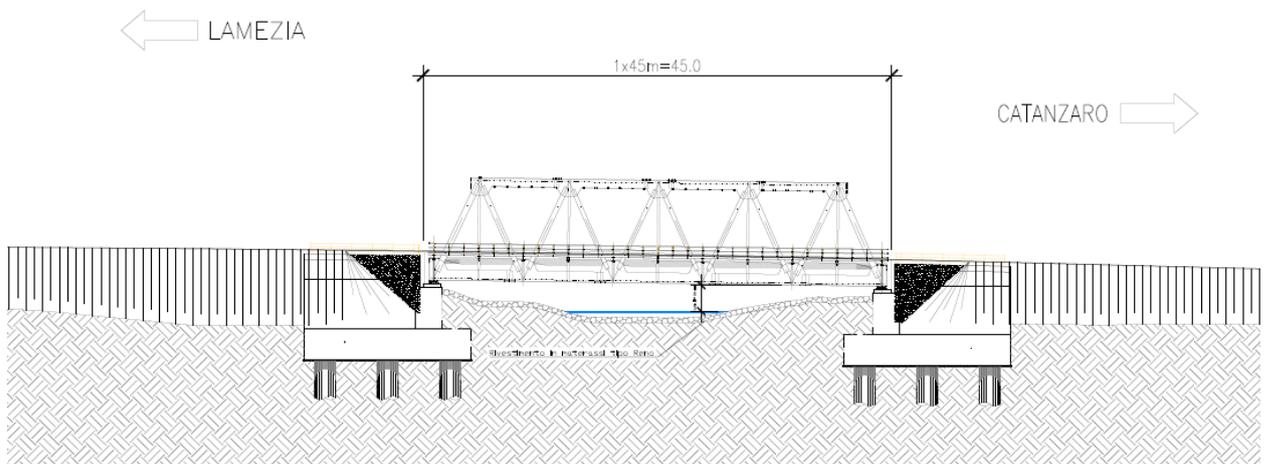


Figura 5.21 – viadotto ferroviario VI03

Tabella 5.V – Massimi tiranti, livelli idrici e velocità in corrispondenza degli attraversamenti studiati

Struttura	Scenario	Quota fondo [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico[m s.m.m.]	Massimo Tirante Y [m]	Intradosso [m]	Franco [m]	Massima velocità corrente [m/s]
VI03	post operam TR200	110.9	113.05	2.15	116	2.95	4.40

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO <b>RC0Y</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>R 10 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID 0002 002</b>	REV. <b>B</b>

	post operam TR300	110.9	113.2	2.3	116	2.8	4.65
--	----------------------	-------	-------	-----	-----	-----	------

I risultati dello stato di progetto mostrano quindi che il franco è sempre rispettato.

### 5.3.4 Parallelismo con il tracciato ferroviario

Sono state prese nuovamente in esame le tre sezioni viste in precedenza (Figura 5.7) per le quali nei grafici seguenti (Figura 5.23, Figura 5.24, Figura 5.25) si riportano i massimi livelli idrici simulati per un tempo di ritorno di 300 anni nello stato di progetto.

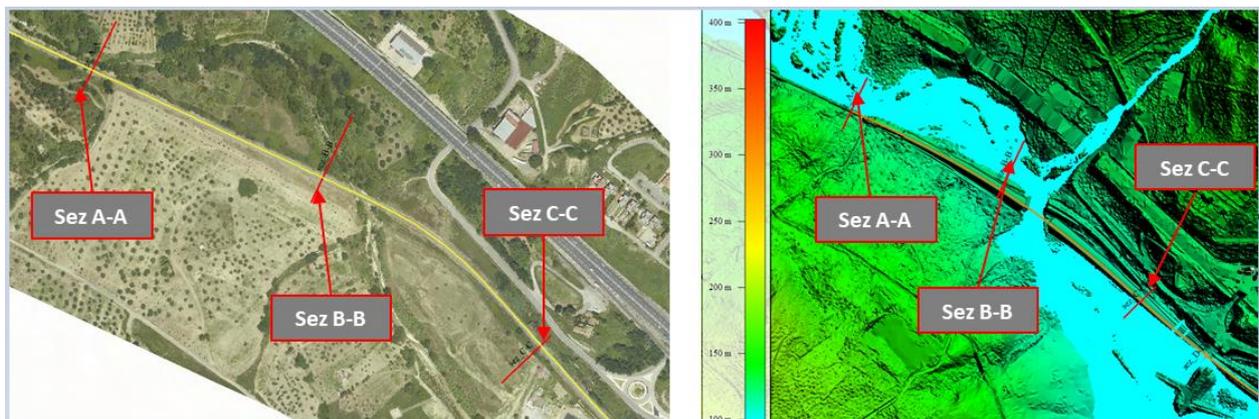


Figura 5.22 –Ubicazione sezioni trasversali su ortofoto e su DTM con estensione degli allagamenti per TR300.

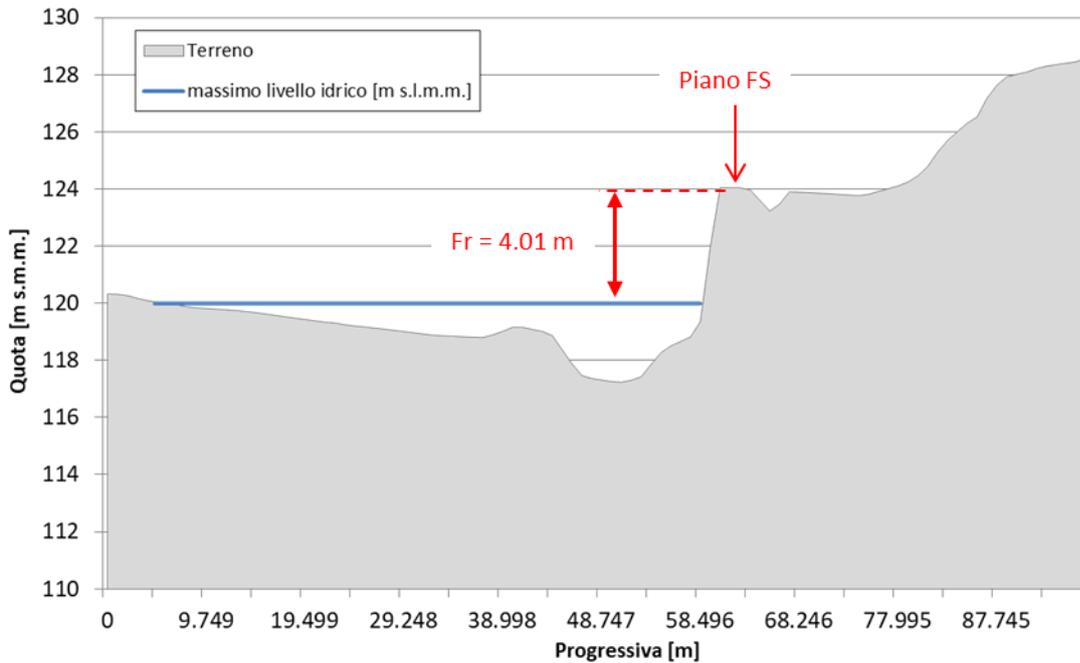


Figura 5.23 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale A-A con indicazione del massimo livello idrico attestato.

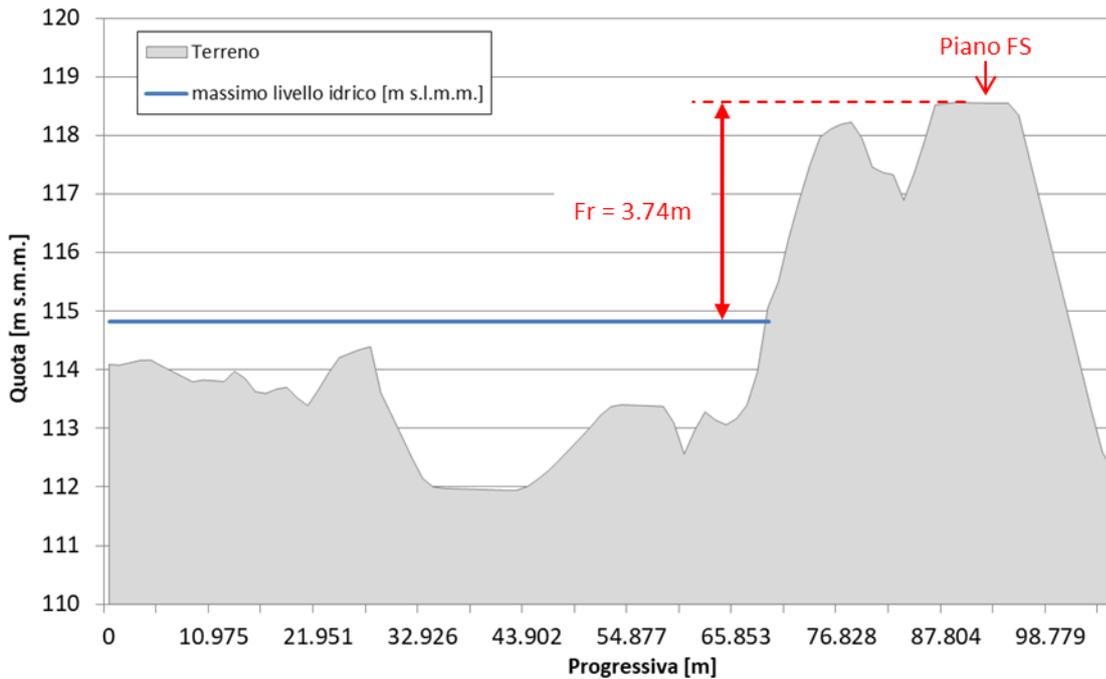


Figura 5.24 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale B-B con indicazione del massimo livello idrico attestato.

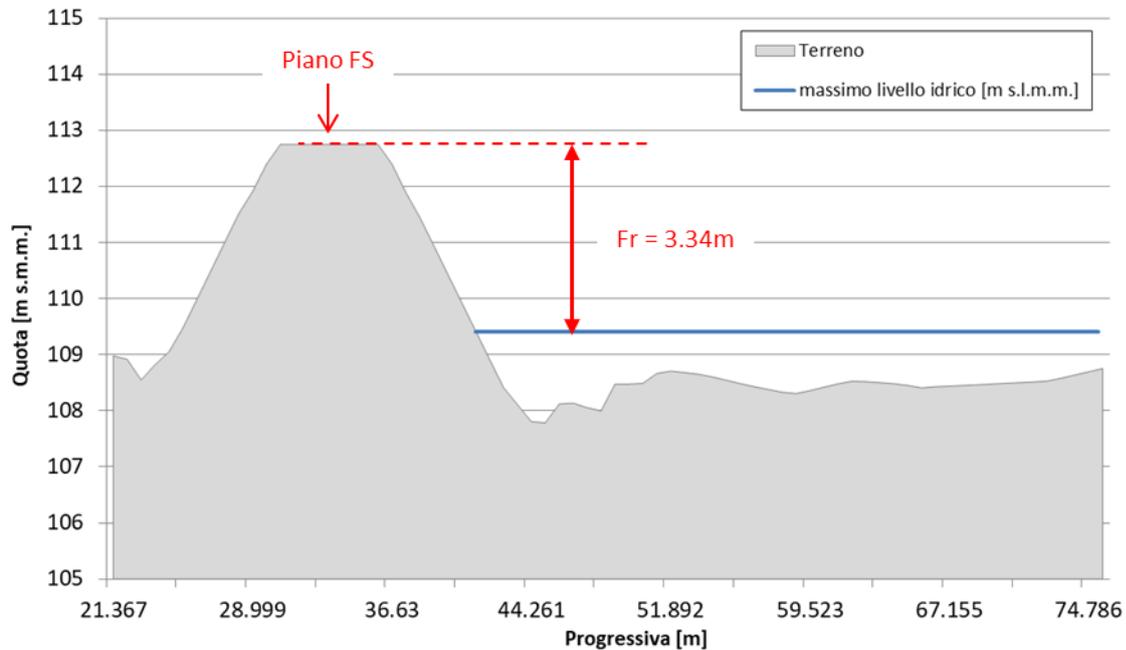


Figura 5.25 – Analisi dei risultati per TR 300 - sezione trasversale C-C con indicazione del massimo livello idrico attestato.

In Tabella sottostante si riporta un riassunto dei livelli idrici rilevati in corrispondenza delle sezioni considerate e i franchi idraulici riscontrati.

Tabella 5.VI – Quota del piano ferroviario, massimo livello idrico e franco idraulico in corrispondenza delle sezioni considerate

Scenario	Quota Piano FS [m s.m.m.]	Massimo Livello idrico [m s.m.m.]	Franco [m]
Sez A-A	124.04	120.00	4.04
Sez B-B	118.56	114.82	3.74
Sez C-C	112.75	109.41	3.34

	<p align="center"><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b>  <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b>  <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b>  <b>TRACCIATO</b></p>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 42 di 47

## Appendice A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM

### Punti di forza dell'applicativo software

I punti di forza principali dell'applicativo derivano dalla sua ampissima gamma di applicazione che ne consente l'utilizzo di qualsiasi situazione reale senza bisogno di ricorrere ad artifici o semplificazioni del problema. L'interfaccia utente, semplice e completo, la velocità di calcolo e la robustezza dell'approccio numerico completano il prodotto rendendolo facilmente fruibile ai tecnici che operano nel settore dell'idraulica.

### Modelli idrologici disponibili

Pur trattandosi di un modello idraulico, InfoWorks ICM dispone di una serie modelli di trasformazione afflusso-deflussi per connettere una sezione di deflusso del reticolo di drenaggio, a un bacino idrografico che produce la portata di alimentazione in risposta ad un evento meteorico. E' quindi possibile sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno tra cui anche degli opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in diversi sottobacini. A scelta l'utente potrà scegliere tra questi modelli idrologici:

- Formula Razionale
- Modello CN (SCS)
- Modello Green-Ampt
- Modello Horton
- Modello New UK
- Modello dell'Infiltrazione costante
- Modello di Horner

Si possono anche inserire diversi modelli di corrivazione e di computazione delle perdite iniziali.

### Approccio numerico alla componente 1D

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione del momento e della massa).

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b> <b>TRACCIATO</b>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 43 di 47

Le equazioni sono le seguenti:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

- $A$  area bagnata del condotto;
- $Q$  portata;
- $x$  distanza lungo l'asse del condotto;
- $t$  tempo;
- $g$  costante gravitazionale;
- $H$  carico idraulico totale dato da  $z+h$ ;
- $z$  quota dello scorrimento;
- $h$  livello idrico;
- $S_f$  cadente piezometrica.

In particolare, la prima è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la seconda è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in più forme, in funzione della scelta delle variabili dipendenti. La cadente piezometrica viene computata con varie possibili metodologie (a scelta dell'utente): in InfoWorks sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Strickler.

Per poter essere integrate queste equazioni devono essere opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks CS è quello dei 4 punti di Priessmann mentre il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione, per permettere a InfoWorks di simulare anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno

	<p align="center"><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b>  <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b>  <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b>  <b>TRACCIATO</b></p>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 44 di 47

stato all'altro) il motore di calcolo adotta la tecnica dello slot per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandate presenti nel modello, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello slot).

L'applicabilità di questo metodo di soluzione è stato testato in centinaia di studi e applicazioni anche con riscontri di misure idrometriche ottenuti su dei bacini sperimentali.

Ci sono alcune limitazioni sull'utilizzo di questo approccio sono:

- i risultati sono semplificati per elementi molto pendenti e per le quali comunque InfoWorks produce dei risultati comunque vicini alla realtà;
- il risalto idraulico (ovvero quella discontinuità che si nota nei profili di rigurgito dove un tubo molto pendente incontra un tubo a bassa pendenza per cui l'acqua forma un vero e proprio sovrizzo improvviso) non viene rappresentato in modo preciso ma il passaggio da corrente veloce a lenta viene computato su una certa distanza (qualche metro a seconda della geometria della situazione reale).

Si noti che la metodologia di calcolo a moto vario è in grado di tener conto anche dei volumi in gioco e quindi di tener conto delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello.

#### Approccio numerico alla componente 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned} \quad (3)$$

dove:

- $h$  è l'altezza dell'acqua;
- $u$  e  $v$  sono rispettivamente le velocità nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;
- $S_{0,x}$  e  $S_{0,y}$  sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;
- $S_{f,x}$  e  $S_{f,y}$  sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;
- $q_{1D}$  è la portata per unità di area;
- $u_{1D}$  e  $v_{1D}$  sono rispettivamente le componenti di velocità della portata  $q_{1D}$  nelle direzioni  $x$  e  $y$ .

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia per considerare che una cella è bagnata, e la velocità è impostata a zero se la profondità è sotto il valore di soglia. Questo evita la creazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate/asciutte. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1 mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente. In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibile e di facile

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO. VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 46 di 47

utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

#### Produzione della magliatura 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire la magliature dei domini 2D da simulare. Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri, ecc.). Il processo di magliatura tiene conto di questi vincoli e, se lo si desidera, è in grado di produrre una magliatura dipendente dalla conformazione morfologica del terreno. Laddove il terreno risulta più pendente viene infittita la maglia per assicurarsi che i triangoli non abbiano i vertici con differenze di quota superiori ad un termine fissato dall'utente.

#### Collegamento 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello modo e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempi:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D;
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa);
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando si rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

#### Tempi di calcolo e dimensione del modello

Il software consente di eseguire calcoli e ottenere risultati in tempi rapidi. Mentre la componente 1D sui moderni processori consente dei tempi di simulazione irrisori (pochi secondi per modellare una rete di 1,000 nodi per una ventata di 4 ore di durata) la componente bidimensionale può necessitare di tempi d'attesa più lunghi in funzione del numero di triangoli e dalle condizioni di moto del dominio. Su dei processori Core i7 ci si può attendere che una simulazione di 10,000 triangoli di un evento reale di 60 minuti possa necessitare qualche minuto per essere computata. Il motore di calcolo 2D è stato testato su domini di calcolo con oltre 5 milioni di triangoli ma per queste ampiezze di dominio si consiglia di dotarsi

	<p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA</b>  <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO.</b>  <b>VELOCIZZAZIONE      MEDIANTE      RETTIFICHE      DI</b>  <b>TRACCIATO</b></p>					
RELAZIONE IDRAULICA	PROGETTO RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RI	DOCUMENTO ID 0002 002	REV. B	FOGLIO 47 di 47

di specifica GPU (hardware non sempre presente in classici Desktop e molto raramente in Laptop) che accelerano i tempi di calcolo di 30-50 volte rispetto ai normali processori consentendo quindi tempi computazionali molto ridotti (ordine di decine di minuti) per domini 2D di centinaia di migliaia di triangoli.