

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA E ECONOMICA

COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA

RELAZIONE IDRAULICA - PAULE LONGA

SCALA:

-

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

RR00 10 R 14 RI ID0002 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	P.Martini	Agosto 2022	M. Villani	Agosto 2022	T. Paoletti	Agosto 2022	G. Ingrosso Agosto 2022 ITALFERR S.p.A. COORDINAMENTO DI SISTEMA Dott. Ing. GIULIANA INGROSSO Ordine degli Ingegneri di ROMA N. 20502
	Esecutiva							

File: RR000R14RIID0002003A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	7
2	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	9
3	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE.....	10
3.1	ASSETTO PLANO-ALTIMETRICO	10
3.2	CREAZIONE DELLA MESH DI CALCOLO.....	11
3.3	SCABREZZE.....	12
3.4	CONDIZIONI AL CONTORNO	14
3.5	SCENARI SIMULATI	17
3.6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI: STATO DI FATTO	18
3.6.1	<i>Confronto con studi esistenti</i>	24
3.7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI: STATO DI PROGETTO	26
3.8	CONFRONTO ALLAGAMENTI ANTE E POST OPERAM.....	32
3.8.1	<i>Verifica dell'attraversamento sul rio Paule Longa del viadotto della ferrovia di progetto</i>	33
4	VERIFICA TOMBINI NUOVA REALIZZAZIONE	34
4.1	IN01 E IN03	34
4.2	IN17.....	39
5	BIBLIOGRAFIA	43
6	APPENDICE A	44

	COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA					
RELAZIONE IDRAULICA PAULE LONGA	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R14RI	DOCUMENTO ID0002003	REV. A	FOGLIO 4 di 45

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento planimetrico della linea ferroviaria esistente (in nero), linea ferroviaria in progetto (in rosso) e aste idrauliche del Paule Longa e dei suoi affluenti (in ciano).	8
Figura 2 – Estensione del dominio di calcolo (in giallo), linea ferroviaria esistente (in nero), linea ferroviaria in progetto (in rosso).....	10
Figura 3 - Particolare della griglia di calcolo (mesh) di tipo ibrido utilizzata in sovrapposizione alla griglia topografica	12
Figura 4 - Aree caratterizzate da differenti coefficienti di Manning, elaborate a partire dalla mappa dell'uso del suolo presente sul Geoportale della Regione Sardegna.....	14
Figura 5 - Condizioni al contorno di monte e di valle utilizzate nel calcolo del modello in condizioni di moto vario.	15
Figura 6 - Idrogrammi di piena assegnati come condizione al contorno di monte corrispondenti a un tempo di ritorno di 200 anni.....	16
Figura 7 - Inviluppo dei massimi tiranti idrici allo stato di fatto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni.	18
Figura 8- Inviluppo delle velocità massime con Tr 200 anni allo stato attuale.	19
Figura 9 – Inquadramento planimetrico interferenza idraulica Fiume_172945 (in ciano), linea ferroviaria esistente (in nero) e linea ferroviaria in progetto (in rosso).....	20
Figura 10 – interferenza idraulica Fiume_172945: opere di attraversamento rilevate	20
Figura 11 – Allagamenti che interessano la linea ferroviaria esistente nella configurazione ante operam	21
Figura 12 – interferenza idraulica Fiume_172944: opera di attraversamento rilevata	22
Figura 13 – Allagamenti che interessano la linea ferroviaria esistente nella configurazione ante operam	22
Figura 14 –aree allagabili configurazione ante operam, in rosso la localizzazione del tracciato di progetto che sarà considerato negli scenari post operam	23
Figura 15 – aree allagabili configurazione ante operam.....	24
Figura 16 – confronto aree allagabili per tempo di ritorno pari a 200anni: modellazioni presente progetto (in ciano), modellazioni Comune di Olbia 2022 (in giallo).	25
Figura 17 – sezione tipologica sistemazione alveo a valle del tombino IN17.....	27
Figura 18 – esempio di sezione composta per gli interventi di risagomatura degli alvei.....	28
Figura 19 – Inviluppo dei massimi tiranti idrici allo stato di progetto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni, linea ferroviaria esistente (in nero), progetto (in rosso).....	29
Figura 20 – Particolare dell'area tra il nuovo rilevato ferroviario e la strada panoramica Olbia nel ramo più a nord del Paule Longa. A sx: Inviluppo dei massimi tiranti idrici allo SDP per un evento di TR 200 anni. A dx: particolare del modello bidimensionale in HEC-RAS	30
Figura 21 – Inviluppo delle velocità massime con TR 200 anni allo stato di progetto.	31
Figura 22 – Aree allagabili allo stato di fatto e di progetto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni.	32

<i>Figura 23 – Sezione corrente sul Paule Longa in corrispondenza del viadotto ferroviario VI01.</i>	33
<i>Figura 24 – Area tra il nuovo rilevato ferroviario e la strada panoramica Olbia nel ramo più a nord del Paule Longa.</i>	33
<i>Figura 25 Planimetria del modello 1D in HEC-RAS.</i>	34
<i>Figura 26 – Profilo longitudinale allo stato di progetto con gli attraversamenti ferroviario e stradale.</i>	35
<i>Figura 27 – Sezione subito a monte dell'attraversamento ferroviario.</i>	36
<i>Figura 28 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.</i>	36
<i>Figura 29 – Sezione di valle dell'attraversamento ferroviario.</i>	37
<i>Figura 30 – Sezione subito a monte dell'attraversamento stradale.</i>	38
<i>Figura 31 – Sezione di monte dell'attraversamento stradale.</i>	38
<i>Figura 32 – Sezione di valle dell'attraversamento stradale.</i>	38
<i>Figura 33 – IN17: Planimetria del modello 1D in HEC-RAS.</i>	40
<i>Figura 34 – IN17: profilo longitudinale</i>	40
<i>Figura 35 – Sezione subito a monte dell'attraversamento ferroviario.</i>	41
<i>Figura 36 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.</i>	41
<i>Figura 37 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.</i>	41

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.1 – Valori medi del coefficiente di scabrezza di Manning riferiti alle categorie di uso del suolo di Corine Land Cover (Papaioannou, et al., 2018).....	13
Tabella 3.2 Portate di picco, tempi di pioggia e volumi dell'idrogramma in ingresso per un tempo di ritorno di 200 anni.	16
Tabella 4.1 Criteri di dimensionamento del franco idraulico per attraversamenti stradali e ferroviari.	35
Tabella 4.2 Verifica del franco dell'attraversamento ferroviario di progetto.	37
Tabella 4.3 Verifica del franco dell'attraversamento stradale di progetto.....	39
Tabella 4.4 Verifica del franco dell'attraversamento ferroviario di progetto.	42

1 PREMESSA

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, individuato come aeroporto di interesse nazionale (DPR 201/2015), non è attualmente connesso alla rete ferroviaria.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza individua la realizzazione del collegamento ferroviario dell'aeroporto di Olbia tra gli investimenti di potenziamento, elettrificazione e aumento della resilienza delle ferrovie nel Sud finalizzati ad aumentare la competitività e la connettività del sistema logistico intermodale e migliorare l'accessibilità ferroviaria di diverse aree urbane del Mezzogiorno.

L'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo tratto di linea per il collegamento tra l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale e l'Aeroporto di Olbia Costa Smeralda. L'opera, oltre a intercettare i flussi prettamente stagionali da/per l'aeroporto, aiuterà ad intercettare gli spostamenti sistematici che gravitano nell'Area di Studio costituita dai Comuni di Olbia e Golfo Aranci.

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, gestito dalla società GE.A.SAR. S.p.A., è posizionato a circa 4 km a sud dal centro di Olbia.

Il progetto prevede la realizzazione di una linea a semplice binario di circa 3,4 km che colleghi la stazione di Olbia Terranova e l'aeroporto di Olbia Costa Smeralda.

Una volta attivato, questo collegamento garantirà una frequenza minima oraria (1 treno/h) per senso di marcia sulla relazione Olbia Terranova - Olbia Aeroporto.

Il perimetro della presente progettazione comprende i seguenti interventi:

- Nuova stazione Aeroporto Costa Smeralda;
- Bivio Micaleddu: bretella di collegamento tra la nuova linea per l'aeroporto e la linea esistente in direzione Ozieri – Chilivani.

Il progetto di fattibilità tecnico economica vede un tracciato che si sviluppa per circa 3,4 km in semplice binario. Il collegamento con la linea esistente avviene mediante un bivio in direzione Olbia Terranova, localizzato alla fine dell'attuale centro abitato di Olbia, e mediante un bivio in località Micaleddu, così da garantire anche il collegamento della nuova linea con la linea esistente in direzione Sassari-Chilivani. Il tracciato presenta inizialmente uno sviluppo in rilevato, per proseguire in galleria per circa 450m, la galleria termina dopo il passaggio sotto la SS729. Procedendo in direzione aeroporto è presente un viadotto di circa 900m che permette di arrivare sempre in viadotto in prossimità dell'aeroporto.

La stazione prevista in aeroporto presenterà due binari di servizio in viadotto, la soluzione sopraelevata permette di ridurre l'impronta a terra della stazione, riducendo l'impatto sulle aree aeroportuali. I marciapiedi di banchina presentano un'estensione di circa 200m e saranno coperti da pensiline.

La nuova linea non è elettrificata, ma presenterà le caratteristiche tecniche necessarie ad una futura elettrificazione (con altro appalto).

La presente relazione è parte integrante del PFTE di collegamento con l'aeroporto di Olbia e ha ad oggetto le analisi idrauliche volte a verificare la compatibilità idraulica degli interventi ferroviari e stradali in progetto con le dinamiche fluviali del rio Paule Longa e dei suoi affluenti.

Il Rio Paule Longa scorre a sud del centro abitato e può essere considerato come diviso in due tratti principali:

- primo tratto a cielo aperto e caratterizzato da alveo naturale fino a Via Andria;

- secondo tratto tombato fino alla foce negli Stagni di Olbia che attraversa i quartieri cittadini meridionali.

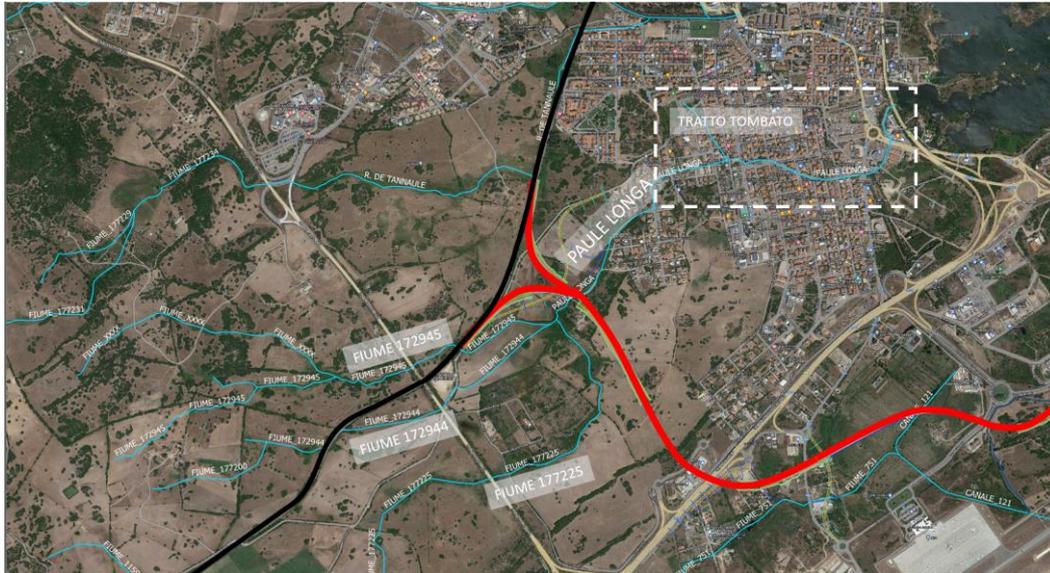


Figura 1 – Inquadramento planimetrico della linea ferroviaria esistente (in nero), linea ferroviaria in progetto (in rosso) e aste idrauliche del Paule Longa e dei suoi affluenti (in ciano).

Dalla Figura 1 si evince che per il tratto a cielo aperto gli affluenti del Paule Longa (Fiume_172945 e Fiume_172944) interferiscono con la linea ferroviaria esistente, mentre a valle della confluenza l'asta principale del Paule Longa è attraversato in viadotto dalla infrastruttura ferroviaria in progetto.

È stato implementato un modello di simulazione idraulica secondo una schematizzazione 2D al fine di ricavare i valori delle altezze d'acqua e delle velocità nelle aree allagabili dal Paule Longa e dai suoi affluenti. L'estensione dei domini di calcolo bidimensionali è stata definita in funzione delle caratteristiche morfologiche ed urbane dell'area oggetto di studio; in termini generali il dominio di calcolo ha incluso il tratto terminale del corso d'acqua per un tratto sufficientemente esteso verso monte rispetto alle infrastrutture in progetto e alla linea ferroviaria esistente. La sezione di chiusura di valle è stata posta in prossimità della foce.

A questi modelli si aggiungono le schematizzazioni dei modelli 1D predisposti per le verifiche di sicurezza idraulica per i soli tombini ferroviari e stradali di progetto.

Le analisi sono svolte con un grado di dettaglio coerente con la fase progettuale di PFTE e costituiscono le prime necessarie valutazioni volte a definire la compatibilità idraulica degli interventi in progetto e gli interventi necessari per la messa in sicurezza delle infrastrutture esistenti e di progetto. Le presenti analisi potranno essere integrate nelle successive fasi progettuali al fine di dettagliare maggiormente le opere individuate in questa fase.

2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- RR0000R14P6ID0002001A: Ante Operam - Planimetria aree allagabili, tiranti idrici Tr=200 anni;
- RR0000R14P6ID0002002A: Ante Operam - Planimetria aree allagabili, velocità Tr=200 anni;
- RR0000R14P6ID0002003A: Post Operam - Planimetria aree allagabili, tiranti idrici Tr=200 anni;
- RR0000R14P6ID0002004A: Post Operam - Planimetria aree allagabili, velocità Tr=200 anni;
- RR0000R14FZID0002001A: Profili idrici Ante Operam;
- RR0000R14FZID0002002A: Profili idrici Post Operam;
- RR0000R14W9ID0002001A: Sezioni Ante Operam;
- RR0000R14W9ID0002002A: Sezioni Post Operam.

3 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione idrodinamica è stata sviluppata mediante il software HEC-RAS 2D, richiamato in APPENDICE A. La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza il flusso generato dalle portate di piena all'interno dell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature. È inoltre possibile valutare gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

L'input idraulico è definito dagli idrogrammi calcolati attraverso le analisi idrologiche riportate nella Relazione Idrologica (RR000014ID0001001A), a cui si rimanda per i dettagli. Nella seguente immagine si riporta l'estensione del dominio di calcolo pari a circa 5 km².



Figura 2 – Estensione del dominio di calcolo (in giallo), linea ferroviaria esistente (in nero), linea ferroviaria in progetto (in rosso)

3.1 Assetto plano-altimetrico

Per la definizione della geometria del terreno nel dominio di calcolo è stato utilizzato un modello 3D del terreno con risoluzione spaziale 1x1 m: DTM disponibile dal geoportale regionale. Tale DTM è stato integrato con le informazioni derivanti da:

- sezioni d'alveo rilevate con campagna topografica ad hoc;
- rilievo topografico delle opere idrauliche esistenti.

Queste modifiche al DTM di base sono state necessarie per consentire la corretta schematizzazione del reticolo idrografico minore (fossi e canali) tipicamente poco inciso e difficilmente rilevabile attraverso i voli Lidar a causa della presenza di una fitta vegetazione spontanea.

	COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA					
RELAZIONE IDRAULICA PAULE LONGA	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R14RI	DOCUMENTO ID0002003	REV. A	FOGLIO 11 di 45

3.2 Creazione della mesh di calcolo

Per la determinazione delle aree di allagamento delle zone oggetto di studio è stato implementato il modello idraulico HEC-RAS che permette di ricavare i valori delle altezze d'acqua e delle velocità secondo una schematizzazione 2D.

Il modello HEC RAS simula il fenomeno della propagazione dei flussi entranti nel dominio di calcolo schematizzando il campo di moto con elementi finiti poligonali che nel loro insieme costituiscono la griglia di calcolo (mesh). Come richiamato in APPENDICE A, si tratta di una mesh ibrida ovvero in parte strutturata e in parte non strutturata.

La modellazione bidimensionale ha interessato un'area pari a circa 5 Km².

Nel caso della presente applicazione, la geometria di calcolo bidimensionale è un dominio così descritto:

- in parte con una mesh strutturata a celle quadrate;
- in parte con una mesh infittita a celle di dimensione di circa 2 m in corrispondenza delle breaklines.

La mesh non strutturata è stata utilizzata laddove le particolarità geometriche non consentivano alle celle quadrate di discretizzare correttamente le caratteristiche del terreno sottostante. In particolare, allo stato di fatto, sono stati utilizzati elementi poligonali:

- in prossimità dei rilevati stradali e ferroviari esistenti e di progetto;
- lungo i corsi d'acqua e sulle arginature di progetto.

Lo scopo di infittire le maglie, attraverso la funzione "breaklines" negli elementi più delicati presenti nell'area in esame è quello di poter meglio descrivere la viabilità stradale, ferroviaria presente e la zona sponale e il rilevato arginale della strada Panoramica di Olbia. Il comportamento dei rilevati è stato così descritto con maggiore dettaglio. In caso di sormonto arginale, la portata trasferita da un elemento all'altro viene calcolato sulla base della forma della sezione sfiorante descritta dall'andamento della sommità arginale. In caso di non sormonto, non si ha il trasferimento del flusso da una cella all'altra.

In Figura 3 si riporta un particolare planimetrico con la schematizzazione della griglia di calcolo.

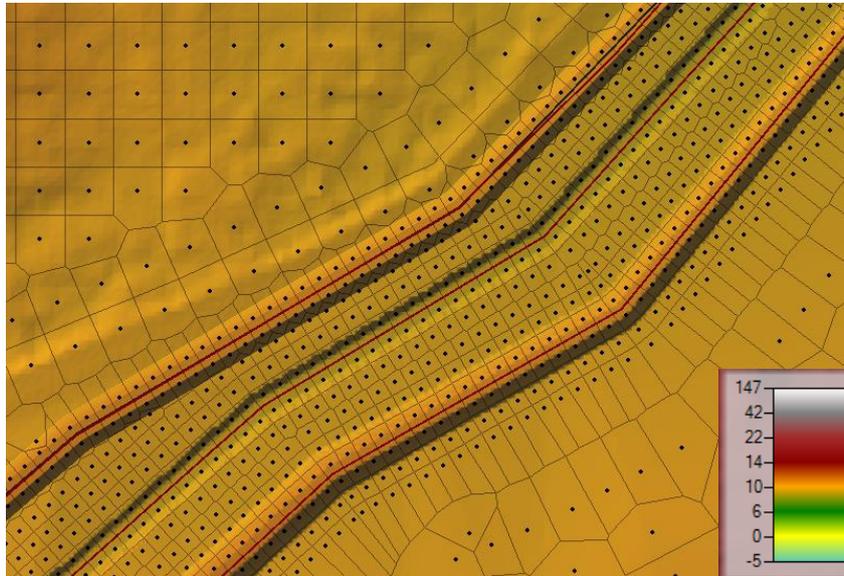


Figura 3 - Particolare della griglia di calcolo (mesh) di tipo ibrido utilizzata in sovrapposizione alla griglia topografica

3.3 Scabrezze

Nei modelli 2D sono stati applicati coefficienti di scabrezza variabili in modo da riprodurre la diversa resistenza idrodinamica a sua volta dipendente dalla tipologia dell'uso del suolo. Le caratteristiche di scabrezza del dominio di calcolo sono state definite distinguendo valori del coefficiente di Manning (n) in funzione sia dell'alveo del fiume Paule Longa che rispetto ai diversi usi del suolo. Per identificare il corretto uso del suolo è stata utilizzata la mappa in formato shp presente sul Geoportale della Regione Sardegna.

Ad ogni uso del suolo è stato assegnato un valore di Manning come suggerito in letteratura (Tabella 3.1).

Tabella 3.1 – Valori medi del coefficiente di scabrezza di Manning riferiti alle categorie di uso del suolo di Corine Land Cover (Papaioannou, et al., 2018).

LABEL1	LABEL2	LABEL3	Mannings n	
1 Artificial surfaces	1.1 Urban fabric	1.1.1 Continuous urban fabric	0.013	
		1.1.2 Discontinuous urban fabric		
	1.2 Industrial, commercial and transport units	1.2.1 Industrial or commercial units		0.013
		1.2.2 Road and rail networks and associated land		
1.2.3 Port areas				
1.2.4 Airports				
1.3 Mine, dump and construction sites	1.3.1 Mineral extraction sites		0.013	
	1.3.2 Dump sites			
	1.3.3 Construction sites			
1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas	1.4.1 Green urban areas		0.025	
	1.4.2 Sport and leisure facilities			
2 Agricultural areas	2.1 Arable land	2.1.1 Non-irrigated arable land	0.03	
		2.1.2 Permanently irrigated land		
		2.1.3 Rice fields		
	2.2 Permanent crops	2.2.1 Vineyards		0.08
		2.2.2 Fruit trees and berry plantations		
		2.2.3 Olive groves		
	2.3 Pastures	2.3.1 Pastures		0.035
	2.4 Heterogeneous agricultural areas	2.4.1 Annual crops associated with permanent crops		0.04
		2.4.2 Complex cultivation patterns		0.04
		2.4.3 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation		0.05
2.4.4 Agro-forestry areas		0.06		
3 Forest and semi natural areas	3.1 Forests	3.1.1 Broad-leaved forest	0.1	
		3.1.2 Coniferous forest		
		3.1.3 Mixed forest		
	3.2 Scrub and/or herbaceous vegetation associations	3.2.1 Natural grasslands		0.04
		3.2.2 Moors and heathland		0.05
		3.2.3 Sclerophyllous vegetation		0.05
		3.2.4 Transitional woodland-shrub		0.06
	3.3 Open spaces with little or no vegetation	3.3.1 Beaches, dunes, sands		0.025
		3.3.2 Bare rocks		0.035
		3.3.3 Sparsely vegetated areas		0.027
		3.3.4 Burnt areas		0.025
		3.3.5 Glaciers and perpetual snow		0.01
	4 Wetlands	4.1 Inland wetlands	4.1.1 Inland marshes	0.04
4.1.2 Peat bogs				
4.2 Maritime wetlands		4.2.1 Salt marshes		0.04
	4.2.2 Salines			
	4.2.3 Intertidal flats			
5 Water bodies	5.1 Inland waters	5.1.1 Water courses	0.05	
		5.1.2 Water bodies		
	5.2 Marine waters	5.2.1 Coastal lagoons		0.07
5.2.2 Estuaries				
5.2.3 Sea and ocean				

In Figura 4 - è fornito un esempio di mappa delle scabrezze presenti nella zona in esame. Le aree distinte da diversi colori rappresentano i valori del coefficiente di scabrezza secondo la formulazione di Manning ottenuti a partire dall'uso del suolo del Geoportale della Regione Sardegna.

Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza dell'area interessata dal corso d'acqua è stato utilizzato un valore di $0.025 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ allo stato di fatto e $0.02 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ allo stato di progetto.

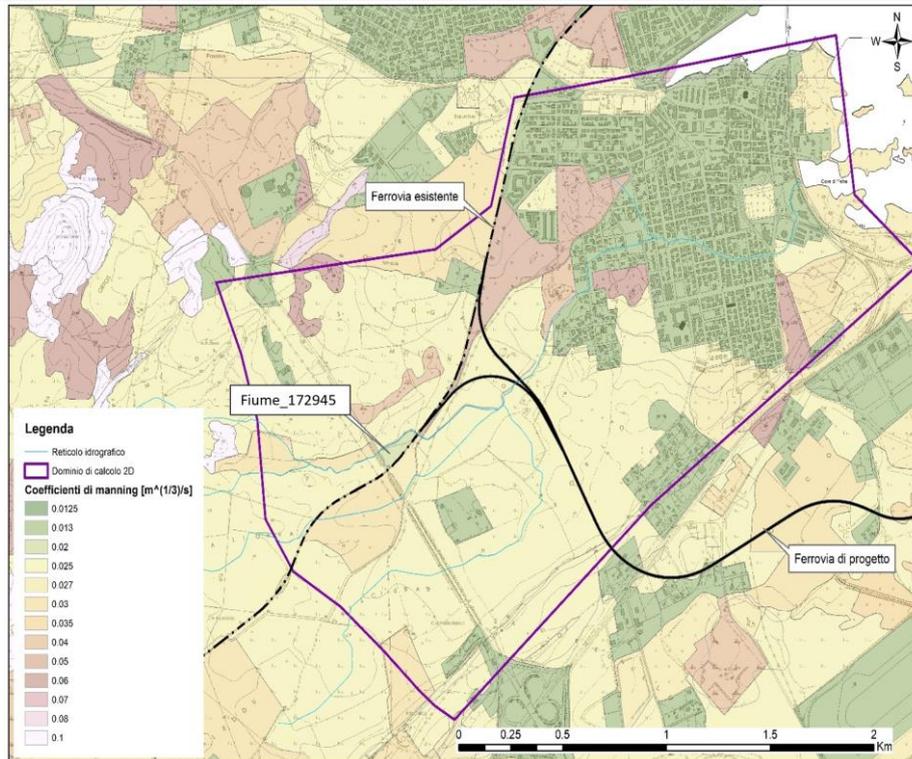


Figura 4 - Aree caratterizzate da differenti coefficienti di Manning, elaborate a partire dalla mappa dell'uso del suolo presente sul Geoportale della Regione Sardegna.

3.4 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel calcolo del modello bidimensionale sono ubicate a monte, in corrispondenza degli affluenti del Paule Longa, vi sono poi due immissioni intermedie a rappresentare il contributo degli interbacini; mentre a valle sono rappresentate da una linea spezzata lungo i lati esterni del dominio di calcolo 2D. In corrispondenza del mare è stato imposto un livello pari a 1 m s.l.m., in accordo a quanto riportato nella relazione idraulica del progetto di "Aggiornamento dello studio di Assetto Idrogeologico ai sensi dell'art.8, comma 2 e della variante al piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) ai sensi dell'art.37, comma 3, lett.B) delle norme di attuazione (N.A.) del PAI e di redazione delle verifiche di sicurezza delle opere interferenti con il reticolo idrografico ai sensi delle direttive di cui all'art.22 delle N.A. del PAI estese al territorio comunale" del Comune di Olbia (4/2/2022).

La Figura 5 riporta l'ubicazione delle condizioni al contorno utilizzate nel modello bidimensionale.

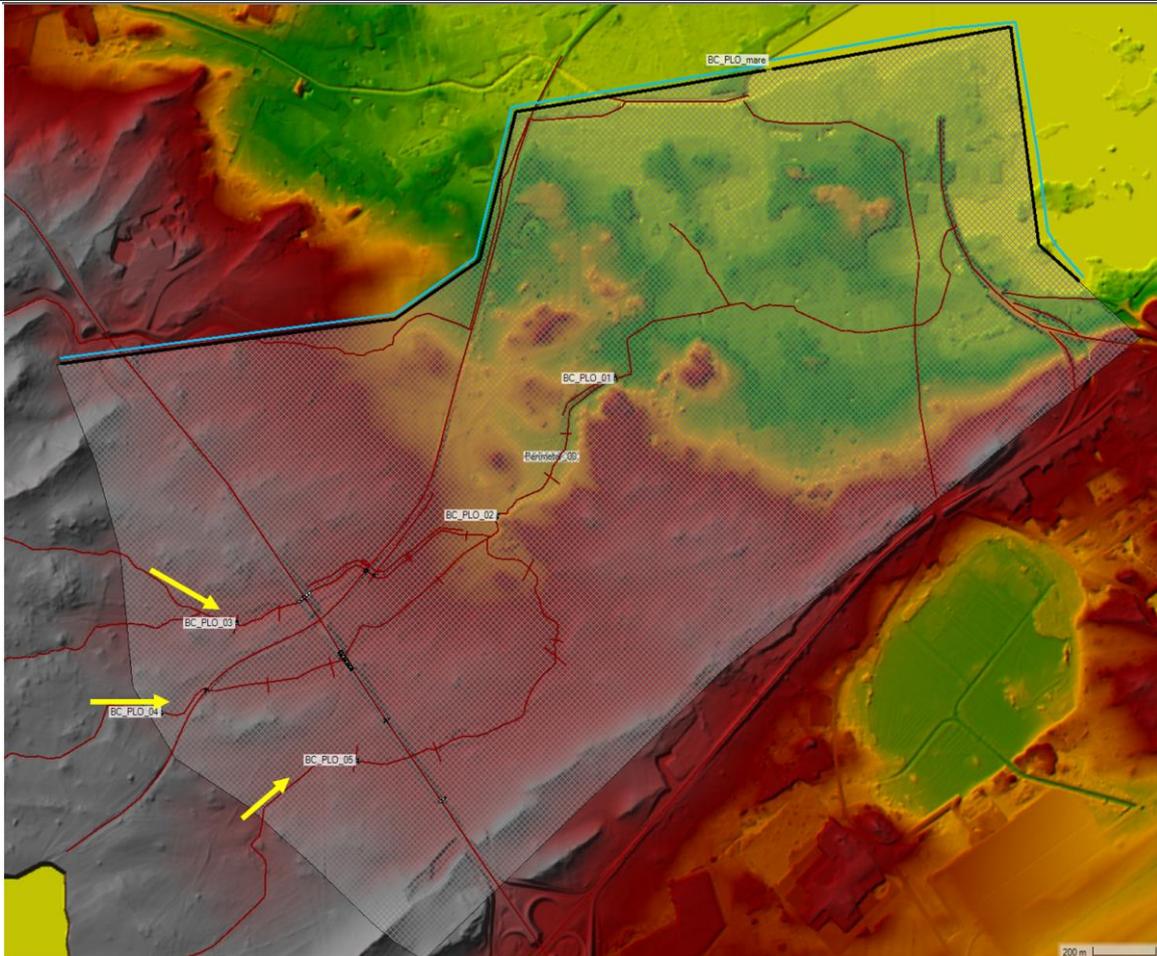


Figura 5 - Condizioni al contorno di monte e di valle utilizzate nel calcolo del modello in condizioni di moto vario.

L'andamento temporale delle portate entranti nella griglia di calcolo nel punto di ingresso scelto, sono trattati nella Relazione Idrologica (RR000014ID0001001A). Tali idrogrammi di piena corrispondono ad eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 200 anni.

Le portate di massima piena associate a tali idrogrammi sono riportate in Tabella 3.2

Tabella 3.2 Portate di picco, tempi di pioggia e volumi dell'idrogramma in ingresso per un tempo di ritorno di 200 anni.

Bacino	TR200		
	Q max (m ³ /s)	Tp (min)	Vol (1000 m ³)
B1_01	54.9	50.0	159.7
B1_02	43.1	50.0	127.5
B1_03	13.4	50.0	37.1
B1_04	7.8	50.0	24.0
B1_05	17.9	50.0	54.1

Nella Figura 6 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riportano gli idrogrammi di piena in arrivo al Paule Longa per tempo di ritorno 200 anni.

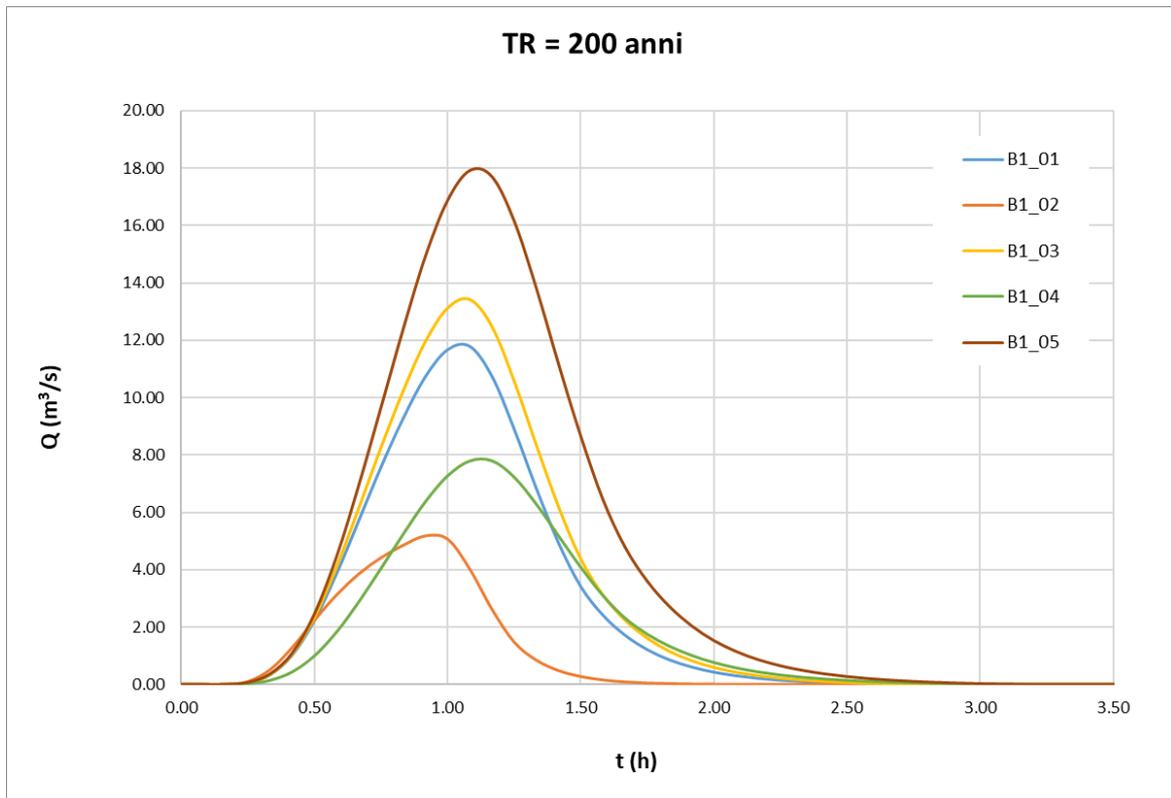


Figura 6 - Idrogrammi di piena assegnati come condizione al contorno di monte corrispondenti a un tempo di ritorno di 200 anni.

3.5 Scenari simulati

Nel modello sono stati simulati per gli scenari di seguito elencati, le velocità di scorrimento e le altezze d'acqua, i tiranti e i livelli del corso d'acqua:

Allo stato attuale:

- Evento di piena TR200 anni

Allo stato di progetto:

- Evento di piena TR200 anni

3.6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI: STATO DI FATTO

Le analisi eseguite con i modelli numerici hanno consentito la determinazione delle aree di esondazione e lo studio del comportamento idrodinamico. La lettura dei parametri che caratterizzano il campo di moto, ossia le velocità della corrente, le quote di massima piena, i tiranti idraulici, consentono di comprendere il comportamento idrometrico del fiume nonché la dinamica con cui avvengono le esondazioni e la propagazione delle acque nel territorio circostante.

- *Distribuzione dei livelli*

La planimetria generale con l'involuppo dei massimi tiranti per un evento con TR 200 anni ante operam è presentata in Figura 7.

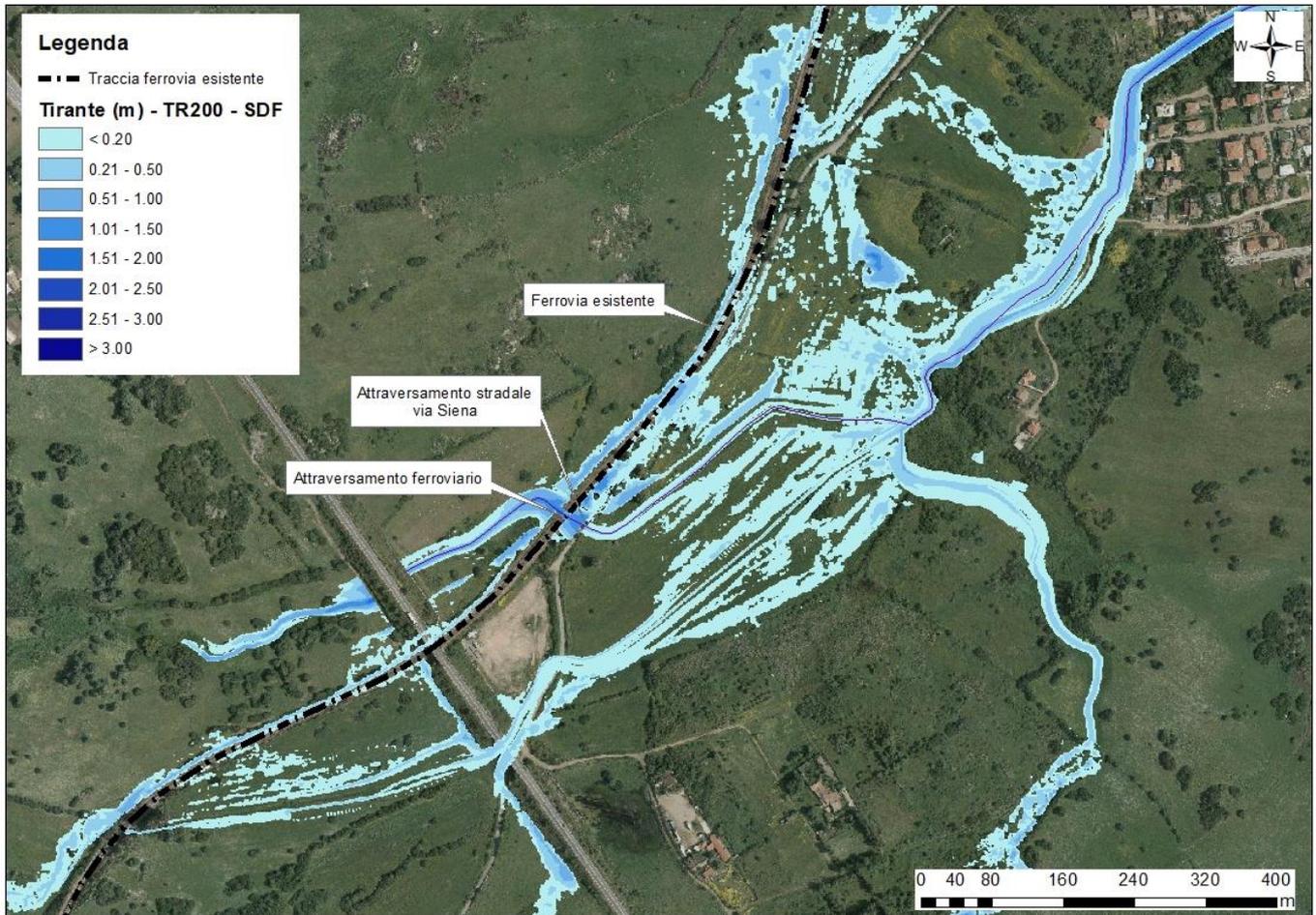


Figura 7 - Involuppo dei massimi tiranti idrici allo stato di fatto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni.

- *Distribuzione delle velocità*

I risultati delle simulazioni svolte consentono di apprezzare la velocità con cui la corrente si propaga nell'alveo del rio Paule Longa ed in parte nel territorio circostante in caso di esondazione.

Si riporta in Figura 8 il risultato della simulazione per il tempo di ritorno di 200 anni allo stato di fatto.

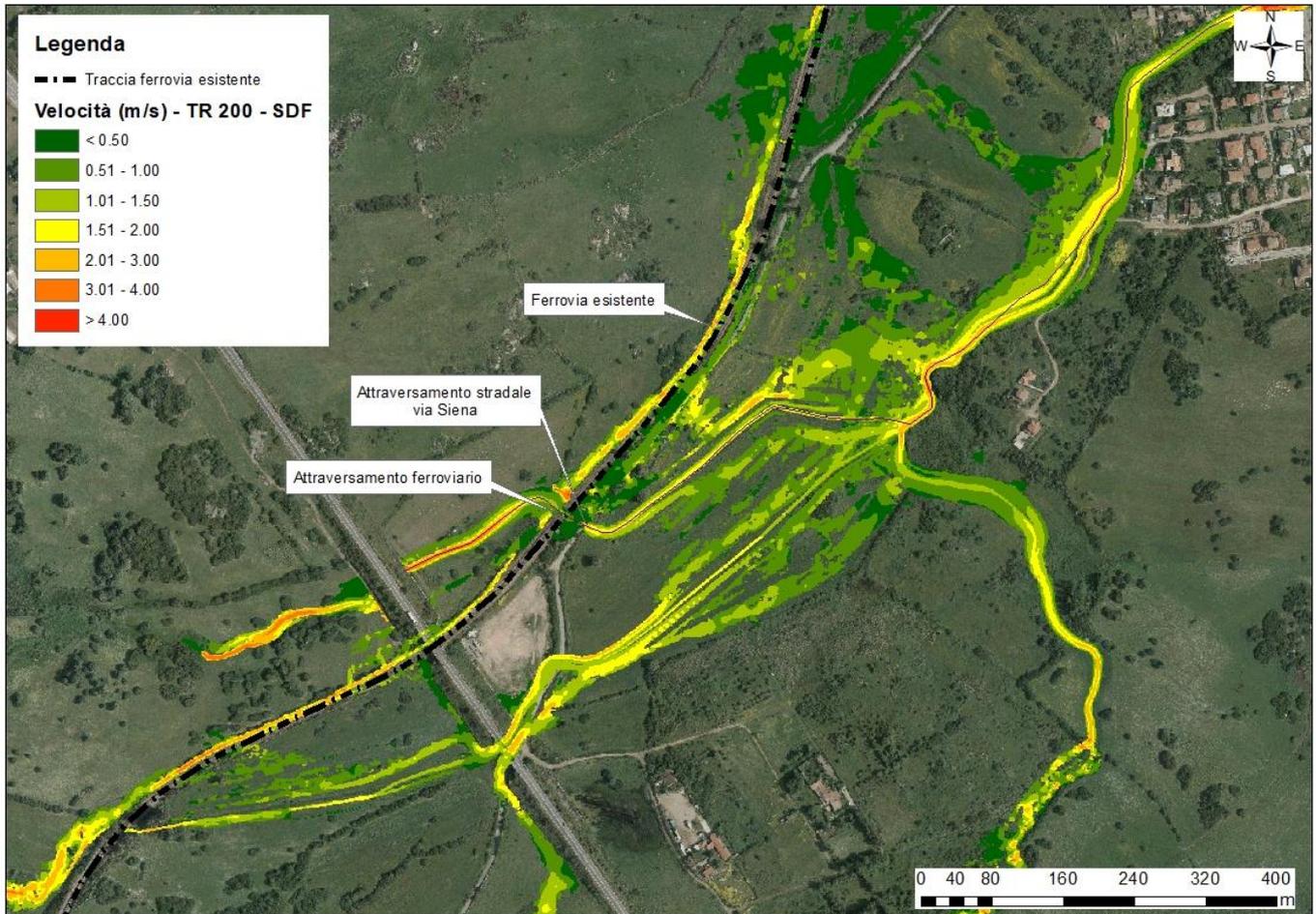


Figura 8- Involuppo delle velocità massime con Tr 200 anni allo stato attuale.

Mediamente le esondazioni si propagano con velocità comprese tra 0.5 e 1.5 m/s.

Analizzando nel dettaglio le dinamiche degli allagamenti, si evidenziano due aree fortemente critiche per la linea ferroviaria esistente descritte nel seguito.

- Attraversamento idraulico linea ferroviaria esistente in corrispondenza del Fiume_172945.

L'opera di attraversamento idraulico in corrispondenza della interferenza tra la linea ferroviaria esistente e l'alveo del Fiume_172945 è costituita da un manufatto ad arco di dimensioni 2.0m x 2.0m. Immediatamente a valle della ferrovia esistente è localizzata Via Siena, la cui opera di attraversamento idraulico è costituita da uno scatolare di base 2.4m e di altezza rilevabile in sede di sopralluogo particolarmente ridotta. Inoltre, nelle immediate vicinanze della interferenza idraulica (circa

50m) ha origine il binario del Bivio Micaleddu in progetto. In Figura 9 è riportato un inquadramento planimetrico dell'interferenza idraulica delle infrastrutture citate con il Fiume_172945.

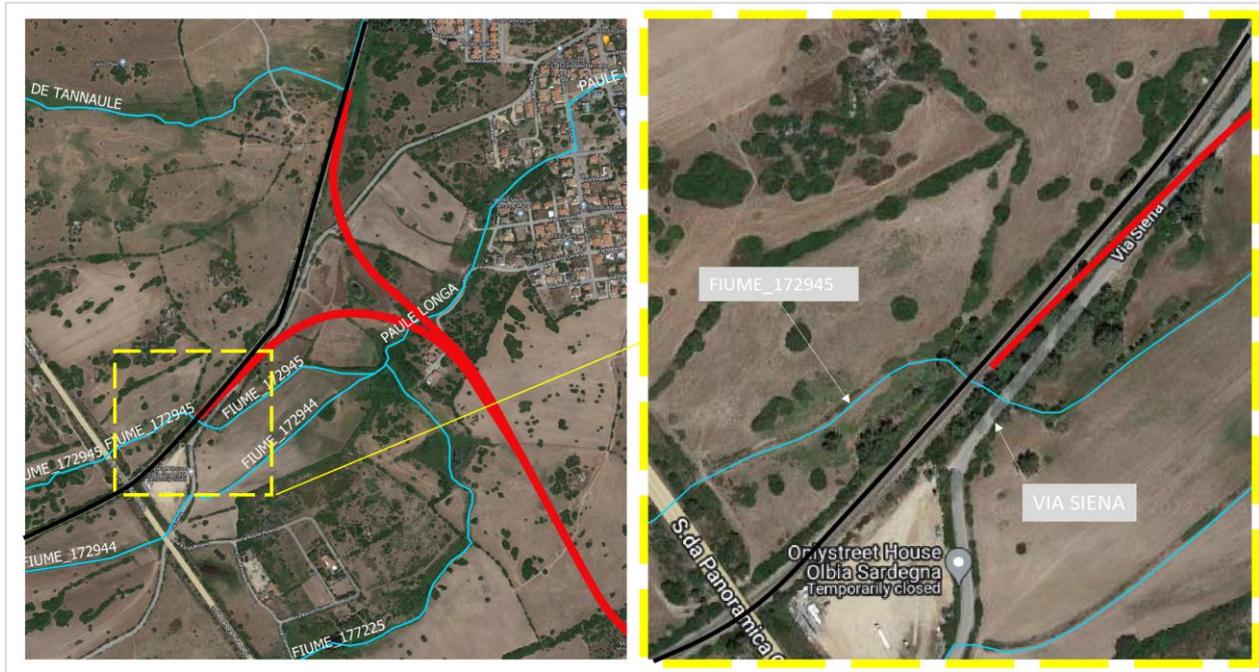


Figura 9 – Inquadramento planimetrico interferenza idraulica Fiume_172945 (in ciano), linea ferroviaria esistente (in nero) e linea ferroviaria in progetto (in rosso)

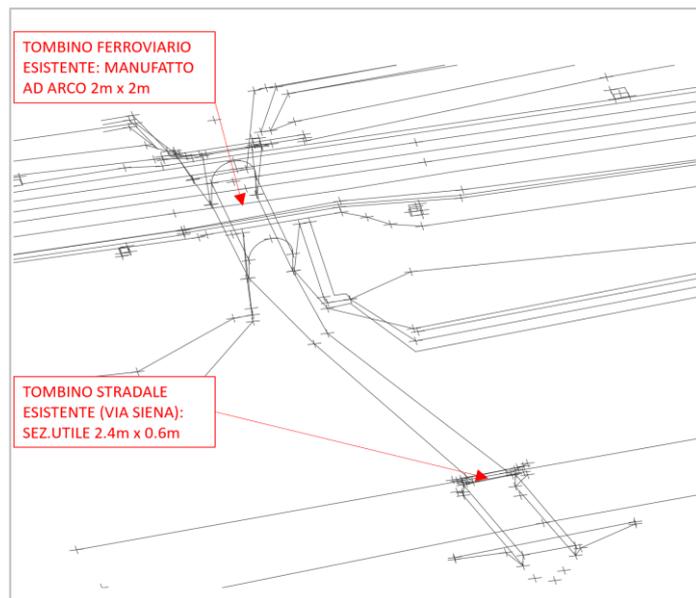


Figura 10 – interferenza idraulica Fiume_172945: opere di attraversamento rilevate

Le simulazioni hanno evidenziato fenomeni di allagamento a ridosso della linea ferroviaria esistente, che si spandono verso nord e che provocano la tracimazione del rilevato esistente. Tale fenomeno è conseguenza sia di una insufficienza delle opere di attraversamento idraulico esistenti, con conseguente rigurgito della corrente; sia di una brusca riduzione della pendenza del fondo alveo, in corrispondenza della linea ferroviaria esistente e a valle di essa, che concorre a far aumentare i livelli idrici. Dalla Figura 8 è infatti evidente come nel tratto a monte della linea ferroviaria esistente, caratterizzato da pendenze di circa 1-2%, si sviluppano velocità nell'intorno dei 3.5 m/s, mentre in corrispondenza dei tombini (con pendenza quasi nulla) e del tratto di valle le velocità diminuiscono sensibilmente creando rallentamento della corrente.

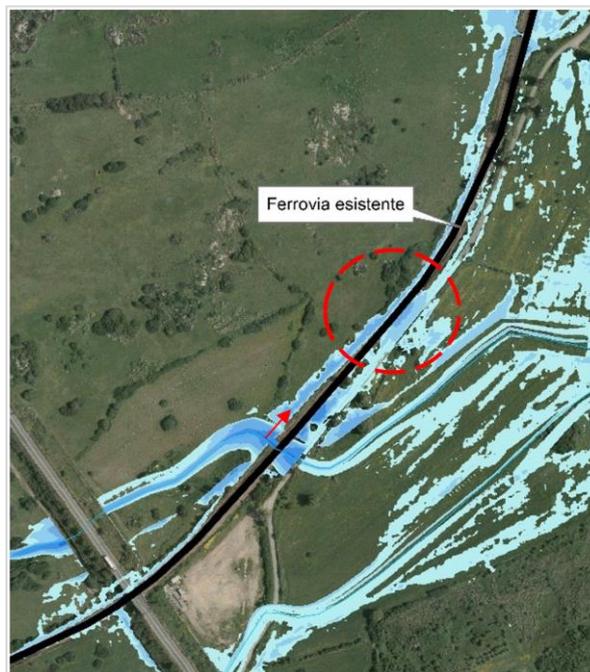


Figura 11 – Allagamenti che interessano la linea ferroviaria esistente nella configurazione ante operam

Nel tratto di linea ferroviaria esistente in cui si è evidenziato il fenomeno del sormonto (indicato in Figura 11), si riscontrano livelli idrici superiori al piano del ferro mediamente tra i 10 e i 15 cm.

- Attraversamento idraulico linea ferroviaria esistente in corrispondenza dell'asta idraulica dell'affluente in sx del Paule Longa denominato Fiume_172944

L'opera di attraversamento idraulico in corrispondenza della interferenza tra la linea ferroviaria esistente e l'alveo del Fiume_172944 è costituita da un manufatto scatolare di dimensioni 2.0x1.4m, mostrato in Figura 12.

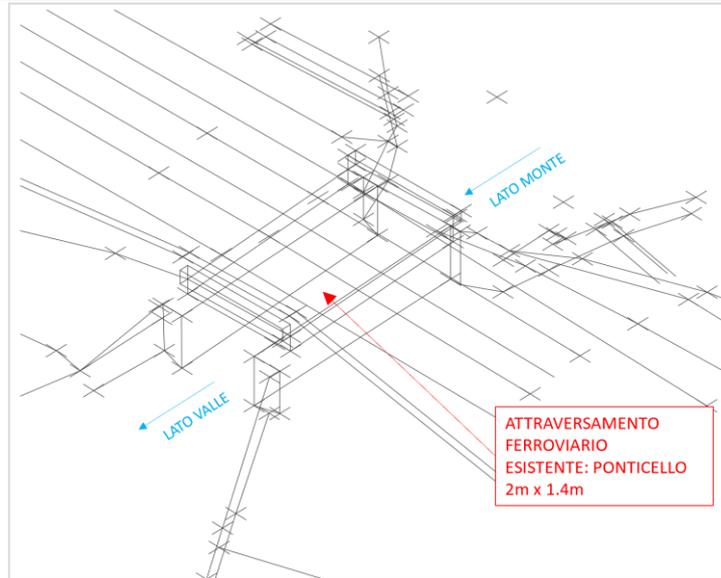


Figura 12 – interferenza idraulica Fiume_172944: opera di attraversamento rilevata

Le simulazioni hanno evidenziato fenomeni di allagamento a ridosso della linea ferroviaria esistente, che si spandono verso nord e che provocano la tracimazione del rilevato ferroviario. Tale fenomeno è conseguenza sia di una insufficienza delle opere di attraversamento idraulico esistenti, con conseguente rigurgito della corrente, sia di un disallineamento tra l'asta idraulica proveniente da monte e l'opera di attraversamento ferroviario, sia di una insufficienza della sezione d'alveo proveniente da monte a contenere la portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.



Figura 13 – Allagamenti che interessano la linea ferroviaria esistente nella configurazione ante operam

Nel tratto di linea ferroviaria esistente in cui si è evidenziato il fenomeno del sormonto (indicato in Figura 13), si riscontrano livelli idrici superiori al piano del ferro mediamente tra i 10 e i 15 cm.

Per quanto riguarda le aree che saranno attraversate dalla linea ferroviaria in progetto, si osserva che gli alvei degli affluenti Fiume_172945 e Fiume_172944 e del Paule Longa stesso presentano una capacità insufficiente a convogliare in alveo la intera portata con tempo di ritorno pari a 200 anni e ciò è conseguenza di alvei scarsamente incisi e definiti sul territorio. Tuttavia, l'entità dei tiranti fuori alveo è ridotta e, fatta eccezione per avvallamenti locali del terreno e per gli allagamenti a monte di via Siena (descritti in precedenza), si hanno tiranti idrici inferiori a 20 cm.



Figura 14 –aree allagabili configurazione ante operam, in rosso la localizzazione del tracciato di progetto che sarà considerato negli scenari post operam

A titolo di esempio, non esaustivo, si riporta nella figura seguente una situazione in cui la insufficienza della quota del ciglio di sponda in sinistra idraulica provoca allagamenti.

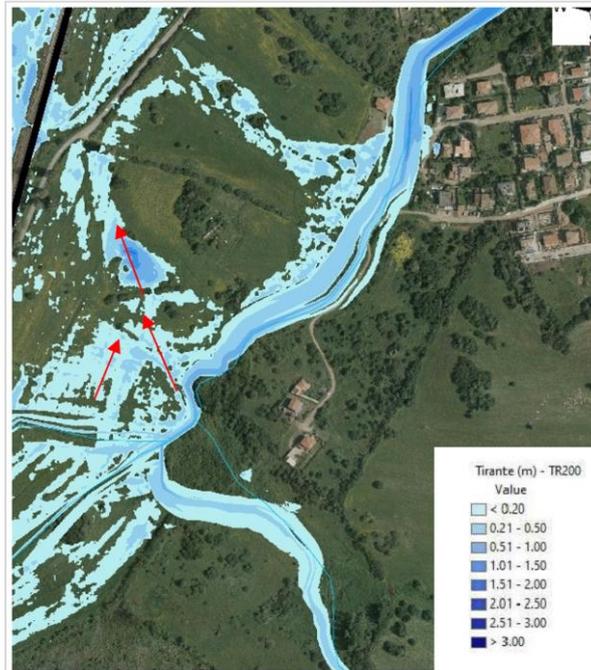


Figura 15 – aree allagabili configurazione ante operam

3.6.1 Confronto con studi esistenti

Nell'immagine seguente è riportata una sovrapposizione delle aree allagabili ottenute attraverso le modellazioni sviluppate nell'ambito del presente progetto e le aree allagabili per il tempo di ritorno di 200 anni riportate nel progetto di "Aggiornamento dello studio di Assetto Idrogeologico ai sensi dell'art.8, comma 2 e della variante al piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) ai sensi dell'art.37, comma 3, lett.B) delle norme di attuazione (N.A.) del PAI e di redazione delle verifiche di sicurezza delle opere interferenti con il reticolo idrografico ai sensi delle direttive di cui all'art.22 delle N.A. del PAI estese al territorio comunale" del Comune di Olbia (4/2/2022).

Si evince un sostanziale accordo tra i risultati dei due studi: differenze locali sono imputabili alle differenze di geometria nel terreno in quanto, come riportato in precedenza, nel presente progetto la geometria degli alvei implementata deriva da una campagna topografica di rilievo delle sezioni d'alveo con le quali è stato integrato il DTM.



Figura 16 – confronto aree allagabili per tempo di ritorno pari a 200anni: modellazioni presente progetto (in ciano), modellazioni Comune di Olbia 2022 (in giallo).

3.7 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI: STATO DI PROGETTO

A partire dagli esiti delle simulazioni svolte per la configurazione ante operam sono stati definiti una serie di interventi sulle opere di attraversamento e sugli alvei che hanno permesso di risolvere le criticità evidenziate nel capitolo precedente. In particolare, gli interventi in progetto permettono di mettere in sicurezza idraulica la linea ferroviaria esistente (nei tratti in cui era stato evidenziato un sormonto) e di ridurre gli allagamenti che derivavano da una insufficienza degli alvei con un beneficio sia per il territorio che per la ottimizzazione delle opere di attraversamento idraulico in progetto.

In particolare, sono stati previsti i seguenti interventi.

- Per la risoluzione delle criticità legate all'attraversamento idraulico linea ferroviaria esistente in corrispondenza del Fiume_172945:
 - la realizzazione di un nuovo tombino ferroviario (IN01) in affiancamento e in sostituzione dell'opera esistente per la risoluzione della interferenza con l'asta del Fiume_172945. La nuova opera ha dimensioni 5x2.5m e pendenza 6%. La nuova opera è realizzata a una distanza di circa 8m dall'opera esistente in modo tale da permettere la realizzazione per fasi attraverso sistemi di sostegno del binario tipo Essen, permettendo di mantenere in esercizio la linea ferroviaria durante la realizzazione della nuova opera;
 - la realizzazione di un nuovo tombino stradale (IN03) in affiancamento e in sostituzione dell'opera esistente su via Siena per la risoluzione della interferenza con l'asta del Fiume_172945. La nuova opera ha dimensioni 5x2.5m e pendenza 6%;
 - risagomatura e riprofilatura dell'alveo del fiume_172945 nel tratto compreso tra la via panoramica di Olbia e la ferrovia esistente: sezione trapezia in terra di base 3 m con sponde 3/2, pendenza del fondo circa 1%, salto di fondo intermedio pari a 50cm, lunghezza 194m. È presente anche un tratto di raccordo a monte dell'opera di attraversamento per la graduale transizione tra la sezione in terra e la sezione dello scatolare di attraversamento;
 - la definizione di un'area di espansione in destra idraulica nell'area interclusa tra il Fiume_172945, la ferrovia esistente e la strada Panoramica di Olbia. Tale area è realizzata abbassando la quota del terreno naturale fino a quota di 18.12 m s.l.m. per permettere l'invaso e lo svaso dell'area in maniera naturale. Ciò comporta uno scavo progressivamente maggiore da valle verso monte fino a una profondità massima nell'ordine dei 4 m. Tale scavo è realizzato prevedendo una pendenza naturale delle scarpate pari a 2/3. Tuttavia, a favore di cautela nella presente fase progettuale, è stato previsto di realizzare una paratia in micropali a sostegno dello scavo nelle fasi realizzative, di sviluppo pari a 160 m. Nelle successive fasi progettuali la necessità di tale paratia verrà consolidata;
 - il rinforzo e ampliamento dell'argine in sinistra idraulica nel tratto subito a monte dell'attraversamento ferroviario;
 - raccordo tra i nuovi tombini ferroviario (IN01) e stradale (IN03) con sezione rettangolare in cls di base 5m e

un salto di fondo pari a 50cm nel tratto intermedio tra le due opere di attraversamento;

- Risagomatura dell'alveo a valle del tombino stradale (IN03) per il graduale raccordo con l'alveo esistente e il contenimento delle portate con tempo di ritorno pari a 200 anni con conseguente riduzione delle aree allagabili nello scenario ante operam. Tale risagomatura si estende fino alla confluenza con l'asta del Paule Longa per uno sviluppo di circa 400 m.
- Per la risoluzione delle criticità legate attraversamento idraulico linea ferroviaria esistente in corrispondenza del Fiume_172944:
 - La realizzazione di un nuovo tombino ferroviario (IN17) in affiancamento e in sostituzione dell'opera esistente per la risoluzione della interferenza con l'asta del Fiume_172944. La nuova opera ha dimensioni 4.0x2.2 m. La nuova opera è realizzata a una distanza di circa 8m dall'opera esistente in modo tale da permettere la realizzazione per fasi attraverso sistemi di sostegno del binario tipo Essen, permettendo di mantenere in esercizio la linea durante la realizzazione della nuova opera;
 - Risagomatura dell'alveo a monte del tombino ferroviario (IN17) con sezione trapezia di base 2.5m e altezza variabile tra 1.0 e 1.5 m rivestita in pietrame cementato e argini in terra di altezza pari a 50cm a protezione del piede del rilevato esistente e per migliorare il convogliamento delle portate verso l'opera di attraversamento;
 - Risagomatura dell'alveo a valle del tombino ferroviario (IN17) per il graduale raccordo con l'alveo esistente e il contenimento delle portate con tempo di ritorno pari a 200anni: sezione trapezia di base 2.5m e altezza variabile tra 2.0 e 3.0 m. Le maggiori altezze di scavo si hanno in sinistra idraulica, per tale motivo è prevista una paratia di micropali per la realizzazione dello scavo e una sistemazione in gabbioni per uno sviluppo di circa 80 m. Nella figura seguente è mostrata una sezione tipologica, in corrispondenza della sistemazione d'alveo a valle del tombino IN17;

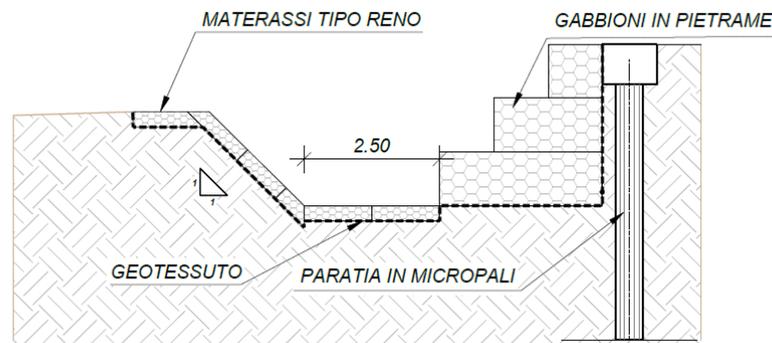


Figura 17 – sezione tipologica sistemazione alveo a valle del tombino IN17

- Riduzione aree allagabili e ottimizzazione delle opere di attraversamento idraulico in progetto:
 - Risagomatura alveo Paule Longa per circa 300 m a valle della confluenza degli affluenti con sezione trapezia in terra di base 4 m, sponde 3/2 e pendenza prossima a quella naturale e definizione di un'area golenale attraverso argini in terra di progetto. Tali argini sono mediamente alti 1 m rispetto al piano campagna. Essi sono previsti in sinistra idraulica a partire da circa 300 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto fino a circa 100 m a valle del viadotto ferroviario di progetto e in destra idraulica per circa 30 m a monte e a 80 m a valle del viadotto ferroviario di progetto. A completamento dell'intervento è da prevedersi la pulizia dell'alveo da eventuali impedimenti al deflusso, quali la vegetazione in eccesso, a valle dell'area di intervento fino al canale tombato di valle.

Si precisa che gli interventi previsti, sebbene descritti in maniera separata per chiarezza d'esposizione, rappresentano un sistema unico di interventi da realizzarsi congiuntamente e contestualmente al fine di perseguire l'obiettivo di messa in sicurezza delle infrastrutture analizzate.

Nel definire gli interventi di risagomatura degli alvei appena descritti si è cercato di mantenere le sezioni di progetto quanto più prossime alle sezioni ante operam regolarizzandone la geometria in sezione. Laddove il contenimento in alveo delle portate con tempo di ritorno pari a 200 anni avrebbe richiesto uno stravolgimento delle sezioni naturali esistenti è stata prevista una sezione composta che comprende un alveo di magra quanto più prossimo alla sezione esistente e un'area golenale di progetto delimitata da argini in terra la cui altezza è definita dal livello idrico massimo atteso in golena più un franco idraulico di sicurezza pari a 1m. Tale soluzione permette di non alterare le dinamiche del corso d'acqua per tempi di ritorno inferiori a quelli di progetto.

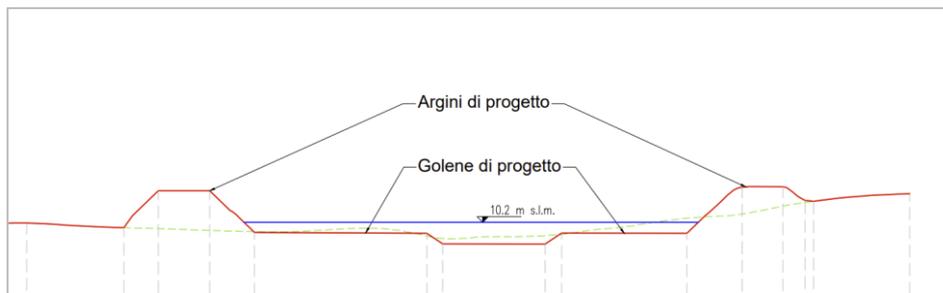


Figura 18 – esempio di sezione composta per gli interventi di risagomatura degli alvei

- Distribuzione dei livelli

Implementando le varie modifiche di progetto, si può notare già dalla planimetria generale coi tiranti idrici come ora le esondazioni siano state notevolmente ridotte.

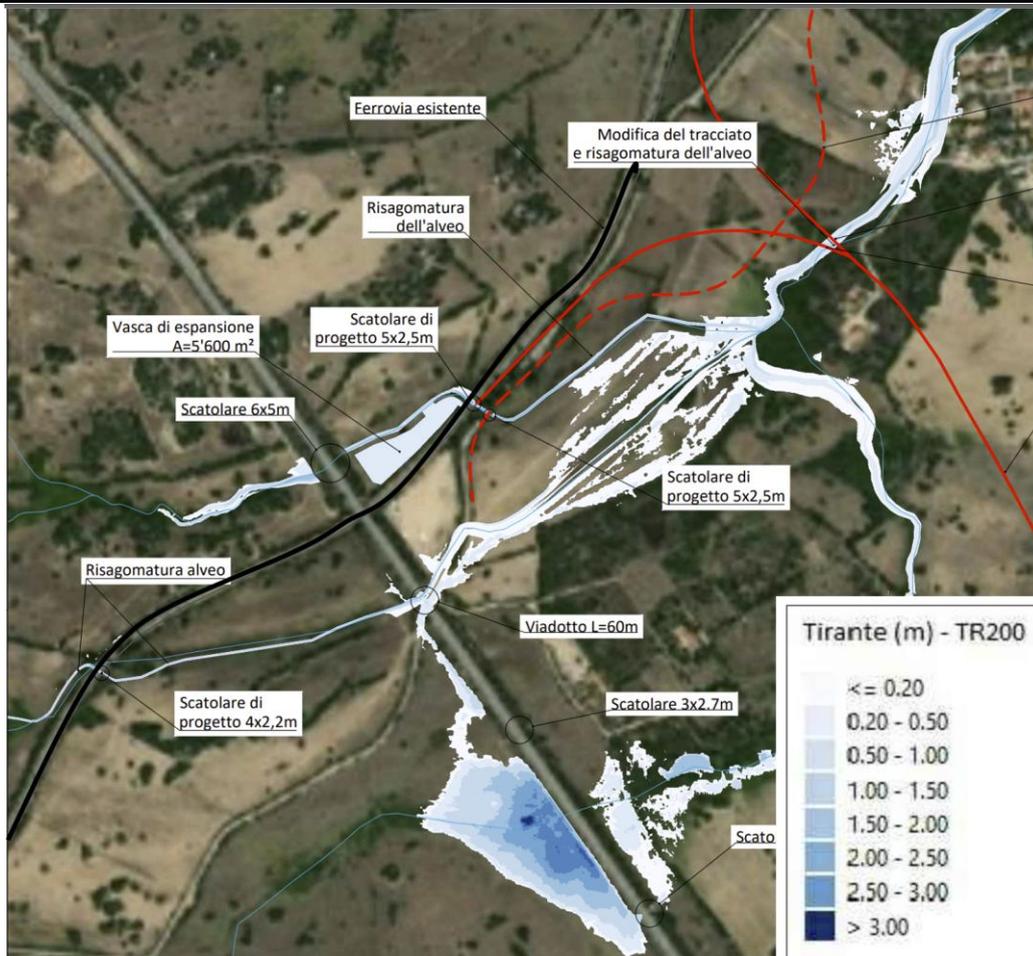


Figura 19 – Inviluppo dei massimi tiranti idrici allo stato di progetto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni, linea ferroviaria esistente (in nero), progetto (in rosso)

Analizzando le opere di progetto modellate, si nota per esempio come l'area di espansione di progetto interclusa tra il nuovo rilevato ferroviario e la strada panoramica Olbia sia effettivamente inondata e con tiranti ridotti (Figura 19). Tale opera di mitigazione è prevista come una area golenale di progetto dove l'acqua inizierà ad esondare durante le fasi iniziali dell'evento di piena dalla curva a monte del tombino ferroviario tramite una quinta in terra per poi naturalmente svuotarsi nelle fasi finali sempre tramite la stessa porzione di sponda.

Tale area di espansione, di superficie in pianta di circa 6800 m², permetterà la derivazione e la restituzione delle portate in eccesso con una profondità di scavo massima mediamente di 2.5 m rispetto all'attuale piano campagna. Il fondo nella modellazione idraulica 2D è stato posto costante e pari a 18.12 m s.l.m.

In Figura 20 è evidenziata con un rettangolo arancione l'ubicazione dell'argine di progetto la cui sommità è posta a circa 19 m s.l.m., tale elemento è a presidio di sicurezza della immissione dell'asta idraulica nel tombino ferroviario data la presenza di

una curva prima dell'imbocco nello scatolare. Sono inoltre stati modellati i tombini di progetto ferroviario e stradale di dimensioni pari a 5x2.5m, indicati in verde scuro in figura.

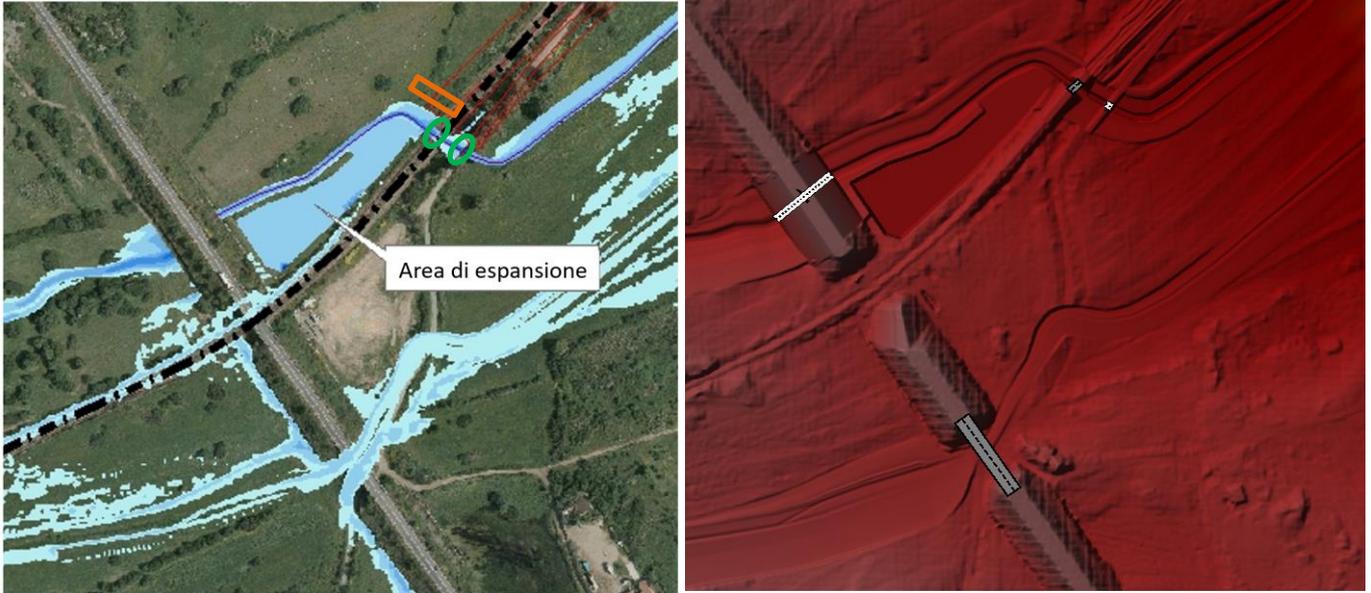


Figura 20 – Particolare dell'area tra il nuovo rilevato ferroviario e la strada panoramica Olbia nel ramo più a nord del Paule Longa. A sx: Inviluppo dei massimi tiranti idrici allo SDP per un evento di TR 200 anni. A dx: particolare del modello bidimensionale in HEC-RAS

- Distribuzione delle velocità

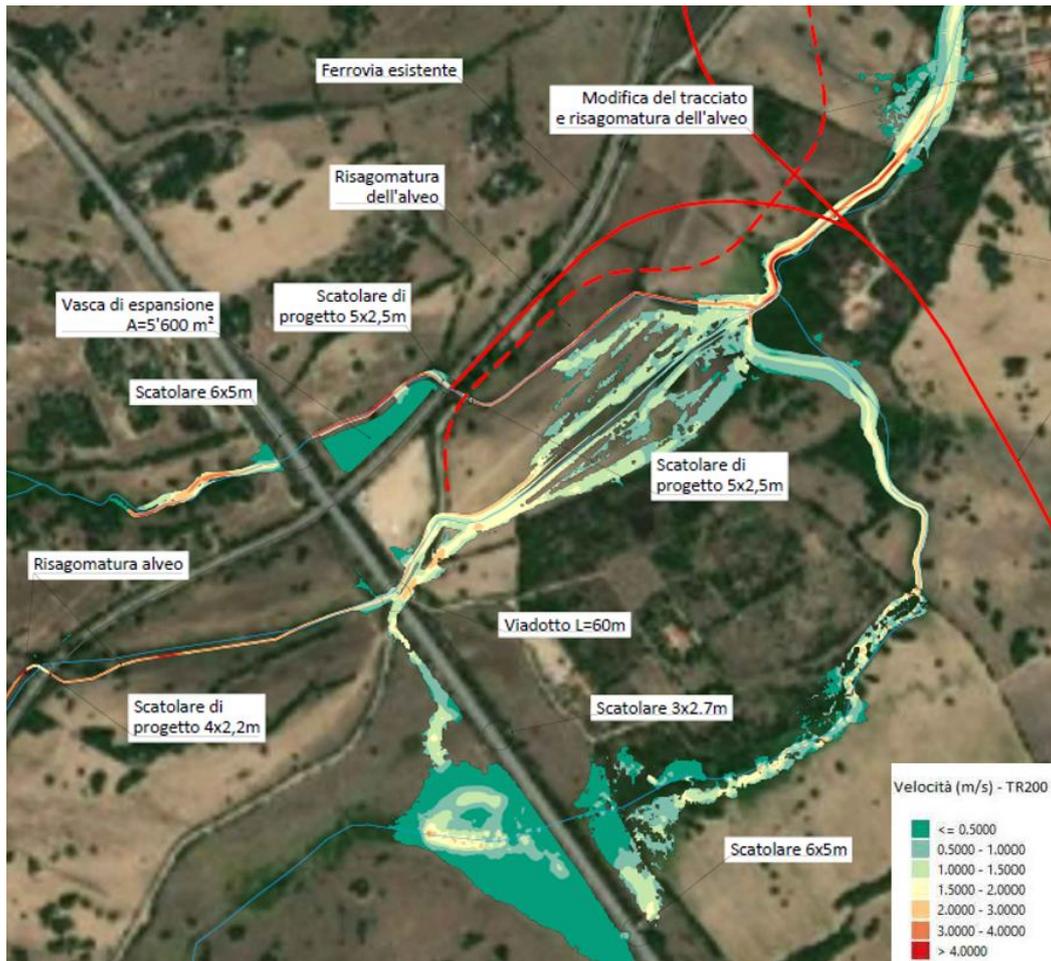


Figura 21 – Inviluppo delle velocità massime con TR 200 anni allo stato di progetto.

3.8 CONFRONTO ALLAGAMENTI ANTE E POST OPERAM

In *Figura 22* si riporta il confronto tra le aree allagate allo stato di fatto e quelle di progetto relative al tempo di ritorno di 200 anni.

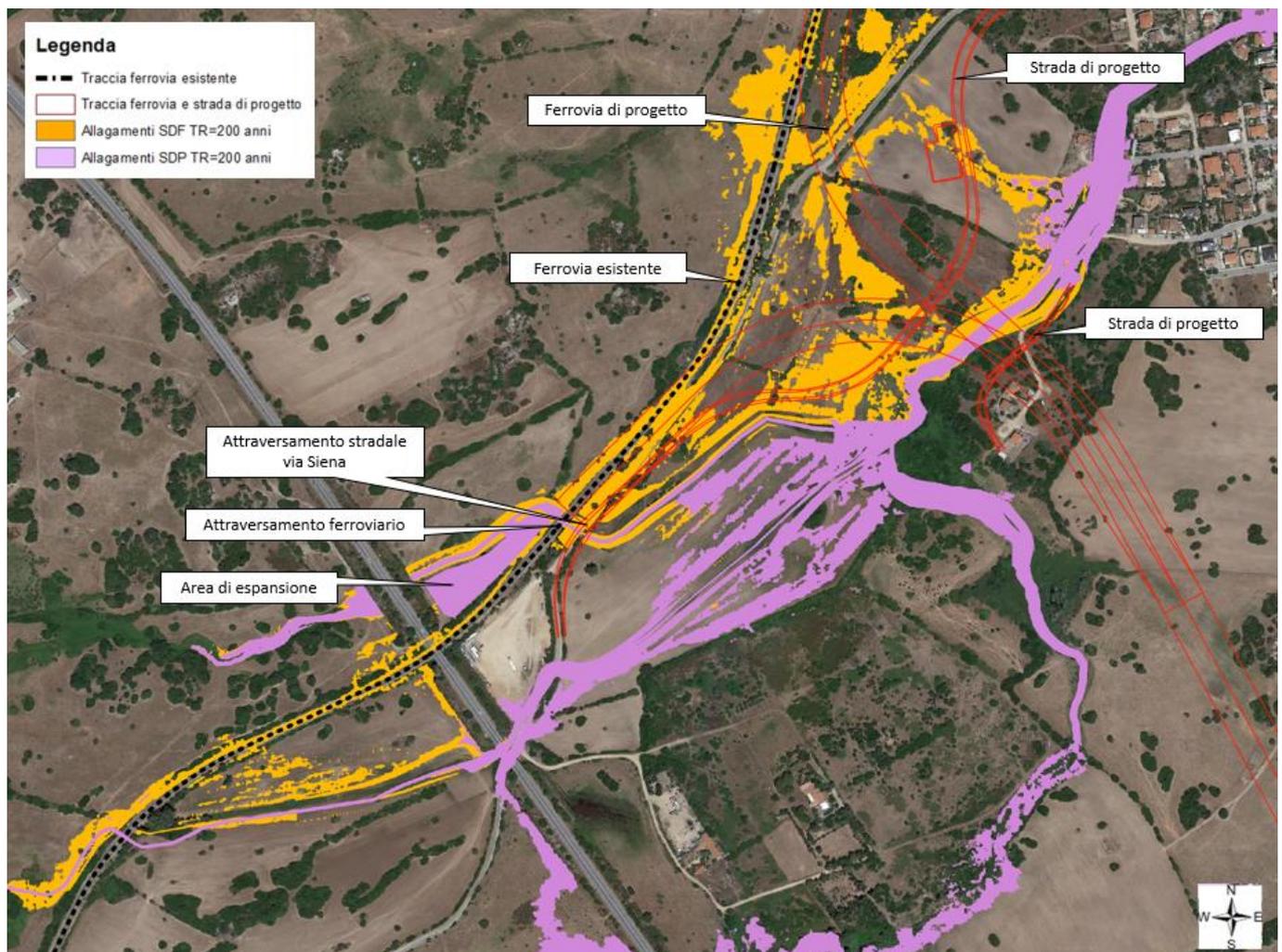


Figura 22 – Aree allagabili allo stato di fatto e di progetto del Rio Paule Longa per un evento di TR 200 anni.

Dalla *Figura 22* si evince la sostanziale riduzione delle aree allagabili dovute alla insufficienza delle sezioni d'alveo e la risoluzione delle criticità idrauliche che provocavano il sormonto della linea ferroviaria esistente.

3.8.1 Verifica dell'attraversamento sul rio Paule Longa del viadotto della ferrovia di progetto

I due nuovi viadotti di attraversamento sul Paule Longa (VI01 e VI02) saranno realizzati con un impalcato a struttura mista a semplice binario di luce pari a 45 m. In *Figura 23* è mostrata la posizione relativa tra il VI01 e le sistemazioni d'alveo.

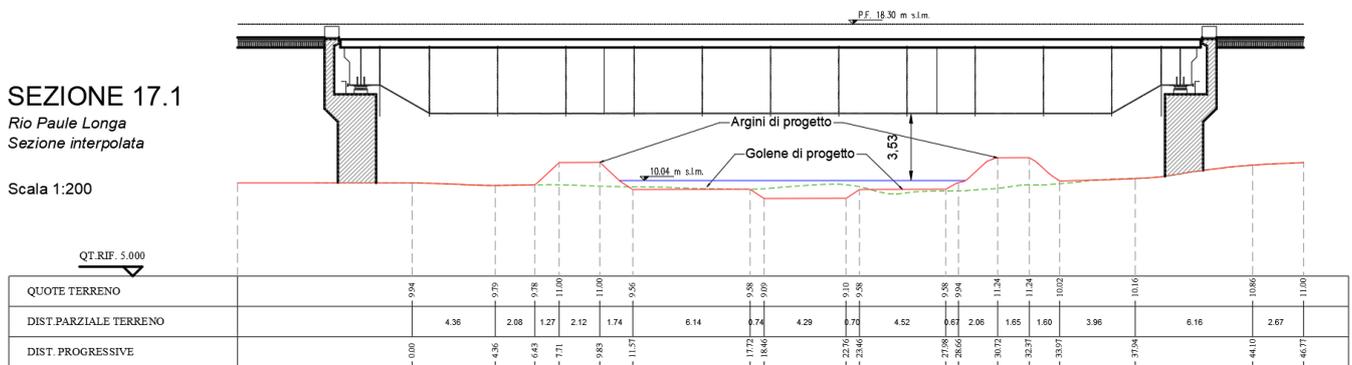


Figura 23 – Sezione corrente sul Paule Longa in corrispondenza del viadotto ferroviario VI01.

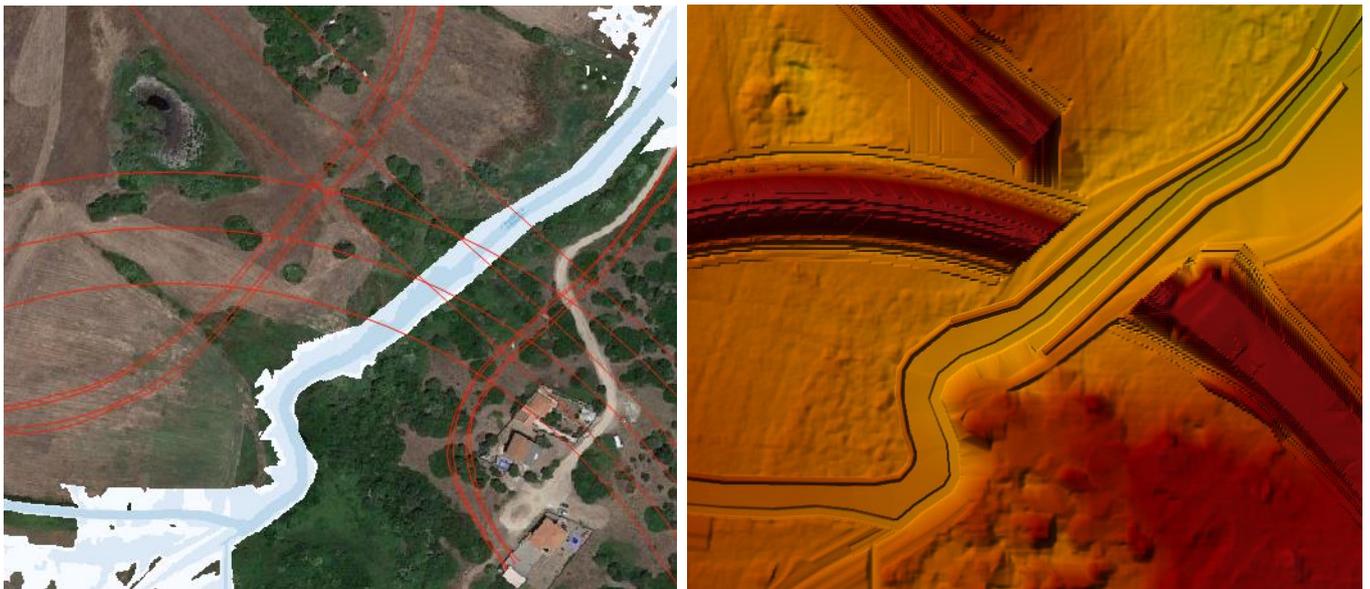


Figura 24 – Area tra il nuovo rilevato ferroviario e la strada panoramica Olbia nel ramo più a nord del Paule Longa.

A sinistra: Involuppo dei massimi tiranti idrici nella configurazione post operam per un evento di TR 200 anni.

A destra: particolare del modello bidimensionale in HEC-RAS.

4 VERIFICA TOMBINI NUOVA REALIZZAZIONE

4.1 IN01 e IN03

Al fine di verificare in modo puntuale gli attraversamenti di progetto ferroviario e stradale si è scelto di ricorrere a un modello 1D in HEC-RAS 6.2 a moto permanente. In Figura 25 è mostrata la planimetria del modello 1D.

Nella modellazione della configurazione di progetto sono inseriti:

- uno scatolare in calcestruzzo in attraversamento del rilevato ferroviario della linea Olbia-Golfo Aranci di dimensioni 5x2.5 m;
- uno scatolare in calcestruzzo in attraversamento di Via Siena di dimensioni 5x2.5 m.

La scabrezza delle sezioni è posta pari a un coefficiente di Manning di $0.02 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ in alveo e $0.025 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ sulle aree golenali. Nei due tombini invece si è posto un coefficiente pari $0.013 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ essendo in cls, così come nel tratto intermedio che verrà rivestito in cls anch'esso.

La portata inserita a monte del modello è pari alla portata di picco per un evento con tempo di ritorno pari a 500 anni: 14.1 mc/s.



Figura 25 Planimetria del modello 1D in HEC-RAS.

Come si può vedere dal profilo longitudinale di **Figura 26**, viste le forti pendenze riscontrabili in questo tratto sono stati introdotti due salti di fondo, il primo a circa 105 m a monte dell'imbocco del tombino ferroviario per un'altezza di 50 cm ed uno a metà del breve tratto a cielo aperto tra i due tombini IN01 e IN03 per un'altezza di circa 60 cm. Il primo tratto tra il tombino che attraversa la Strada Panoramica di Olbia ed il tombino ferroviario di progetto la pendenza è del 1,5%, in corrispondenza dei tombini la pendenza è del 6‰, mentre a valle riprende la pendenza attuale di circa l'1%.

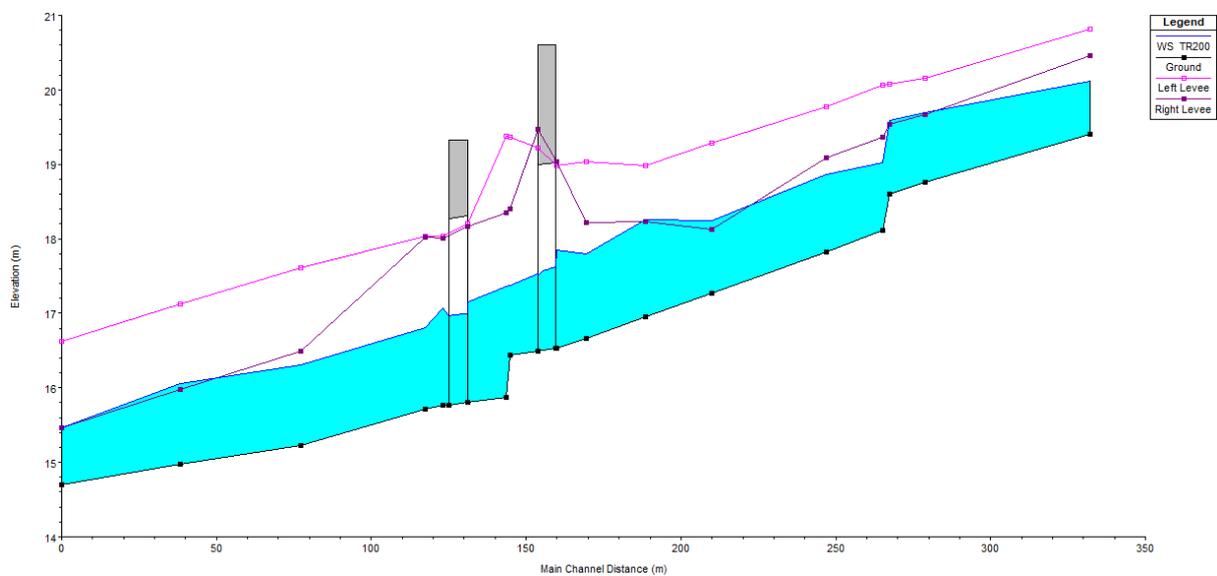


Figura 26 – Profilo longitudinale allo stato di progetto con gli attraversamenti ferroviario e stradale.

Per il calcolo del franco idraulico dei tombini inseriti nelle nuove infrastrutture, l'Art. 21 comma 2 delle NTA del PAI della Regione Sardegna (Aggiornamento 2022) prescrive che in presenza di velocità di corrente inferiori agli 8 m/s il franco idraulico venga dimensionato secondo la seguente tabella:

Tabella 4.1 Criteri di dimensionamento del franco idraulico per attraversamenti stradali e ferroviari.

Il franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, è corrispondente al massimo tra:	
$\frac{0.7v^2}{2g}$	dove v indica la velocità media della corrente;
1 m	per profondità media della corrente $y > 1$ m;

y	per profondità media della corrente $y \leq 1$ m;
$0.87\sqrt{y} + \alpha y'$	dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0.87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2.

Il tombino ferroviario di progetto ha dimensioni 5 x 2.5 m, con pendenza del 6‰ e quota di fondo scorrimento all'imbocco di 16.53 m s.l.m. La velocità massima raggiunta dalla corrente in prossimità del tombino risulta essere pari a 2.45 m/s.

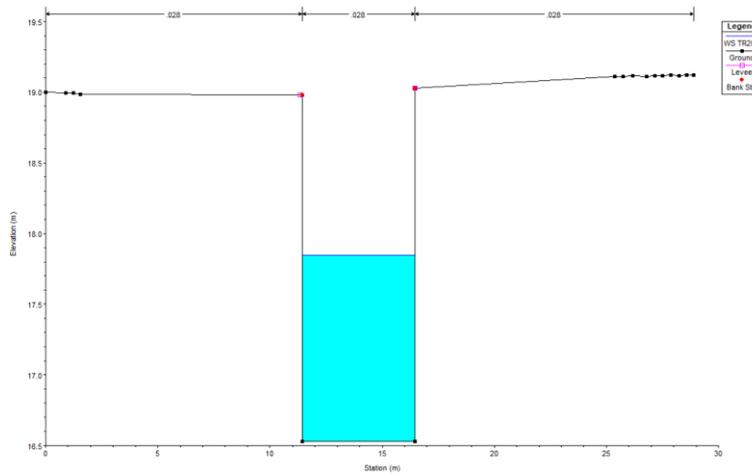


Figura 27 – Sezione subito a monte dell'attraversamento ferroviario.

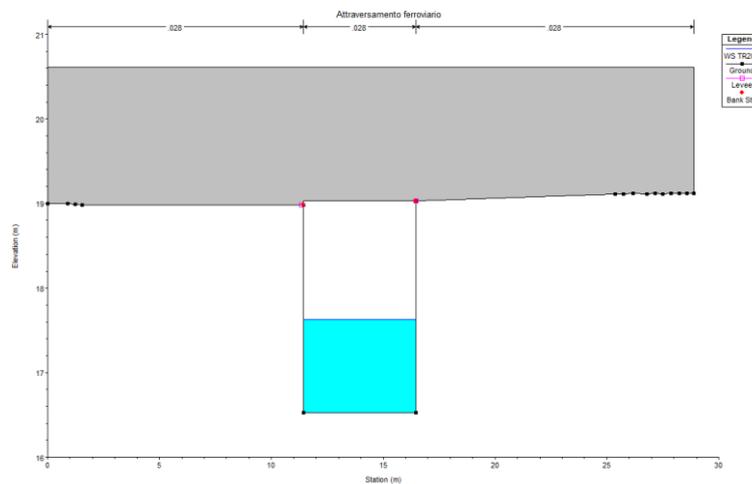


Figura 28 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.

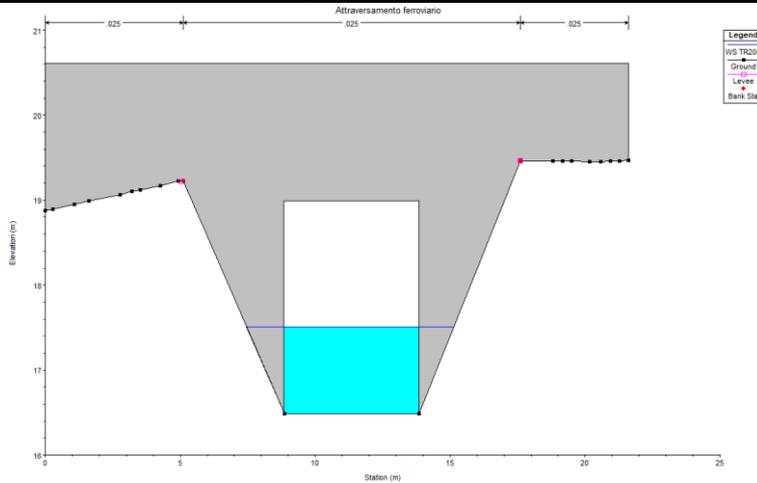


Figura 29 – Sezione di valle dell'attraversamento ferroviario.

Tabella 4.2 Verifica del franco dell'attraversamento ferroviario di progetto.

Sezione	Livello fondo [m s.l.m.]	Intradosso [m s.l.m.]	Livello acqua TR200 [m s.l.m.]	Franco [m]	Velocità [m/s]	$\frac{0.7v^2}{2g}$ [m]	y per $y \leq 1$ m, 1 m per $y > 1$ m [m]	$0.87\sqrt{y} + \alpha y'$ [m]
Attraversamento ferroviario – sezione subito a monte	16.53	19.03	17.85	1.18	2.45	0.21	1	0.95

Dalla Tabella 4.2 si evidenzia che il franco idraulico è rispettato.

Il tombino stradale di progetto ha le medesime dimensioni del tombino ferroviario, 5 x 2.5 m, con pendenza del 6‰ e quota di fondo scorrimento all'imbocco di 15.81 m s.l.m. La velocità massima raggiunta dalla corrente in prossimità del tombino risulta essere pari a 2.40 m/s.

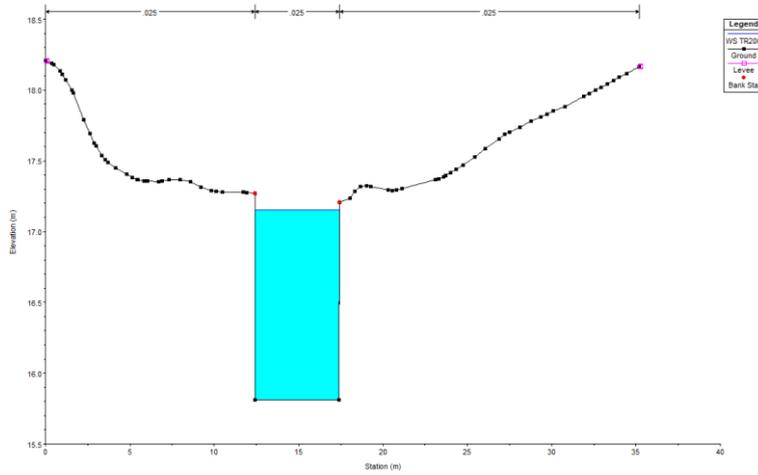


Figura 30 – Sezione subito a monte dell'attraversamento stradale.

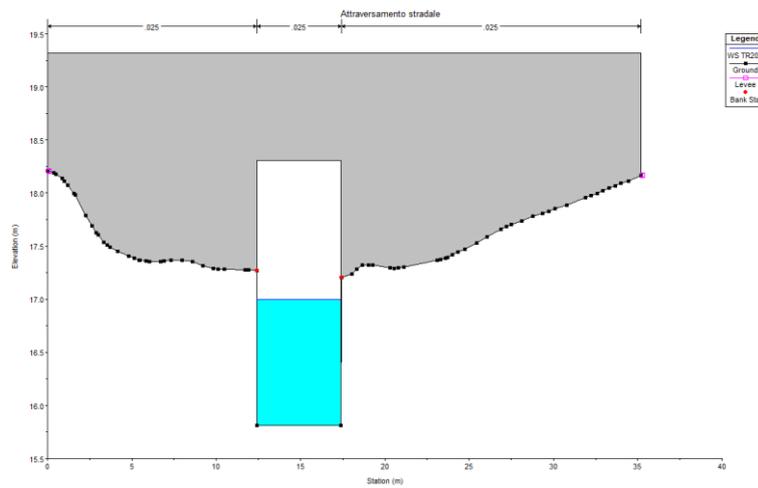


Figura 31 – Sezione di monte dell'attraversamento stradale.

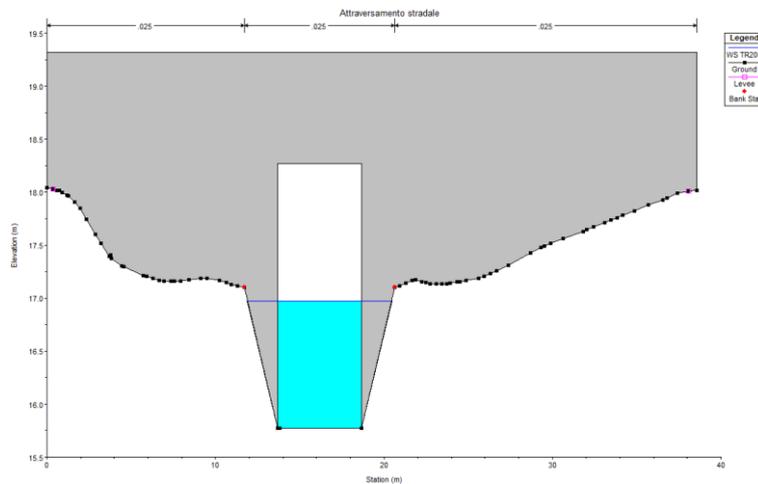


Figura 32 – Sezione di valle dell'attraversamento stradale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA					
	RELAZIONE IDRAULICA PAULE LONGA	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R14RI	DOCUMENTO ID0002003	REV. A

Tabella 4.3 Verifica del franco dell'attraversamento stradale di progetto.

Sezione	Livello fondo [m s.l.m.]	Intradosso [m s.l.m.]	Livello acqua TR200 [m s.l.m.]	Franco [m]	Velocità [m/s]	$\frac{0.7v^2}{2g}$ [m]	y per $y \leq 1$ m, 1 m per $y > 1$ m [m]	$0.87\sqrt{y} + \alpha y'$ [m]
Attraversamento stradale – sezione subito a monte	15.81	18.31	17.15	1.16	2.40	0.20	1	1

Dalla Tabella 4.3 si evince che anche per il tombino stradale il franco idraulico è rispettato.

4.2 IN17

Al fine di verificare in modo puntuale gli attraversamenti di progetto ferroviario e stradale si è scelto di ricorrere a un modello 1D in HEC-RAS 6.2 a moto permanente. In *Figura 33* è mostrata la planimetria del modello 1D.

Nella modellazione della configurazione di progetto sono inseriti:

- uno scatolare in calcestruzzo in attraversamento del rilevato ferroviario della linea Olbia-Golfo Aranci di dimensioni 4.0x2.20 m. La nuova opera è realizzata a una distanza di circa 8m dall'opera esistente in modo tale da permettere la realizzazione per fasi attraverso sistemi di sostegno del binario tipo Essen, permettendo di mantenere in esercizio la linea durante la realizzazione della nuova opera;
- una riprofilatura dell'alveo a monte della linea ferroviaria per circa 175 m con sezione trapezia rivestita in pietrame cementato di base 2.5m e altezza variabile tra 1.0 e 1.5m e la realizzazione di arginelli in terra di altezza massima pari a 50cm in destra e sinistra idraulica a presidio del rilevato ferroviario esistente.
- una riprofilatura dell'alveo a valle della linea ferroviaria per circa 470m con sezione trapezia in terra, sponde 3/2, di base 2.5m e altezza variabile tra 1.0 e 1.5m. Le maggiori altezze di scavo si hanno in sinistra idraulica, per tale motivo è prevista una paratia di micropali per la realizzazione dello scavo e una sistemazione in gabbioni per uno sviluppo di circa 80 m.

La scabrezza delle sezioni è posta pari a un coefficiente di Manning di $0.02 \text{ s}^* \text{m}^{-1/3}$ in alveo. Nei due tombini invece si è posto un coefficiente pari $0.013 \text{ s}^* \text{m}^{-1/3}$ essendo in cls, così come nel tratto intermedio che verrà rivestito in cls anch'esso.

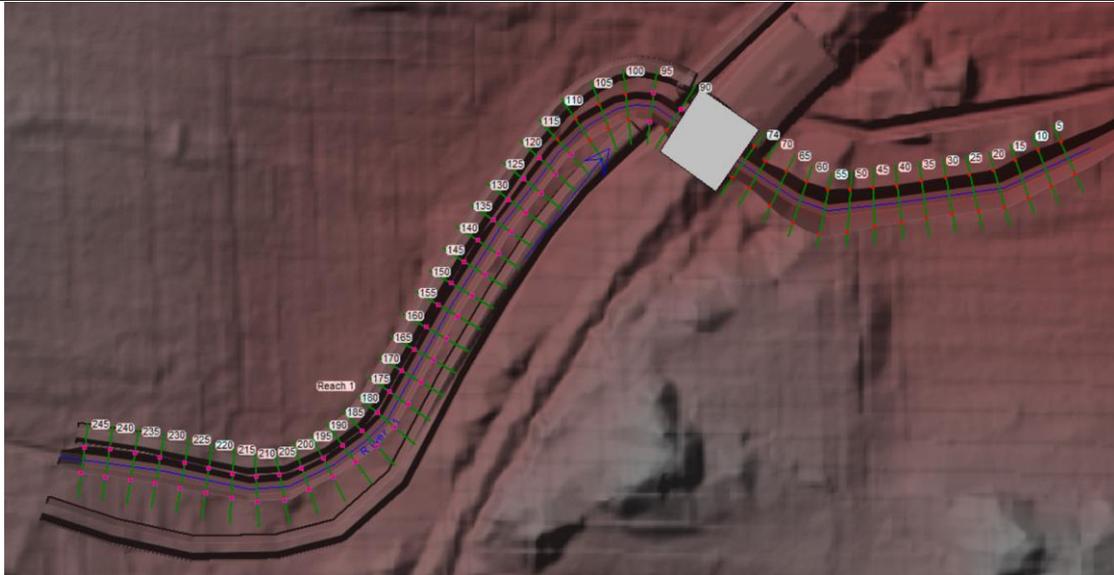


Figura 33 – IN17: Planimetria del modello 1D in HEC-RAS.

Come mostrato in *Figura 34*, l’inserimento di un salto idraulico di 0.8 m circa 20 m a monte del tombino di progetto permette di mantenere la pendenza del fondo costante a circa 2% e prossima a quella naturale sia a monte che a valle della linea ferroviaria.

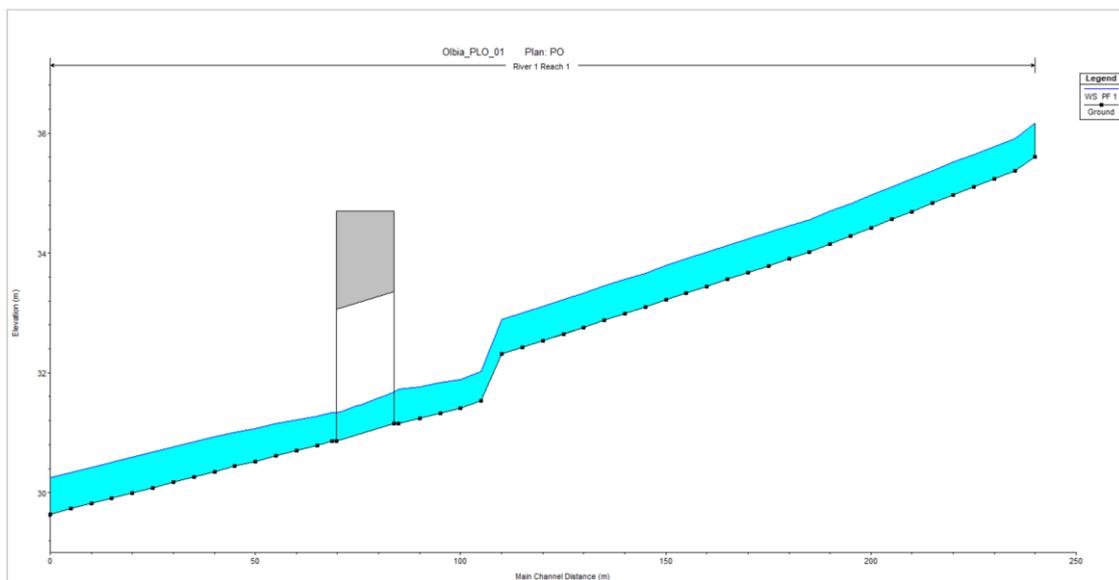


Figura 34 – IN17: profilo longitudinale

Il tombino ferroviario di progetto ha dimensioni 4 x 2.2 m, con pendenza del 2% e quota di fondo scorrimento all'imbocco di 31.15 m s.l.m.. La velocità massima raggiunta dalla corrente in prossimità del tombino risulta essere pari a 3.70 m/s.

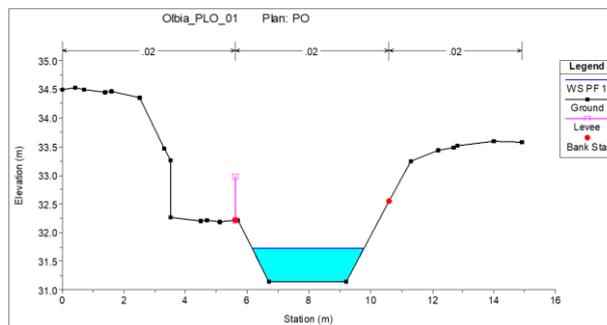


Figura 35 – Sezione subito a monte dell'attraversamento ferroviario.

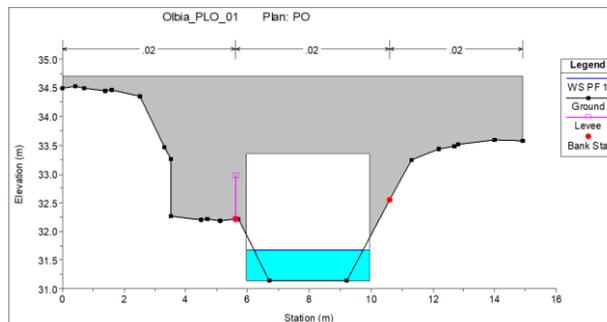


Figura 36 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.

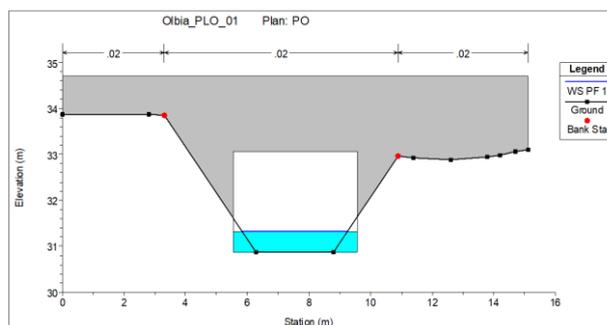


Figura 37 – Sezione di monte dell'attraversamento ferroviario.

Tabella 4.4 Verifica del franco dell'attraversamento ferroviario di progetto.

Sezione	Livello fondo [m s.l.m.]	Intradosso [m s.l.m.]	Livello acqua TR200 [m s.l.m.]	Franco [m]	Velocità [m/s]	$\frac{0.7v^2}{2g}$ [m]	y per $y \leq 1$ m, 1 m per $y > 1$ m [m]	$0.87\sqrt{y} + \alpha y'$ [m]
Attraversamento stradale – sezione subito a monte	31.15	33.35	31.72	1.65	3.7	0.49	0.57	0.66

Dalla Tabella 4.4 si evidenzia che il franco idraulico è rispettato.

5 BIBLIOGRAFIA

- Barkau, & Robert, L. (1992). UNET, One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels, Computer Program. St. Louis, MO.
- Comune di Olbia. (2018, 12). Studio idraulico e idrogeologico del Piano di Utilizzo dei Litorali ai sensi dell'art. 8c2 delle NTA del PAI. *Allegato I_1, Relazione di compatibilità idraulica del PUL*. Olbia.
- Hydrologic Engineering Center. (1991). HEC-2, Water Surface Profiles, User's Manual. Davis, CA.: U.S. Army Corps of Engineers.
- Hydrologic Engineering Center. (1997). UNET, One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels, User's Manual. Davis, CA.: U.S. Army Corps of Engineers.
- Papaoannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexioiu, S., Koukouvinos, A., . . . Kossieris, P. (2018). An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas. *Hydrology MDPI* - doi:10.3390/hydrology5020024.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato dei lavori pubblici. (2003, 12). Linee guida per la redazione del progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Cagliari.

	COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA					
RELAZIONE IDRAULICA PAULE LONGA	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R14RI	DOCUMENTO ID0002003	REV. A	FOGLIO 44 di 45

6 APPENDICE A

DESCRIZIONE DEL MODELLO HEC RAS 2D E CAPACITÀ DI CALCOLO

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è un codice numerico inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso (1D) e di invariabilità della geometria dell'alveo (fondo fisso). Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 (Hydrologic Engineering Center, 1991) con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi nonché di una completa interfaccia grafica operante in ambiente Windows. In seguito, a partire dalla versione 3.0, il codice è stato integrato incorporando gli algoritmi del modello idraulico UNET "One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels" (Barkau & Robert, 1992) (Hydrologic Engineering Center, 1997) che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico. L'integrazione dei due modelli è avvenuta previa realizzazione di una particolare versione del modello UNET capace di condividere i medesimi algoritmi di analisi delle strutture idrauliche presenti nella libreria di HEC-RAS. Successivamente, il modello UNET è stato sostituito da un nuovo modello di simulazione a moto vario capace di una maggiore stabilità numerica e utilizzabile in correnti supercritiche. L'algoritmo si è rilevato essere sufficientemente stabile anche per simulare la propagazione di piene artificiali causate dal cedimento di sbarramenti o brusche manovre di apertura degli scarichi (Dam Break).

Con la diffusione della versione 4.X, il modello assumeva la capacità di lavorare anche nell'ipotesi di fondo mobile in condizioni quasi stazionarie, mantenendo sempre l'ipotesi di monodimensionalità del moto.

Con la versione 5.x pubblicata nell'aprile 2016 (HEC 2016 a, HEC 2016 b), il modello è stato integrato con un codice numerico per simulare i fenomeni propagatori nell'ipotesi bidimensionale del moto e con un ambiente grafico specifico per elaborare dati plano-altimetrici di tipo spaziale.

Le simulazioni idrauliche nel presente elaborato sono state effettuate utilizzando la versione HEC-RAS 6.2.

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di:

- elaborazioni 1D: propagazione in reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, a fondo fisso e mobile, con presenza di ponti e di manufatti di regolazione fissi o dotati di dispositivi mobili;
- elaborazioni 2D: propagazione in canali o aree aperte discretizzati da una o più griglie di calcolo interconnesse costituite da elementi poligonali associate ad un modello digitale del terreno, in regime di moto vario e nell'ipotesi di fondo fisso;

- elaborazioni accoppiate 1D-2D: simulazione in reti 1D accoppiate, ma non sovrapposte, a griglie di calcolo 2D, in regime di moto vario e nell'ipotesi di fondo fisso.

L'ambiente grafico organizza le informazioni topografiche relative agli alvei, alla geometria dei manufatti idraulici e di attraversamento, ai piani di esondazione 2D, in modo da combinarle all'occorrenza per realizzare simulazioni accoppiate.