

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## S. O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

## PROGETTO DEFINITIVO

## LINEA TARANTO-BRINDISI NUOVA STAZIONE DI TARANTO NASISI

IDROLOGIA E IDRAULICA

ELABORATI GENERALI

Relazione idraulica e di compatibilità idraulica

SCALA:

-

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

I A 8 E 0 0 D 7 8 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave	Lug 2021	D. Di Domenico Antonio	Lug 2021	G. Lestingi	Lug 2021	Dario Tiberti Luglio 2021

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Peritratto Sud  
Dott. Ing. Dario Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 16176

File: IA8E00D78RIID0002001A

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	7
4.1	Studi esistenti e progetti redatti nel territorio (PGRA).....	9
4.1.1	Ambito del bacino dell'Arco Ionico .....	10
4.2	Inquadramento normativo e compatibilità degli interventi.....	11
5	CRITERI DI VERIFICA .....	15
6	ANALISI IDROLOGICA .....	20
6.1	Il bacino idrografico .....	20
7	DESCRIZIONE ZONA DI INTERVENTO .....	21
8	ANALISI IDRAULICA.....	25
8.1	Il Modello HEC-RAS.....	25
8.1.1	Calcolo del profilo 1D a moto permanente.....	25
8.1.2	Scelta dei parametri e simulazioni con modello HEC-RAS .....	28
9	CONCLUSIONI.....	34
	ALLEGATI.....	36
	Risultati simulazioni.....	36

## 1 PREMESSA

L'Impianto di Taranto Nasisi di Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., oggetto del presente progetto, è posto alla progressiva chilometrica 3+999 della linea Taranto-Brindisi, tra le stazioni di Taranto e di Monteiasi-Montemesola. Tale impianto attualmente svolge la funzione di Posto di Movimento e non vi si effettua servizio viaggiatori.

Il presente intervento, finanziato a valere sul Fondo Sviluppo e Coesione 2014-2020 nell'ambito del "Patto per il Sud", prevede la trasformazione dell'impianto esistente in stazione, con funzione anche di terminal intermodale passeggeri gomma-ferro.

L'intervento in progetto ha grande valore strategico per la provincia jonica, dal momento che la località ferroviaria di Taranto Nasisi, oggi dotata di un solo binario e non abilitata al servizio viaggiatori, si colloca in una posizione, molto vicina a importanti quartieri periferici di Taranto, a sud est della città, strategica per realizzare uno scambio modale tra i servizi ferroviari e i numerosi servizi extraurbani su gomma provenienti dai comuni della provincia di Taranto.

L'obiettivo principale è, quindi, quello di permettere ai viaggiatori di poter fruire di un servizio funzionale di interscambio gomma-ferro, in modo da incentivare l'uso di mezzi alternativi all'auto.

Il progetto, inoltre, è inquadrato nell'ambito di un accordo quadro siglato nel 2019 tra RFI S.p.A. e la Regione Puglia, che prevede anche l'attestamento dei treni regionali per Bari, che attualmente fermano nella stazione di Taranto.

Attualmente l'impianto è gestito da un apparato ACEI inserito nel CTC con un sistema di distanziamento conta assi. Nell'ambito del progetto è prevista la realizzazione di un impianto ACC, nonché delle seguenti opere:

- fabbricato viaggiatori dotato di area di attesa;
- fabbricato tecnologico;
- due marciapiedi di altezza H=55cm e lunghezza pari a 250 m con relative pensiline di lunghezza pari a 125m;
- sottopasso viaggiatori per il collegamento fra il I marciapiede e il II marciapiede;
- un'area di interscambio ferro-gomma con parcheggi per auto e quattro stalli per autobus extra-urbani;
- modifica e integrazione degli attuali apparati di sicurezza e segnalamento per la configurazione al nuovo piano di stazione e ai nuovi servizi;
- integrazione con apparati di telecomunicazioni per il servizio informazioni viaggiatori;
- realizzazione di tre binari, di cui due aventi un modulo di 250m e uno avente lunghezza di almeno 650m; dei tre nuovi binari, uno sarà di corretto tracciato, uno di incrocio e uno per l'attestamento dei servizi. Sono previsti itinerari contemporanei alla velocità di 60 km/h;
- adeguamento dell'impianto di trazione elettrica per configurarlo al nuovo piano di stazione.

Le attività relative agli interventi accessori, di miglioramento della viabilità stradale esistente, saranno realizzate con altro appalto, a cura di altro ente, con fondi appositamente destinati a tale intervento.

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei parametri idrologici e idraulici relativi all'idrografia interferente con il tracciato ferroviario presso la stazione ferroviaria di Nasisi (Taranto). Lo scopo risulta quindi essere la determinazione della portata di progetto da assumere per la modellazione idraulica, al fine di verificare le condizioni di deflusso degli attraversamenti, con opere esistenti, presenti nell'area di progetto.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e dell'idrografia in esame;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali;
- Analisi idraulica tramite modellazione 1D con il software HEC-RAS.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO DOCUMENTO	CODICE DOCUMENTO
<b>elaborati generali</b>	
Relazione idrologica	IA8E00D79RIID0001001A
Relazione idraulica drenaggio di piattaforma	IA8E00D78RIID0002002A
Corografia dei bacini	IA8E00D78C4ID0001001A
<b>planimetrie sistemazioni idraulica</b>	
Sistemazione idraulica IN01 - Pianta e profilo ante-operam	IA8E00D78PZID0002001A
Sistemazione idraulica IN01 - Sezioni ante-operam	IA8E00D78WZID0002001A
Sistemazione idraulica IN02 - Pianta e profilo ante-operam	IA8E00D78PZID0002002A
Sistemazione idraulica IN02 - Sezioni ante-operam	IA8E00D78WZID0002002A
Sistemazione idraulica IN01 - Planimetria delle aree allagabili post-operam	IA8E00D78PZID0002003A
Sistemazione idraulica IN02 - Planimetria delle aree allagabili post-operam	IA8E00D78PZID0002004A
<b>planimetrie smaltimento</b>	
Planimetria di smaltimento acque meteoriche 1/2	IA8E00D78P7ID0002001A
Planimetria di smaltimento acque meteoriche 2/2	IA8E00D78P7ID0002002A
Planimetria di smaltimento acque meteoriche - Parcheggio	IA8E00D78P8FV010B001A
Dettagli idraulici smaltimento acque piattaforma - Tav. 1 di 2	IA8E00D78BZID0002001A
Dettagli idraulici smaltimento acque piattaforma - Tav. 2 di 2	IA8E00D78BZID0002002A

### **3    NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) approvato il 30 novembre 2005 e successivi aggiornamenti (19/11/2019) e relative Norme tecniche di attuazione (2005).
- Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018-Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al Decreto Legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186.
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- Piano di gestione delle alluvioni – Autorità di bacino della Puglia – Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE, RFI del 2021
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 2 – PONTI E STRUTTURE, RFI del 2021
- RFI – CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI – PARTE II -SEZIONE 9 – OPERE DI DIFESA DELLA SEDE FERROVIARIA, RFI del 2021

## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La stazione Taranto Nasisi si colloca nell'ambito territoriale omogeneo dell'Arco Ionico il quale comprende i bacini di una serie di corsi d'acqua accomunati dalla condizione di avere come recapito finale il mar Jonio, nel tratto compreso tra la foce del Bradano e il litorale tarantino orientale, e di mostrare, in molti casi, soprattutto nei tratti medio-montani, condizioni morfologiche della sezione di deflusso molto strette e profonde, che localmente sono chiamate "gravine".

Tra i corsi d'acqua più importanti di questo ambito sono da annoverare il Fiume Lato, il Fiume Lenne, il Canale d'Aiedda, il Fiume Patemisco e il Fiume Tara.

La porzione dei reticoli idrografici presenti, posta generalmente a monte dei tratti di "gravina", mostra assetti plano-altimetrici non molto diversi da quelli dei bacini del versante adriatico delle Murge, mentre le porzioni di rete idrografica poste generalmente a valle degli stessi, assumono caratteri abbastanza simili a quelli dei tratti terminali dei principali fiumi del Tavoliere della Puglia. Con particolare riferimento ai reticoli dei fiumi Lato, Lenne, Galaso e del Canale d'Aiedda, sono stati realizzati ingenti interventi di bonifica e di sistemazione idraulica dei tratti terminali, che non hanno tuttavia definitivamente risolto il problema delle frequenti esondazioni fluviali degli stessi corsi d'acqua e del frequente interrimento delle foci per accumulo e rimaneggiamento di materiale solido, favorito anche della contemporanea azione di contrasto provocata dal moto ondoso. In alcuni tratti del litorale tarantino, in virtù delle relazioni che intercorrono fra livelli litologici a differente grado di permeabilità, le acque di falda presenti nel sottosuolo, e alimentate per la natura prevalentemente carsica del territorio sotteso, vengono a giorno in prossimità del litorale, ove danno origine sia alle risorgive sottomarine caratteristiche del Mar Piccolo, comunemente denominate "citri", che a veri e propri corsi d'acqua come il Tara e il Galaso.



Figura 4-1 Inquadramento su ortofoto e indicazione della stazione di Nasisi



Figura 4-2 Inquadramento su ortofoto con individuazione delle interferenze

Con riferimento agli attraversamenti si riporta di seguito un elenco degli stessi con le caratteristiche della rete idrografica interessata.

Progressiva	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	Tipologia
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo

#### 4.1 Studi esistenti e progetti redatti nel territorio (PGRA)

La stazione di Nasisi e la linea ferroviaria Taranto Brindisi esame ricadono interamente nel distretto idrografico dell'Appennino Meridionale nel quale l'Autorità di bacino della Puglia ha redatto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.



Figura 4-3 Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale (fonte: Autorità di bacino della Puglia)

L'autorità di bacino della Puglia è divisa in ambiti territoriali omogenei. Nel caso in esame l'ambito territoriale di riferimento è l'Arco Ionico.



Figura 4-4 Ambiti territoriali omogenei del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia (fonte: Autorità di bacino della Puglia)

#### 4.1.1 Ambito del bacino dell'Arco Ionico

Comprende i bacini di una serie di corsi d'acqua, accomunati dalla condizione di avere come recapito finale il mare Jonio, nel tratto compreso tra la foce del Bradano e il litorale tarantino orientale, e di mostrare in molti casi, soprattutto nei tratti medio-montani, condizioni morfologiche della sezione di deflusso molto strette e profonde, che localmente sono chiamate "gravine".

Si parla di "Gravine" per indicare quelle incisioni in cui i fianchi vallivi risultano caratterizzati da un notevole approfondimento nel substrato calcareo rispetto alla larghezza delle stesse, dando così origine a pareti fortemente acclivi, spesso verticali, paragonabili nei casi più estremi a vere e proprie forre.

Anche per le "Gravine", analogamente alle "Lame", si ritiene che la genesi sia da attribuire in maniera fondamentale all'effetto congiunto dell'erosione fluviale e del carsismo.

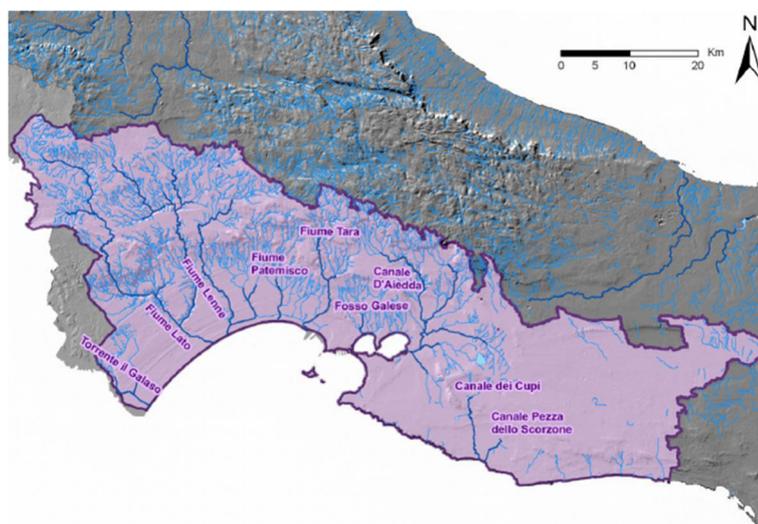


Figura 4-5 fonte: Ambito dell'Arco ionico con indicazione dell'idrografia (Autorità di bacino della Puglia)

Nel PGRA sono state definite le aree di pericolosità idraulica e di seguito si riporta un estratto relativo alla zona in esame.

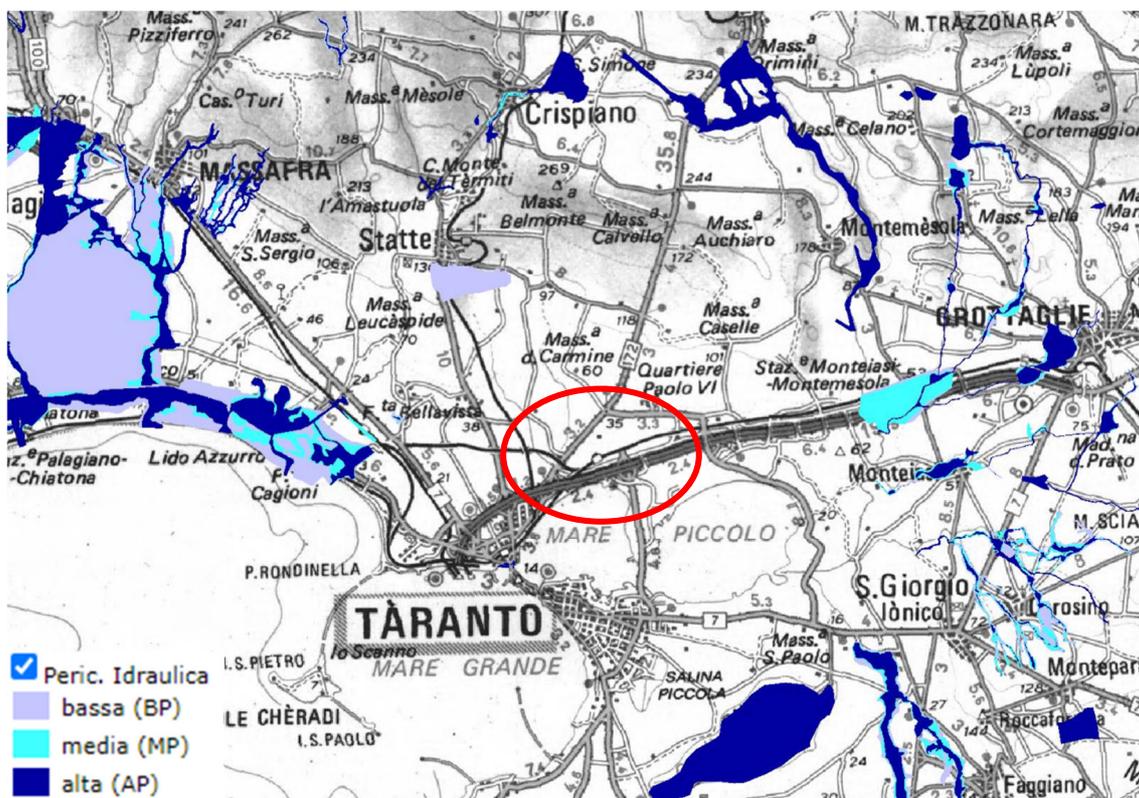


Figura 4-6 Estratto dal WebGis dell'Autorità di bacino della Puglia con indicazione della pericolosità idraulica

Come si può notare dall'immagine precedente la zona in esame non presenta pericolo di allagamento.

## 4.2 Inquadramento normativo e compatibilità degli interventi

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica delle aree oggetto di intervento e la definizione delle aree di pericolosità è attualmente riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2005 e successivi aggiornamenti) redatto dalla ex Autorità di Bacino della Regione Puglia, oggi Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale. Inoltre, di recente l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, con decreto n. 540 del 13/10/2020, ha adottato le Misure di Salvaguardia relative alle aree oggetto di modificazione di perimetrazione e/o di classificazione della pericolosità/rischio configurate nelle proposte di aggiornamento del PAI e alle nuove mappe del PGRA (P.S.A.I. Il Ciclo).

In particolare, il PAI individua le aree caratterizzate da un significativo livello di pericolosità idraulica, e, in funzione della frequenza con cui esse sono interessate da deflussi, le classifica in:

- Aree ad alta pericolosità idraulica (**P3**)
- Aree media pericolosità idraulica (**P2**)
- Aree bassa pericolosità idraulica (**P1**)

La classe di pericolosità alta (P3) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento  $T_r \leq 30$  anni. La classe di pericolosità media (P2) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento compresa tra  $T_r = 30 - 200$  anni. La classe di pericolosità bassa (P1) fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno compreso tra  $T_r = 200 - 500$  anni.

Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

Tr (anni)	Pericolosità
<30	P3
30-200	P2
200-500	P1

Le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI, in relazione alle condizioni idrauliche e agli effetti potenzialmente dannosi prodotti da interventi antropici, dettano norme specifiche per le aree a diversa pericolosità idraulica. Queste norme sono nel dettaglio riportate nei seguenti articoli:

- Art.6: Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali;
- Art.7: aree ad alta pericolosità idraulica;
- Art.8: aree a media pericolosità idraulica;
- Art.9: aree a bassa pericolosità idraulica;
- Art.10: fasce di pertinenza fluviale.

Le aree ad alta, media e bassa pericolosità idraulica risultano arealmente individuate nelle "Carte delle aree soggette a rischio idrogeologico" allegate al PAI, mentre l'individuazione delle aree definite "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" e "Fasce di pertinenza fluviale" segue i criteri riportati rispettivamente negli articoli 6 e 10 delle NTA del PAI.

In merito alle aree "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" l'art. 6 definisce che quando il reticolo idrografico, l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al PAI e le condizioni morfologiche non ne consentono la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra dell'asta fluviale, non inferiore a 75 m; Per quanto riguarda le "Fasce di pertinenza fluviale", l'art. 10 definisce che quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato al PAI, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermini all'area golenale, come individuata nell'art. 6, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Attualmente l'Autorità di Bacino della Puglia intende per "reticolo idrografico" tutto quanto rappresentato come tale su cartografia IGM in scala 1:25000. Considerando la vetustà della carta IGM in ordine all'evoluzione morfologica dei siti, sia antropica che naturale, l'individuazione dei reticoli idrografici è stata condotta considerando anche le aste rappresentate nella carta idrogeomorfologica.

La carta idrogeomorfologica della Regione Puglia, sebbene costituisca un aggiornamento conoscitivo dei luoghi, non è stata ancora formalmente approvata se non con riferimento ad alcuni comuni; ad ogni modo, ai fini della valutazione della compatibilità idraulica degli interventi in progetto, come disciplinato dagli articoli 6 e 10 delle NTA, è stata verificata la presenza del reticolo idrografico mappato sia nella carta IGM 1:25000 sia nella carta idrogeomorfologica.

Dalla sovrapposizione degli interventi in progetto con le aree del PAI e i reticoli idrografici della carta idrogeomorfologica e IGM 1:25000 è emerso che l'intervento non ricade in aree perimetrate a pericolosità idraulica della cartografia del PAI (Figura 1), ma nelle aree disciplinate dagli art. 6 e 10 delle NTA (Figura 2) che si configurano come aree vincolate, pur in assenza di una perimetrazione riportata dalla cartografia del PAI.

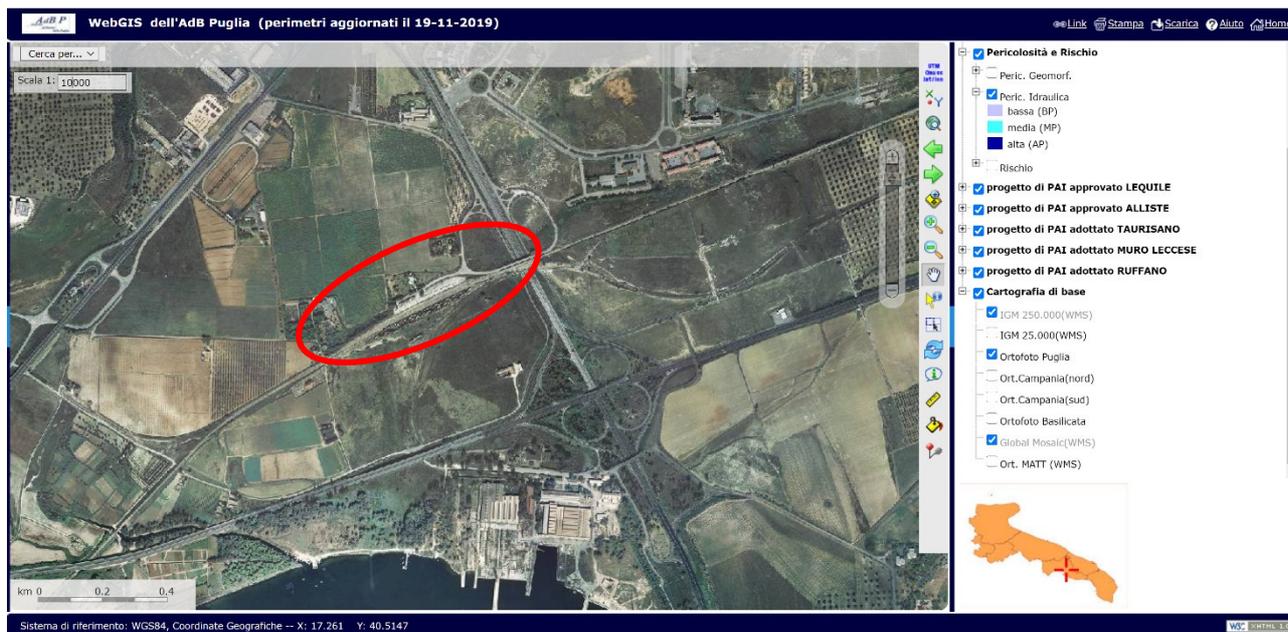


Figura 4-7 Sovrapposizione delle aree a pericolosità idraulica e area di intervento (cerchiata di rosso)

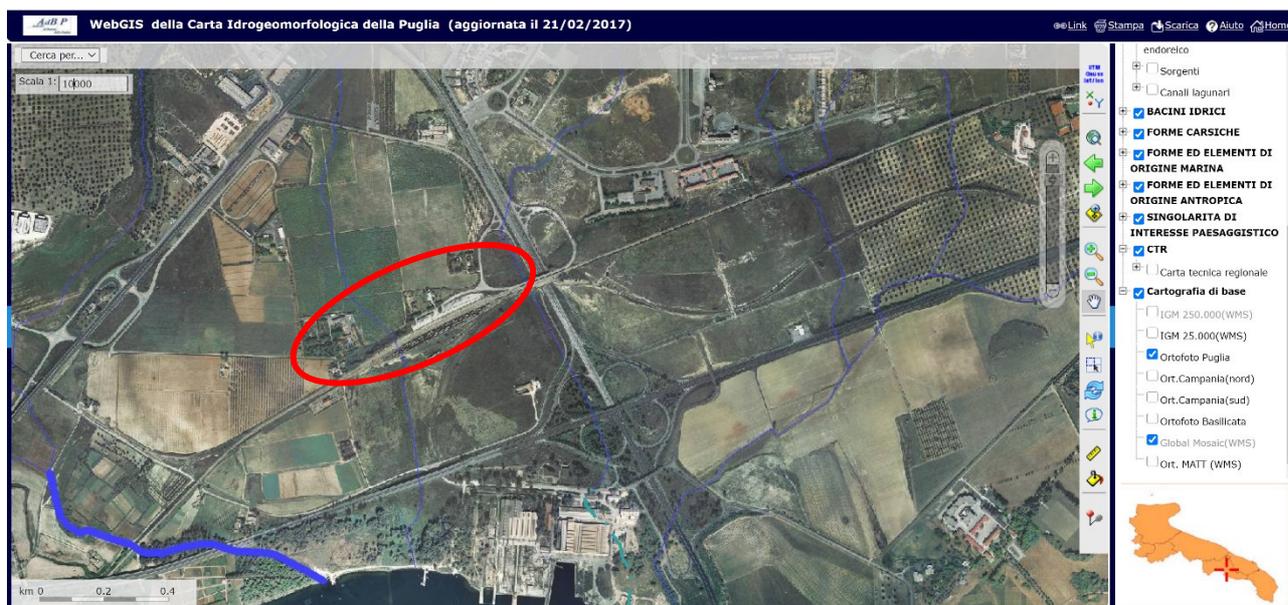


Figura 4-8 Sovrapposizione della carta idrogeomorfologica e area di intervento (cerchiata di rosso)

In particolare, con riferimento all'art. 6, nelle aree definite come "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali sono consentiti *l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione*".

Per quanto previsto dell'art. 10 "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" gli interventi consentiti sono tutti quelli *previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica.*"

La sicurezza idraulica è, secondo la definizione riportata all'art. 36, la *condizione associata alla pericolosità idraulica per fenomeni di insufficienza del reticolo di drenaggio e generalmente legata alla non inondabilità per*

*eventi di assegnata frequenza. Agli effetti del PAI si intendono in sicurezza idraulica le aree non inondate per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni”.*

Il presente studio idraulico è dunque volto a dimostrare che tutti gli interventi sono in una condizione di sicurezza idraulica rispetto alle aree inondabili per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni e quindi compatibili con quanto previsto dalle NTA del PAI.

## 5 CRITERI DI VERIFICA

Il MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – RFI, nella PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE descrive al capitolo 3.7.2.1.3 le modalità di esecuzione dello studio idrologico, in cui, per il calcolo delle portate di piena, viene definita la seguente classificazione:

*“i bacini verranno distinti in:*

*a) Bacini di corsi d'acqua principali*

*Appartengono a questo gruppo tutti i bacini a valenza regionale di notevole importanza e/o comunque con superficie superiore a 10 Km<sup>2</sup>:*

*b) Bacini di corsi d'acqua secondari*

*Appartengono a questo gruppo tutti i restanti bacini minori a valenza locale (fossi, colatoi, torrenti, ecc.)*

*Per i bacini imbriferi principali sarà necessario desumere dalla cartografia i principali parametri morfologici, quali l'area del bacino sottesa dalla linea ferroviaria, la lunghezza e la pendenza dell'asta incisa, le quote massima, minima e media del bacino sotteso*

*Il tempo di corrivazione sarà calcolato utilizzando e confrontando vari metodi, quali quelli proposti da Kirpich, Ventura, Horton, Giandotti, anche in considerazione dell'estensione e della tipologia del bacino*

*La valutazione dei coefficienti di deflusso sarà effettuata in base a considerazioni ed osservazioni sulla permeabilità delle formazioni geologiche interessanti il bacino imbrifero, sulla copertura vegetale, sulla utilizzazione del suolo, sulla pendenza dei versanti, ecc. Il grado di approfondimento dovrà essere proporzionale al livello di progettazione ed agli elementi conoscitivi disponibili (rilievi aerofotogrammetrici, fotoindici ecc.).*

*Per i corsi d'acqua di interesse regionale o interregionale è necessario verificare le risultanze deducibili dagli studi relativi ai Piani di Bacino, ovvero dagli studi regionali svolti da Enti Pubblici a carattere Nazionale.*

*Per i corsi d'acqua secondari sarà bene eseguire una verifica circa l'esistenza di dati idrometrici significativi. Anche in questo caso si farà riferimento al contenuto dei Piani di Bacino o studi eseguiti sull'area in esame. Qualora i dati deducibili dai punti precedenti non fossero significativi o sufficienti per il loro utilizzo, il calcolo della portata di piena, con assegnato tempo di ritorno, avverrà utilizzando i dati pluviometrici. La metodologia da applicare per il calcolo si baserà sul raffronto dei valori ottenuti applicando le metodologie in uso e distinguendo tra bacini con superficie minore o maggiore di 10 Km<sup>2</sup>, tenendo conto dell'importanza del corso d'acqua e quindi del tempo di ritorno dell'evento meteorico.*

*In dettaglio:*

*Area < 10 Km<sup>2</sup> Kirpich, Formula Razionale ecc.*

*Area > 10 Km<sup>2</sup> Curve Number, Giandotti ecc.”*

Il capitolo 3.7.2.1.4 riporta quanto segue:

*“Studio idraulico*

*Lo studio idraulico è finalizzato alla scelta tipologica ed alla determinazione della sezione di deflusso dei manufatti e degli eventuali accorgimenti da mettere in opera per consentire il superamento dei corsi d'acqua naturali nonché lo smaltimento delle acque meteoriche intercettate dal rilevato e, più in generale, alla risoluzione delle problematiche connesse con il regime idraulico dell'area interessata dal manufatto stesso.*

*Pertanto lo studio, sulla base dei risultati conseguiti con lo studio idrologico, sarà finalizzato a:*

- determinare la quota idrica e l'ampiezza della sezione di pertinenza fluviale in corrispondenza degli attraversamenti principali per un assegnato evento di piena con determinato tempo di ritorno;*

- *determinare la quota idrica e l'ampiezza della sezione di pertinenza fluviale in corrispondenza degli attraversamenti secondari per un assegnato evento di piena con determinato tempo di ritorno;*
- *dimensionare i canali di gronda qualora la linea ferroviaria impedisca il naturale scolo delle acque meteoriche verso i ricettori naturali;*
- *progettare le opere di inalveamento ove necessarie;*
- *verificare i manufatti preposti all'allontanamento delle acque meteoriche dal corpo ferroviario (fossi di guardia) e stradale;*
- *verificare i manufatti preposti al drenaggio della piattaforma ferroviaria e progettare l'interasse di recapito ai collettori secondari (cunette di piattaforma, tubazioni, ecc.);*
- *progettare le eventuali opere di protezione del corpo ferroviario in presenza di livelli idrici significativi o dove si manifestino alte velocità della corrente in corrispondenza delle opere stesse;*
- *progettare gli impianti di sollevamento laddove si accerti l'impossibilità di allontanare le acque meteoriche a gravità naturale;*
- *progettare le protezioni e/o deviazioni causate dall'interferenza della linea con reti idriche in pressione o a pelo libero, oppure nel caso che il rilevato ferroviario o le opere ad esso connesse interessino aree di bonifica dotate di rete di adduzione o drenaggio;*
- *fornire una valutazione del grado di resilienza dell'infrastruttura rispetto ad eventi eccezionali caratterizzati da tempo di ritorno superiore a quello di progetto. Il valore del tempo di ritorno scelto per tali verifiche sarà giustificato in funzione dell'importanza dell'opera, delle conseguenze del superamento della portata di progetto e delle caratteristiche e affidabilità dei dati idrologici o idraulici di base;*
- *in caso di eventi eccezionali, individuare gli eventuali elementi del sistema caratterizzati da minor grado di resilienza al fine di ottimizzare le misure strutturali o non strutturali di prevenzione e/o protezione;*
- *effettuare simulazioni, con portate di adeguato tempo di ritorno, relative alla realizzazione di opere provvisionali in alveo.*

*a) Tempo di ritorno*

*Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno  $T_r$ :*

*Drenaggio della piattaforma (cunette, tubazioni.....):*

- *linea ferroviaria  $T_r = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $T_r = 25$  anni*

*Fossi di guardia:*

- *linea ferroviaria  $T_r = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $T_r = 25$  anni*

*Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria  $T_r = 200$  anni*
- *deviazioni stradali  $T_r = 200$  anni*

*Inalveamenti:*

- *tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $T_r = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .*

*Impianti di sollevamento:  $T_r = 25$  anni*

*Saranno date valutazioni (con dettaglio adeguato rispetto all'importanza dell'opera e alle possibili conseguenze della sua insufficienza sulla sicurezza della circolazione) sugli scenari corrispondenti al superamento delle portate di progetto e sulle eventuali misure di mitigazione del rischio residuo".*

Nella stessa sezione al capitolo 3.7.2.2.1 viene riportato quanto segue:

#### *"3.7.2.2.1 Attraversamenti principali*

*Per tali categorie di opere, relative a bacini con superficie  $S > 10 \text{ km}^2$ , si dovrà verificare la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso nelle fasce fluviali, indotte dalla esecuzione delle opere.*

*Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:*

- Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere: o non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente; o non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.*
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;*
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*

*Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.*

Infine, nella stessa sezione al capitolo 3.7.2.2.1 viene riportato quanto segue:

#### *"3.7.2.2.2 Attraversamenti secondari*

*Le tipologie ammesse sono:*

- tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*
- tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m.*

*Sono ammessi fino a due tombini affiancati.*

*In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.*

*La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 0,2% e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.*

*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.*

*Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.*

Le NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI approvate con Decreto Ministeriale il 17 gennaio 2018 riportano al paragrafo C5.1.2.3:

*Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.*

*L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un **tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ )**.*

*Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:*

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;*
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;*
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;*
- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.*

*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. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato.*

*In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.*

*Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.*

*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 e il fondo alveo.*

*Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.*

*Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.*

*Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma  $T_r = 1,001$ ) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente  $\sqrt{R}$  unitario.*

*Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione.*

*In aggiunta al paragrafo riportato nelle Norme Tecniche la Circolare esplicativa "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" del 21 gennaio 2019 riporta al paragrafo C5.1.2.3. le seguenti indicazioni:*

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**. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

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

- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;
- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.
- per sezioni di area maggiore a 1,5 m<sup>2</sup> è da garantire la praticabilità del manufatto;
- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;
- 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;
- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;
- la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;
- il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;
- 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. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;
- i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento.

Nel caso il tombino sia opera provvisoria, ovvero a servizio di un cantiere, le precedenti disposizioni possono essere assunte come elementi di riferimento, tenendo opportunamente conto del tempo di utilizzo previsto per l'opera provvisoria stessa.

## 6 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica, che ha lo scopo principale di definire le portate di progetto per le interferenze della linea Taranto Brindisi, in corrispondenza della stazione di Nasisi (Taranto), con i reticoli idrografici presenti:

- Reperimento della cartografia di base;
- Individuazione dei bacini imbriferi;
- Analisi morfometrica dei bacini;
- Raccolta ed analisi dei dati pluviometrici disponibili;
- Elaborazione delle curve di probabilità pluviometriche;
- Definizione degli idrogrammi o delle portate al colmo di progetto.

### 6.1 Il bacino idrografico

In particolare l'analisi si è sviluppata così come indicato nel manuale di progettazione RFI:

- Per bacini secondari con superficie  $S < 10 \text{ km}^2$  è stato utilizzato il metodo cinematico-razionale e il metodo SCS Curve Number;

Si riporta per semplificazione i valori finale della portata per il progetto definitivo. La portata di picco sarà pari al massimo valore derivante da uno dei due metodi:

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	PORTATA	Tempo di ritorno	Direzione di deflusso
-	-	-	-	(m <sup>3</sup> /s)	(anni)	-
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	21,45	200	SO
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	39,06	200	SO

Maggiori dettagli sono riportati nella relazione idrologica (IA8E00D78RIID0001001A).

## 7 DESCRIZIONE ZONA DI INTERVENTO

La zona oggetto di intervento si presenta di carattere prevalentemente agricolo con presenza di varie coltivazioni e uliveti.

La natura del territorio comporta ad avere una idrografia non ben rintracciabile ma le pendenze del terreno portano alla formazione di compluvi naturali e linee di deflusso. Questo è il caso dell'interferenza IN02 dove l'idrografia a monte del rilevato ferroviario non è presente. L'interferenza IN01, a differenza della precedente, riporta una sezione dell'alveo ben definita caratterizzata da una canaletta in calcestruzzo.



Figura 7-1 Inquadramento su ortofoto con individuazione delle interferenze



Figura 7-2 Sezione caratteristica dello scolo interferente IN01 a valle del rilevato ferroviario

I due scoli attraversano il rilevato ferroviario tramite due tombini con caratteristiche diverse. Il tombino IN01 è caratterizzato da una doppia sezione: La prima parte, a monte, presenta una sezione rettangolare in calcestruzzo armato realizzata successivamente alla seconda parte, la quale presenta una sezione ad arco costruita in muratura.



Figura 7-3 Vista di monte dell'attraversamento IN01



Figura 7-4 Vista di valle dell'attraversamento IN01

Il tombino IN01 ha una sezione con base pari a 3,5 m e un'altezza pari a 5 m.

Il tombino IN02 è caratterizzato da una sezione costante ad arco in muratura con base pari a 3,2 m e altezza pari a 3,5 m.



Figura 7-5 Vista dell'attraversamento IN02

Nella fase di progetto definitivo è stata eseguita una campagna di rilievi che ha portato a dettagliare maggiormente la zona di interesse.

In particolare è stata estrapolata una superficie tridimensionale della zona interessata; la stessa è stata utilizzata per le analisi idrauliche descritte nei paragrafi successivi.

Si riporta di seguito l'estratto della tavola dello stato di fatto e la rappresentazione altimetrica del DTM ricavato dal rilievo topografico.

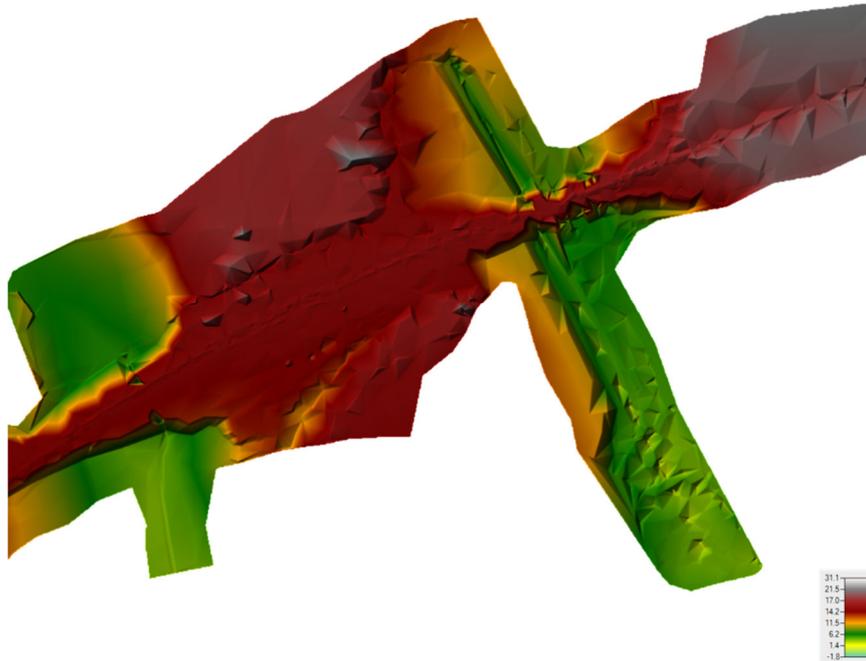


Figura 7-6 DTM ricavato da rilievo topografico (i valori riportati sono in m s. m. m.).

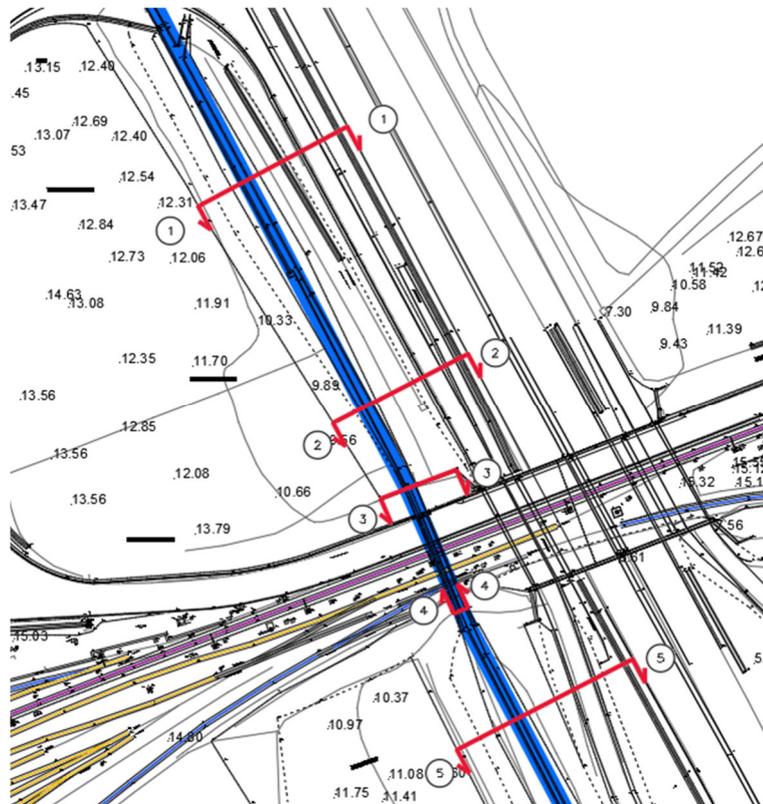


Figura 7-7 Estratto dalla tavola stato di fatto in corrispondenza dell'intersezione IN01

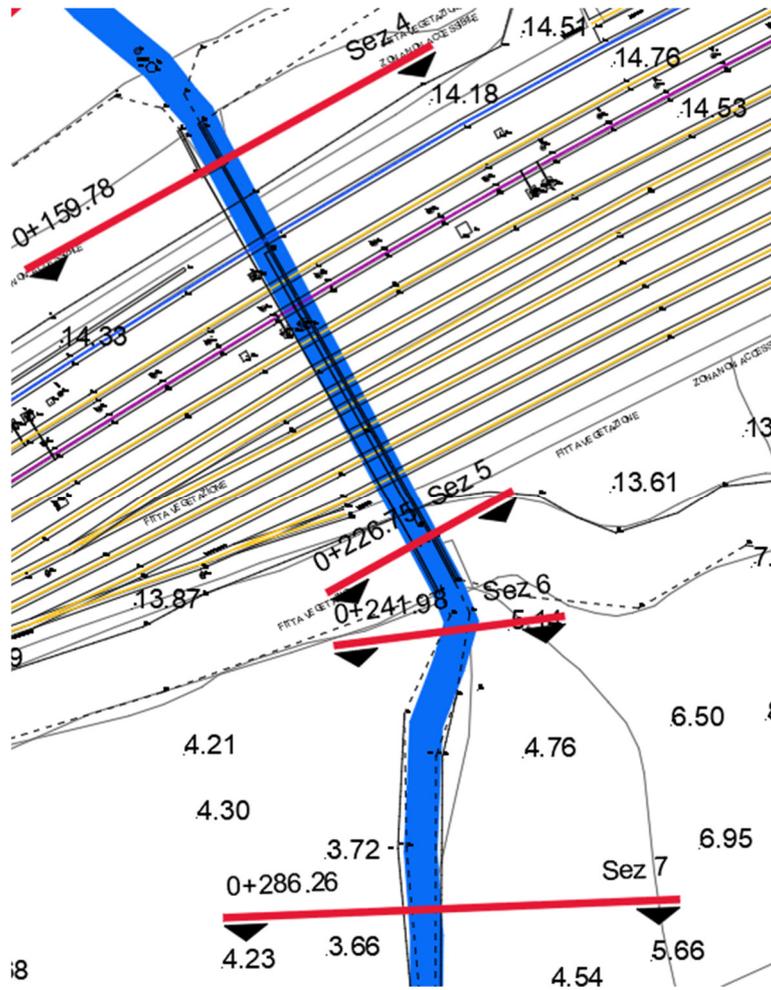


Figura 7-8 Estratto dalla tavola stato di fatto in corrispondenza dell'intersezione IN02

## 8 ANALISI IDRAULICA

Il modello idraulico viene realizzato per verificare le condizioni di deflusso nella zona d'interesse, nella configurazione allo stato attuale e con la sovrapposizione degli interventi di progetto.

### 8.1 Il Modello HEC-RAS

L'analisi idraulica è stata condotta utilizzando il programma di calcolo monodimensionale a moto permanente denominato HEC-RAS 5.0.7 River Analysis System, versione 5.0.7 del Marzo 2019 sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, il quale fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo.

#### 8.1.1 Calcolo del profilo 1D a moto permanente

Il profilo di moto permanente viene definito dal modello implementando l'equazione di conservazione dell'energia tra due sezioni successive:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

dove:

$Y_1, Y_2$  = tirante idrico nelle sezioni 1 e 2 consecutive;

$Z_1, Z_2$  = quota del fondo del canale nelle sezioni 1 e 2;

$\alpha_1, \alpha_2$  = coefficiente di Coriolis nelle sezioni 1 e 2;

$g$  = accelerazione di gravità;

$h_e$  = perdita di carico tra la sezione 1 e 2 definita da:

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

$\bar{S}_f$  = pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

$C$  = coefficiente di espansione o contrazione;

$L$  = distanza ponderata tra le due sezioni, calcolata come segue

$$L = \frac{L_{LOB} \overline{Q_{LOB}} + L_{CH} \overline{Q_{CH}} + L_{ROB} \overline{Q_{ROB}}}{\overline{Q_{LOB}} + \overline{Q_{CH}} + \overline{Q_{ROB}}} \quad (3)$$

dove:

$L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB}$  = distanze tra le sezioni rispettivamente per la sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank);

$\overline{Q_{LOB}} + \overline{Q_{CH}} + \overline{Q_{ROB}}$  = media aritmetica della portata rispettivamente per la sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank).

Nel calcolo il modello suddivide ogni sezione in tre parti: sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank). Per ognuna di queste è possibile assegnare diverse scabrezze e distanze rispetto alla sezione successiva.

Utilizzando la formula di Manning possiamo scrivere:

$$Q = 1.486 \frac{AR_H^{2/3}}{n} \sqrt{S_f} = K \sqrt{S_f} \quad (4)$$

dove

$R_H$  = raggio idraulico

$A$  = area della sezione trasversale

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning

$K$  = (conveyance) è un parametro geometrico

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (5)$$

In ogni tratto esistono due valori di  $S_f$ , uno per ogni sezione che delimita il tratto, per cui viene calcolato un valore medio, che può essere calcolato utilizzando diverse formulazioni:

$$\begin{aligned} \bar{S}_f &= \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 && \text{Conduktività media (default per moto permanente)} \\ \bar{S}_f &= \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} && \text{Media aritmetica (default per moto vario)} \\ \bar{S}_f &= \sqrt{S_{f1} S_{f2}} && \text{Media geometrica} \\ \frac{1}{\bar{S}_f} &= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{S_{f1}} + \frac{1}{S_{f2}} \right) && \text{Media armonica} \end{aligned} \quad (6)$$

La suddivisione in sottosezioni ha come ipotesi che tra l'una e l'altra non ci sia scambio di quantità di moto.

Per definire il termine cinetico  $\frac{V^2}{2g}$  dell'intera sezione, è necessario introdurre il coefficiente di Coriolis  $\alpha$ , in quanto nelle tre diverse sottosezioni (sponde e alveo principale) si instaurano diverse altezze cinetiche, pertanto si può considerare la formulazione seguente:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_{LOB} \frac{V_{LOB}^2}{2g} + Q_{Ch} \frac{V_{Ch}^2}{2g} + Q_{ROB} \frac{V_{ROB}^2}{2g}}{Q_{LOB} + Q_{Ch} + Q_{ROB}} \quad (7)$$

da cui, con pochi passaggi, è possibile ottenere:

$$\alpha = \frac{A_{Tot}^2 \left[ \frac{K_{LOB}^3}{A_{LOB}^2} + \frac{K_{Ch}^3}{A_{Ch}^2} + \frac{K_{ROB}^3}{A_{ROB}^2} \right]}{K_{Tot}^3} \quad (8)$$

$A_{Tot}$  = area totale della sezione trasversale

$K_{Tot}$  = conveyance totale della sezione trasversale

$K_{LOB}, K_{ROB}, K_{Ch}$  = conveyance per le sottosezioni

$A_{LOB}, A_{ROB}, A_{Ch}$  = area delle tre sottosezioni

L'ultimo aspetto che rimane da chiarire riguarda il coefficiente di scabrezza,  $n$ , questo può sempre assumere valori diversi nelle tre sottosezioni (sponde e alveo principale) ed all'interno di ognuna di queste; inoltre è possibile considerare una scabrezza equivalente all'interno dell'alveo quando la pendenza della sponda della sottosezione è maggiore di 5H:1V e nella stessa vi è più di un valore di  $n$ . La Figura 8-1 illustra come devono

essere considerate le pendenze ( $S_L$  ed  $S_R$ ). Nel caso in cui siano rispettate queste condizioni, allora il coefficiente di scabrezza equivalente viene assunto pari a:

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3} \quad (9)$$

dove

$P_i$  = perimetro bagnato individuato da ogni tratto con scabrezza diversa;

$P$  = perimetro bagnato dell'intero tratto di alveo principale.

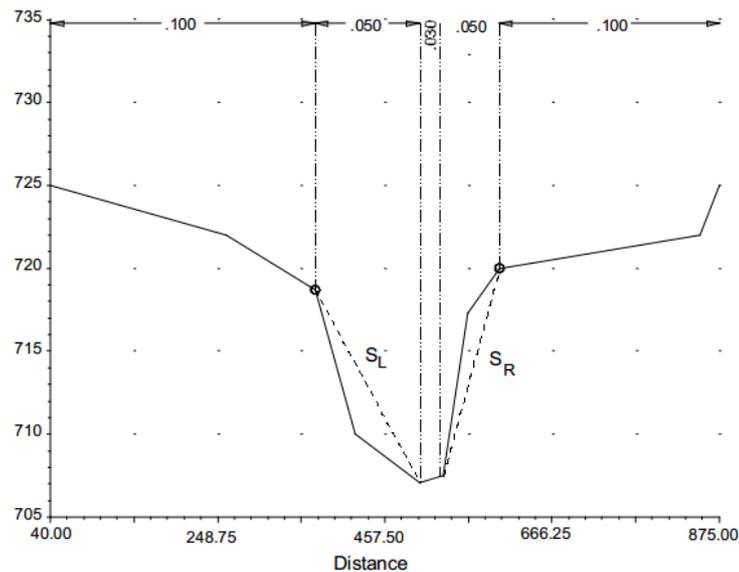


Figura 8-1 Schema per il calcolo della scabrezza equivalente

Per la determinazione del profilo il programma parte con il calcolo in corrente lenta, parte, quindi, dalla condizione al contorno della sezione di valle e procede verso monte applicando la seguente procedura:

1. ipotizza un livello nella sezione più a monte;
2. sulla base del livello ipotizzato calcola la convayance totale e il carico cinetico;
3. calcola  $\bar{S}_f$  e risolve l'equazione (2) per il calcolo di  $h_e$ ;
4. con i precedenti valori calcolati risolve l'equazione (1) e calcola il livello nella sezione di monte;
5. confronta il livello calcolato con quello ipotizzato allo step 1, se la differenza è maggiore alla tolleranza impostata ripete la procedura, altrimenti passa alla sezione successiva.

Il livello determinato viene confrontato con quello critico:

- se il livello determinato è superiore a quello critico la soluzione è di corrente lenta;
- se il livello determinato è inferiore a quello critico viene impostato il livello critico.

Terminato il calcolo in corrente lenta il programma procede con il calcolo del profilo in corrente rapida partendo dalla condizione al contorno della sezione di monte.

Viene quindi calcolata la spinta totale con il livello calcolato per la corrente lenta e quello per la corrente rapida, per questo scopo viene utilizzata la seguente formula:

$$SF = \beta \frac{Q^2}{gA} + AY_G \quad (10)$$

Se il valore ottenuto in condizioni subcritiche supera il valore della spinta ottenuta in condizioni supercritiche allora si instaura corrente lenta, altrimenti è valida la soluzione di corrente rapida e continua il calcolo del profilo in corrente veloce verso valle con la stessa procedura descritta per la corrente lenta.

Quando risulta valida la soluzione di corrente lenta, il programma ricerca la prima sezione verso valle in cui nella soluzione del profilo in corrente lenta era stata posta la condizione critica. Da questa sezione, verso valle, ha inizio il calcolo del profilo in corrente veloce, questo rimane valido finché non si arriva ad una sezione in cui la spinta subcritica supera quella supercritica, allora tra le due sezioni si instaura un risalto e si ha il passaggio da rapida a lenta.

### 8.1.2 Scelta dei parametri e simulazioni con modello HEC-RAS

Il modello matematico è stato implementato ricostruendo la geometria dell'alveo attraverso le sezioni fornite e alla superficie tridimensionale della zona interessata ricavata dai rilievi topografici;

Le sezioni risultanti hanno permesso di ricostruire la geometria del corpo idrico nelle condizioni ante operam.

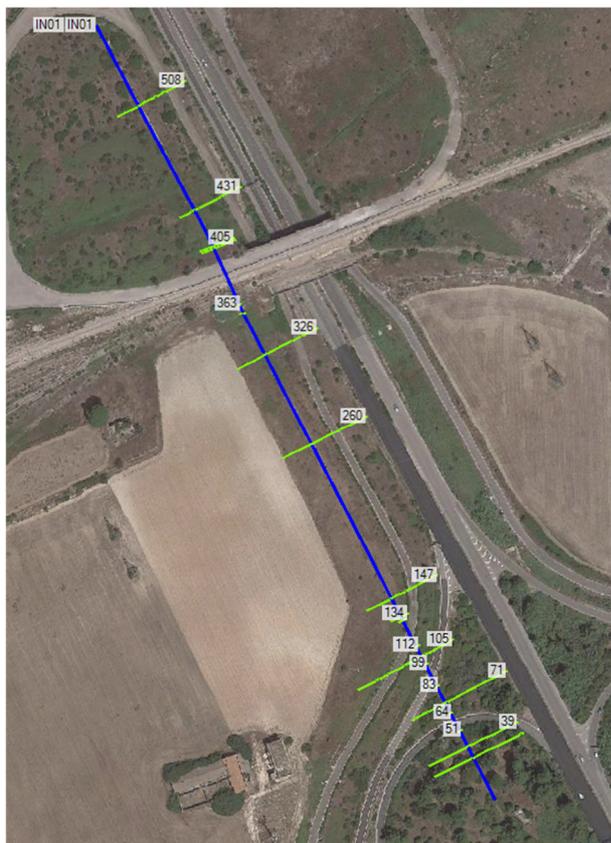


Figura 8-2 Planimetria di modellazione IN01, ante operam



Figura 8-3 Planimetria di modellazione IN02, ante operam

Il coefficiente di scabrezza è caratterizzato da un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

Per IN01 sono stati utilizzati i seguenti valori:

- $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per il tratto di sezione rivestito in calcestruzzo e per il tratto tombinato;
- $K_s = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per le restanti parti di sezione.

Per IN02 sono stati utilizzati i seguenti valori:

- $K_s = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per tutte le parti di sezione escluso il tombino;
- $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per il tratto tombinato.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno bisogna tenere in considerazione che la simulazione è monodimensionale; le sezioni di monte e di valle sono state poste, per quanto possibile, discretamente a valle e a monte della zona di interesse. Questo è necessario per garantire le condizioni di moto uniforme e per ottenere i risultati ottimali dalla simulazione stessa.

I risultati delle simulazioni sono riportati in allegato al termine della presente relazione, di seguito verranno riportati i profili e i tabulati con le principali grandezze idrauliche (livello idrico, livello energetico, velocità, area bagnata, ampiezza del pelo libero, numero di Froude).

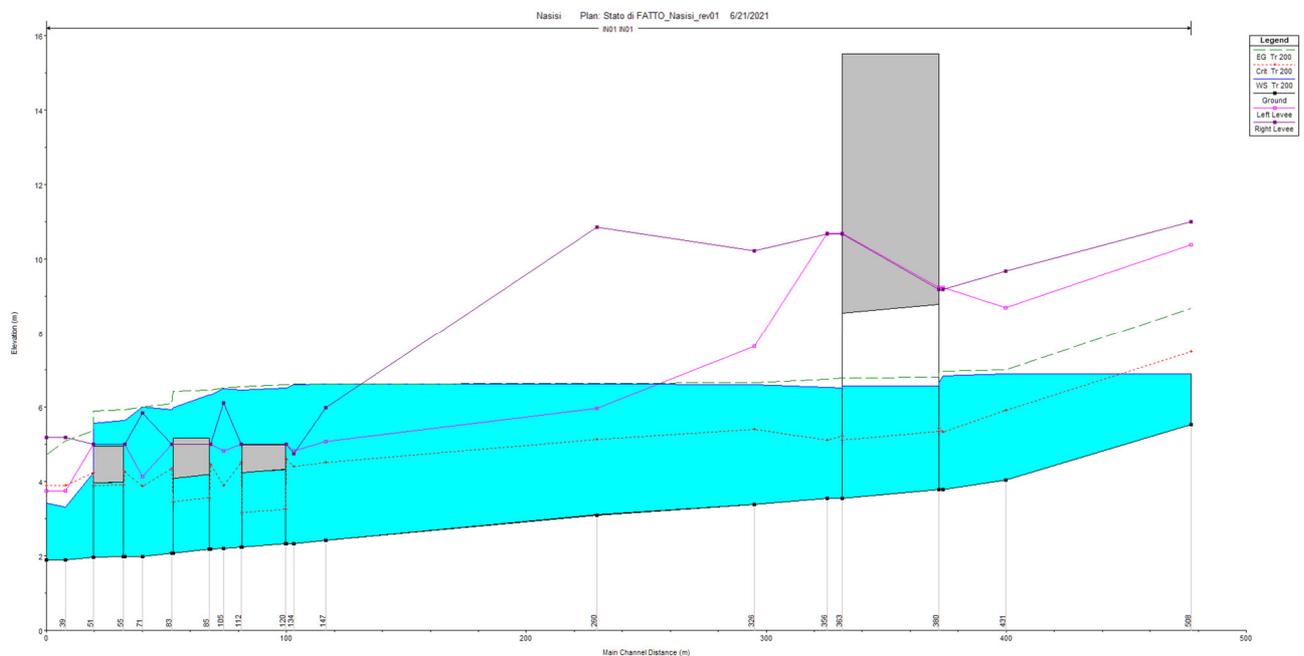


Figura 8-4 Profilo di modellazione IN01 con portata riferita ad un Tr 200 anni, ante operam

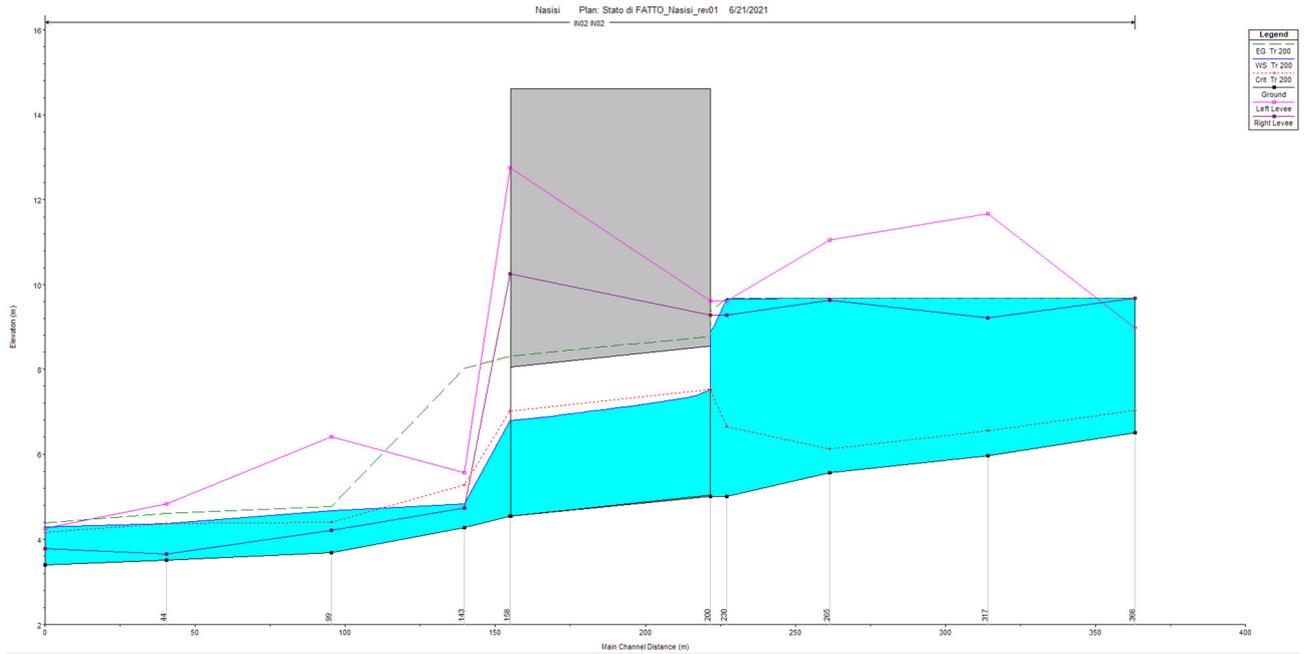


Figura 8-5 Profilo di modellazione IN02 con portata riferita ad un Tr 200 anni, ante operam

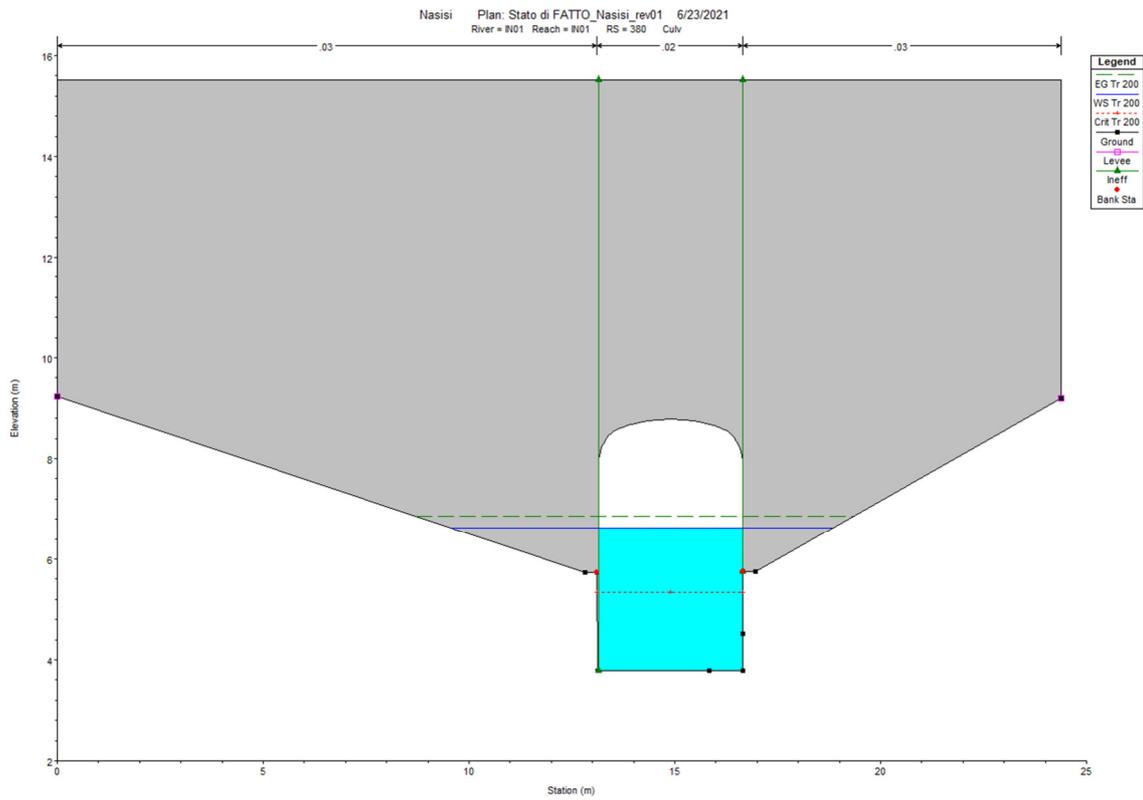


Figura 8-6 Sezione idrografia IN01 ricavata da HEC-RAS in corrispondenza del tombino IN01

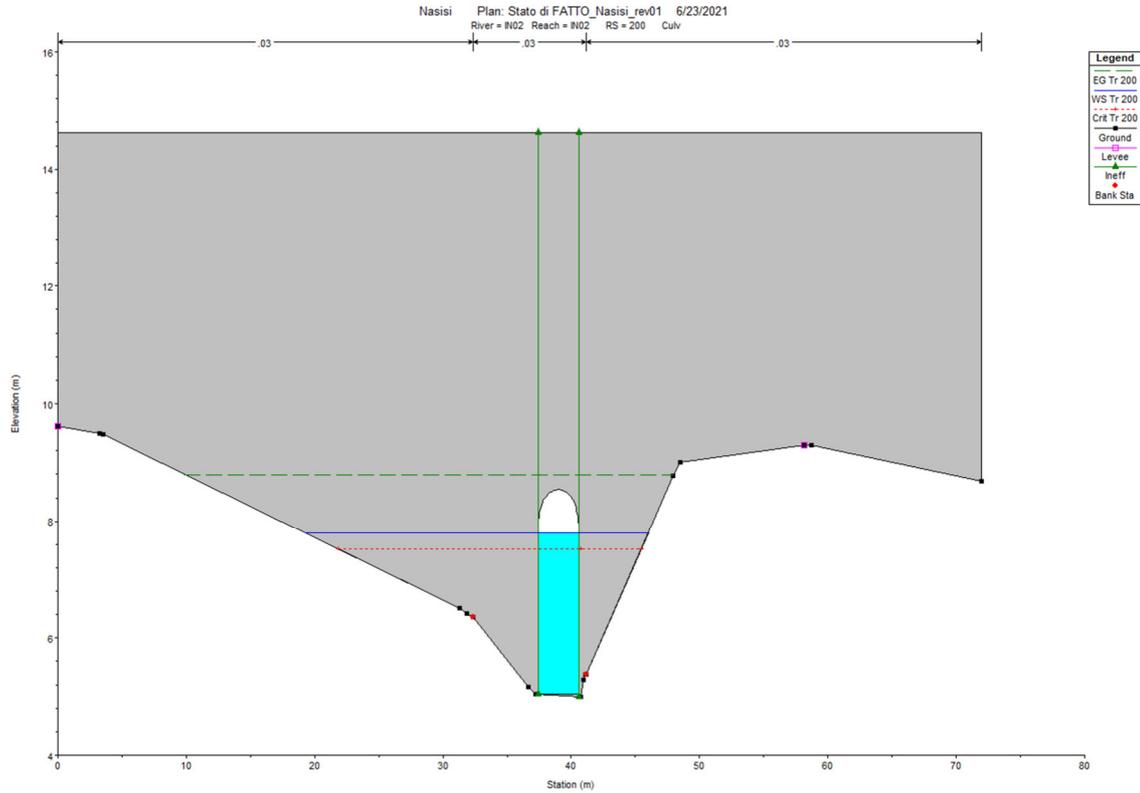


Figura 8-7 Sezione idrografia IN02 ricavata da HEC-RAS in corrispondenza del tombino IN02

Si riportano di seguito i risultati della simulazione.

Tabella 8-1 Risultati simulazione 1D ante operam per Tr 200 anni per IN01

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
IN01	508	Tr 200	21.45	5.52	6.89	7.49	8.67	0.018020	6.02	3.94	4.98	1.74
IN01	431	Tr 200	21.45	4.03	6.93	5.90	7.02	0.000416	1.64	21.39	17.37	0.32
IN01	405	Tr 200	21.45	3.78	6.87	5.33	7.00	0.000711	1.72	15.27	10.68	0.31
IN01	403	Tr 200	21.45	3.78	6.76	5.34	6.98	0.000715	2.06	10.43	10.06	0.38
IN01	380	Culvert										
IN01	363	Tr 200	21.45	3.55	6.59	5.12	6.80	0.000491	2.02	10.63	3.55	0.37
IN01	356	Tr 200	21.45	3.55	6.59	5.10	6.79	0.000652	2.00	10.74	3.55	0.37
IN01	326	Tr 200	21.45	3.39	6.65	5.40	6.70	0.000315	1.38	27.07	20.02	0.25
IN01	260	Tr 200	21.45	3.10	6.67	5.12	6.68	0.000044	0.54	74.49	50.79	0.09
IN01	147	Tr 200	21.45	2.42	6.67	4.51	6.68	0.000013	0.34	108.87	52.52	0.06
IN01	134	Tr 200	21.45	2.32	6.65	4.41	6.67	0.000089	0.99	36.08	13.04	0.16
IN01	131	Tr 200	21.45	2.32	6.57	4.59	6.66	0.000218	1.44	20.57	6.19	0.23
IN01	120	Culvert										
IN01	112	Tr 200	21.45	2.24	6.50	4.51	6.59	0.000228	1.44	20.35	6.19	0.23
IN01	105	Tr 200	21.45	2.20	6.55	3.89	6.55	0.000016	0.40	110.78	70.08	0.06
IN01	99	Tr 200	21.45	2.19	6.37	4.46	6.51	0.000420	1.85	16.79	5.46	0.29
IN01	85	Culvert										
IN01	83	Tr 200	21.45	2.08	5.99	4.35	6.15	0.000645	1.94	14.97	5.46	0.31
IN01	71	Tr 200	21.45	1.99	6.07	3.87	6.07	0.000006	0.22	152.62	68.75	0.04
IN01	64	Tr 200	21.45	1.98	5.72	4.25	5.99	0.001388	2.33	10.21	3.50	0.40
IN01	55	Culvert										
IN01	51	Tr 200	21.45	1.96	4.23	4.23	5.37	0.002982	4.72	4.54	2.94	1.00
IN01	39	Tr 200	21.45	1.89	3.31	3.88	5.10	0.022783	6.27	4.30	8.19	1.93
IN01	31.004	Tr 200	21.45	1.89	3.42	3.88	4.70	0.015000	5.43	5.29	10.06	1.59

Tabella 8-2 Risultati simulazione 1D ante operam per Tr 200 anni per IN02

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
IN02	366	Tr 200	39.06	6.51	9.62	7.03	9.62	0.000007	0.19	233.87	95.16	0.03
IN02	317	Tr 200	39.06	5.96	9.62	6.55	9.62	0.000003	0.13	374.57	153.17	0.02
IN02	265	Tr 200	39.06	5.56	9.62	6.11	9.62	0.000002	0.11	442.58	156.10	0.02
IN02	230	Tr 200	39.06	5.00	9.61	6.63	9.62	0.000039	0.53	115.95	71.65	0.08
IN02	225	Tr 200	39.06	5.00	8.75	7.50	9.29	0.001668	3.27	11.93	37.57	0.54
IN02	200	Culvert										
IN02	158	Tr 200	39.06	4.54	7.02	7.02	8.26	0.006515	4.93	7.93	4.01	1.00
IN02	143	Tr 200	39.06	4.27	4.83	5.25	7.80	0.205487	8.78	5.87	24.98	4.20
IN02	99	Tr 200	39.06	3.68	4.71	4.41	4.78	0.001768	1.29	33.93	50.61	0.44
IN02	44	Tr 200	39.06	3.51	4.38	4.38	4.60	0.006351	2.20	20.73	47.54	0.80
IN02	3	Tr 200	39.06	3.40	4.31	4.14	4.39	0.003001	1.66	32.10	62.50	0.56

Ai fini della sicurezza idraulica della linea è stata verificata la funzionalità idraulica delle opere esistenti in termini di grado di riempimento, calcolato con il livello idrico a monte dell'opera di attraversamento ferroviario e con riferimento alla piena  $Tr = 200$  anni del corso d'acqua interessato.

Interferenza	Tempo di ritorno (anni)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Tipologia	Quota di fondo (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Livello idrico (m.s.l.m)	Franco di sicurezza (m)	Grado di riempimento (%)
IN01	200	21.45	Tombino esistente 3.5x5.0 m	3.78	8.78	6.76	2.02	60%
IN02	200	39.06	Tombino esistente 3.2x3.5 m	5.00	8.54	8.78	-0.24	107%

Tabella 8-2: – Verifica idraulica opere esistenti

Il tombino IN01 ha una funzionalità idraulica che rispetta quanto previsto sia dal Manuale di Progettazione ferroviaria (GR<70%), sia dalla attuale normativa vigente delle costruzioni (GR<66%).

Il tombino IN02 invece ha un grado di riempimento superiore al 100%. Tuttavia, l'opera non ha un funzionamento in pressione (grado di riempimento della canna pari al 77%).

Inoltre, il livello idrico a monte dell'attraversamento è ampiamente inferiore alla quota del piano ferro (14.62 m.s.l.m.) e del piazzale di stazione (circa 15.10 m.s.l.m.) pertanto sia la linea ferroviaria che l'area di intervento risultano in sicurezza secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del P.A.I.

In considerazione di ciò non si è ritenuto necessario intervenire sull'opera esistente per incrementarne la funzionalità idraulica che avrebbe comportato un incremento di portata transitante in una zona sottoposta a vincolo idrogeologico.



Figura 8-8 Mappatura dell'area sottoposta a vincolo idrogeologico

## 9 CONCLUSIONI

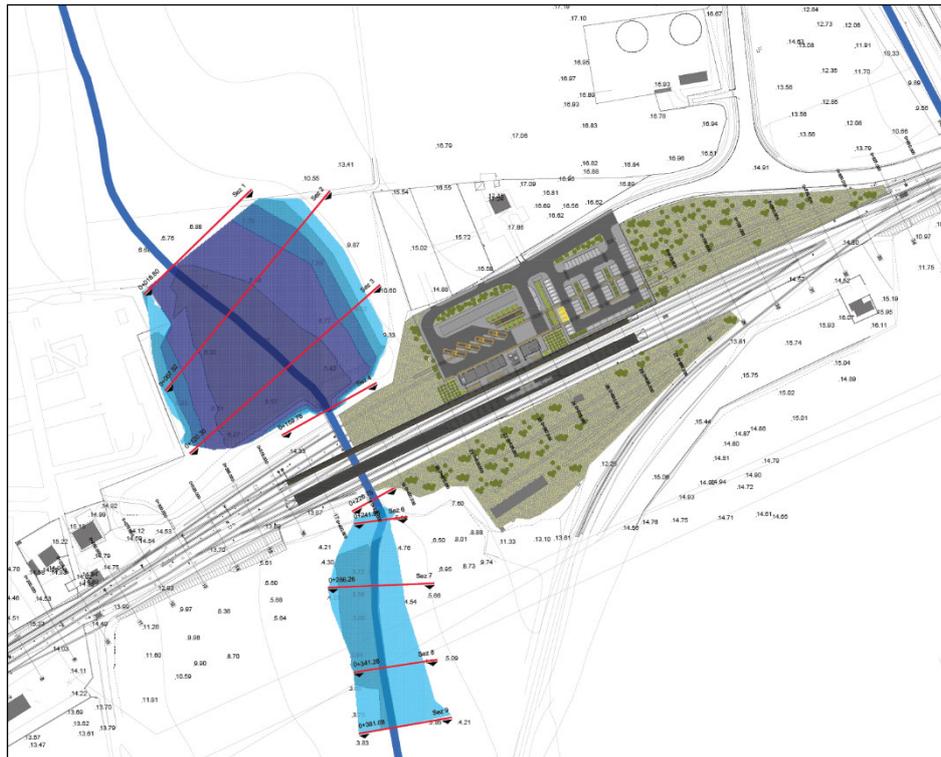
L'analisi idraulica sviluppata ha seguito i vari punti esposti nelle premesse:

- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e dell'idrografia in esame;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali;
- Analisi idraulica tramite modellazione 1D per le zone oggetto di progettazione

Le simulazioni numeriche della propagazione delle onde di piena di riferimento ( $Tr = 200$  anni) lungo i corsi d'acqua attraversati sono state effettuate nella configurazione ante operam (stato di fatto); ai risultati ottenuti sono stati sovrapposti gli interventi di progetto.



Figura 9-1 Aree di esondazione dell'opera di attraversamento IN01



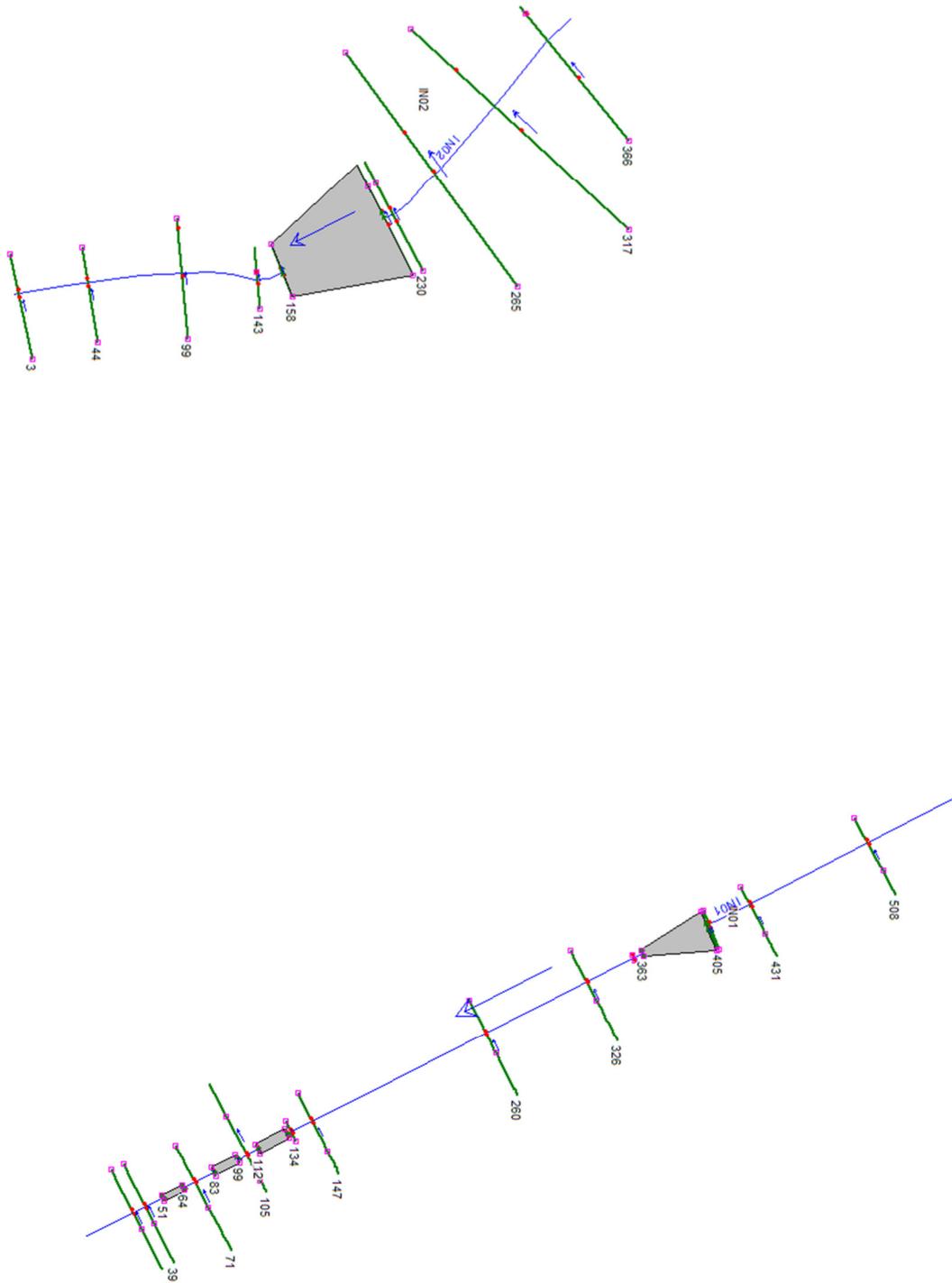
*Figura 9-2 Aree di esondazione dell'opera di attraversamento IN02*

Come rappresentato negli stralci planimetrici soprariportati, sono presenti esondazioni diffuse a monte della linea ferroviaria dovute al restringimento della sezione di deflusso in corrispondenza degli attraversamenti esistenti, con conseguente allagamento delle aree circostanti, senza però interessare la zona pertinente alla stazione ferroviaria.

Dall'analisi effettuata si evince che il tombino esistente IN01 con portata relativa a un  $Tr = 200$  anni pari a  $21,45 \text{ m}^3/\text{s}$  ha una funzionalità idraulica in linea con i criteri di verifica delle norme vigenti; il tombino IN02 esistente con portata pari a  $39,06 \text{ m}^3/\text{s}$  relativa ad un  $Tr = 200$  anni, ha una funzionalità idraulica inferiore. Tuttavia, l'area di intervento risulta comunque in sicurezza idraulica secondo quanto previsto nelle NTA del PAI e pertanto gli interventi sono con essi idraulicamente compatibili.

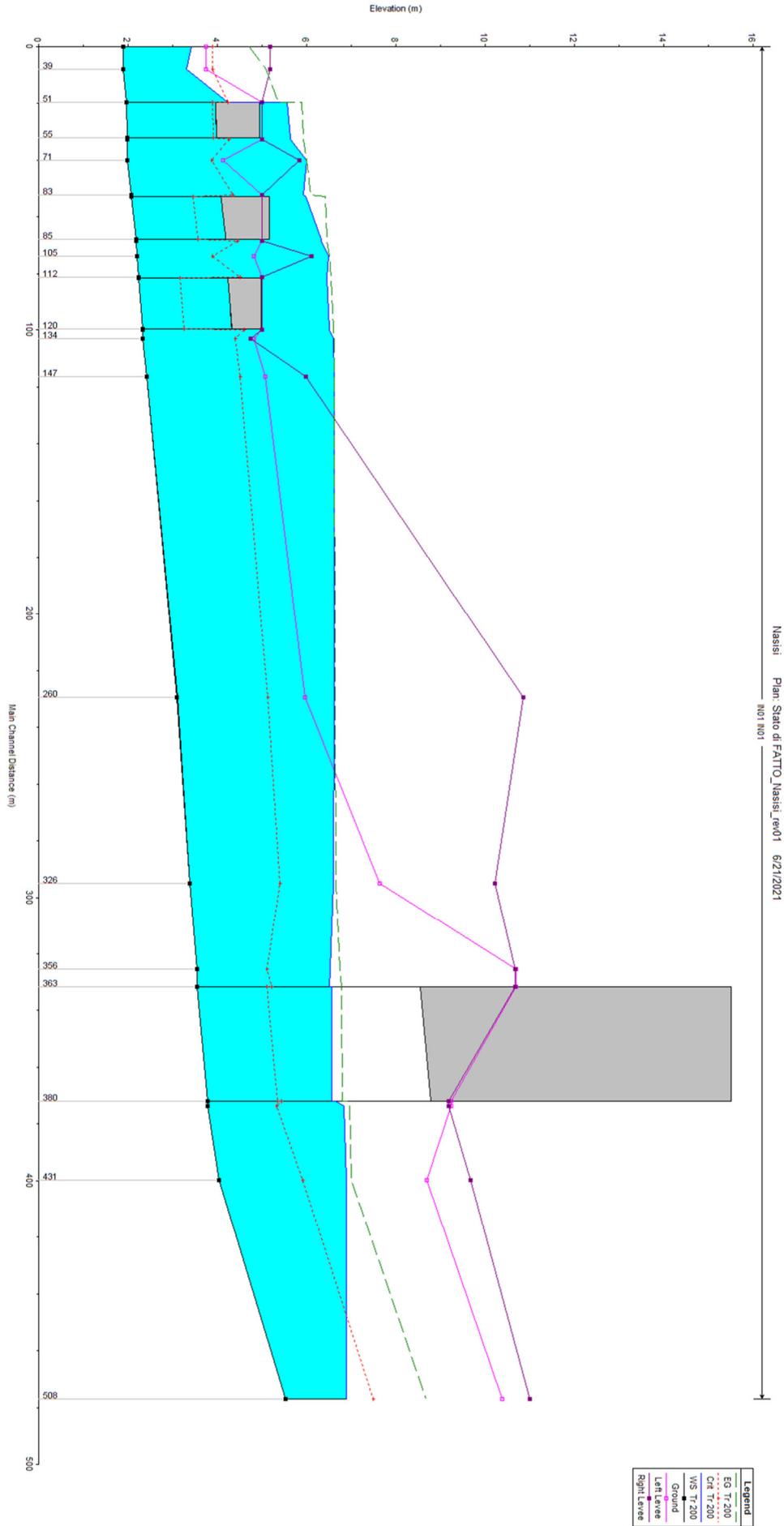
## ALLEGATI

### Risultati simulazioni



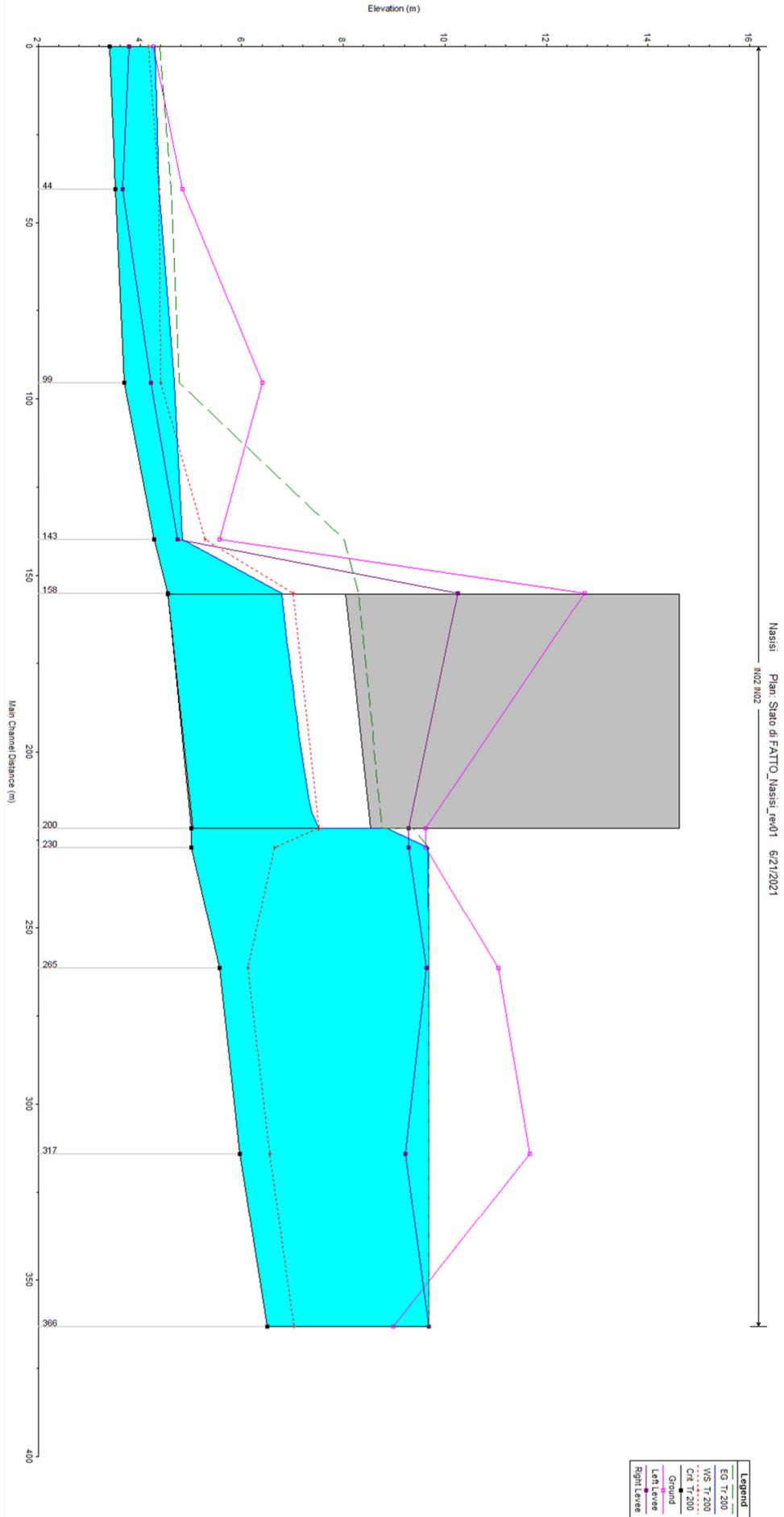
IN01	
SEZIONI PROGETTO	SEZIONI HEC-RAS
1	508
2	431
3	405
4	363
5	326
6	260
7	147
8	105
9	71
10	31

IN02	
SEZIONI PROGETTO	SEZIONI HEC-RAS
1	366
2	317
3	265
4	225
5	158
6	143
7	99
8	44
9	3

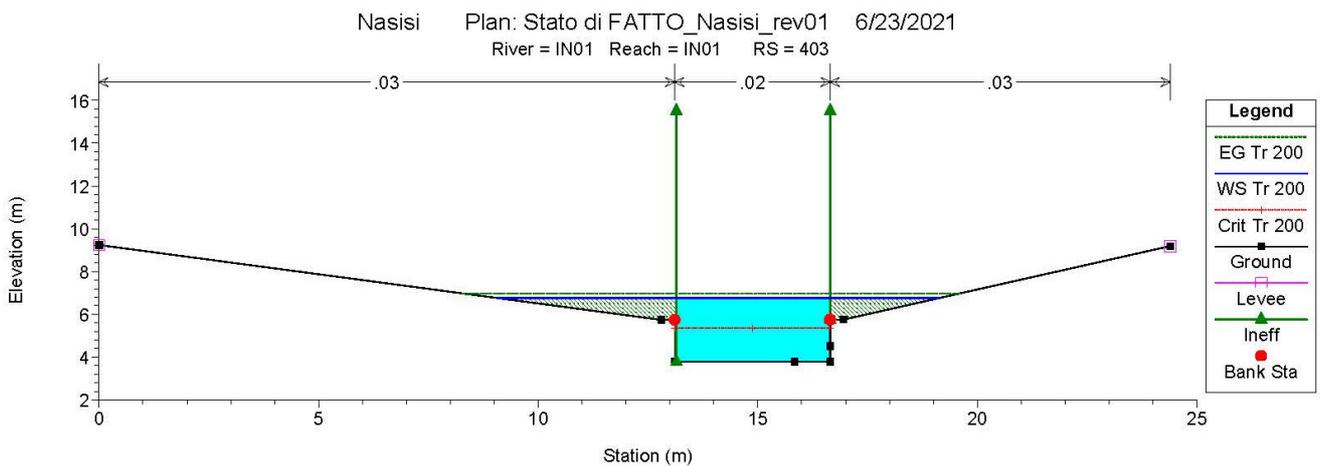
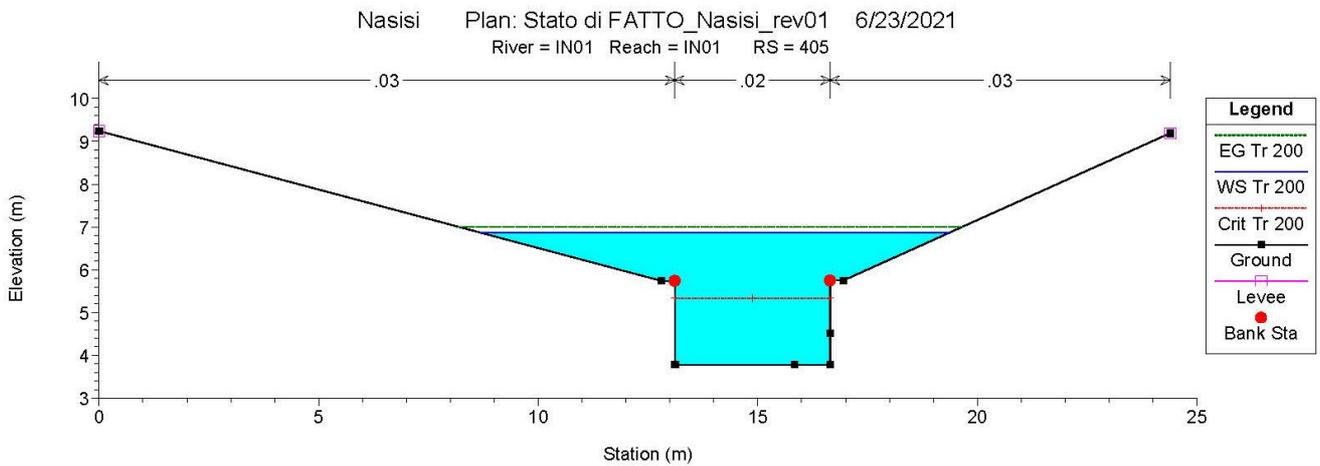
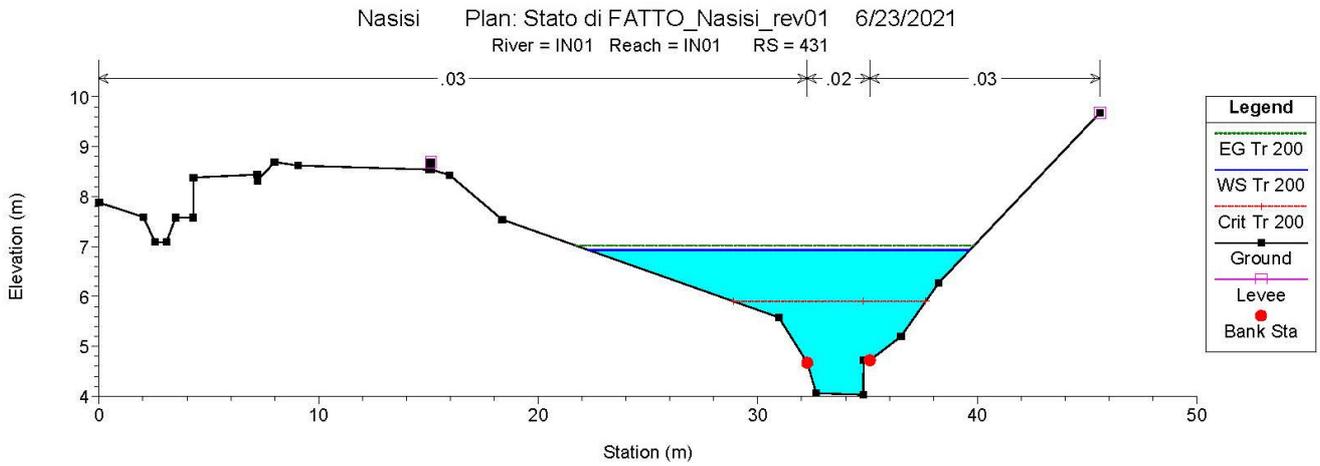
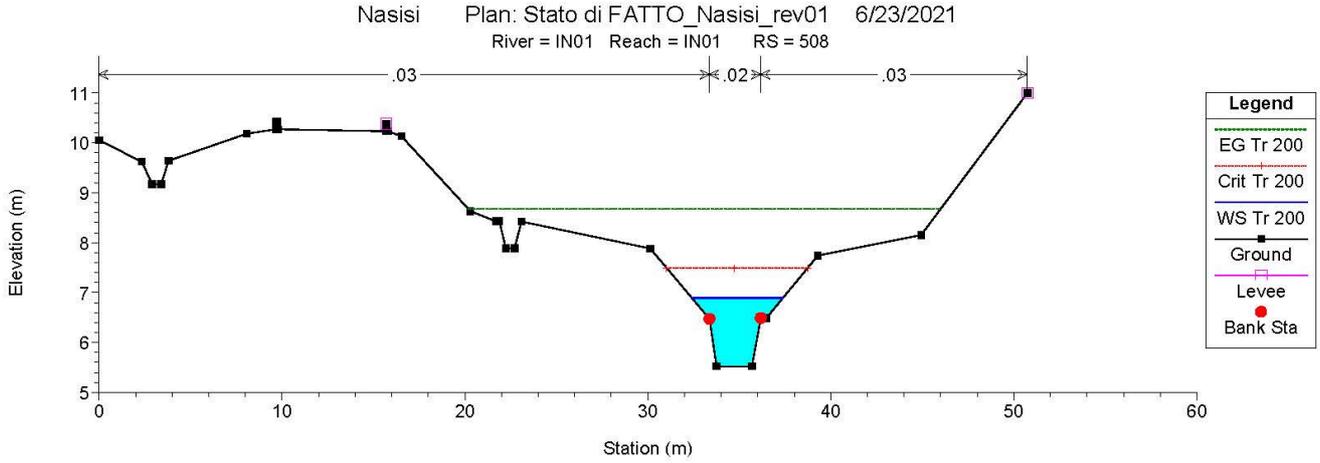


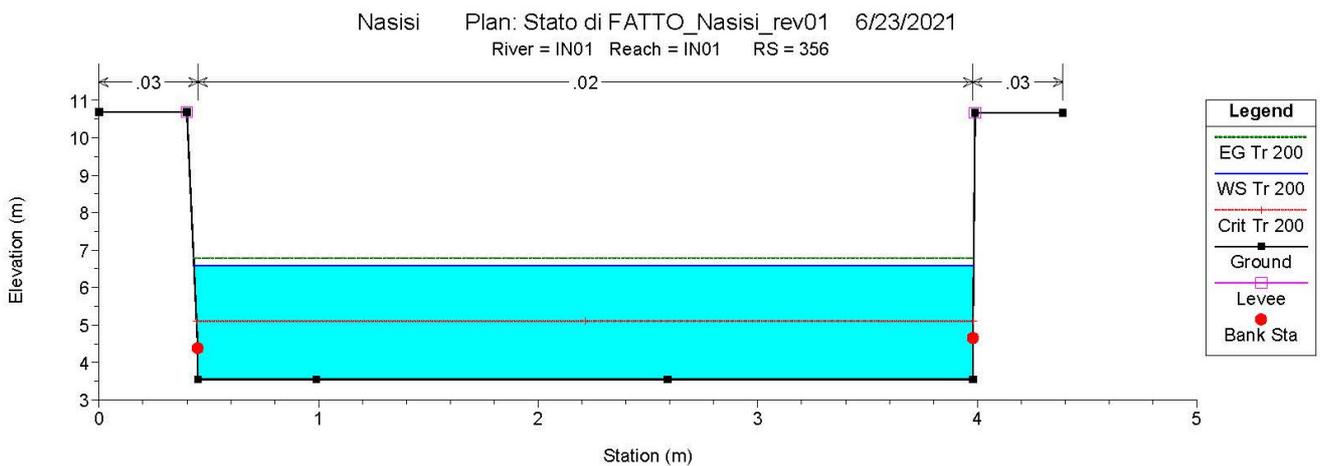
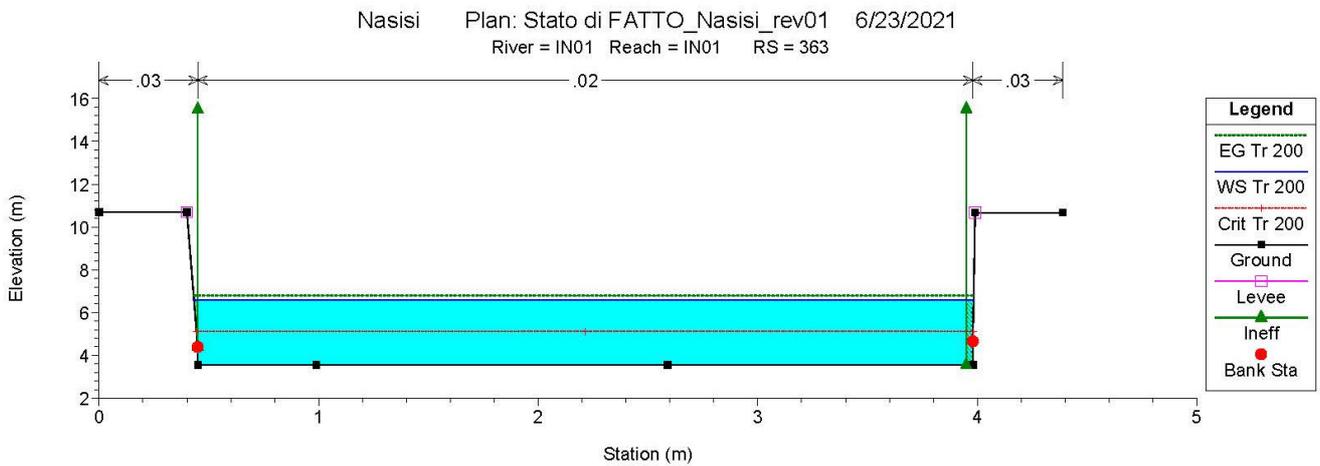
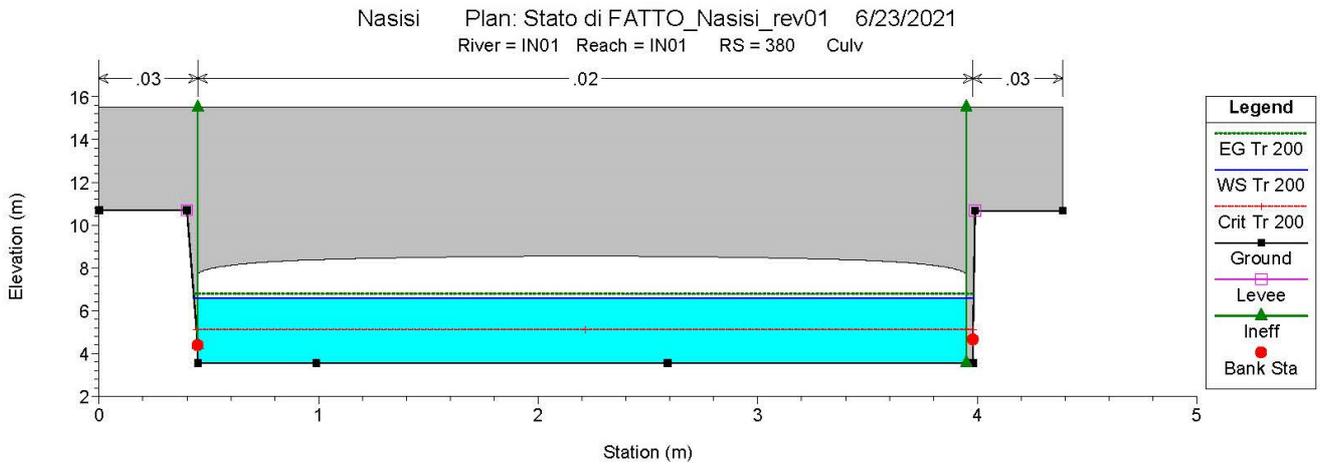
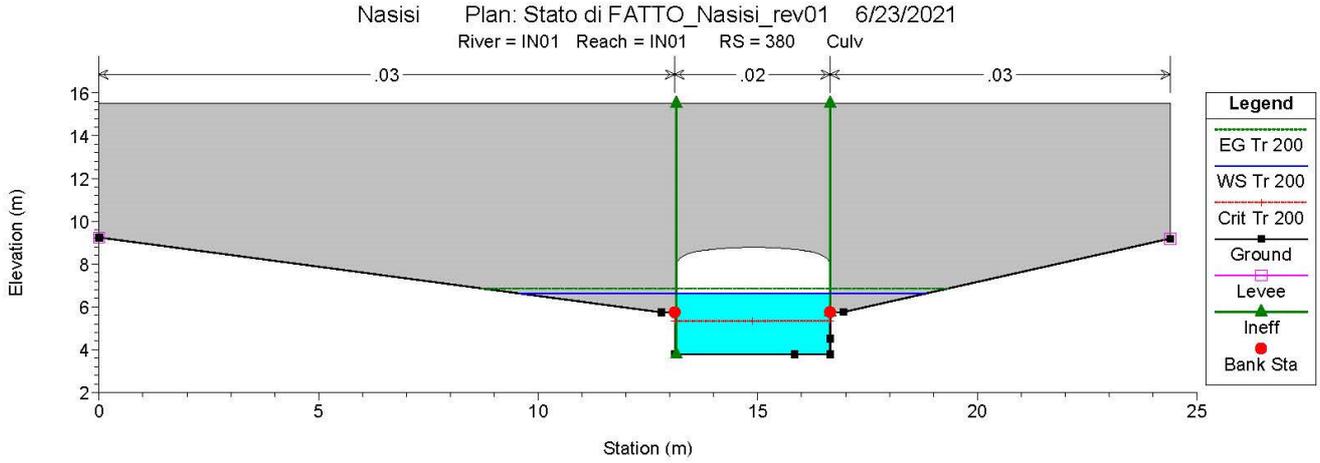
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_lev01 6/21/2021  
M01 N01

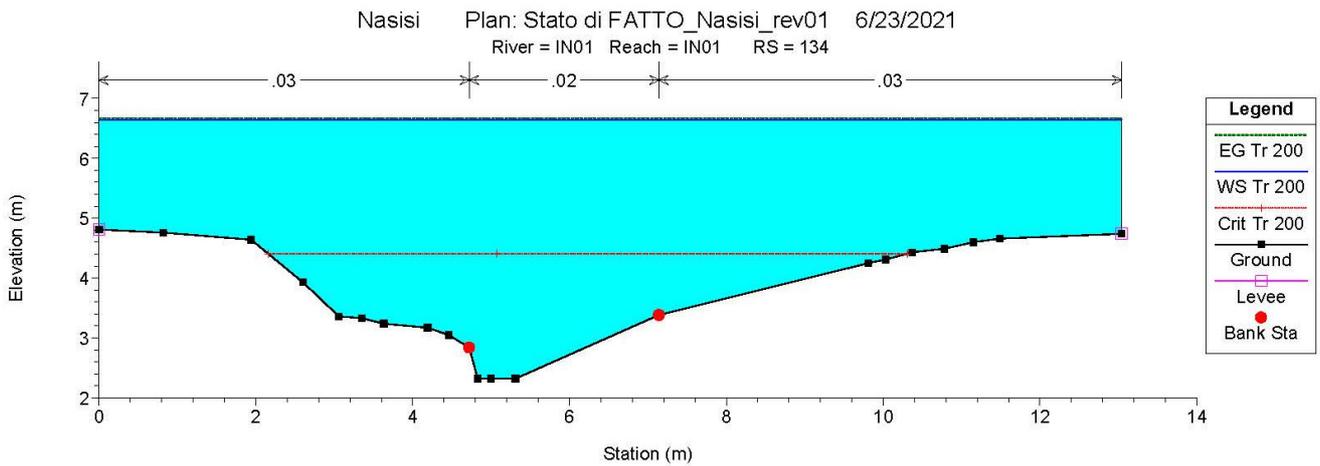
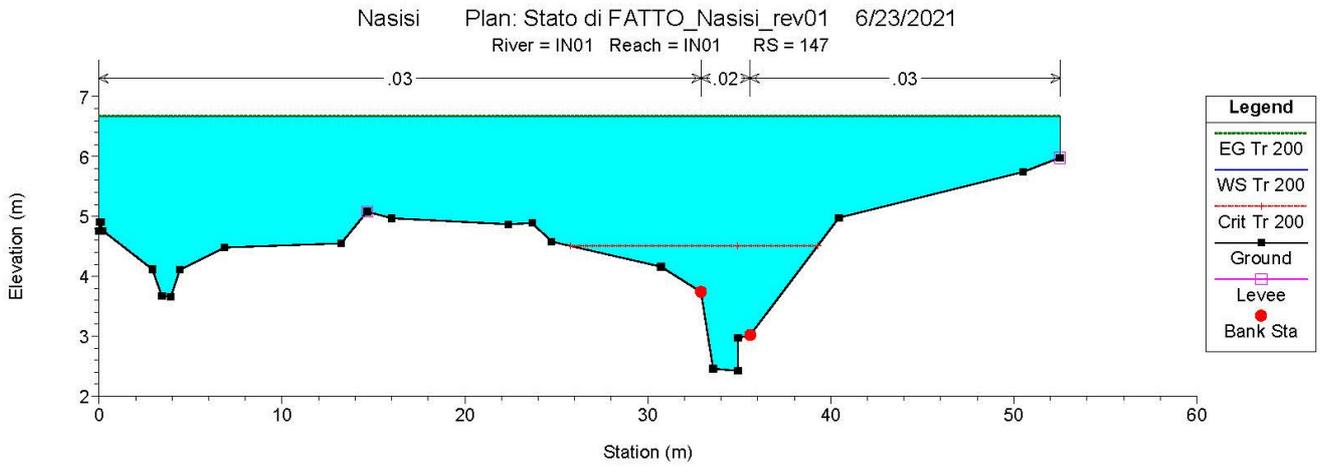
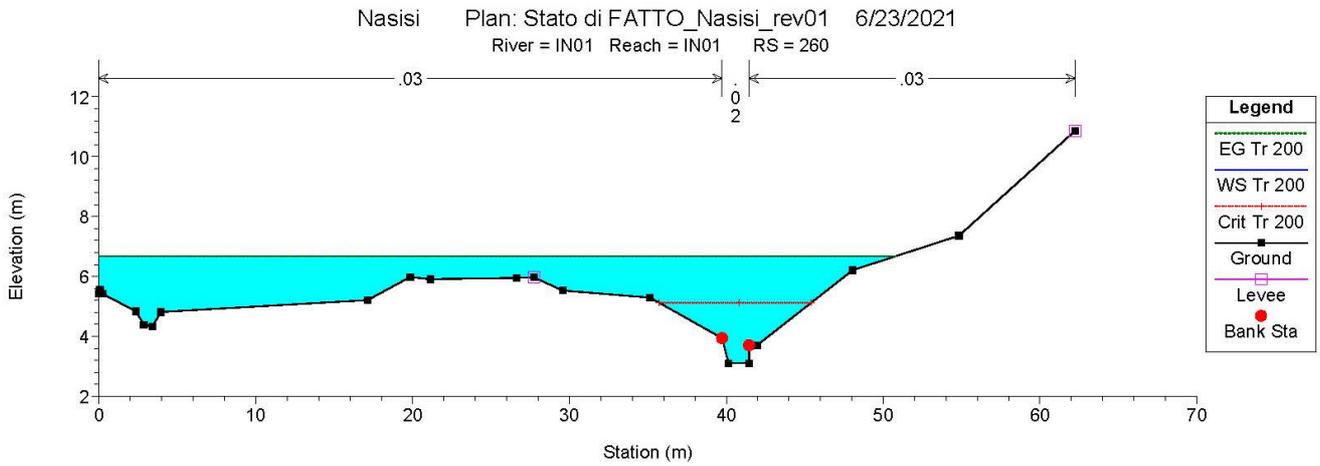
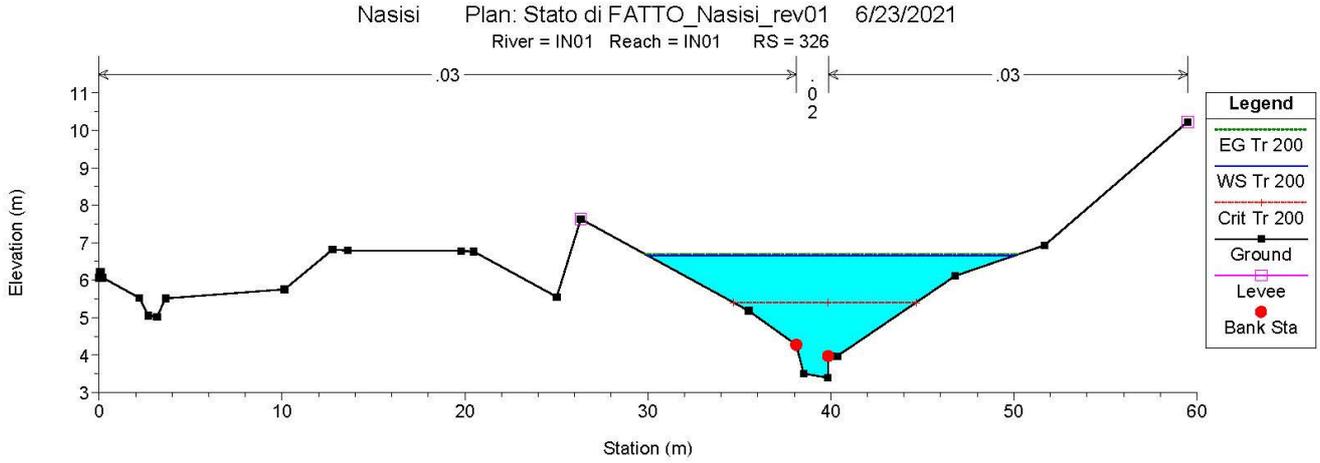
Legend	
EG 1:1,200	Solid black line
CH 1:1,200	Dashed black line
WS 1:200	Dotted black line
Ground	Solid black line
Left Levee	Solid black line
Right Levee	Solid black line



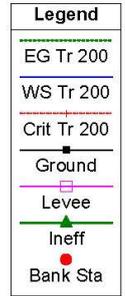
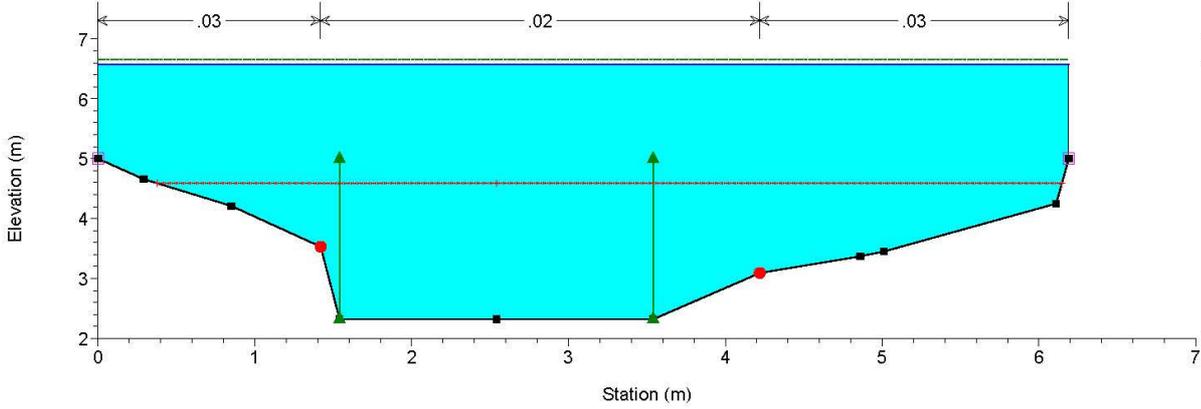
Nassisi  
Plan: Stato di FATTO\_Nassisi\_rev01 6/21/2021  
N02 M02



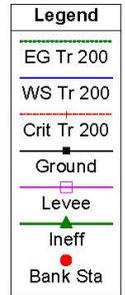
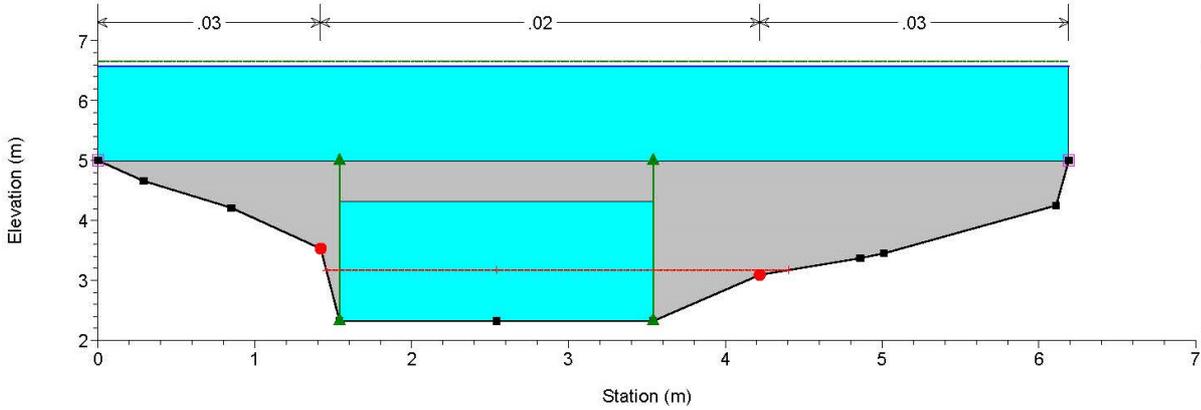




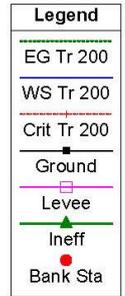
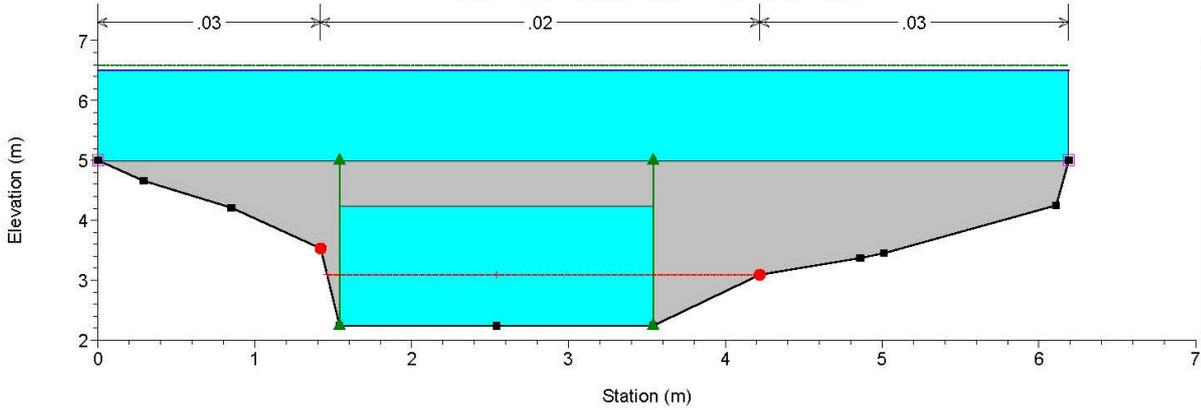
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 131



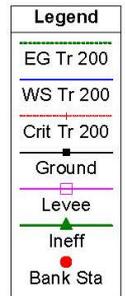
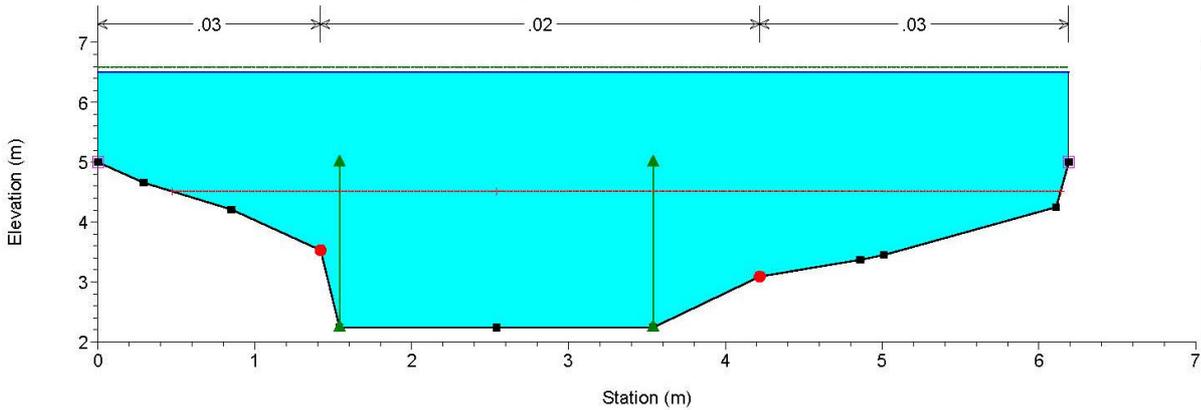
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 120 Culv

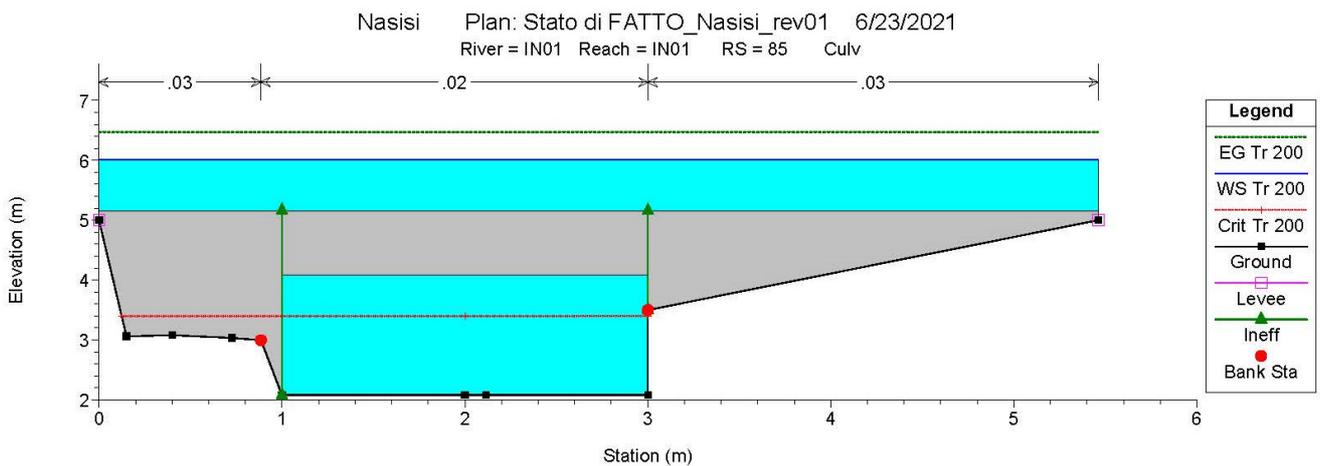
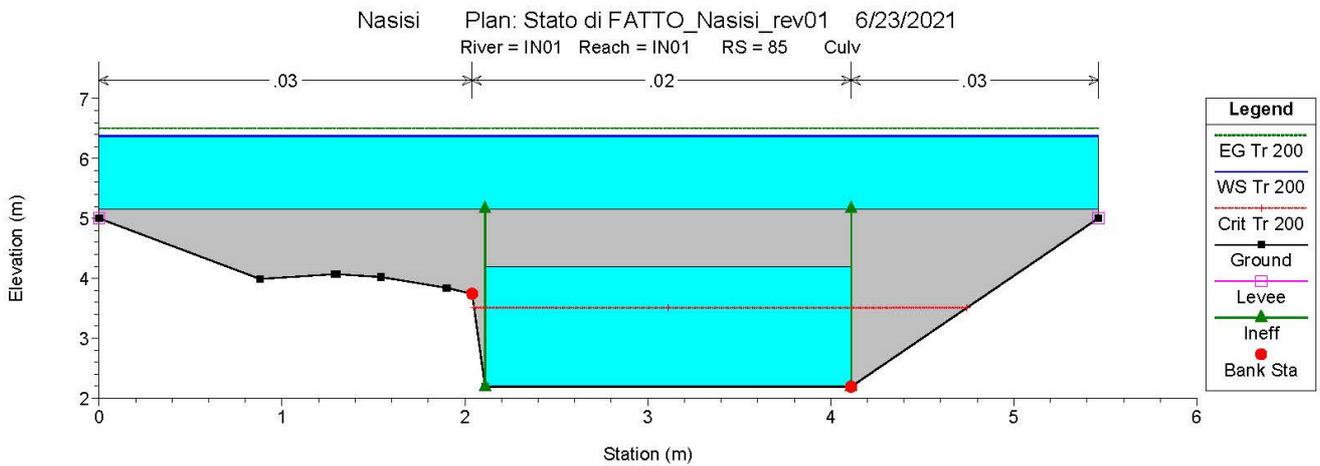
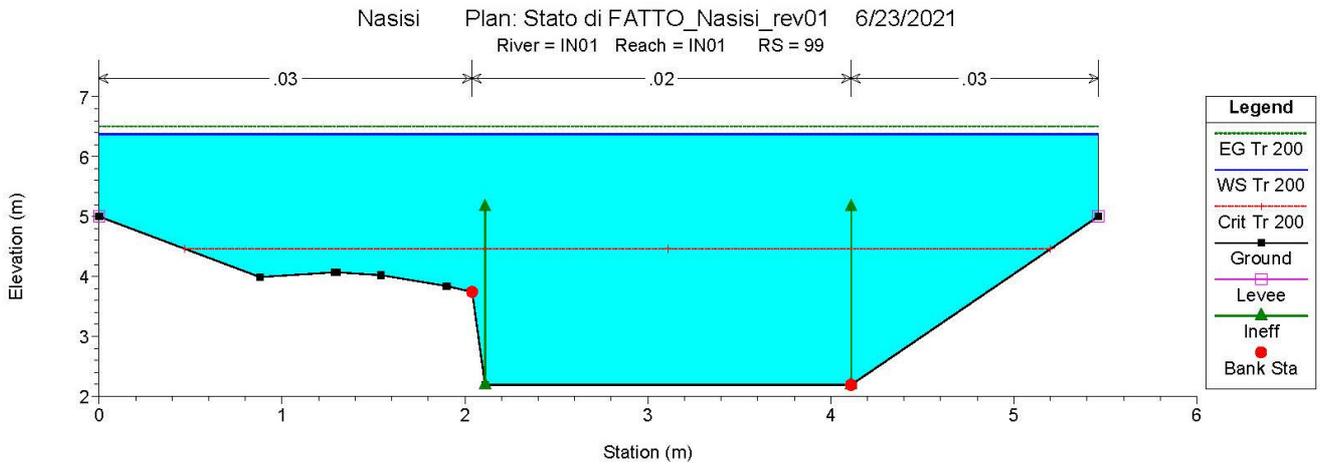
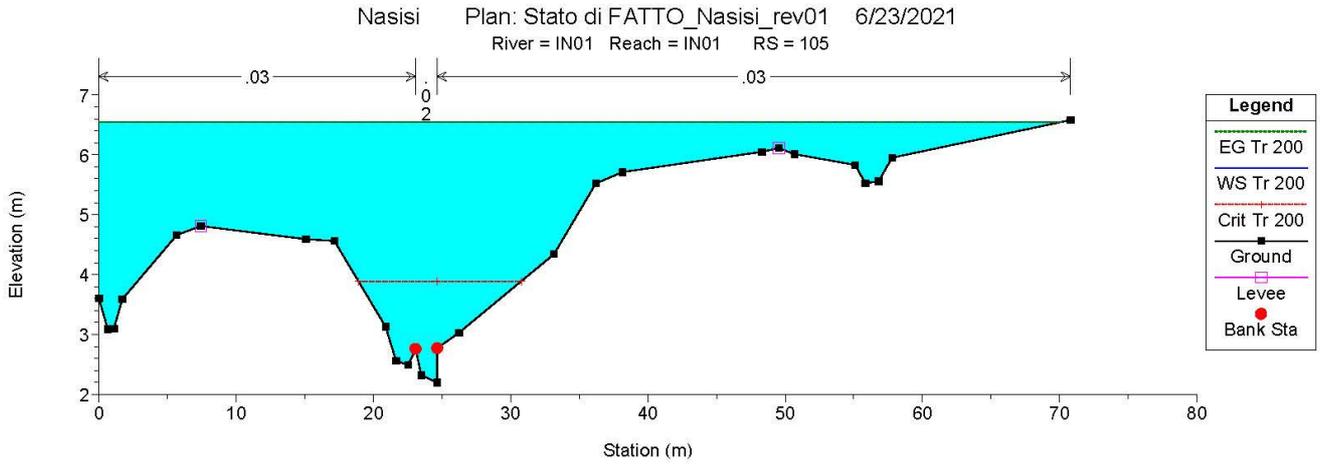


Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 120 Culv

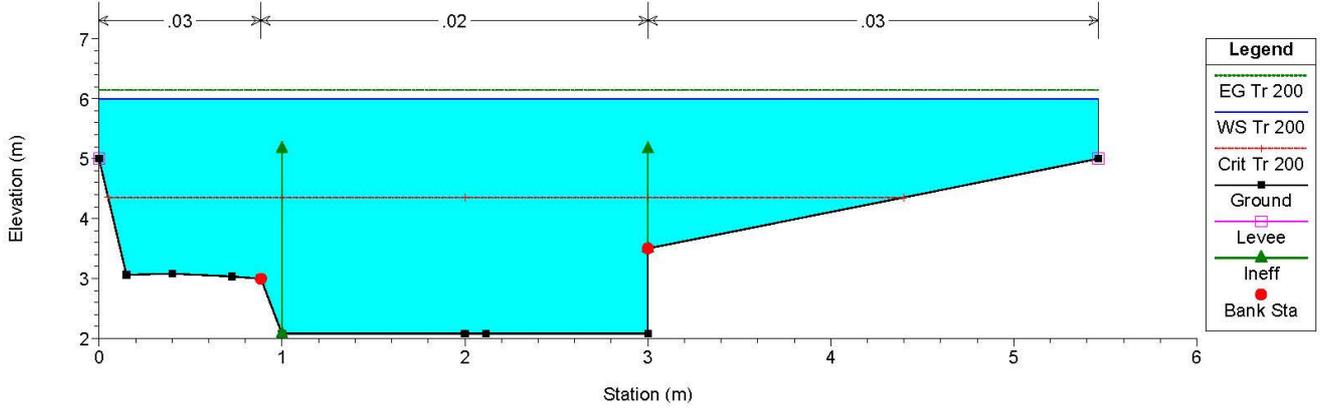


Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 112

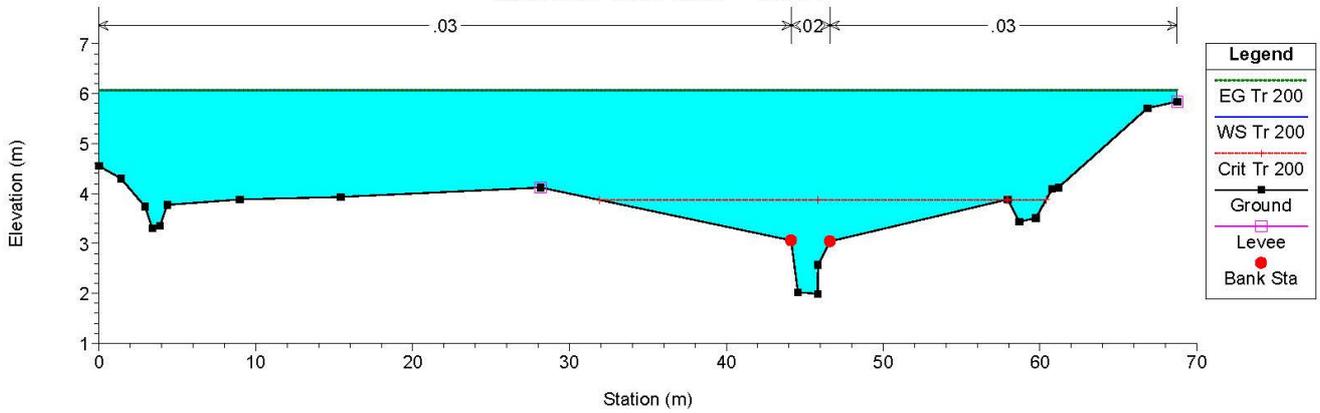




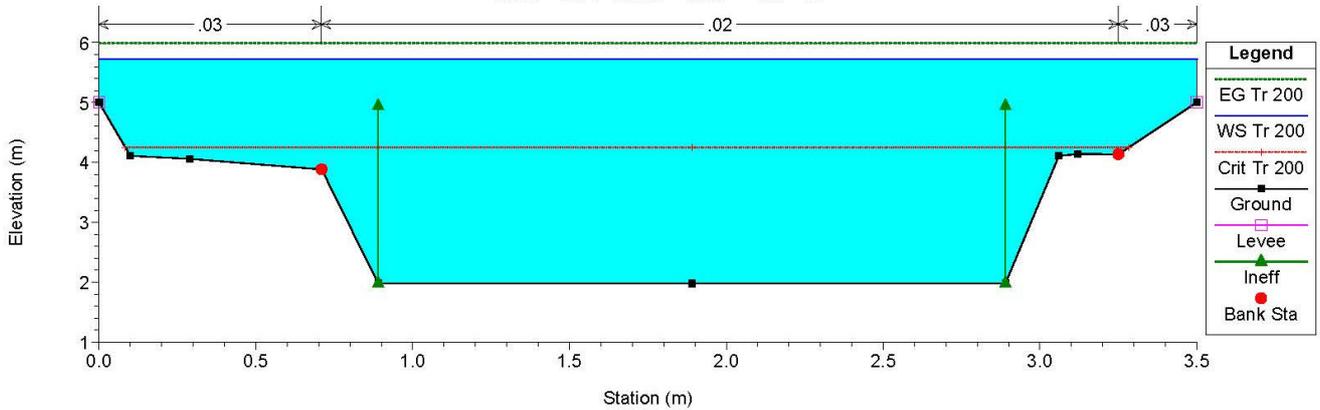
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 83



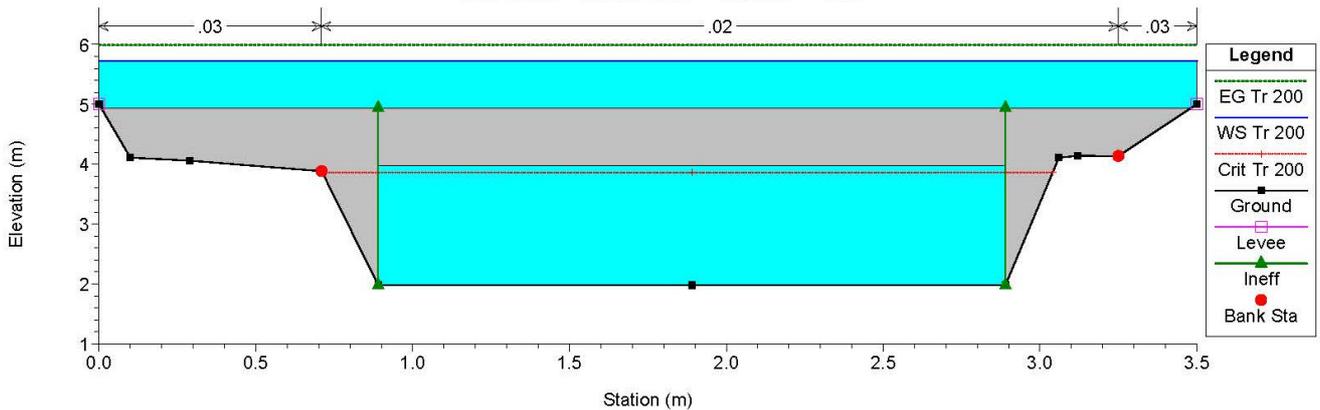
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 71



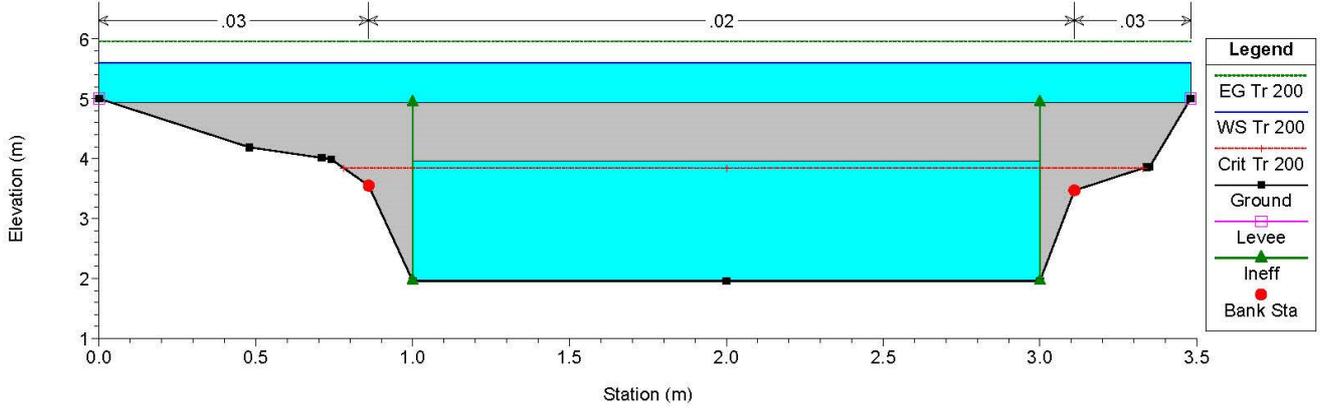
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 64



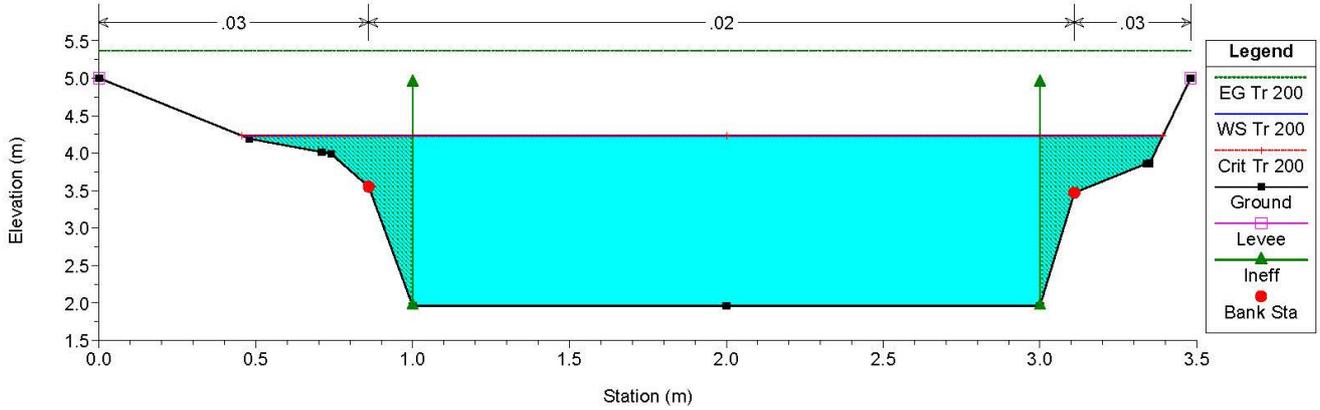
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 55 Culv



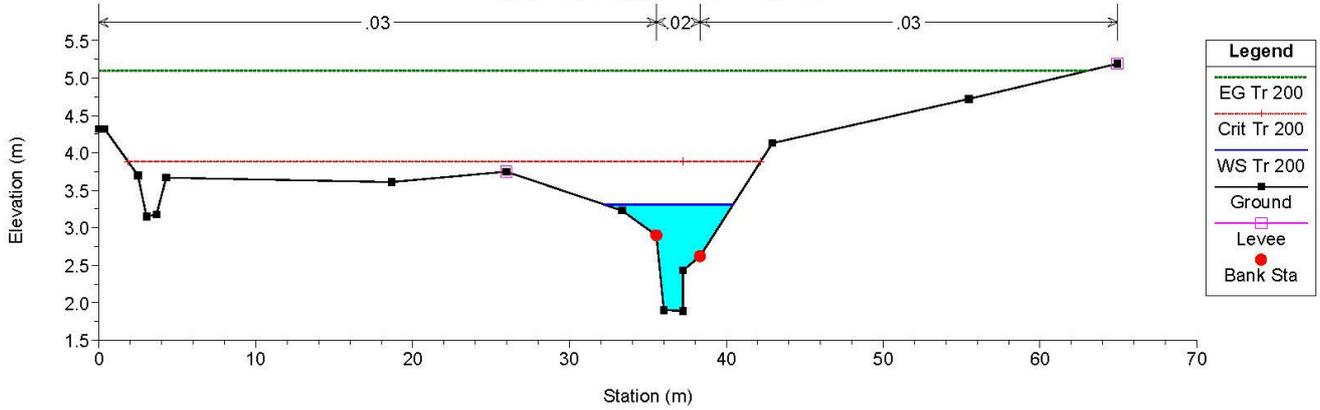
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 55 Culv



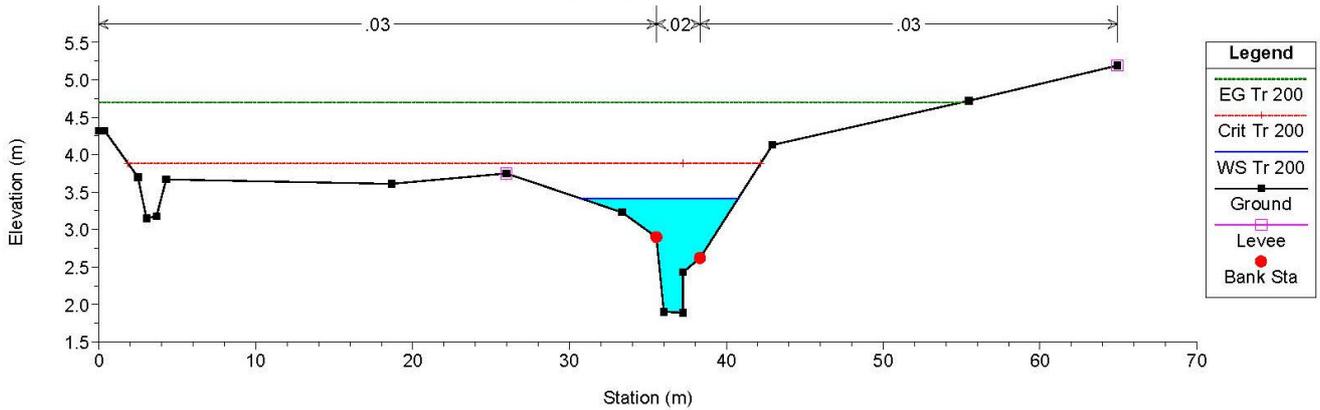
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 51



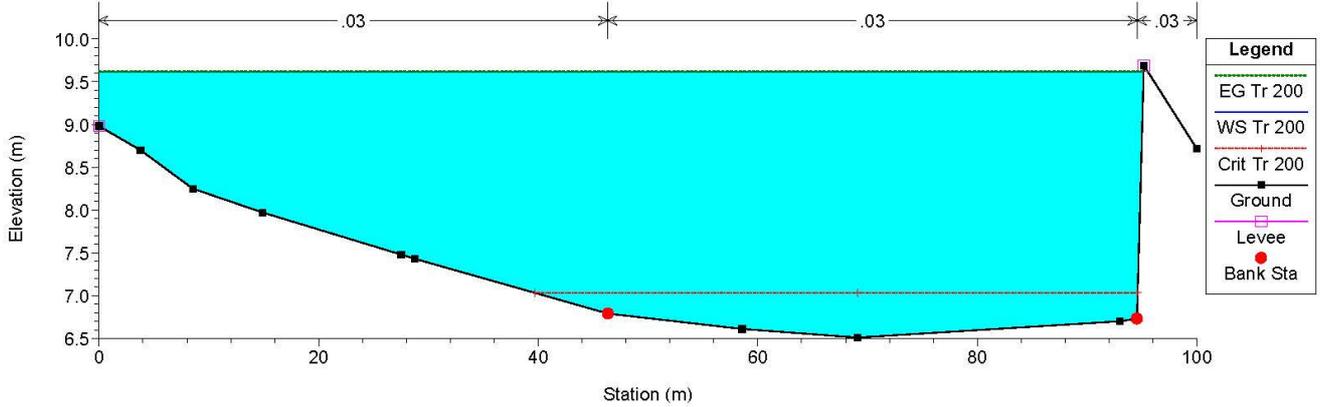
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 39



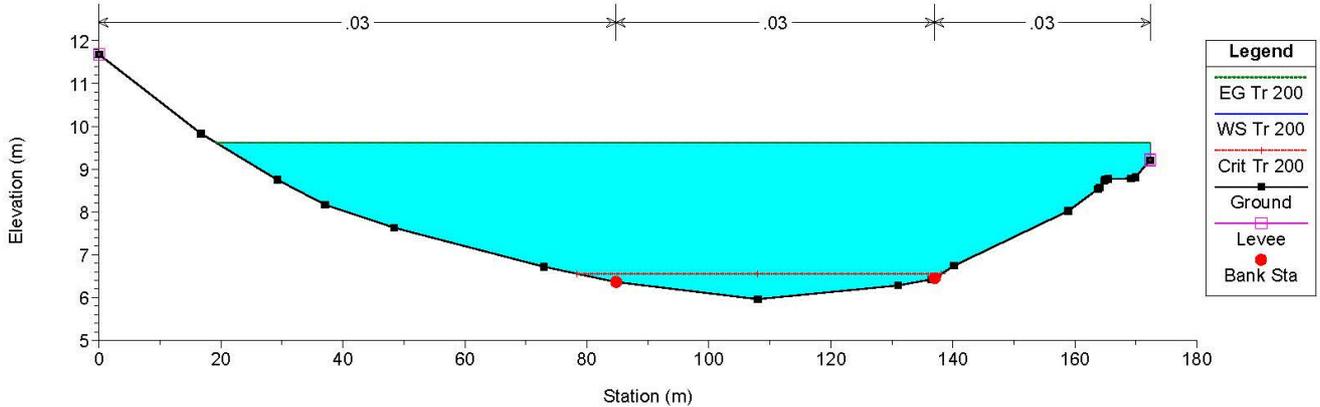
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN01 Reach = IN01 RS = 31.004



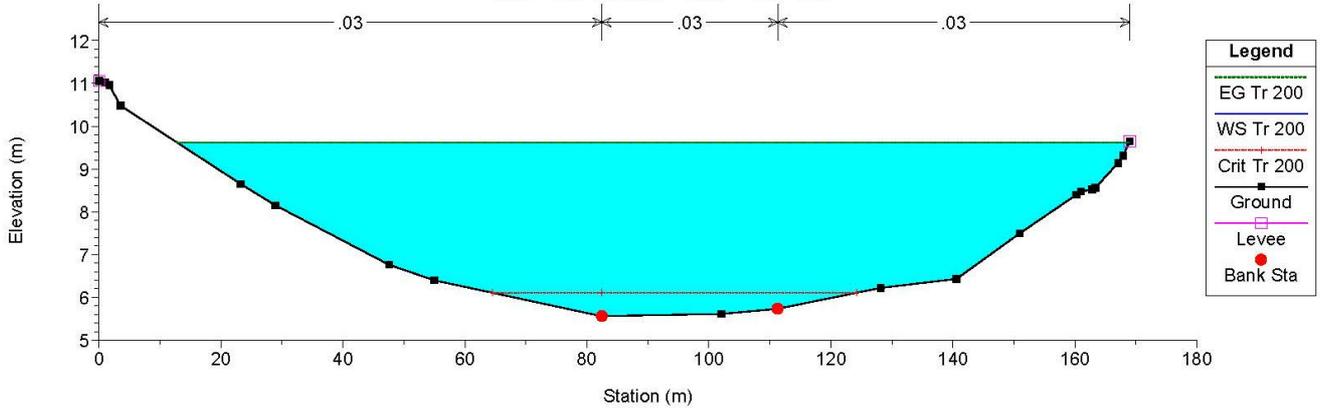
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 366



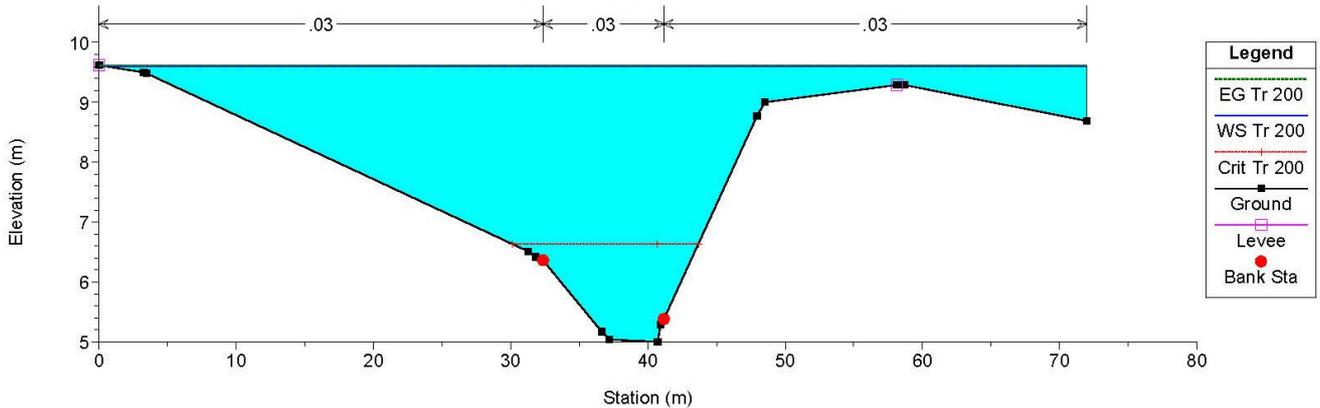
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 317



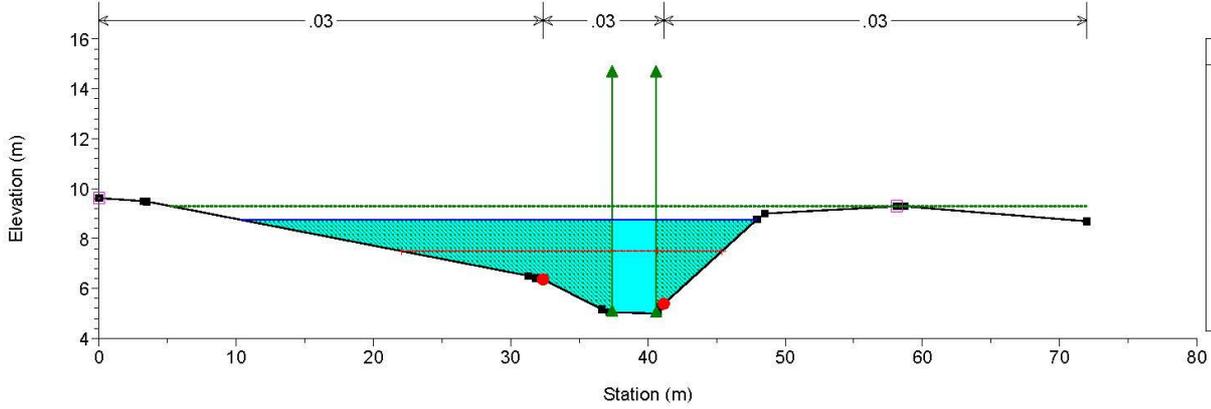
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 265



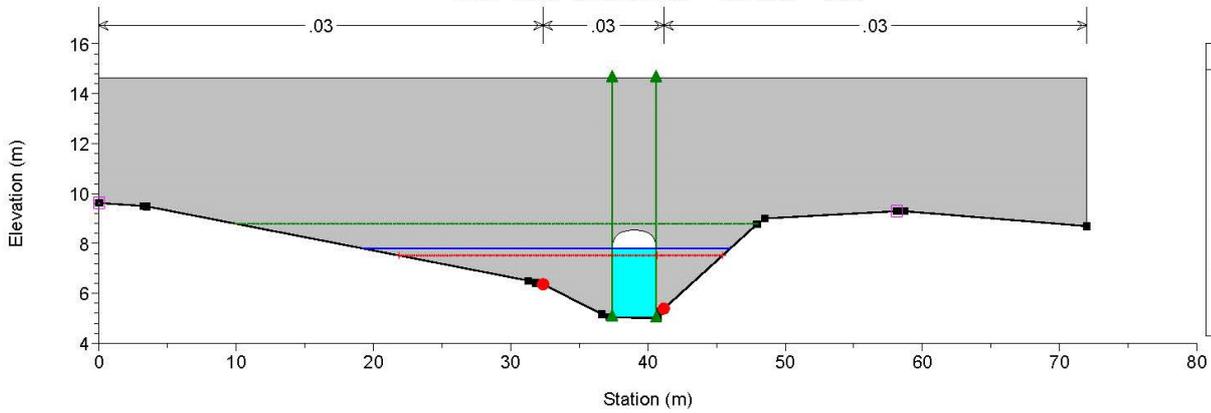
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 230



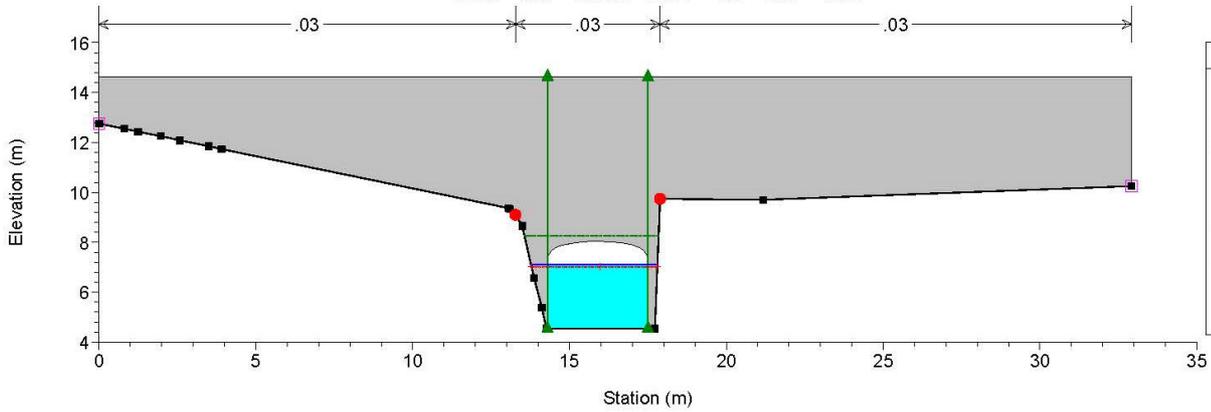
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
River = IN02 Reach = IN02 RS = 225



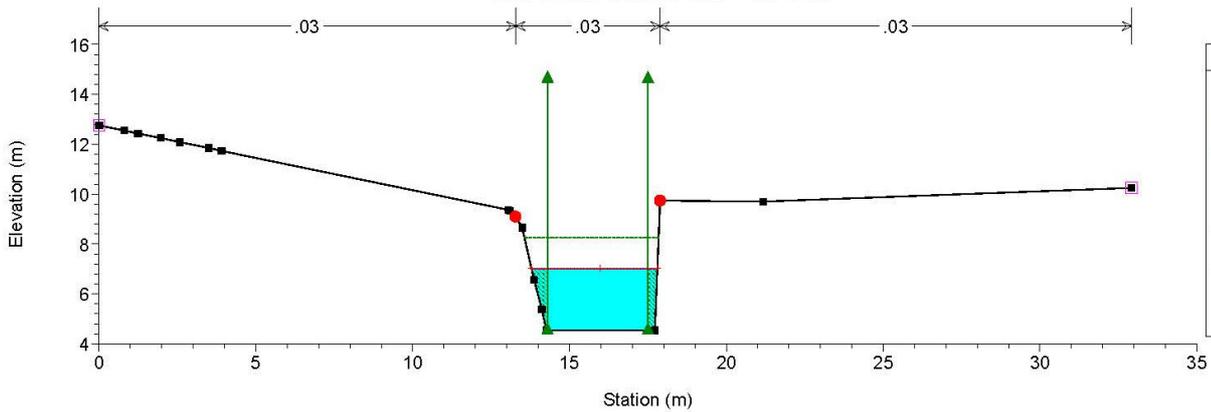
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
River = IN02 Reach = IN02 RS = 200 Culv



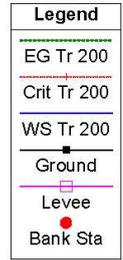
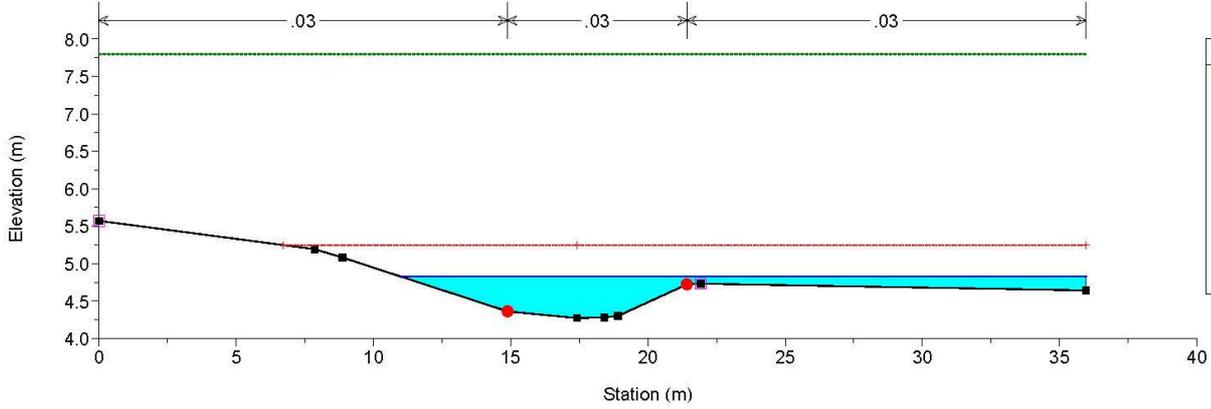
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
River = IN02 Reach = IN02 RS = 200 Culv



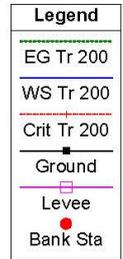
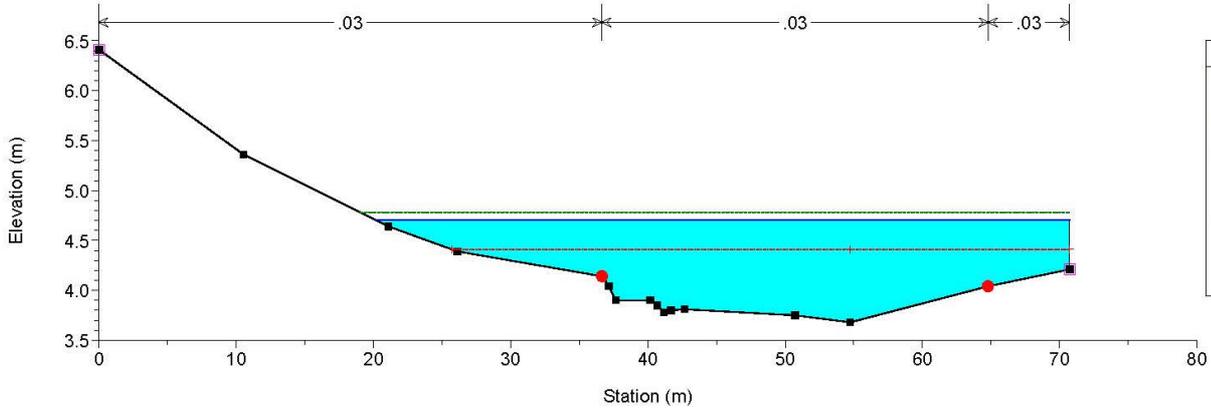
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
River = IN02 Reach = IN02 RS = 158



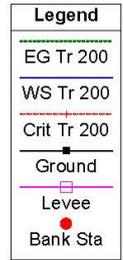
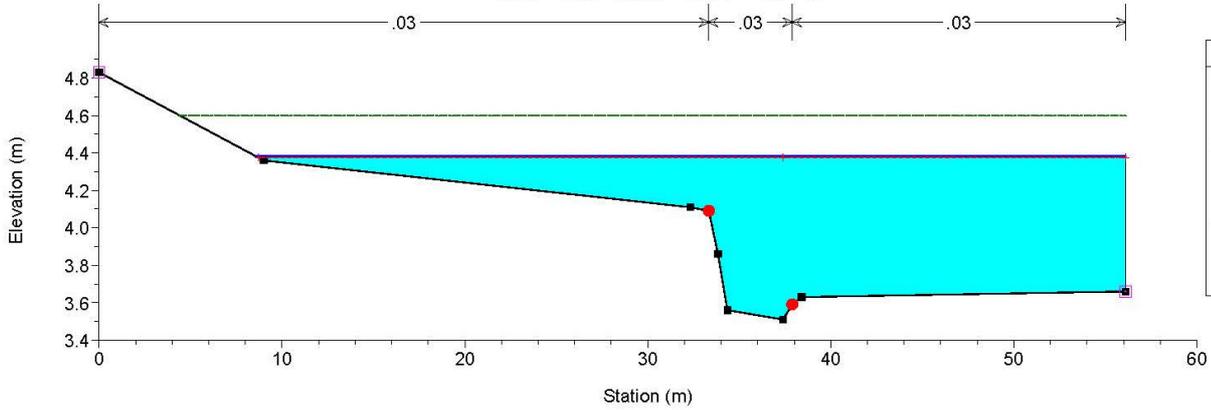
Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 143



Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 99



Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 44



Nasisi Plan: Stato di FATTO\_Nasisi\_rev01 6/23/2021  
 River = IN02 Reach = IN02 RS = 3

