REGIONE LIGURIA
DIPARTIMENTO AMBIENTE
E PROTEZIONE CIVILE

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE
COMMISSARIO DELEGATO
(ORDINANZA C.D. P.C. n. 558 del 15 novembre 2018)

Interventi di messa in sicurezza del tratto focivo del torrente Argentina, a valle del ponte della via Aurelia nei comuni di Taggia e Riva Ligure (IM)

(CUP: 849005897E CIG: G37C19000080002)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.
03	06/2021	Revisione per recepimento osservazioni Enti a seguito di CSP del 31.03.2021	MF	MF	DC
02	05/2021	Revisione a seguito di nota prot. n. 2832-P di SABAP-IM-SV del 09.04.2021	DM	MF	DC
00	03/2021	Emissione per commenti	MF	MF	DC

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

IL RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:

MAJONE&PARTNERS ENGINEERING
Dott. Ing. Denis Cerlini
Dott. Ing. Marco Belicchi

STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI
Dott. Ing. Beatrice Majone
Dott. Ing. Michele Ferrari
Dott. Ing. Nicola Pessarelli

SETTANTA 7 THINKING ARCHITECTURE
Arch. Daniele Rangone
Arch. Matteo Valente

GEOLOGIA
Dott. Geol. Marcello Ermia

HANNO COLLABORATO:
Giorgio Viarengo
Ing. Paolo Polo

ELABORATO:

ARGF 1.04

MARZO 2021

M-G-023

INDICE

1. PREMESSA 3
2. INQUADRAMENTO 4
3. APPROFONDIMENTI IDRAULICI SUL PROGETTO PRELIMINARE A BASE DI GARA 9
3.1 PREMESSA 9
3.2 IMPLEMENTAZIONE DELLA SOLUZIONE DEL PP2012/16 11
3.2.1 Dati topografici di base 12
3.2.2 Codice di calcolo monodimensionale 12
3.2.3 Condizioni al contorno e scabrezze 15
3.2.4 Risultati ottenuti 15
3.3 VALUTAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI ED ELEMENTI DI CRITICITÀ 16
4. VALUTAZIONI IDRAULICHE PER LA NUOVA SOLUZIONE PROGETTUALE 20
4.1 PREMESSA 20
4.2 DATI DI BASE 20
4.2.1 Approfondimenti topografici e sullo stato dei luoghi 20
4.2.2 Codice di calcolo monodimensionale 22
4.2.3 Condizione al contorno e scabrezze 22
4.3 DEFINIZIONE SOLUZIONE PROGETTUALE ALTERNATIVA 23
4.3.1 Adeguamento delle sezioni di deflusso in continuità con le previsioni di PP2012/16 e con sostituzione del manufatto di foce 23
4.3.2 Adeguamento delle sezioni di deflusso senza ricalibratura di fondo 26
4.4 APPROFONDIMENTI CORRELATI ALLA ZONA DI FOCE 27
4.4.1 Premessa 27
4.4.2 Codice di calcolo bidimensionale 27
4.4.3 Dati topografici di base, condizioni al contorno e scabrezze 28
4.4.4 Posizione linea di difesa in destra – area darsena 29
4.4.5 Moli interni di foce 31
4.4.6 Condizione al contorno di valle 33
4.5 VALUTAZIONI IN MERITO AD UN POSSIBILE PRIMO LOTTO FUNZIONALE 34
4.5.1 Premessa 34
4.5.2 Dati topografici 35
4.5.3 Condizioni al contorno e scabrezze 38
4.5.4 Interventi nel solo tratto di valle (e demolizione del ponte di foce) 39
4.5.5 Interventi nel solo tratto di monte (e demolizione del ponte di foce) 41

5. ALLEGATO A: VALUTAZIONI IN MERITO AD UN POSSIBILE PRIMO LOTTO FUNZIONALE: PLANIMETRIE DI ALLAGAMENTO.....44

1. PREMESSA

Con decreto dirigenziale n. 7889 del 21/12/2020 la SUAR della Liguria, per conto del Commissario Straordinario, ha disposto l'aggiudicazione alla scrivente RTI Majone & Partners - Studio Majone - Geologo Marcello Ermia - Settanta7 Studio Associato della gara d'appalto per lo svolgimento del servizio di *Redazione di studio geologico-geomorfologico, adeguamento del progetto di fattibilità tecnica ed economica, progettazione definitiva ed esecutiva ed espletamento delle attività di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione* relativamente ai Lavori di messa in sicurezza del tratto focivo del Torrente Argentina a valle del ponte della Via Aurelia nei Comuni di Taggia e Riva Ligure (IM).
Con successiva nota prot. n NP/2021/77351 del 08/03/2021, nelle more della stipula del Contratto per i servizi di cui sopra, Regione Liguria – Dipartimento Ambiente e Protezione Civile – Settore Difesa del Suolo Imperia disponeva l'avvio dell'esecuzione del contratto di servizi in via d'urgenza.

Il presente documento rappresenta, nell'ambito della progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica prevista dall'art. 23 del D.Lgs. 50/2016, la "Relazione idrologico Idraulica" redatta ai sensi dell'art. 19 - lettera o) e p) - del D.P.R. 207/2010.

2. INQUADRAMENTO

Il tratto terminale del torrente Argentina è attualmente caratterizzato da una elevata condizione di criticità idraulica come individuato nell'ambito del Piano di Bacino (PdB).

La carta delle aree inondabili, tavola 11_2_a_di *Piano*, individua una elevata situazione di insufficienza, con particolare riferimento al tratto a valle del ponte della S.S.1 Aurelia, con allegamenti anche per tempi di ritorno T50.

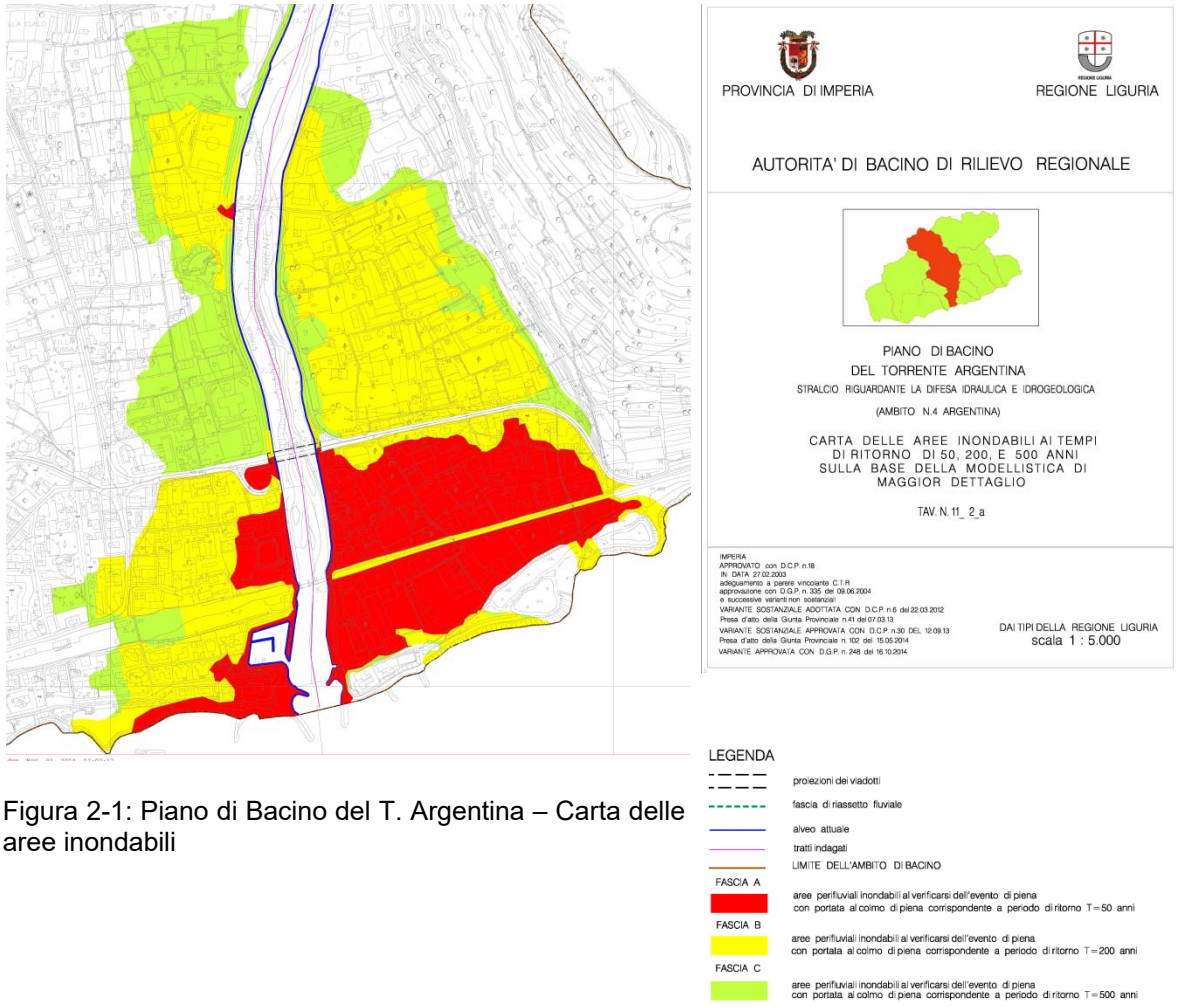


Figura 2-1: Piano di Bacino del T. Argentina – Carta delle aree inondabili

Tale quadro di criticità fa riferimento ai valori di portata di piena ed agli idrogrammi definiti da *Piano di Bacino* per la sezione di foce, ovvero ai valori definiti nel 2007, su incarico della Provincia di Imperia, dal Politecnico di Milano, Dipartimento di In-

gegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e Rilevamento (DIIAR), Sezione Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia (CIMI).

Le portate determinate dal Politecnico di Milano sono state approvate dal CTR dell'Autorità di Bacino Regionale (seduta del 22.10.2008) come nuove portate di riferimento per la stesura della variante al *Piano*, redatta sulla base degli studi sviluppati da Studio Majone nel 2009 (*Studio per la predisposizione alla variante al Piano di Bacino a seguito della rideterminazione delle portate di massima piena* - di seguito anche **ST2009**) e quindi approvata con DCP n.30 del 12.09.2013.

Le valutazioni idrauliche recepite nell'ambito del *Piano* nonché tutti gli approfondimenti idraulici di cui ai successivi paragrafi sono state quindi condotte sulla base dei valori di portata e degli idrogrammi di piena allegati alla relazione finale del Politecnico (Appendice C – Tabelle degli idrogrammi di riferimento nelle sezioni salienti del bacino del Torrente Argentina), che indicano, in particolare, una portata al colmo T50 alla foce pari a 1074 mc/s e T200 pari a 1690 mc/s.

Con specifico riferimento al tratto terminale del corso d'acqua, oggetto del presente intervento progettuale, si richiama come la condizione di elevata criticità indicata dal Piano di Bacino (*Figura 2-1*) risulti attualmente correlata sia a situazioni di carattere puntuale, connesse alla presenza di opere di alveo che parzializzano la sezione di deflusso determinando profili di rigurgito verso monte con conseguenti esondazioni, sia ad insufficienze di tipo distribuito legate all'insufficienza arginale, con particolare riferimento all'ultimo tratto a valle del ponte ex-ferroviario (o di foce) prima dello sbocco a mare.

In questo quadro la principale criticità è proprio costituita dal ponte ex-ferroviario, attualmente adibito a percorso pedonale e ciclabile, che presenta funzionamento in pressione a partire dalla portata di 1450 mc/s ca. (inferiore alla duecentennale di riferimento di 1690 mc/s). Il manufatto, che presenta le due luci laterali solo parzialmente contribuenti dal punto di vista idraulico in relazione all'attuale impropria destinazione viabilistica, influenza in modo rilevante i deflussi anche per portate non eccezionali a causa della notevole ostruzione determinata dalle quattro pile in

alveo, peraltro non perfettamente allineate ai deflussi ad ulteriore aggravio del coefficiente di contrazione determinato dall'ostruzione.

Ai fini della messa in sicurezza idraulica dei territori di valle il *Piano* individua quindi una serie di interventi, alcuni dei quali con priorità primaria, quali:

- la realizzazione di nuovi argini dal ponte S.S.1 alla foce (intervento 7/1-Ia);
- la demolizione del ponte di foce ex ferroviario (intervento 8/1-Ia);
- realizzazione di una nuova passerella ad unica luce (intervento 3-Ip).

Con priorità secondaria nell'ambito del *Piano* viene anche indicata la necessità di:

- ripristino della sezione di deflusso nel tratto fino al ponte di foce mediante asportazione del materiale dall'alveo e allontanamento a pubblica discarica (intervento 6-Im);
- adeguamento della sezione idraulica mediante risagomatura dei pennelli delimitanti la foce del corso d'acqua e dragaggio del fondo (intervento 1-Ia).

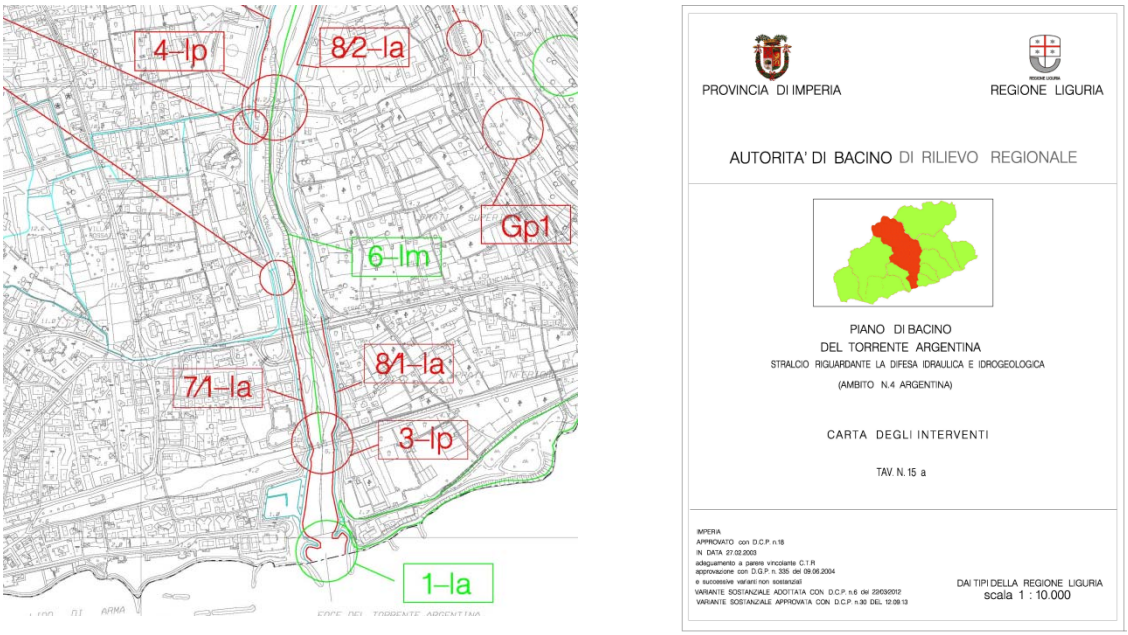


Figura 2-2: Piano di Bacino del T. Argentina – Carta degli interventi

In relazione all'intervento previsto per il manufatto ex-ferroviario, nell'ambito del *Piano* veniva peraltro specificato come "*l'indicazione progettuale contenuta nel*

Piano di Bacino relativa alla demolizione con ricostruzione del ponte ex FF.SS. (….) potrà essere oggetto di modifica, in relazione al vincolo architettonico attualmente esistente, in sede di approvazione del Progetto Preliminare dei Lavori di messa in sicurezza del tratto focivo del T. Argentina, a valle del ponte di via Aurelia, nei Comuni di Riva Ligure e Taggia, in fase di redazione da parte della Provincia al momento dell'approvazione della variante al Piano di Bacino".

Tale passaggio risulta da correlarsi al Progetto Preliminare dei "*Lavori di messa in sicurezza del tratto focivo del torrente Argentina, nei comuni di Riva Ligure e Taggia"* elaborato nel 2012 con successive revisioni nel 2014 e 2016 (di seguito anche **PP2012/16**) nell'ambito del quale, a seguito dell'analisi di varie possibile configurazioni finalizzate alla messa in sicurezza idraulica del territorio, veniva proposto e sviluppato un intervento di mitigazione del rischio idraulico che prevedeva:

1. il mantenimento del ponte ex ferroviario, oggi adibito a pista ciclabile, con piena rifunzionalizzazione idraulica delle due luci attualmente occupate dalla viabilità e creazione di due nuovi fornici in sinistra di cui uno ad uso idraulico di dimensioni nette 13.0 x 5.5 m (e correlato arretramento della linea in difesa in sinistra – vd. successivo punto 3), con mantenimento degli appoggi esistenti immediatamente a monte del manufatto a testimonianza del preesistente ponte distrutto durante la seconda guerra mondiale;
2. l'allargamento delle sezioni di deflusso in sponda destra in corrispondenza del ponte di foce per piena riattivazione della luce in destra , con realizzazione di scogliere/mantellate in massi naturali di cava a monte del ponte stesso sino a raccordarsi verso valle alla scogliera del porticciolo con infissione di diaframmi in c.a.;
3. l'allargamento delle sezioni in sponda sinistra, sempre in corrispondenza del ponte di foce, con realizzazione di una scogliera/mantellata in massi naturali di cava e, in relazione agli scavi disponibili, di un diaframma in c.a.;
4. la regolarizzazione del fondo tra il ponte ex ferroviario e il ponte della SS1 Aurelia, con eliminazione dell'irregolarità di fondo alveo posta immediatamente a monte del ponte di foce correlato alla presenza di servizi fognari ormai di-

smessi, e conseguente riprofilatura di fondo tra i due ponti in conformità peraltro con quanto previsto da PdB;

5. l'arretramento della linea di difesa in sinistra a valle del ponte di foce, e contestuale allargamento delle sezioni di deflusso, con eliminazione del molo interno in massi in sinistra alla foce, funzionale alla darsena.

Tale Progetto Preliminare ha ottenuto parere negativo da parte di Regione Liguria con nota prot. n. IN/2019/12981 del 24.07.2019, documento allegato alla *Relazione Illustrativa* (*ARGF 1.01*) del presente progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.

3. APPROFONDIMENTI IDRAULICI SUL PROGETTO PRELIMINARE A BASE DI GARA

3.1 Premessa

A partire dal quadro delineato nel precedente paragrafo e sulla base di quanto previsto da *Capitolato Prestazionale d'Appalto* sono stati quindi preliminarmente effettuati alcuni approfondimenti finalizzati all'adeguamento del PP2012/16 in conformità alle vigenti normative in materia di Lavori Pubblici, alle norme vigenti di Piano di Bacino, e, con particolare riferimento dal punto di visto dell'analisi idraulica:

- ✓ alla "*verifica della* ***possibilità di sostituire il vecchio ponte ferroviario con una struttura che minimizzi l'interferenza con il deflusso della corrente***";
- ✓ alla "*verifica dell'****ininfluenza e/o del beneficio idraulico del pennello*** *e delle opere a mare esistenti*", in merito alla previsione, indicata nel progetto preliminare a base di gara, di eliminare il molo interno di foce in sponda sinistra.

Per tali approfondimenti sono state tenute altresì a riferimento la nota "*parere di compatibilità con il PdB*" esplicitata dalla Regione Liguria – Vice direzione Generale Ambiente – Settore Assetto del Territorio (nota prot. n. IN/2019/12981 del 24.07.2019), nell'ambito della quale ("*valutazioni istruttorie*") veniva evidenziata la necessità di approfondimenti sia sui moli interni di foce, sia sul manufatto ex ferroviario di natura idraulica oltre che, in relazione al secondo elemento, anche di tipo archeologico al fine di valutarne l'effettiva situazione di vincolo.

In relazione a tali aspetti ed al fatto che le opere previste da PP2012/16 garantivano il contenimento della portata di piena duecentennale senza i franchi previsti da norma, l'Autorità Idraulica competente nella sopra richiamata nota richiedeva quindi la **rielaborazione progettuale dell'intervento** di "messa in sicurezza" previsto, non ritenendo peraltro il Progetto Preliminare elaborato meritevole di approvazione ai sensi dell'art. 17, c.2 della normativa di Piano di Bacino.

A partire da tali elementi, in occasione dell'incontro in videoconferenza (vcf) di "avvio della progettazione" svoltosi in data 11.01.2021 alla presenza dei Dirigenti e Funzionari della Regione Liguria, del settore Difesa del Suolo di Imperia e dei pro-

gettisti incaricati veniva quindi indicato agli scriventi di procedere con i necessari approfondimenti idraulici al fine esaminare, sulla base dai dati di base disponibili (in particolare elementi di rilievo topografico e pregressi modelli idraulici, correlati in particolare al PP2012/16 ed allo *Studio per la predisposizione alla variante al Piano di Bacino a seguito della rideterminazione delle portate di massima piena* – di seguito anche **ST2009**, sviluppato da Studio Majone), le valutazioni idrauliche contenute nel PP2012/16, demandando ad una successiva fase le indagini di campo e le campagne di approfondimento topografico, geologico, ecc… .

In particolare veniva richiesto di analizzare prioritariamente gli elementi (oltre che di effettivo vincolo archeologico, in relazione ai quali di rimanda al specifico elaborato allegato al presente PFTE) di natura idraulica richiamatati a inizio paragrafo, elaborando, sulla base degli elementi attualmente disponibili, una soluzione progettuale alternativa in grado di raggiungere idonee condizioni di sicurezza idraulica per il territorio, anche attraverso la sostituzione del manufatto di foce, al fine di addivenire quanto prima alla presentazione e condivisione di tale alternativa con gli Enti coinvolti: in particolare Comune di Taggia, Comune di Riva Ligure, Soprintendenza.

A seguito della trasmissione dal parte della Regione degli ulteriori dati di base su cui sviluppare gli approfondimenti richiesti e del sopralluogo congiunto effettuato in data 04.02.2021, in data 18.02.2021, in occasione di nuovo incontro congiunto in vcf, venivano illustrate le elaborazioni progettuali effettate, con contestuale trasmissione dei primi elaborati del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica.

Tali elaborati sono stato oggetto di prima valutazione da parte dei Funzionari della Provincia e di nuovo confronto congiunto in occasione degli incontri vcf del 01.03.2021 e del 08.03.2021, cui ha fatto seguito una nuova trasmissione di alcuni elaborati progettuali revisionati sulla base delle osservazioni e richieste pervenute.

In occasione dell'ulteriore incontro vcf del 15.03.2021 alla presenza di Dirigenti e Funzionari della Regione Liguria (difesa del suolo, VIA) e del settore Difesa del Suolo di Imperia sono state illustrate le risultanze degli elaborati in bozza del PFTE e delineate le prime fasi dell'*iter* amministrativo propedeutico all'attuazione delle opere: presentazione agli Enti, Conferenza Preliminare.

3.2 Implementazione della soluzione del PP2012/16

In relazione al percorso concordato e richiamato nel precedente paragrafo, ai fini degli approfondimenti idraulici da effettuarsi nell'ambito del presente incarico si è quindi preliminarmente proceduto all'analisi e valutazione comparativa di quanto sviluppato in sede di PP2012/16, anche attraverso la ricostruzione e l'implementazione di un nuovo modello idraulico del tutto identico a quella in quella sede utilizzato: codice di calcolo, dati topografici di base, geometria d'alveo di progetto costruita - riconducibile a quella del c.d. "scenario 7" assunto nel PP2012/16 come assetto progettuale di riferimento per la sistemazione - , condizioni al contorno e scabrezza.

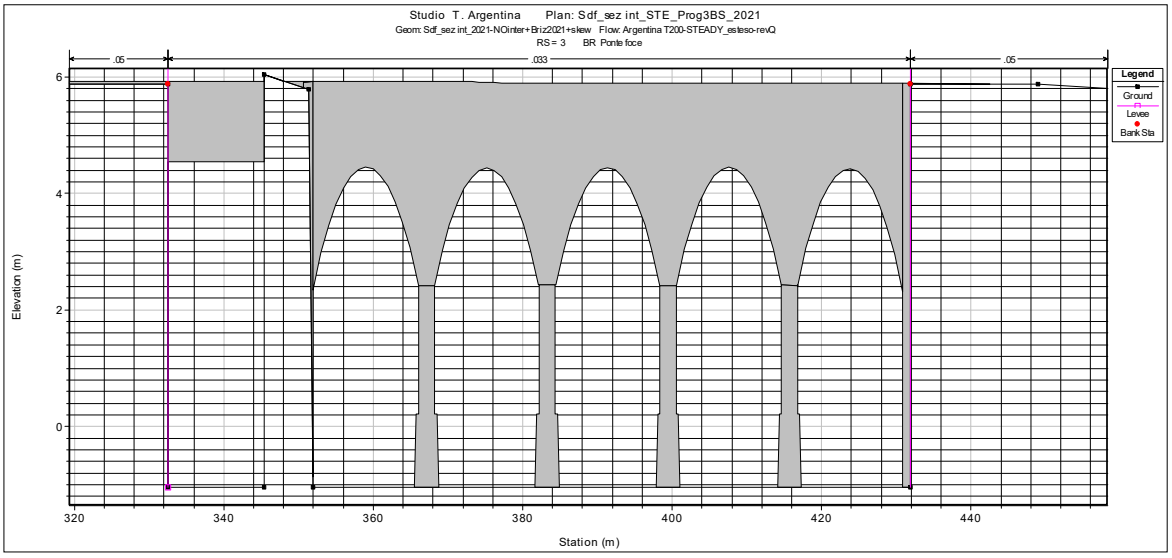


Figura 3-1: Sezione di progetto del ponte di foce ricostruita nel modello idraulico di simulazione secondo la medesima geometria implementata nel PP2012/16, con ricalibratura di fondo, piena rifunzionalizzazione idraulica delle luci esterne ed apertura di un nuovo fornice in sinistra di luce netta 13 m, altezza 5.5 m.

La finalità di tale analisi è riconducibile alla volontà di acquisire una sensibilità di base sull'analisi svolta nell'ambito del PP2012/16, valutane eventuali elementi di criticità e potenziali assetti di miglioramento nonché costruire una base calibrata, ossia impostata sulle stesse basi rispetto a quella implementata nel PP2012/16 e quindi in tal senso assolutamente comparabile, per valutare possibili alternative di intervento rispetto a quelle precedentemente definite. Ciò secondo il mandato progettuale di *Capitolato Prestazionale d'Appalto* richiamato al precedente *paragrafo*

3.1, nonché in continuità con linee guida di intervento previste da *Piano degli Interventi di Bacino* e valutate anche in precedenti studi e progettazioni, fra cui lo Studio del 2009 in precedenza richiamato.

Il tutto al fine di delineare, a partire da una valutazione critica e ponderata dell'impostazione del PP2012/16, un intervento tale da configurarsi come di effettiva messa in sicurezza idraulica del territorio, in conformità con Direttive e Criteri Regionali e con le previsioni di Piano, coniugando le esigenze di adeguamento idraulico con quelle di inserimento delle opere nel contesto territoriale.

3.2.1 Dati topografici di base

Nello sviluppo degli approfondimenti sopra illustrati, i dati topografici di base implementati nelle verifiche idrauliche sono i medesimi utilizzati nell'ambito del PP2012/16, costituiti dal rilievo celerimetrico a terra già utilizzato nell'ambito dello Studio Idraulico del 2009 e quindi recepito nell'ambito del *Piano* vigente, integrato con alcuni nuovi elementi di rilievo introdotti nel Progetto Preliminare 2012/16, con particolare riferimento al tratto dal ponte di foce fino allo sbocco a mare.

3.2.2 Codice di calcolo monodimensionale

Le verifiche idrauliche sono state effettuate nelle medesime condizioni di moto permanente monodimensionale di PP2012/16 tramite il modello numerico di simulazione HEC-RAS - River Analysis System - sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (Version 5.0.7, March 2019).

La procedura di calcolo implementata in Hec-Ras è nota in letteratura con il nome di Standard Step Method.

Essa consiste nel calcolo della quota del pelo libero in una sezione a partire da quella nota in una sezione adiacente, per mezzo di un procedimento iterativo, basato sulle seguenti due equazioni:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (1)$$

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (2)$$

nelle quali:

WS_1, WS_2 = quote del pelo libero nelle sezioni alle estremità della tratta considerata;

V_1, V_2 = velocità media (portata/area liquida) nelle citate sezioni;

α_1, α_2 = coefficiente di Coriolis;

g = accelerazione di gravità (= 9,81 m/s^2);

h_e = perdita di energia tra le 2 sezioni;

L = lunghezza della tratta (media pesata);

$\overline{S_f}$ = cadente piezometrica della tratta;

C = coefficiente di espansione o contrazione.

La lunghezza media della tratta viene definita come:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}} \qquad (3)$$

essendo:
Llob, Lch, Lrob = lunghezze per il moto in golena sinistra, nell'alveo di magra e in golena destra;
Qlob, Qch, Qrob = media aritmetica delle portate nelle due sezioni con riferimento a golena sinistra, alveo di magra e golena destra.
La determinazione della capacità di portata totale e del coefficiente di Coriolis per una data sezione richiede che il flusso sia suddiviso in parti con velocità uniformemente distribuita. In pratica il flusso nelle golene viene suddiviso in base ai punti utilizzati per descrivere la geometria della sezione, e la capacità di portata in ogni posizione dell'area liquida è calcolata con la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} a r^{2/3} \qquad (4)$$

dove:

k = capacità di portata della porzione considerata;

n = coefficiente di Manning della porzione;

a = area della porzione;

r = raggio idraulico della porzione.

La capacità di portata totale dell'intera sezione è ottenuta come somma delle capacità delle singole porzioni nelle quali la stessa è stata suddivisa.

Le perdite di carico vengono calcolate come prodotto della lunghezza media pesata della tratta L, determinata con l'espressione (3), per la cadente piezometrica media.

Nelle espressioni analitiche utilizzate per il calcolo dei profili di moto sono implicite le seguenti osservazioni, che pertanto devono essere verificate nell'effettivo fenomeno fisico soggetto ad indagine:

(a) il moto è stazionario;

(b) il moto è gradualmente vario;

(c) il moto è unidimensionale (componenti della velocità in direzioni diverse da quella del moto non sono considerate);

(d) la pendenza del corso d'acqua è “piccola” (<10%).

Si assume il moto stazionario in quanto nelle equazioni utilizzate non compaiono i termini dipendenti dal tempo. Il moto deve essere di tipo gradualmente variato poiché l'equazione (1) si basa sull'ipotesi che in tutte le sezioni viga una distribuzione idrostatica delle pressioni.

Il moto deve essere monodimensionale poiché l'equazione (4) è basata sull'ipotesi che la quota energetica sia la stessa in tutti i punti di una sezione.

Si assumono poi pendenze “piccole” perché si assume di avere distribuzione idrostatica delle pressioni lungo le verticali, che per valori piccoli della pendenza possono essere identificate con le normali al moto.

3.2.3 Condizioni al contorno e scabrezze

Per le condizioni al contorno e le scabrezze si è fatto riferimento ai medesimi valori assunti nell'ambito dello studio idraulico del PP2012/16, con coefficiente di Strickler per l'alveo pari a 30 $m^{1/3}/s$ e condizione al contorno di valle rappresentata dallo sbocco a mare, assunta con quota di riferimento +0.5 m s.l.m..

3.2.4 Risultati ottenuti

I risultati così ottenuti ricostruendo la configurazione geometrica finale proposta dal PP2012/16, denominata "scenario 7" riconducibile alla configurazione illustrata al precedente *capitolo* 2, sono sostanzialmente allineati a quelli delineati nell'ambito del progetto preliminare, con una quota idrica T200 immediatamente a monte del ponte ex-ferroviario immediatamente a monte del ponte di foce pari a 3.38 m s.l.m. (in luogo dei 3.61 m s.l.m. definiti nell'ambito di "scenario 7" di PP2012/16) ed andamento del profilo idraulico nel tratto di interesse del tutto comparabile a quello calcolato e riportato in elaborazione idraulica di PP2012, come si evince dal confronto riportato a seguire:

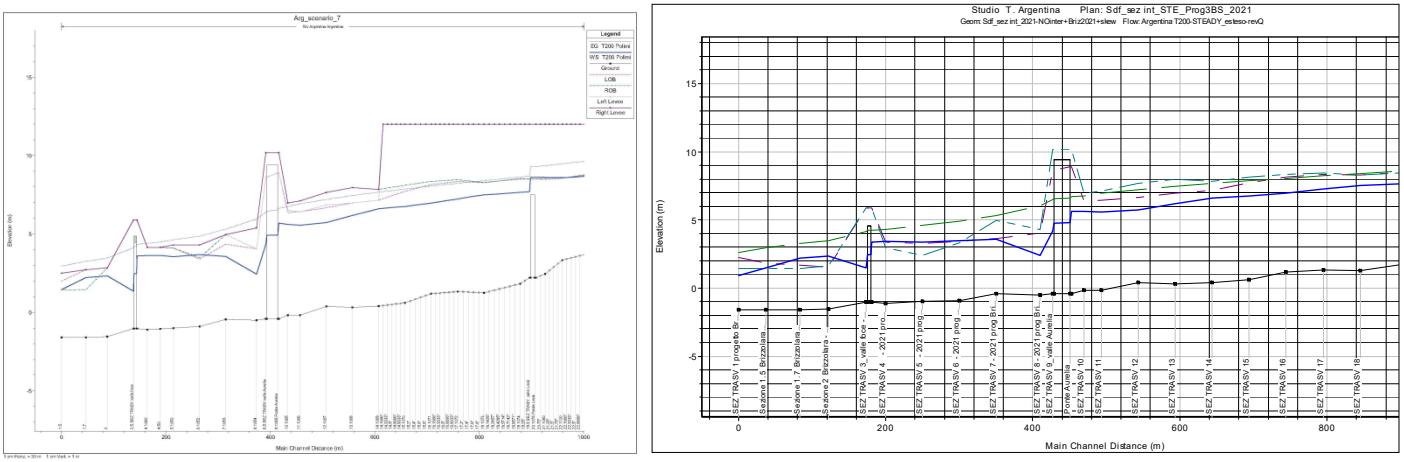


Figura 3-2: Profilo idraulico T200 del modello di simulazione di riferimento per l'assetto progettuale definito da PP2012/16 (c.d. "scenario 7": ricalibratura sezioni di deflusso, riprofilatura di fondo, arretramento linee di difesa specie in sinistra idraulica e apertura nuovo fornice in sx ponte di foce) e ricostruito nell'ambito del presente approfondimento

3.3 Valutazione dei risultati ottenuti ed elementi di criticità

Dalla conoscenza del corso d'acqua e delle problematiche acquisita dagli scriventi in sede di sviluppo dello Studio 2009, dall'analisi di dettaglio del PP2012/16, dalla presa visione dello stato dei luoghi, dalla ricostruzione delle elaborazioni in sede do PP2012/16 sono emersi alcuni elementi meritevoli di attenzione e particolare approfondimento, alcuni dei quali già individuati in fase istruttoria del PP2012/16, riconducibili sostanzialmente a:

A. l'effettivo funzionamento idraulico del ponte ex-ferroviario con l'adeguamento previsto in sede di preliminare, con particolare riferimento all'efficienza idraulica della nuova luce in sinistra ed alla quota duecentennale di riferimento (secondo i criteri di *Piano*) a monte del manufatto.

Tale livello si attesta infatti, nella sezione immediatamente a monte del ponte, su valori pari a 3.61 m s.l.m. (PP2012/16) - equivalente a 3.38 m s.l.m. di attuale rianalisi - non compatibili con le norme regionali (LR 3/2011) e nazionali (NTC2018) in materia di franchi idraulici, che impongo franchi minimi pari a 1.5 m da garantire almeno su 2/3 della luce in caso dei ponti ad arco e comunque per almeno 40 m. Nel caso in esame il franco massimo in corrispondenza della chiave degli archi (quota ca. 4.5 m s.l.m.) è, al contrario, dell'ordine di 1 m.

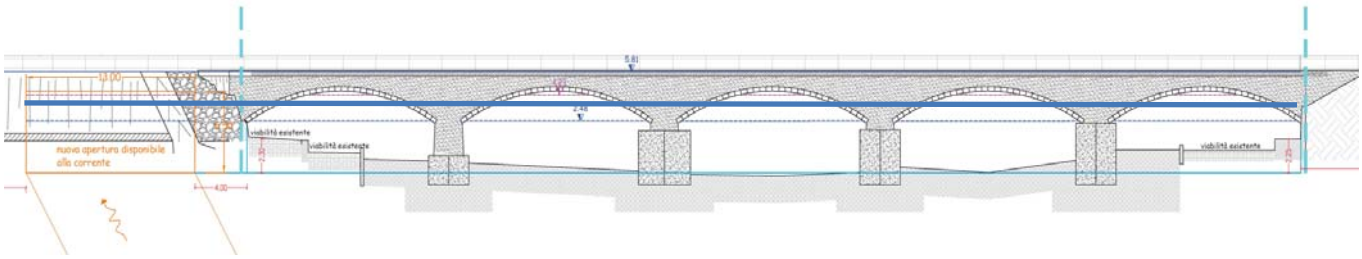


Figura 3-3: Sezione a monte del ponte di foce con indicazione del livello T200 risultante dalle valutazioni del PP2012/16 nello "Scenario 7" di riferimento progettuale secondo rielaborazione del progetto preliminare del 2016.

Peraltro la trasposizione di tali livelli sulla sezione del manufatto, con luci ad arco, evidenzia (Figura 3-3) la condizione di estrema criticità dell'opera, non compatibile né con uno scenario di messa in sicurezza idraulica (secondo i riferimenti normativi sopra richiamati) né di effettiva mitigazione del rischio, in relazione al fatto che

le luci risultano pressoché totalmente occluse dal deflusso di piena T200, al netto peraltro di probabili ulteriori situazioni di ostruzione connesse a fenomeni di trasporto di materiale flottante in corso di evento: rami, tronchi, materiale di altro tipo trasportato dalla corrente.

Lo “scenario 7”, la cui criticità di base trova conferma nel fatto che le portate T500 (*Figura 3-4*) di fatto tracimano il manufatto (quota estradosso ca. 5.80 m s.l.m.) nelle valutazioni di PP2012/16, come in questa sede confermato, mantiene una condizione di rischio non accettabile e non risolubile (ad esempio ulteriore ampliamento o realizzazione di ulteriori luci) in relazione ad un grado di insufficienza idraulica che si mantiene sostanziale nonostante gli importanti interventi previsti da PP2012/16 (completa riattivazione delle luci esistenti, riprofilatura di fondo, nuovo fornice in sinistra) ed alle situazioni di vincolo territoriale non ulteriormente gestibili attraverso ulteriori interventi che prescindano dalla rimozione del manufatto e realizzazione di una nuova opera secondo nuovi criteri di compatibilità idraulica (nuovo passerella ciclopedonale con, al più, una pila in alveo).

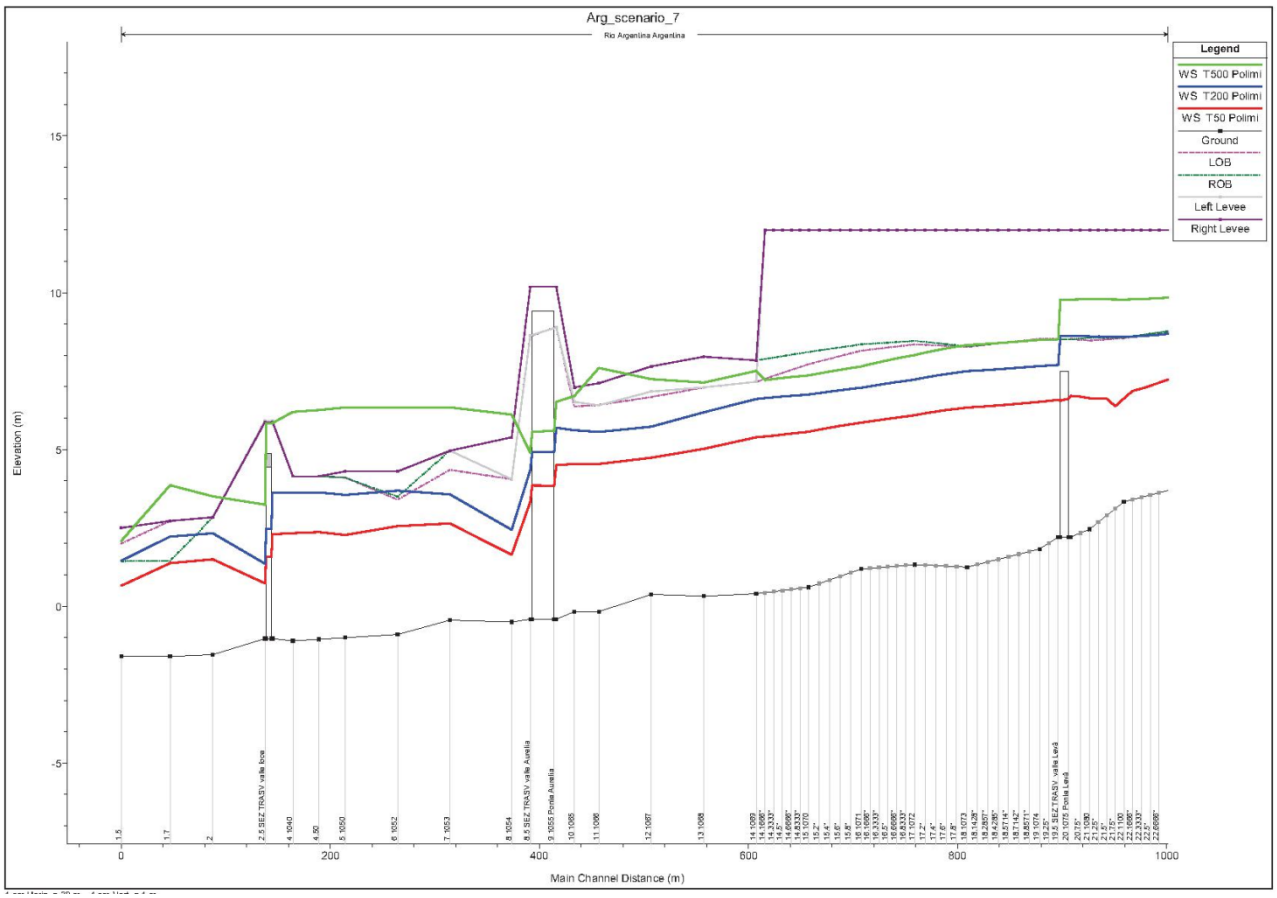


Figura 3-4: Profilo idraulico progettuale di riferimento ("scenario 7") nella valutazione di PP2012/16: in colore verde il profilo T500, con sormonto del manufatto di foce

B. l'effettivo comportamento idraulico nella zona a valle del ponte di foce correlata alla possibile influenza dei moli interni di foce, interni ed esterni, nonché all'ottimale posizionamento planoaltimetrico delle linee di difesa in relazione alla darsena in destra idraulica ed alle attività produttive in sinistra idraulica.

Ciò in riferimento al fatto che l'ultima sezione considerata nell'analisi idraulica sviluppata nel PP2012/16 (sezione idraulica c.d. "1.5"), in corrisponda della quale è stata imposta la condizione al contorno di valle in precedenza definita, si colloca a monte rispetto all'ingesso della darsena, nonché a monte rispetto ai moli interni (ed esterni) di foce, non consentendo quindi un'analisi efficacie in relazione al comportamento di piena del tratto terminale del corso d'acqua, alla possibile influenza delle opere di foce sopra richiamate, alla effettiva progettualità delle opere

di difesa, quali quelle correlate alla eventuale chiusura dell'imbocco della darsena nel corso di evento per la messa in sicurezza dei territori a tergo in destra.

A partire da tali considerazioni si è quindi sviluppato (*capitolo* 4) un approfondimento, in prima fase sulla base dei medesimi strumenti utilizzati nel PP2012/16 (modello monodimensionale in moto permanente) per valutare una possibile configurazione di progetto tale da garantire l'effettiva messa in sicurezza e la preliminare valutazione di alcune situazioni non risolte da PP2012/16 (punto "B" sopra illustrato). Successivamente, in relazione ad alcuni aspetti non pienamente definibili mediante modellazione monodimensionale, sono stati sviluppati ulteriori approfondimenti finalizzati, in particolare, alla definizione di alcuni aspetti di rilevanza progettuale: posizione ottimale della linea di difesa in destra idraulica a valle del ponte di foce, influenza dei moli interni di foce sui deflussi di piena, influenza delle condizioni al contorno di valle sulle quote idriche di progetto e, quindi, delle difese.

4. VALUTAZIONI IDRAULICHE PER LA NUOVA SOLUZIONE PROGETTUALE

4.1 Premessa

Secondo quanto illustrato ai paragrafi precedenti si è quindi proceduto a sviluppare una soluzione progettuale alternativa, che prevedesse, anche in relazione alle risultanze degli approfondimenti archeologici effettuati, la sostituzione del ponte ex-ferroviario, con contestuale valutazioni di sensitività ed approfondimento idraulico in relazione alcuni aspetti potenzialmente rilevanti ai fini progettuali (moli di foce, condizioni di valle, posizione delle linee di difesa a valle del ponte di foce).

In questo studio di una soluzione alternativa sono state tuttavia mantenute le linee di intervento delineate da PP2012/16, nonché da precedenti studi e progettazioni (con particolare riferimento allo ST2009), che indicavano comunque la necessità di un adeguamento delle sezioni di deflusso, con leggera ricalibratura di fondo alveo, anche correlata alle irregolarità di fondo rilevate correlate ad attività antropiche (dragaggi alla foce, sottoattraversamenti dismessi), e di realizzazione di nuove difese arginali per garantire il contenimento delle portate T200 con i franchi di norma (minimo tra 1 m e carico cinetico della corrente).

Tali interventi sono stati in questa sede nuovamente calibrati, in relazione al disegno progettuale alternativo delineato, e comunque ottimizzati, anche per quanto concerne l'entità degli allargamenti di sezione e di regolarizzazione del fondo, per consentire un migliore inserimento delle opere del territorio nel raggiungimento degli obiettivi di piena salvaguardia idraulica dei territori ricanti nei comuni di Taggia (destra idraulica) e Riva Ligure (sinistra idraulica).

4.2 Dati di base

4.2.1 Approfondimenti topografici e sullo stato dei luoghi

Negli approfondimenti progettuali si è fatto riferimento ai dati topografici di base disponibili e messi a disposizione dall'Amministrazione, demandando, di concerto

con i Dirigenti e Funzionari della Regione Liguria e del Settore Difesa del Suolo di Imperia, la campagna di indagine topografica ai successivi sviluppi progettuali.

Ciò, oltre che in relazione all'effettiva definizione degli interventi che sarebbe derivata dal presente PFTE, anche in considerazione della disponibilità di pregressi rilievi di dettaglio sui quali basare le presenti valutazioni, con particolare riferimento ai dati utilizzati nello sviluppo del PP2012/16, sostanzialmente coincidenti (a meno di integrazione nella zona a valle del ponte di foce), con quelli acquisiti ed implementati nell'ambito della revisione del Piano di Bacino del 2009.

I dati topografici disponibili sono stati confrontati ed analizzati criticamente: tali verifiche, confermate da parte dei Funzionari della Provincia, hanno evidenziato una sostanziale congruenza tra i dati topografici del PP2012/16 e di Studio 2009, con locali scostamenti nella zona di attacco dell'intervento a monte (ponte Aurelia), localizzati e tali comunque da non influenzare la definizione del disegno progettuale di messa in sicurezza oggetto di valutazione, fermo restando la necessità di procedere, nei successivi sviluppi, alle necessarie valutazioni correlate ad alcune situazioni quali quelle del nodo di monte dell'intervento.

Anche gli ulteriori elementi di rilievo messi a disposizione dall'Amministrazione, riconducibili alla recente campagna effettuata (inizio 2021) per conto del Comune di Riva nell'ambito dei "*Lavori di somma urgenza per il ripristino delle condizioni di deflusso del tratto di torrente Argentina compreso tra il ponte della via Aurelia ed il ponte della pista ciclopedonale di Area 24 mediante risagomatura dell'alveo*", che ha riguardato il solo tratto compreso tra la SS1 ed il ponte di foce (con l'eccezione dei manufatti per i quali la campagna rimanda alle precedenti sezioni di ST2009) hanno evidenziato, oltre che la condizione di sovralluvionamento d'alveo correlata all'evento di piena di Ottobre 2020, leggeri rimodellamenti delle linee di sponda ed una sostanziale congruenza rispetto ai dati pregressi, con scostamenti massimi in quota rispetto agli elementi fissi stimabili nell'ordine dei 20-30 cm.

In relazione al tratto di foce si evidenzia invece come, nel corso del sopralluogo effettuato dagli scriventi nel Febbraio 2021, si sia riscontrato l'assenza del molo interno di foce in destra ed una conformazione del molo in sinistra significativamente variata rispetto alle precedenti configurazioni desumibili da rilievi e precedente do-

cumentazione fotografica, peraltro oggetto di continui rimaneggiamenti correlati alle attività cantieristiche ed estrattive localizzate in sinistra foce ed attive anche al momento della presa visione dei luoghi.

Alla luce quindi della finalità del progetto e di una conformazione di tali elementi soggetta a frequenti modificazioni si è optato, in questa sede, per approfondire la soluzione progettuale sia in presenza che in assenza dei moli interni, valutando quindi, con apposita analisi di sensitività, i possibili effetti sui deflussi di piena correlati alla loro presenza, fermo restando la necessità di futuri specifici approfondimenti idraulici dovuti alla loro effettiva configurazione qualora, in futuro, venissero attuate azioni di totale ripristino o di significativo rimodellamento degli stessi.

4.2.2 Codice di calcolo monodimensionale

Ai fini dell'elaborazione di una configurazione progettuale alternativa di messa in sicurezza rispetto a quella delineata nel PP2012/16 si è fatto in prima istanza riferimento al modello idraulico monodimensionale Hec-Ras già descritto al precedente *paragrafo 3.2.1.*

4.2.3 Condizione al contorno e scabrezze

Le condizioni al contorno utilizzate per la modellazione monodimensionale sono costituite dalle portate al colmo di piena T50, T200 e T500 aggiornate nel 2007 dal Politecnico di Milano riferite alla sezione di foce del T. Argentina riportate nella tabella a seguire:

Sezione	**Q 50 POLIMI**	**Q 200 POLIMI**	**Q 500 POLIMI**
Alla foce	**1074**	**1690**	**2245**

Tabella 4.1: Argentina chiuso alla foce - portate al colmo di piena Politecnico di Milano 2007 adottate da Piano e quindi utilizzate nell'ambito del presente progetto

Come condizione al contorno di valle è stato considerata una quota del livello mare allo sbocco pari a + 0.5 m s.l.m. in corrispondenza dell'ultima sezione rilevata. E' stata tuttavia condotta un'analisi di sensibilità per valutare come livelli di stato di fatto potessero subire variazioni al variare del livello di mare allo sbocco.

In relazione al parametro di scabrezza d'alveo è stato utilizzato un coefficiente di Strickler K_s=30 $m^{1/3}$/s conforme anche con i valori di riferimento previsti anche dalla Normativa di *Piano*.

4.3 Definizione soluzione progettuale alternativa

4.3.1 Adeguamento delle sezioni di deflusso in continuità con le previsioni di PP2012/16 e con sostituzione del manufatto di foce

A partire dalla soluzione delineata da PP2012/16 che prevedeva il risezionamento e la riprofilatura delle sezioni di deflusso, la realizzazione di un nuovo fornice per l'adeguamento dell'attraversamento ex ferroviario e il rimodellamento della sponda sinistra a valle di esso, con demolizione del molo interno in sinistra, e tenendo conto degli elementi di criticità richiamati al precedente *paragrafo 3.3*, sono state studiate con modellazioni monodimensionali varie ipotesi di adeguamento con regolarizzazione delle sezioni di deflusso per definire quella ottimale in relazione al funzionamento idraulico ed al contesto territoriale in cui le opere di difesa devono essere inserite.

In particolare sono state implementate possibili configurazioni d'alveo finalizzate ad ottenere un funzionamento idraulico regolare ed i correlati interventi per il contenimento delle quote idriche T200 con i franchi di sicurezza idraulici previsti da norma. Nella definizione di tale assetto si è considerato la possibilità, in continuità con le linee di intervento richiamate al precedente *paragrafo 3.1* e coerentemente con le risultanze degli approfondimenti archeologici effettuati (per i quali si rimanda alla specifica relazione allegata al progetto), di sostituzione del manufatto di foce con un nuovo attraversamento ciclopedonale idraulicamente meno impattante.

La rimozione del manufatto ex-ferroviario ha comportato anche la revisione, rispetto alle previsioni di progetto preliminare, della linea di difesa in sinistra idraulica, non essendo più necessario il cospicuo arretramento della stessa determinata dalla necessità di imbocco della nuova luce, con conseguente significativa riduzione dell'impatto sul territorio correlato alla realizzazione delle nuove opere.

In relazione a tale assetto anche l'adeguamento planimetrico della linea di difesa in sinistra a valle dell'esistente manufatto di foce è stato rivisto e ricontestualizzato all'effettivo stato dei luoghi, pur mantenendo, nella definizione dell'assetto progettuale, la rimozione del molo interno di foce in sinistra già delineata nell'ambito del PP2012/16 sulla base delle ulteriori considerazioni esplicitate al precedente *paragrafo 4.2.1.*

Sempre a valle del ponte ex-ferroviario, a differenza di quanto prospettato da PP2012/16 e da *Piano*, di concerto con l'Amministrazione si è invece valutato un nuovo andamento della linea di difesa in destra in prossimità dell'esistente darsena, con arretramento delle nuove arginature ad includere la nuova zona portuale per garantire un minore impatto delle opere sul territorio sulla zona fociva di valle e l'effettiva possibilità di difesa dei territori a tergo mediante contenimento delle piene di riferimento, difficilmente attuabile e mantenibile attraverso dispositivi (tipo porte vinciane, sommergibili) a chiusura dell'imbocco della darsena. In relazione a tale aspetto si sono quindi resi necessari ulteriori approfondimenti illustrati al *paragrafo 4.4.4*.

Nel tratto a monte del manufatto ex-ferroviario l'assetto progettuale derivante dall'approfondimento considera una ricalibratura delle sezioni d'alveo, con allargamento delle sezioni di deflusso e regolarizzazione del fondo alveo in continuità con quanto definito, oltre che da progetto preliminare a base di gara, anche dallo Studio 2009 propedeutico alla revisione del Piano di Bacino con appositi approfondimenti morfodinamici in quella sede condotti.

Si rileva come, a meno della nuova linea di difesa in destra idraulica a valle del ponte di foce, tutti gli interventi in questa sede delineati (adeguamento in quota delle difese, rimozione con sostituzione del ponte di foce, rimodellamento dei pennelli di foce, regolarizzazione di fondo) siano in linea con le previsioni indicate nel *Piano degli Interventi*, già richiamate al precedente *paragrafo* 2.

Le opere così previste sono state oggetto dei necessari approfondimenti in relazione a diversi aspetti idraulici, strutturali, paesaggistici ed urbanistici, pur nella necessità, qualora il nuovo assetto sistematorio in questa sede delineato trovi so-

stanziale condivisione da parte degli Enti preposti, di ulteriori analisi nei successivi sviluppi progettuali o attuativi.

In particolare, come già anticipato al precedente *paragrafo 4.2.1*, per valutare preliminarmente l'influenza sui deflussi di piena connessa alla presenza dei moli interni di foce sono stati effettuati approfondimenti con modellazioni bidimensionali nella zona di foce in relazione ai quali si rimanda al successivo *capitolo* 0., fermo restando la necessità di futuri specifici approfondimenti correlati alla loro effettiva configurazione qualora, in futuro, venissero attuate azioni di totale ripristino o di significativo rimodellamento degli stessi.

Per quanto riguarda invece la prevista risagomatura delle sezioni e regolarizzazione del talweg nel tratto dalla SS1 al ponte di foce, anche in relazione alle indicazioni previste dalle direttive DGR 16/2007 e DGR 226/2009, si è optato per una configurazione di regolarizzazione che tenesse conto dei seguenti elementi:

a. l'eliminazione dell'irregolarità di fondo alveo posta immediatamente a monte del ponte di foce correlato alla presenza di servizi fognari ormai dismessi;
b. l'eliminazione dell'ostacolo determinato dal ponte di foce che comporta, stante l'elevato impatto determinato dalle pile e dal manufatto stesso, il venir meno dell'attuale comportamento caratterizzato da rallentamento della corrente, deposito a monte ed accelerazione in corrispondenza ed a valle dell'attraversamento;
c. gli studi morfodinamici sviluppati dagli scriventi nell'ambito dello ST2009, recepiti nell'ambito del *Piano*, che già analizzavano e prevedevano tale intervento;
d. le non note condizioni di artificiale manutenzione della zona di foce (frequenza dei dragaggi, volumi asportati, ecc…) che, allo stato attuale, non consentono valutazioni di maggior dettaglio rispetto a quelle in precedenza elaborate.

In relazione a tali aspetti la leggera ricalibratura di fondo rispetto alle condizioni del rilievo in questa sede assunto a riferimento (dell'ordine di 80 cm di approfondimento del talweg nella sezione di massima riprofilatura collocata immediatamente a monte rispetto al manufatto di foce), pur nella opportunità di ulteriori valutazioni

anche in relazione all'assetto finale che deriverà dai già citati interventi in fase attuativa da parte di altri Professionisti per conto del Comune di Riva a seguito dell'evento alluvionale di Ottobre 2020 (e dai correlati studi in fase di stesura), nonché delle informazioni che potranno essere acquisite in relazione ai periodici interventi di manutenzione della foce, risulta essere compatibili con gli obiettivi di progetto anche in relazione alle verifiche effettuate al successivo paragrafo finalizzate alla valutazione, con analisi di sensitività, di efficacia degli interventi progettati nell'ipotesi di mantenimento delle quote di fondo in questa sede assunte a riferimento (rilievo di Piano di Bacino).

4.3.2 Adeguamento delle sezioni di deflusso senza ricalibratura di fondo

Nelle more di poter disporre di ulteriori elementi di cui al precedente paragrafo secondo indicazione dell'Amministrazione sono state effettuate simulazioni idrauliche nella configurazione geometrica d'alveo di progetto che prevede il mantenimento dell'attuale talweg anche nel tratto tra la SS1 ed il ponte ex ferroviario.

Ciò al fine di verificare la capacità di contenimento degli eventi T50 e la massima officiosità idraulica smaltibile al netto dei pur limitati interventi di riprofilatura previsti.

Le verifiche idrauliche così condotte hanno evidenziato come, anche confermando il talweg di rilevo per le sezioni a monte rispetto all'attuale ponte di foce (a valle di esso nessuna regolarizzazione di fondo è di fatto prevista), le linee di difesa consentono il contenimento delle piene cinquantennali nel rispetto dei franchi previsti dalla LR 3/2011 e garantiscono una officiosità idraulica del tratto dell'ordine dei 200 anni.

4.4 Approfondimenti correlati alla zona di foce

4.4.1 Premessa

A partire dal nuovo assetto progettuale delineato illustrato al precedente *paragrafo 4.3* sono stati condotti, mediante modellazione idraulica bidimensionale, alcuni approfondimenti che hanno specificatamente riguardato la zona di foce in relazione a tre spetti:

1. la posizione planimetrica della linea di difesa in destra idraulica a valle del ponte di foce;
2. l'influenza dei moli interni di foce sui deflussi di piena;
3. l'influenza della condizione al contorno di valle sulle quote idriche e di difesa nelle sezioni più a valle.

In relazione a tali aspetti sono state condotte apposite modellazioni variando la configurazione geometrica e le condizioni al contorno, secondo quanto illustrato ai paragrafi a seguire.

4.4.2 Codice di calcolo bidimensionale

Per la modellazione della zona di foce ad approfondimento degli aspetti evidenziati al precedente paragrafo, è stato realizzato un modello basato sul codice di calcolo HEC-RAS 5 nella sua modalità bidimensionale (http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/).

La versione 5 del noto codice di calcolo statunitense alla classica modellazione 1D aggiunge la possibilità di schematizzare parte o tutto il dominio di calcolo con approccio bidimensionale.

In 2D HEC-RAS 5 discretizza il dominio di calcolo con griglie non strutturate con celle fino ad 8 lati e le equazioni di De Saint Venant sono risolte con la tecnica dei volumi finiti, che garantisce la conservazione della massa anche nelle fasi di *flood* and *dry*.

La specificità della modellazione 2D con HEC-RAS 5 è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica (DEM) più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Questa prerogativa lo diffe-

renzia in maniera netta rispetto a tutti gli altri software di modellazione 2D, dove l'informazione topografica è al più sui nodi di calcolo.

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

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

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

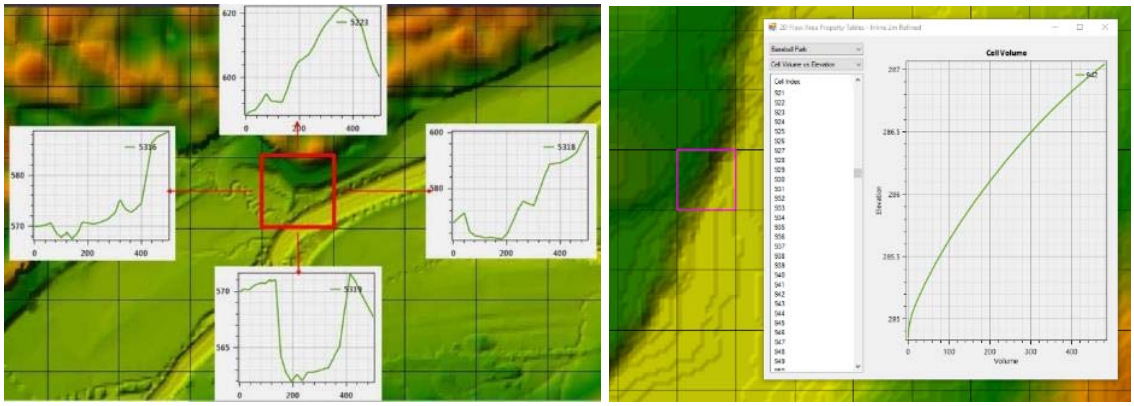


Figura 4.1 - Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato.

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

4.4.3 Dati topografici di base, condizioni al contorno e scabrezze

Per tali approfondimenti si è fatto riferimento ai dati di rilievo topografici ed agli approfondimenti sullo stato dei luoghi già dettagliatamente descritti ai precedenti *paragrafi 3.2.1* e *4.2.1.*

Per la scabrezza d'alveo è stata mantenuto un coefficiente di Strickler K_s=30 $m^{1/3}/s$, mentre per quanto riguarda le condizioni al contorno di monte e valle si è

fatto rispettivamente riferimento agli idrogrammi definiti dal Politecnico di Milano (*paragrafo* 2) ed, in prima istanza, ad un valore pari a + 0.5 m s.l.m. con successiva analisi di sensitività per valutare potenziali effetti di sovralzi correlati a diverse condizioni meteomarine.

4.4.4 Posizione linea di difesa in destra – area darsena

In relazione a quanto evidenziato ai precedenti *paragrafi 3.3* e *4.2.1*, dall'analisi del PP2012/16 e dalla presa visione dello stato dei luoghi è emersa l'opportunità di effettuare alcuni approfondimenti in merito al più idoneo posizionamento planoaltimetrico della nuova linea di difesa in destra a valle del ponte ex-ferroviario.

Il progetto preliminare, anche nell'incertezza correlata ad una analisi idraulica del tratto di foce non sufficientemente sviluppata (con ultima sezione inserita nel codice di calcolo posta a monte dell'ingresso della darsena e dei moli di foce, tale quindi da non consentire valutazione alcuna in relazione alla possibile influenza di questi ultimi sui deflussi, nonché non prevedendo considerazioni progettuali sulla effettiva possibilità di chiusura dell'ingresso alla darsena in occasione delle piene), prevedeva, in sinistra, nuove linee di difesa collocate con arretramenti rispetto allo stato di fatto e demolizione del molo di foce interno ed, in destra, la realizzazione di nuove arginature lungo le attuali sponde del torrente, coincidenti con la banchina della darsena.

Per garantire un migliore inserimento delle opere in progetto e consentire un'effettiva possibilità di chiusura delle linee di difesa e di messa in sicurezza delle aree poste a tergo di esse, con particolare riferimento all'ingresso della darsena, è stata quindi studiata in questa sede una soluzione che, contenendo gli arretramenti in sponda sinistra (anche in relazione alla non più prevista realizzazione del nuovo fornice per il ponte ex-ferroviario), includesse la zona portuale in destra in un più ampio progetto di riqualificazione urbana della zona di foce in destra.

Tale soluzione è stata preliminarmente analizzata dal punto di vista idraulico mediante modellazione monodimensionale, che ha fornito preliminari indicazioni in relazione ai possibili effetti, dal punto di vista idraulico, di tale scelta.

In particolare dal punto di vista dell'analisi monodimensionale l'allargamento delle sezioni idrauliche di progetto con inclusione della zona della darsena determina, come era ipotizzabile in relazione al comportamento di corrente "lenta" del tratto di terminale, un leggero incremento delle quote idriche T200 ma contestuale leggero abbassamento delle quote energetiche, che costituiscono uno dei parametri di riferimento per la determinazione delle quote di difesa, secondo quanto illustrato in *Figura 2-1* a seguire.

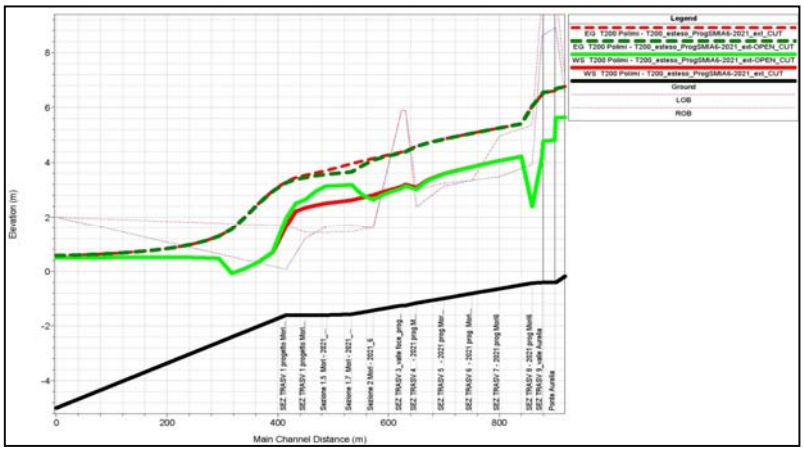


Figura 4.2 Profilo idraulico (quote idriche ed energetiche) di progetto T200 derivante da modellazione monodimensionale nell'ipotesi di inclusione (colore verde) od esclusione (colore rosso) dell'area della darsena

Per valutare esaurientemente il comportamento idraulico della nuova soluzione, sia nell'ipotesi che considera l'inclusione delle aree prospicienti la darsena sia nell'ipotesi di chiusura seguendo esattamente il perimetro della darsena stessa, è stato tuttavia realizzato un modello bidimensionale che ha sostanzialmente confermato e meglio dettagliato l'effettivo comportamento idraulico secondo quanto riportato nelle figure a seguire.

Si evidenzia come, nella necessità di definire un andamento delle linee di difesa per la zona portuale effettivamente compatibile, oltre che in termini di quote, dal punto di vista di effettiva efficacia della chiusura nonché di ottimale inserimento delle opere nel contesto, tenendo conto delle diverse esigenze ed eventuali opportunità (sicurezza idraulica, utilizzo della darsena, riqualificazione urbanistica dell'area), potranno essere valutate altre soluzioni considerando anche i progetti di riqualificazione del porto in fase di sviluppo da parte del Comune di Taggia, fermo

restando la primaria necessità di messa in sicurezza per la zona del porto e dell'abitato posto a tergo di esso.

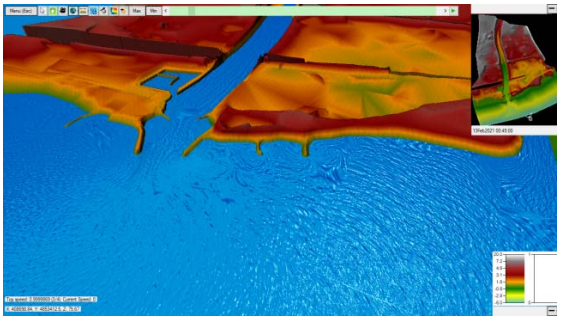


Figura 4.3: Vista 3D della geometria zona di foce ricostruita mediante modellazione 2D

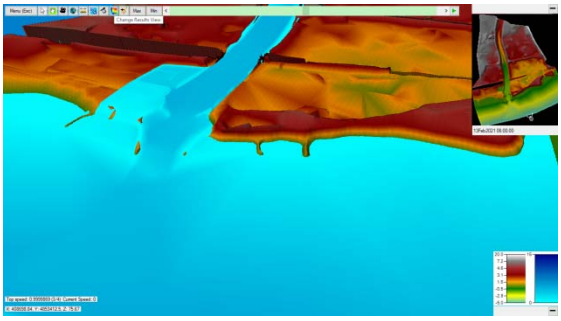


Figura 4.4: Vista 3D dei tiranti massimi della zona di foce per evento duecentennale

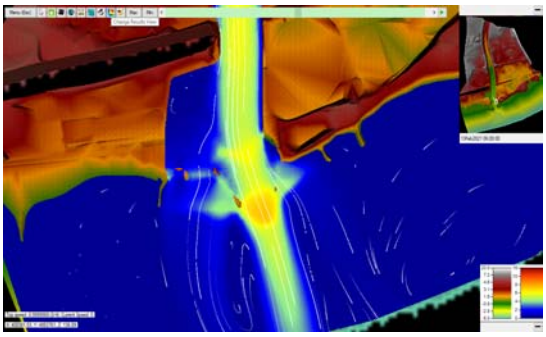


Figura 4.5: Mappa delle velocità della zona di foce per evento due centennale e traccianti di velocità

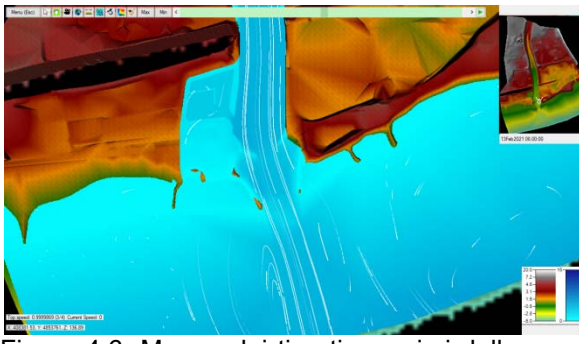


Figura 4.6: Mappa dei tiranti massimi della zona di foce per evento due centennale e traccianti di velocità

4.4.5 Moli interni di foce

In relazione ai moli di foce ed a quanto considerato al precedente *paragrafo 4.2.1*, si richiama come l'assetto progettuale di riferimento sulla base del quale, alla fine dei presenti approfondimenti, si è valutato di determinare le quote di difesa non consideri, di fatto, la presenza di tali elementi. Ciò in relazione alla loro assai variabile configurazione correlata a frequenti rimaneggiamenti e modifiche, comprovata anche all'assenza del molo in destra riscontrata in occasione della presa visione dei luoghi del mese di Febbraio.

Tramite modello 2D è stata tuttavia effettuata una analisi di sensitività per valutare l'influenza di tali moli sui deflussi di piena, e quindi sulle quote di progetto (idriche e di difesa).

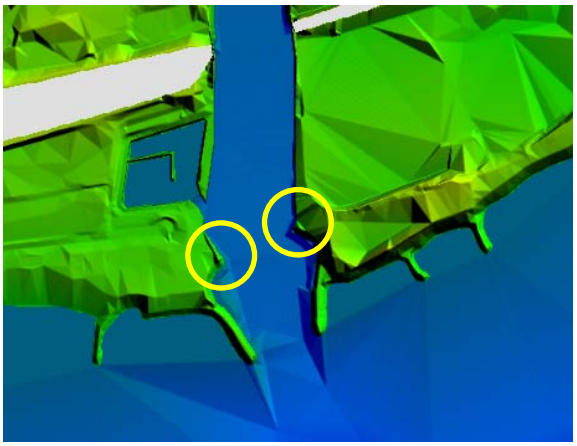


Figura 4.7: DEM della zona di foce utilizzato per la verifica idraulica 2D nella configurazione che non considera la presenza dei moli interni (configurazione di riferimento progettuale)

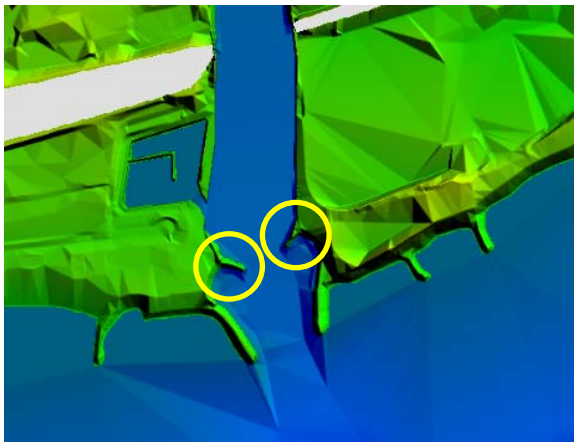


Figura 4.8: DEM della zona di foce utilizzato per la verifica idraulica 2D nella configurazione che considera la presenza dei moli interni (analisi di sensitività)

Le preliminari valutazioni così effettuate, sempre con riferimento all'evento duecentennale di riferimento, hanno evidenziato una influenza comunque contenuta nel margine di sicurezza del franco, in relazione alle due configurazioni geometriche degli stessi in questa sede ipotizzate. In corrispondenza della sezione c.d. "1.5" collocata in corrispondeva della darsena, i sovralzi correlati all'ipotetica presenza di tali elementi (*Figura 4.8*) rispetto all'assetto che non li prevede (*Figura 4.7)* risultano dell'ordine dei 20 cm, come evidenziato nelle figure riportate a seguire, tali quindi da essere assorbiti nell'ambito dei franchi di sicurezza idraulici considerati nella determinazione delle nuove difese. Tale effetto si esaurisce progressivamente verso monte fino ad annullarsi sostanzialmente in prossimità della sezione n.6 di rilievo.

Si richiama tuttavia come l'estrema variabilità di configurazione di tali elementi, riscontrata anche in occasione dei sopralluoghi effettuati secondo quanto in precedenza evidenziato, renda comunque necessario l'effettuazione di specifiche valutazioni idrauliche in relazione ai deflussi di piena del Torrente correlate alla loro effettiva geometria qualora, in futuro, venissero attuati interventi di ripristino o rimodellamento degli stessi.

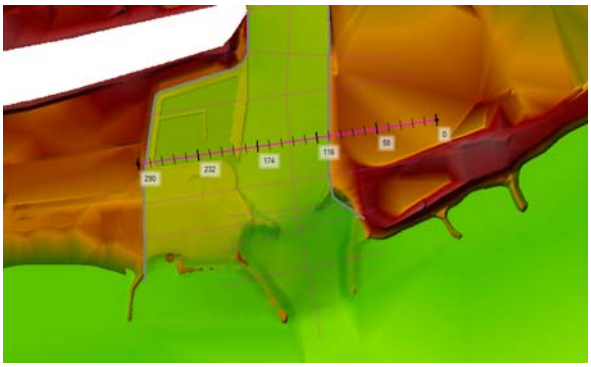


Figura 4.9: DEM e traccia della sezione c.d. "1.5" di riferimento per la valutazione degli effetti correlati ai moli di foce nelle due configurazioni ipotizzate a riferimento: assenza dei moli (*Figura 4.7*) e possibile configurazione risultante da precedenti rilievi (*Figura 4.8*)

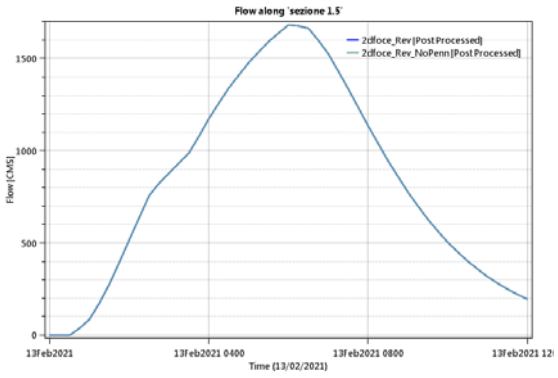


Figura 4.10: Idrogramma T200 in transito alla sezione c.d. 1.5

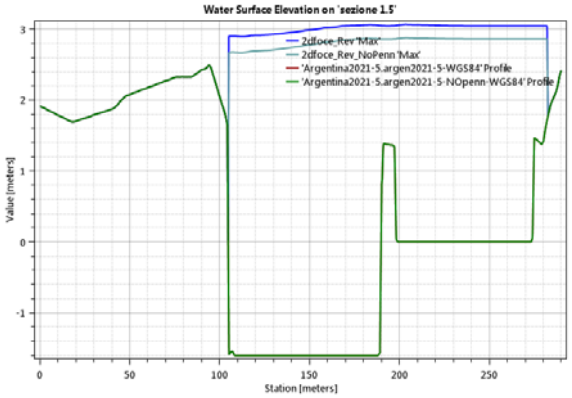


Figura 4.11: Quote idriche T200 in corrispondenza della sezione c.d. 1.5 nelle due configurazioni ipotizzate in assenza ed in presenza dei moli interni di foce

4.4.6 *Condizione al contorno di valle*

Come in precedenza accennato tramite modellazione 2D sono stati condotti approfondimenti finalizzati, nel tratto a valle del ponte ex-ferroviario, anche a valutare l'effetto della condizione al contorno di valle delle quote idriche, e quindi di difesa, duecentennali di riferimento. In particolare, in aggiunta alla configurazione di riferimento progettuale che considera un livello a mare pari a +0.5 m s.l.m. ritenuto verosimile in relazione a potenziali situazioni di sovralzo di marea, sono state effettuate ulteriori analisi variando tale valore sino al valore limite di 2.0 m s.l.m., già considerato in sede di PP2012/16, per considerare potenziali effetti correlati a situazioni meteomarine avverse in occasione degli eventi di piena.

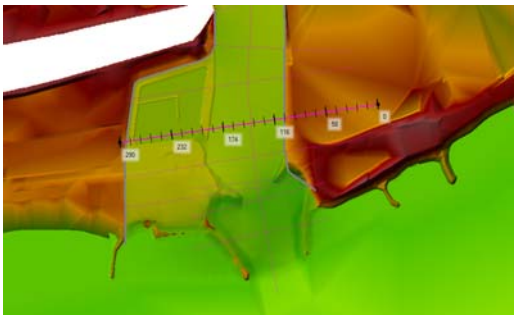


Figura 4.12: DEM e traccia della sezione c.d. “1.5” di riferimento per la valutazione degli effetti correlati alle variazioni della condizione al contorno di valle

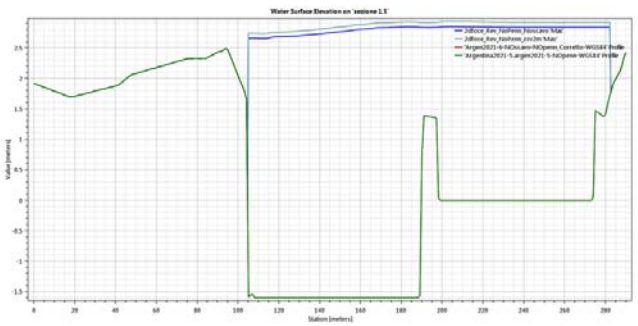


Figura 4.13: Idrogramma T200 in transito alla sezione c.d. 1.5

Tali analisi, contestualizzate sempre sulla sezione c.d. “1.5” localizzata in corrispondenza della darsena ed assunta a riferimento, hanno evidenziato una non rilevante influenza delle condizioni al contorno di valle anche nel tratto di foce del corso d’acqua, ossia a valle del ponte ex-ferroviario, con scostamenti di livello in tale sezione dell’ordine di pochi cm secondo quanto evidenziato in *Figura 4.13*.

4.5 Valutazioni in merito ad un possibile Primo Lotto funzionale

4.5.1 Premessa

In relazione ad una stima economica dell’intervento superiore rispetto ai finanziamenti disponibili, e quindi della necessità di individuazione di un primo lotto funzionale compatibile con la attuale disponibilità economica, su richiesta dell’Amministrazione sono stati effettuati ulteriori approfondimenti idraulici finalizzati alla valutazione dei benefici, in termini di mitigazione del rischio, correlati alla realizzazione di un possibile Primo Lotto funzionale.

In particolare nell’ambito di tale Primo Lotto sono state valutate le due alternative complementari che, nel rispetto del disegno idraulico complessivo di messa in sicurezza idraulica valutato nel PFTE di cui ai paragrafi precedenti, considerano, in aggiunta della demolizione e sostituzione del ponte ex ferroviario, i soli interventi a monte del ponte stesso (tratto SS1-ponte di fece) ovvero a valle di esso (tratto ponte di foce-sbocco a mare).

Ai fini di tali analisi sono state condotte apposite modellazioni bidimensionali, sviluppate sulla base del codice di calcolo descritto al precedente *paragrafo 4.4.2*, finalizzate ad una valutazione complessiva degli allagamenti residui che si verrebbero a determinare nelle aree esterne all'alveo non potendo attuare in prima istanza, per le motivazioni sopra esplicitate, il disegno complessivo di messa in sicurezza idraulica del territorio, conseguibile attraverso la realizzazione di successivi lotti funzionali nell'ottica di una progressiva mitigazione del rischio.

Tali nuovi approfondimenti sono stati quindi focalizzati non esclusivamente sull'alveo od a particolari "nodi" o aspetti progettuali (*paragrafo* 0) ma, più in generale, anche sulle aree perifluviali esterne ad esso ed alle dinamiche di allagamento e di propagazione dei deflussi esondati stante l'impossibilità, in prima fase, di garantire un livello di sicurezza duecentennale per tutto il territorio.

4.5.2 Dati topografici

Ai fini delle valutazioni sopra esposte per la costruzione dell'alveo si è fatto riferimento ai dati topografici di rilievo già richiamati ai precedenti *paragrafi 3.2.1 e 4.2.1* nonché alla configurazione di progetto secondo il disegno di sistemazione complessivo in questa sede proposto per il raggiungimento della messa in sicurezza nel tratto tra la SS1 e lo sbocco a mare.

In particolare quindi, per la valutazione della configurazione che considera priorità attuativa per gli interventi a valle (interventi solo nel tratto dal ponte ex ferroviario fino allo sbocco), è stato realizzata una batimetria che considera le attuali sezioni d'alveo fino al ponte di foce, ovvero fino alla sezione n.5 a monte del ponte stesso a partire dalla quale si sviluppa un tratto di raccordo con la configurazione d'alveo di progetto (nuove sezioni e linee di difesa) previsto dal ponte stesso fino a mare.



Figura 4-14: Modello digitale del terreno e immagine aerea correlata all'ipotesi di Primo Lotto con realizzazione degli interventi da valle verso monte

Nell'ipotesi "complementare" di priorità agli interventi di monte (interventi solo nel tratto SS1-ponte ex-ferroviario) è stata invece considerata una batimetria d'alveo adeguata (in termini di risezionamenti e riprofilatura di fondo) nel solo tratto compresa tra la l'Aurelia e il ponte di foce. A valle di esso, terminati i muri di difesa sulle spalle del ponte, le linee di difesa si riportano in coincidenza con le attuali banchine in destra e sinistra, dopo un breve tratto di raccordo immediatamente a monte della darsena.

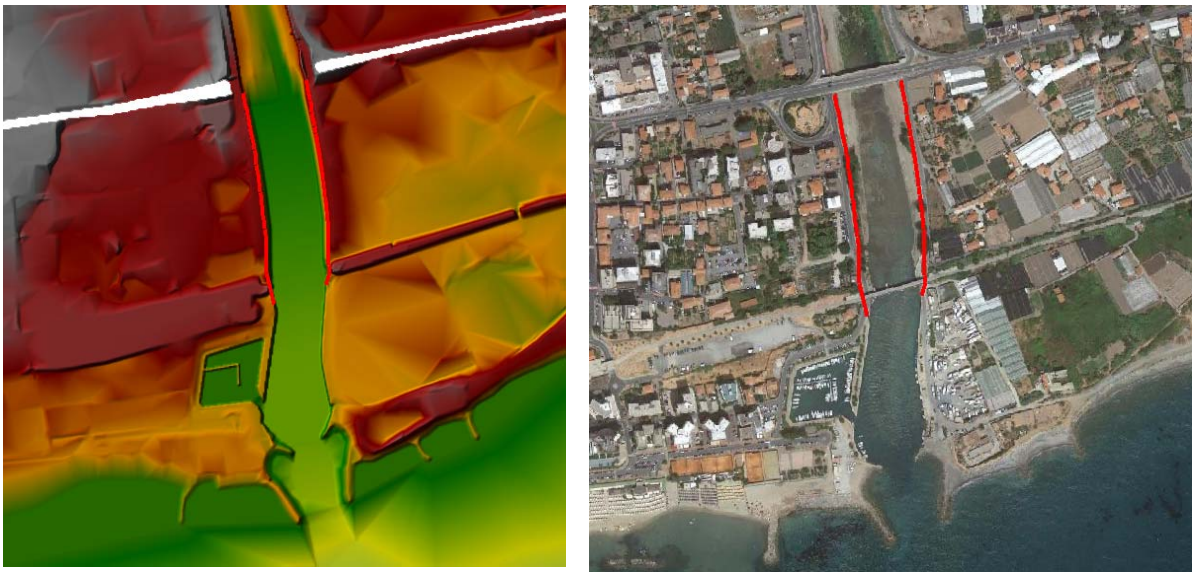


Figura 4-15: Modello digitale del terreno e immagine aerea correlata all'ipotesi di Primo Lotto con realizzazione dei soli interventi dal ponte della SS1 fino al ponte ex-ferroviario

Per la aree esterne all'alveo, previa verifica della sostanziale assenza di nuovi elementi territoriali intervenuti negli ultimi anni in grado, potenzialmente, di modificare significativamente i processi di propagazione dei volumi esondati, ai fini della presente analisi si è invece fatto riferimento ai dati topografici già utilizzati dagli scriventi nell'ambito dello Studio 2009, recepito in sede di variante di Piano, ed in larga parte correlati alla cartografia regionale integrata con verifiche puntuali.

Ciò anche al fine di consentire la possibilità di un confronto omogeneo e coerente, specie in termini di tiranti T50 e T200, rispetto alle mappature vigenti in termini di beneficio (o aggravio) di rischio connesso alla preliminare esecuzione di un Primo Lotto funzionale.



Figura 4-16: Mappa dei tiranti T200 correlata all'attuale perimetrazione di Piano di Bacino secondo quanto definito da *Studio per la predisposizione alla variante al Piano di Bacino a seguito della ridefinizione delle portate di massima piena* - ST2009

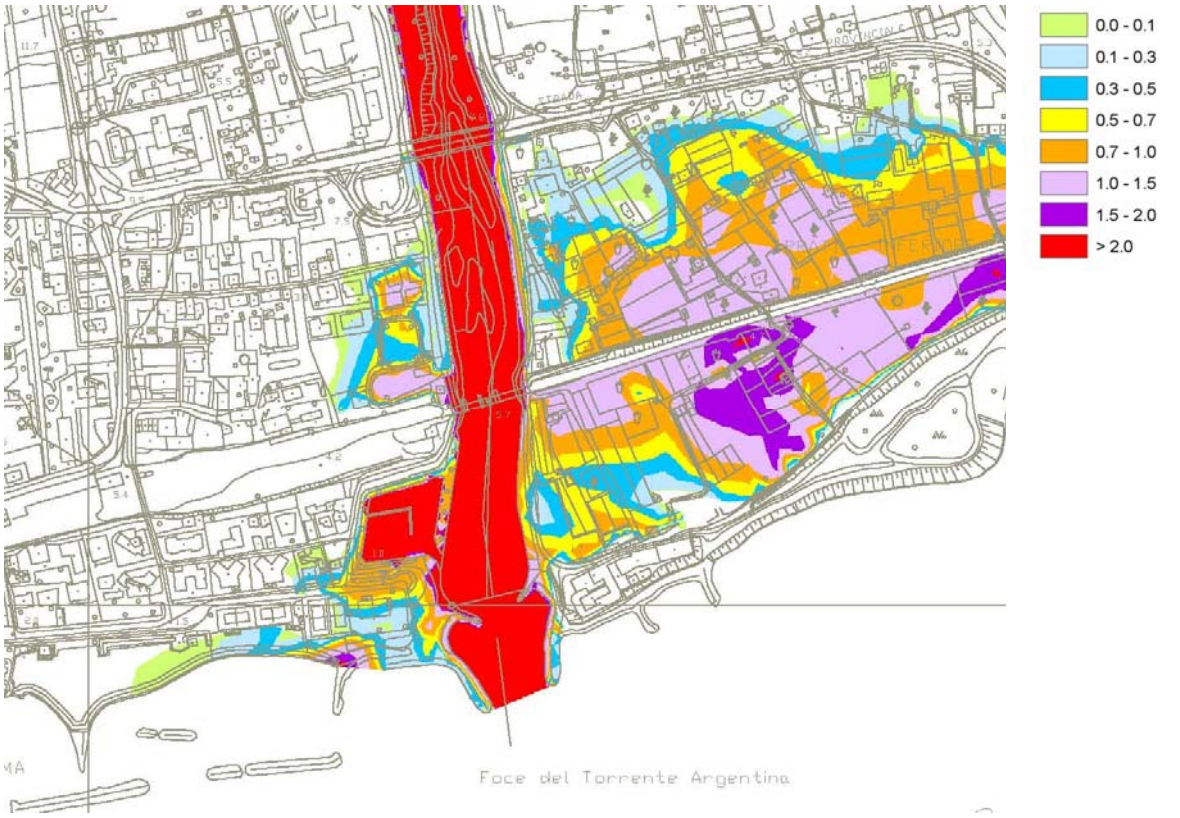


Figura 4-17: Mappa dei tiranti T50 correlata all'attuale perimetrazione di Piano di Bacino secondo quanto definito da *Studio per la predisposizione alla variante al Piano di Bacino a seguito della ri-determinazione delle portate di massima piena* - ST2009

4.5.3 Condizioni al contorno e scabrezze

Come condizioni al contorno di monte sono stati considerati gli idrogrammi di piena alla foce T50 e T200, con colmi rispettivamente pari a 1074 mc/s e 1690 mc/s (*Tabella 4.1*) valutati nell'ambito dello studio del Politecnico di Milano di cui al precedente *paragrafo* 2 e già utilizzati dagli scriventi nell'ambito del ST2009 ai fini della determinazione degli attuali fasce di allagamento ed ambiti normativi, poi recepiti nel Piano vigente. Tali idrogrammi sono stati interamente immessi in corrispondenza di una sezione di monte del modello localizzata poco a valle del ponte di Levà: ciò in relazione sia ai non significativi effetti di laminazione/esondazione nel tratto immediatamente a monte (l'idrogramma in corrispondenza del ponte di Levà presenta colmo poco diverso rispetto a quello di riferimento - *Figura 4-18*), sia in ottica cautelativa, ovvero per considerare possibili futuri interventi di adeguamento nelle zone a monte che vadano a eliminare attuali contributi di esondazione.

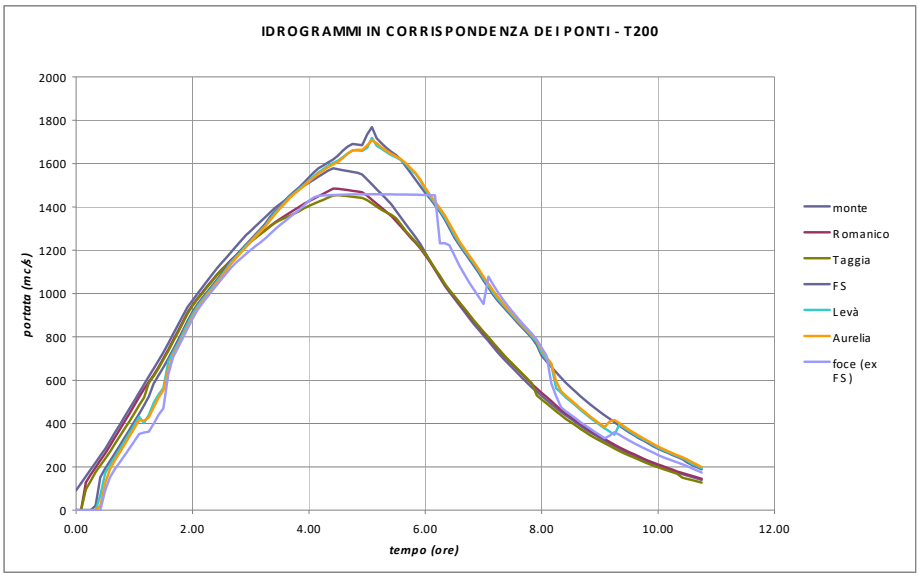


Figura 4-18: Stato di fatto: idrogrammi di piena in corrispondenza degli attraversamenti ottenuti da modellazione 2d (*Studio per la predisposizione alla variante al Piano di Bacino a seguito della ride-terminazione delle portate di massima piena* - ST2009 – Relazione generale, Allegato A)

Come condizione allo sbocco è stato mantenuto il livello di 0.5 m s.l.m.

Le scabrezze sono state valutate in conformità a quanto già indicato al *paragrafo 3.2.3* ed a quanto già adottato anche in sede di ST2009 (coefficiente di Strickler pari a 30 $m^{1/3}/s$ all'interno dell'alveo e 20 $m^{1/3}/s$ per le zone esterne).

4.5.4 Interventi nel solo tratto di valle (e demolizione del ponte di foce)

In prima fase è stata valutata la configurazione che, secondo corretta prassi di intervento, prevede l'esecuzione delle opere da valle verso monte, ovvero l'ipotesi che considera la realizzazione delle opere di adeguamento idraulico dallo sbocco a mare fino al ponte ex-ferroviario, con tratto di raccordo a monte di esso con lo stato di fatto come in precedenza illustrato.

E' stato quindi costruito un nuovo modello digitale del terreno relativo a tale assetto ed è stata estesa la *mesh* di calcolo in modo da coprire tutte le attuali aree di allagamento come individuate da Piano vigente, nonché comprensiva di tutti gli elementi in grado di condizionare la propagazione verso valle dei volumi esondati, con riferimento, ad esempio, ai fornici esistenti in sinistra idraulica al di sotto del rilevato ex-ferroviario.



Figura 4-19: Tre sottopassi esistenti da ponente verso levante del rilevato ferroviario in sinistra idraulica

Le simulazioni T200 così condotte, sulla base delle condizioni illustrare al precedente paragrafo, nell'ipotesi quindi di realizzazione dei soli interventi a valle del ponte ex-ferroviario evidenziano, ovviamente, il contenimento della piena T200 di riferimento nella zona a valle della sezione del ponte di foce e residui allagamenti in destra e sinistra a monte di esso, pur con notevoli benefici in termini di tiranti nelle zone di allagamento rispetto alla situazione di stato di fatto (*Figura 4-16*) correlati all'eliminazione dell'ostruzione correlato al manufatto che, stante anche la presenza del rilevato, attualmente costituisce un considerevole sbarramento ai deflussi di piena.

In questa configurazione di ipotetico Primo Lotto funzionale i tiranti residui T200 nelle zone di esondazione, come desumibile da *Figura 4-20* di seguito riportata, sono dell'ordine massimo di 1.0 m in sinistra (Prati) e 1.0÷1.5 m in destra (Taggia), significativamente inferiori ai valori largamente superiori ai 2 m correlati alle attuali verifiche recepite nell'ambito del Piano vigente (*Figura 4-16*).

Si rileva altresì come tale configurazione d'intervento consenta il contenimento dell'idrogramma di riferimento T50 e, quindi, l'eliminazione degli allagamenti di fascia A per tutto il tratto torrentizio dal ponte SS1 fino alla foce.

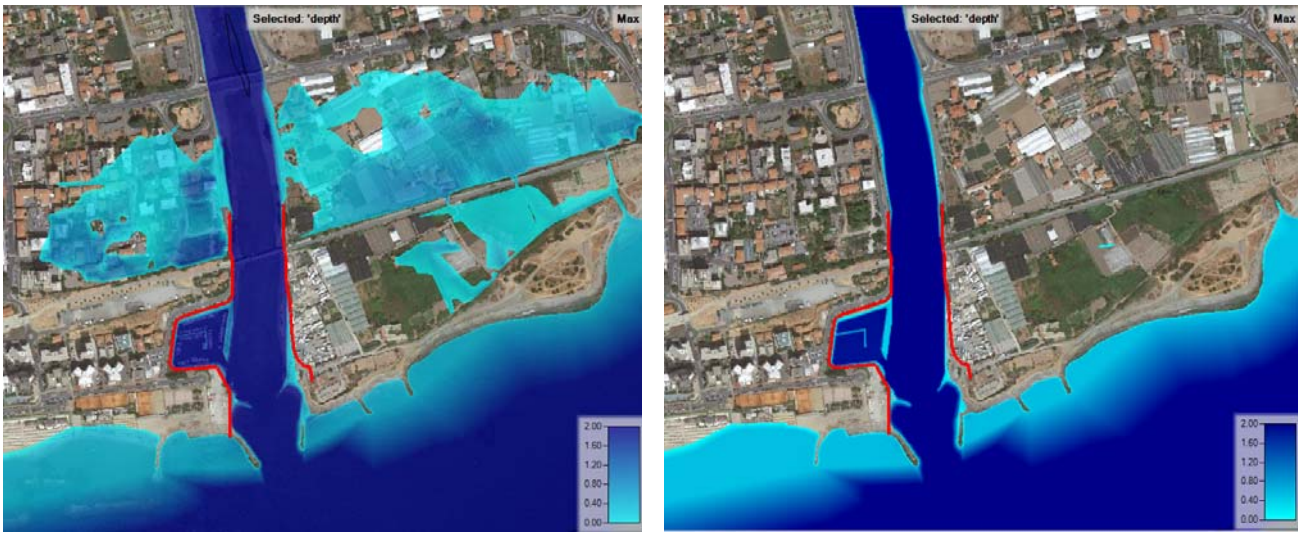


Figura 4-20: Mappe dei tiranti residui T200 e T50 nell'ipotesi di esecuzione delle opere da valle verso monte fino al ponte ex FS compreso, con raccordo verso monte

4.5.5 Interventi nel solo tratto di monte (e demolizione del ponte di foce)

In seconda istanza è stata anche valutata la configurazione di dare priorità attuativa agli interventi a monte (opere comprese tra il ponte SS1 e il ponte di foce, incluso la demolizione di quest'ultimo, con breve tratto di raccordo immediatamente a monte della darsena) è stata successivamente implementata una configurazione complementare rispetto a quella valutata al precedente paragrafo.

Per tale ipotetico assetto di primo lotto è stato quindi realizzato un modello digitale del terreno che considera l'alveo ricalibrato nelle sole sezioni a monte del ponte e le attuali linee di sponda a valle di esso, nonché una *mesh* di calcolo appositamente calibrata rispetto a tale configurazione.

Le verifiche condotte sulle base delle medesime condizioni di cui al precedente *paragrafo 4.5.3* evidenziano, in virtù dell'adeguamento delle sezioni a monte e dell'eliminazione del ponte ex ferroviario, il contenimento della portata T200 fino all'attuale sezione della ciclabile e rilevanti insufficienze nel tratto di valle, attualmente caratterizzato dalla pressoché totale assenza di opere di contenimento sia in destra che in sinistra idraulica, che determino rilevanti esondazioni. I livelli in alveo nella sezione immediatamente a monte dell'attuale sezione del ponte ex ferroviario mostrano leggeri incrementi dell'ordine della decina di centimetri rispetto

all'assetto sistematorio finale del corso d'acqua dovute all'attuale restringimento d'alveo a valle nella zona prospiciente la darsena, zona di non intervento secondo la fasizzazione qui considerata.

Le uniche situazioni di allagamento a monte del rilevato ferroviario sono quelle in sinistra idraulica correlati a fenomeni di rigurgito dai tre fornici presenti (2 stradali/pedonali e scolo del rio Giarello) dell'ordine massimo di 0.5 m, mentre in sponda sinistra si nota una importante fascia di allagamento, pur con tiranti notevolmente inferiori rispetto a quelli di stato di fatto (*Figura 4-16*), determinata dall'orografia dell'area prospiciente la linea di costa che non consente il deflusso a mare dei volumi esondati. Le zone a maggior urbanizzazione risultano tuttavia in sicurezza anche per eventi T200, a meno di allagamenti residui in destra idraulica limitrofi alla zona portuale con estensioni, oltre che tiranti, inferiori alle attuali situazioni.

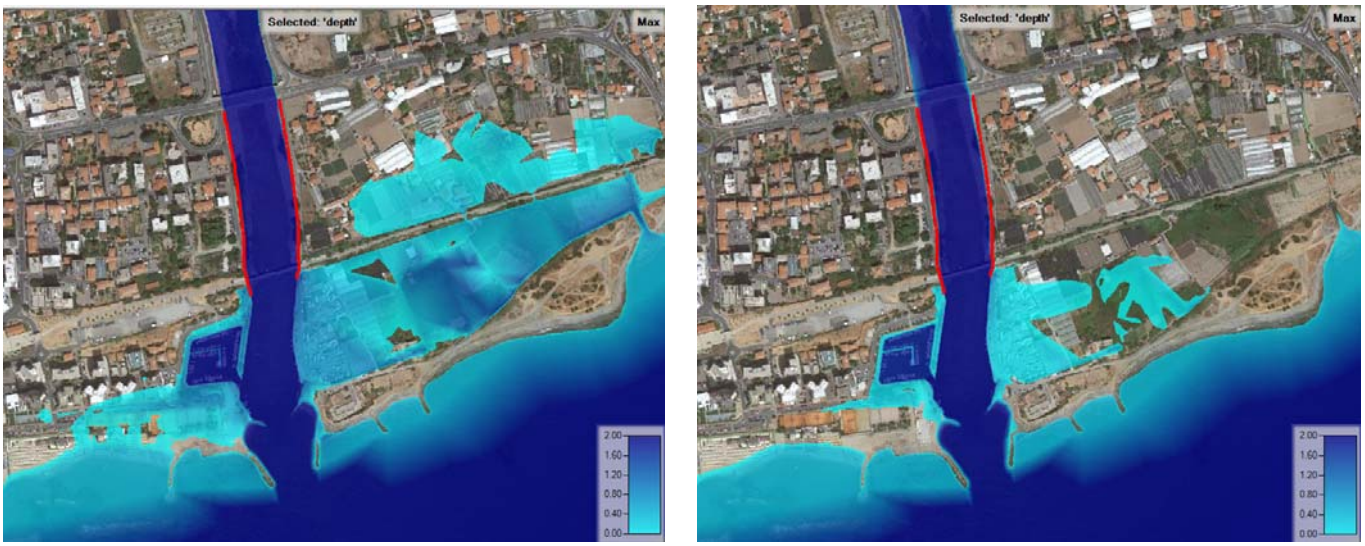


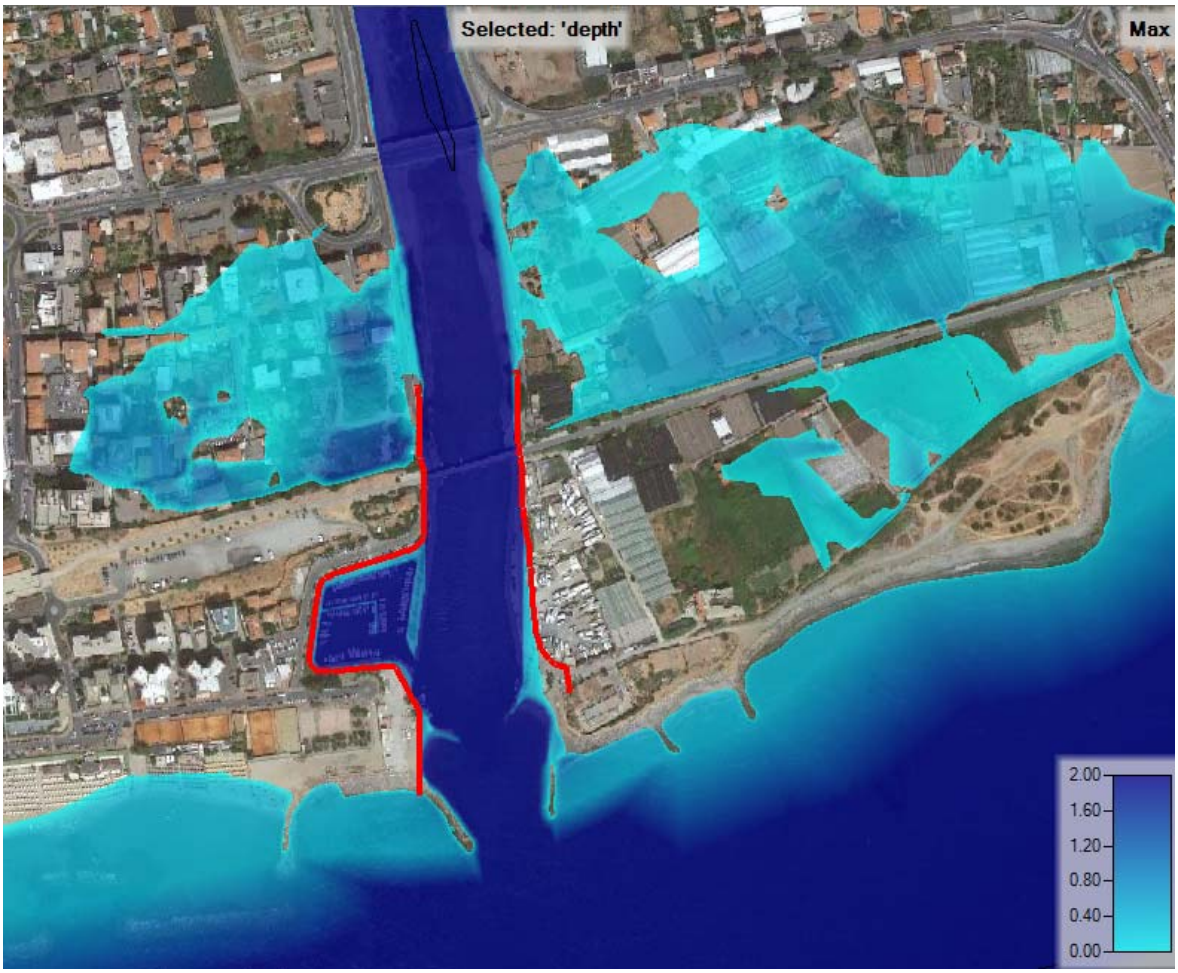
Figura 4-21: Mappe dei tiranti residui T200 e T50 nell'ipotesi di esecuzione dei soli interventi dal ponte della SS1 fino al ponte ex ferroviario, con raccordo verso valle

Si rileva come le situazioni di allagamento dei territori a valle del rilevato ex-ferroviario, sia in destra che in sinistra idraulica, siano in questo caso relative non solo ad un evento T200 secondo quanto sopra analizzato, ma anche all'evento T50; tutti gli allagamenti riscontrati sono comunque inferiori in termini di estensione e di altezza a quelli che si hanno nello stato attuale per cui, dal punto di vista idraulico, risulta ammissibile anche l'esecuzione prioritaria di un lotto di lavori nel tratto di monte.

Tuttavia, compatibilmente con le disponibilità economiche, potranno essere analizzati ed attuati già in prima fase ulteriori interventi, anche a carattere puntuale o comunque localizzati, congrui con il disegno di sistemazione complessivo del PFTE o in un ottica di transitorio, finalizzati ad un ulteriore contenimento degli allagamenti residui e mitigazione del rischio rispetto al quadro in questa sede delineato. Tali interventi potranno essere analizzati nei successivi approfondimenti progettuali sulla base degli elementi di approfondimento topografico, nonché delle effettive disponibilità economiche.

5. ALLEGATO A: VALUTAZIONI IN MERITO AD UN POSSIBILE PRIMO LOTTO FUNZIONALE: PLANIMETRIE DI ALLAGAMENTO

Mappa dei tiranti residui T200 nell'ipotesi di esecuzione delle opere da valle verso monte fino al ponte ex FS compreso, con raccordo verso monte



Mappa dei tiranti residui T50 nell'ipotesi di esecuzione delle opere da valle verso monte fino al ponte ex FS compreso, con raccordo verso monte



Mappa dei tiranti residui T200 nell'ipotesi di esecuzione dei soli interventi dal ponte della SS1 fino al ponte ex ferroviario, con raccordo verso valle



Mappa dei tiranti residui T50 nell'ipotesi di esecuzione dei soli interventi dal ponte della SS1 fino al ponte ex ferroviario, con raccordo verso valle

