

**AL-E-1788 LAVORI DI ADEGUAMENTO DEL SISTEMA DIFENSIVO
 SULLE DUE SPONDE DEL FIUME TANARO A MONTE
 DELLA BRIGLIA DELL'EX PONTE CITTADELLA
 NEL COMUNE DI ALESSANDRIA - CUP: B33H20000380001**

PROGETTO ESECUTIVO

00	05/2024	Prima emissione	VANDONI	FRESIA	FRESIA
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

ELABORATI DI INQUADRAMENTO RELAZIONE GENERALE					
ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE MANDATARIA: MANDANTI:					
 INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE	 ambiente risorse territorio	 STUDIO PAOLETTI	Archeologo. Anna LORENZATTO		

IL R.U.P.: Dott. Ing. Gianluca Zanichelli (documento firmato digitalmente)	Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche. Hydrodata S.p.A. Ord. Ing. Torino N°3299X Dott. Ing. Ivo Fresia (documento firmato digitalmente)	Progettista/Progettisti responsabili elaborato Hydrodata S.p.a. Ord. Ing. Torino N°10175W Dott. Ing. Luca Fresia (documento firmato digitalmente)
--	--	---

CODICE ELABORATO:					MAGGIO 2024
0	1	G	E	N	R
R	E	0	1	0	
CAP	TIPO	DOC	PROGR	REV	SCALA

INDICE

1. PREMESSA	1
2. RILIEVI ED INDAGINI	2
3. STATO DI FATTO	3
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO	7
5. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	9
6. ANALISI IDROLOGICHE	9
6.1 Portate al colmo di piena di riferimento	9
6.2 Idrogrammi di piena	10
7. VERIFICHE IDRAULICHE	11
7.1 Analisi morfologica	11
7.2 Dati topografici e geometrici	11
7.3 Dati granulometrici	12
7.4 Allestimento del modello numerico	12
7.4.1 Parametri e condizioni al contorno del modulo idrodinamico	13
7.4.2 Parametri e condizioni al contorno del modulo morfologico (trasporto solido)	13
7.5 Risultati delle simulazioni	14
8. DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLE OPERE IN PROGETTO	17
8.1 Abbassamento e demolizione della briglia esistente (presso ex ponte della Cittadella)	17
8.2 Sistemazione delle sponde a monte della briglia	18
8.3 Sovralzo del muro in sponda esistente per raggiungimento del franco idraulico minimo	19
9. GESTIONE DELLE TERRE SCAVATE	20
10. CANTIERIZZAZIONE E GESTIONE DELLE INTERFERENZE	22
11. COMPUTO METRICO E QUADRO RIEPOLOGATIVO DI SPESA	24
12. ELENCO ELABORATI	26

1. PREMESSA

Con Disciplinare di Incarico professionale siglato tra l'Agenzia Interregionale per il fiume Po (di seguito AIPO) di Parma e la scrivente RTP, composta da Hydrodata S.p.a. (mandataria), ART Ambiente Risorse Territorio S.r.l., Etatec Studio Paoletti S.r.l. e Archeol. Anna Lorenzatto, e registrato con contratto repertorio n.4404 del 02/07/2021, è stata affidata la progettazione definitiva, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione dei "Lavori di adeguamento del sistema difensivo sulle due sponde del fiume Tanaro a monte della briglia dell'ex ponte Cittadella nel comune di Alessandria".

La presente relazione tecnica del progetto esecutivo descrive pertanto gli interventi in progetto, le verifiche ed indagini svolte e gli aspetti tecnici e cantieristici più rilevanti nell'ambito dell'intervento in oggetto.

Il progetto è stato sviluppato partendo dalla *"Progettazione preliminare e studio di fattibilità sul fiume Tanaro: Nodo Idraulico di Alessandria ed opere di consolidamento piene (E-SPEC-797)"*, a firma del RTP composto da Studio Galli Ingegneria S.p.A. – Dizeta Ingegneria Studio Associato – Studio Maione Ingegneri Associati - R&C Associati – Ecostudio S.r.l.

Obiettivo della sistemazione in progetto (ovvero l'abbassamento della briglia esistente) è la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Alessandria; le opere in progetto rappresentano un primo step di intervento per la messa in sicurezza completa della città, al quale dovranno essere affiancati interventi di laminazione delle portate di piena provenienti da monte (casce di espansione di Alessandria e Rocchetta Tanaro).

L'abbassamento della soglia, e di conseguenza del fondo alveo del Tanaro nel tratto a monte della stessa, comporta necessariamente l'esecuzione di interventi di stabilizzazione delle sponde, come quelli dimensionati nel presente progetto. Le nuove opere hanno come obiettivo la garanzia della stabilità delle opere esistenti rispetto all'abbassamento previsto, accettando cautelativamente anche riduzioni ulteriori del fondo dovute ad una futura "assenza" della briglia.

Rispetto a quanto previsto nel definitivo approvato, è stato integrato il progetto mediante il sovrizzo del muro spondale in c.a. esistente su entrambe le sponde, di una quota media pari a 1.00 m. Questo, al fine di garantire il franco minimo lungo l'intero tracciato cittadino del Tanaro in oggetto.

2. RILIEVI ED INDAGINI

Nell'area di interesse è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio nel mese di agosto 2021, che descrive sia la geometria dell'alveo sia gli elementi che caratterizzano le sponde nel tratto di interesse.

Nella primavera 2022 è stata svolta inoltre una campagna di indagini mirate ad integrare le informazioni già disponibili rispetto all'area di interesse.

In particolare, i dati geognostici pregressi disponibili fanno riferimento alla campagna di indagini (1998) nell'ambito della progettazione del "Nuovo ponte della Cittadella" di Alessandria.

Considerando che l'area non ha subito modifiche morfologiche significative, i risultati ottenuti possono essere ritenuti validi ancor oggi, tralasciando le informazioni relative alla struttura del ponte abbattuto.

A integrazione dei dati esistenti sono state eseguite in sintesi:

- 4 sondaggi a carotaggio continuo spinti alla profondità di 20 m circa, ubicati lungo il tratto di monte dell'alveo tra la briglia esistente e il ponte della ferrovia;
- l'installazione di piezometri tipo Casagrande entro n.2 fori di sondaggio, funzionali a valutare e prevenire in fase di progettazione ogni possibile effetto barriera connesso alla realizzazione della palificata;
- prove di permeabilità tipo Lefranc, nei medesimi sondaggi;
- prove SPT in avanzamento dei sondaggi;
- prelievo di campioni indisturbati (in presenza di terreni coesivi) e rimaneggiati per prove di laboratorio geotecnico.

Ai fini dell'applicazione della normativa sismica sono state eseguite inoltre due indagini MASW, in corrispondenza delle due linee di sponda dove è prevista la realizzazione delle difese.

A integrazione dell'indagine geotecnica, sono stati prelevati campioni di terreno da specifici tratti dei fori di sondaggio per l'esecuzione di analisi chimico-fisiche ai fini della caratterizzazione come terre e rocce da scavo che, come rifiuto (codice C.E.R.).

Le stratigrafie di sondaggio evidenziano un assetto stratigrafico piuttosto articolato, caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali a granulometria sia fine che grossolana. I dati relativi alla soggiacenza testimoniano come i livelli di falda risultino coerenti con quelli in alveo. La categoria sismica del suolo di riferimento è la C, mentre le verifiche hanno permesso di escludere il pericolo di liquefazione all'interno dei depositi a granulometria sabbiosa saturi.

Si rimanda agli elaborati specialistici del presente progetto per i dettagli ed approfondimenti.

3. STATO DI FATTO

La zona oggetto di intervento è posta lungo l'alveo del fiume Tanaro in corrispondenza del tratto che percorre all'interno dell'abitato di Alessandria ed in particolare tra il ponte della ferrovia e la briglia in corrispondenza dell'ex ponte della Cittadella, demolito nel 2009, ed oggi sostituito del nuovo ponte dell'architetto Meier.

Nelle immediate vicinanze dell'area sono presenti parte dell'abitato, la Cittadella fortificata ed alcune aree industriali o destinate a servizi.

Lungo il fiume Tanaro si osserva la presenza di argini in terra continui nel tratto a monte dell'abitato fino al ponte ferroviario; da quest'ultimo e fino poco a valle dell'ex ponte della Cittadella, è presente un sistema continuo di muri arginali prossimi alle sponde dell'alveo che si raccordano successivamente con le ulteriori arginature esistenti.

Muri arginali.

Dopo un'attenta prima fase di ricerca documentale (iniziata con la stesura del progetto preliminare e qui proseguita) è stato possibile ricavare la geometria dello stato di fatto delle strutture esistenti alle quali attestare le scogliere in progetto, unendo le informazioni ricavate dal rilievo topografico con quelle fornite dagli elaborati di as-built delle opere.

In sponda sinistra, il muro spondale (progettato dallo Studio Maione, "Protezione arginale in sinistra del Fiume Tanaro da Solero ad Alessandria") presenta le seguenti tre sezioni tipo:

- *Sezione tipo C*: tra il ponte della ferrovia e il ponte Tiziano, ovvero per una lunghezza pari a 128 m, il muro ha un'altezza di 4.17 m ed uno spessore alla base di 55 cm, presenta una ciabatta larga 2.50 m ed è fondato su un diaframma alto 8 m e largo 0.60 m.

Le quote di sommità del muro variano da 94.28 m s.l.m. in corrispondenza del ponte della ferrovia fino ad attestarsi in corrispondenza del ponte Tiziano ad una quota di 93.96 m s.l.m.

Lato campagna il muro presenta un'altezza di 1.20 m rispetto alla sommità della pista di guardia e servizio alla quale è stata data continuità su tutto il tratto.

- *Sezione tipo D var.*: dal ponte Tiziano verso valle, per un tratto pari a 74 m, la sezione tipologica di intervento si costituisce di un rilevato in terra posto a tergo di un primo muro arginale - la cui sommità garantisce il contenimento della piena con quota variabile da 93.96 m s.l.m. in corrispondenza del ponte Tiziano a 93.83 m s.l.m. - di altezza pari a 3.73 m rispetto alla quota di sommità del secondo muretto presente, che presenta altezza variabile. I due muri risultano immorsati nella ciabatta di fondazione di

spessore pari a 0.80 m e larghezza pari a 4.50 m. La suddetta sezione tipo risulta provvista di due diaframmi di lunghezza pari a 10 m, larghezza 0.60 m ed interasse 3.00 m;

- *Sezione tipo D*: nell'ultimo tratto – di lunghezza pari a 636.50 m – la sezione tipologica varia leggermente rispetto alla precedente (sezione tipo D) in quanto il secondo muretto presenta altezza costante rispetto all'estradosso della ciabatta del muro pari a 1.50 m.

In sponda destra invece, il muro spondale (progettato dallo Studio Associato Polaris, "Lavori di protezione arginale in destra del fiume Tanaro, da Casalbaglino ad Alessandria") presenta le seguenti sezioni tipo:

- *Sezione tipo A*: tra il ponte Tiziano e la sezione 9, ovvero per una lunghezza pari a circa 140 m, il muro ha un'altezza di 2.80 m ed uno spessore alla base di 45 cm, presenta una ciabatta larga 2.00 m ed è fondato su micropali Dn250 lunghi 13 m.
- *Sezione tipo C*: a valle della sezione 9, ovvero per circa 60 m, il muro ha un'altezza di 4.00 m ed uno spessore alla base di 50 cm, presenta una ciabatta larga 2.50 m ed è fondato su micropali Dn250 lunghi 14 m ed intirantato con tiranti inclinati ad interasse di 3.75 m.
- Tra le sezioni 10-11, per un tratto lungo circa 280, si alternano le sezioni tipo A e C del muro;
- *Sezione tipo B*: a cavallo della sezione 12, ovvero per circa 115 m, il muro ha un'altezza di 3.40 m ed uno spessore alla base di 45 cm, presenta una ciabatta larga 2.00 m ed è fondato su colonne di jet grouting late 7 m ed armate per i primi 4 m.
- *Sezione tipo D*: nell'ultimo tratto, tra le sez.13 e 14, il muro ha un'altezza di 4.60 m ed uno spessore alla base di 50 cm, presenta una ciabatta larga 2.50 m ed è fondato su micropali Dn250 lunghi 14 m ed intirantato con tiranti inclinati ad interasse di 3.00 m.

I micropali hanno un interasse longitudinale di 1.00 e trasversale di 1.80 m.

A seguito della demolizione del ex ponte della Cittadella permangono ancora alcuni manufatti di valenza storica: sulla sponda sinistra si osserva la spalla originale del ponte, mentre in sponda destra è stata mantenuta l'intera ultima campata. Tali elementi dovranno essere tutelati e mantenuti anche a seguito di lavori di abbassamento della briglia in progetto.



Figura 1 - Vista sponda sinistra dal nuovo ponte.



Figura 2 - Vista sponda destra attuale.



Figura 3 - Vista campata esistente del ex ponte della Cittadella.

Briglia

La briglia esistente in corrispondenza dell'ex ponte della Cittadella si estende trasversalmente sull'intera larghezza del Tanaro (circa 170 m); si estendeva da sotto le campate del vecchio ponte, oggi demolito, per circa 10 m verso valle. L'opera è realizzata in muratura ed ha una quota del ciglio variabile da 86.70 e 87.30 m s.l.m.

A seguito della demolizione dell'ex ponte della Cittadella l'andamento trasversale del ciglio della briglia risulta essere non più rettilineo ma piuttosto variabile, così come la rampa in massi cementati che collegava la briglia con il fondo alveo di valle, che risulta oggi in buona parte demolita e non più uniforme. A valle del salto risulta oggi essere presente una diffusa erosione del fondo alveo che si estende in senso longitudinale per circa 30 m. La configurazione attuale dello stato della briglia è rappresentata negli elaborati grafici di rilievo facenti parte del presente progetto.



Figura 4 - Vista della briglia esistente presso il nuovo ponte.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

La città di Alessandria, in sponda destra del Tanaro, si estende in buona parte sui depositi alluvionali olocenico-pleistocenici costituenti il "livello fondamentale della pianura" a Sud del Po, posti in leggero rilievo rispetto alle alluvioni post-glaciali più recenti. Il passaggio tra queste due superfici di terrazzo è generalmente sfumato e visibile chiaramente solo in presenza di scarpate morfologiche.

In particolare, al sistema di terrazzi alluvionali post-glaciali più recenti è ascrivibile l'areale spondale sinistra, ossia quella che ospita la "Cittadella": in questo settore gli orizzonti superficiali del materasso alluvionale sono costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi freschi costituenti i letti di piena antichi (ed in parte ancora inondabili) del Tanaro.

L'area perifluviale destra si estende invece sui depositi tardo-pleistocenici costituiti da alluvioni relativamente più antiche con granulometria variabile localmente fra argillosa, sabbioso limosa e, a volte, ghiaiosa.

Lungo il fiume, in posizioni variabili annualmente, si osservano alluvioni attuali dell'alveo attivo del corso 'acqua, costituite anch'esse in prevalenza da sabbie e ghiaie. Attualmente, nel tratto immediatamente a valle della Cittadella è stata rilevata la presenza di una barra fluviale longitudinale attiva e denudata, parzialmente collegata

alla sponda destra. Un'ulteriore barra fluviale longitudinale, posta circa 350 m a valle del ponte in posizione centrale, risulta allo stato attuale stabilizzata, cespugliata ed in parte arborata.

Il modello interpretativo elaborato evidenzia come il sottosuolo in corrispondenza delle aree oggetto di intervento si presenti differenziato a causa della sovrapposizione dei terreni a carattere incoerente (essenzialmente ghiaiosi in matrice fine sabbiosa e limo argillosa) e di quelli prevalentemente sabbioso – limosi.

In corrispondenza della Sezione di progetto n. 6 sul margine sinistro (sondaggio S1) al di sotto dei terreni di riporto essenzialmente limo – sabbiosi aventi uno spessore di circa 2,5 metri) è presente un'unità a carattere sabbioso limosa spessa circa 9 metri non rilevata nel sondaggio eseguito sulla sponda opposta. Al di sotto di questa sono presenti ghiaie eterometriche sub - arrotondate e ciottoli, con sabbie limose e locali intercalazioni limose con ghiaia che appaiono caratterizzare l'intera sezione analizzata fino alla profondità di 20 metri. In corrispondenza della sponda opposta, alla profondità di circa 7 metri dal ripiano è presente uno strato avente uno spessore pari a circa 2 metri di terreno limo – sabbioso con struttura lenticolare. Le opere di fondazione in progetto interessano prevalentemente l'unità ghiaiosa, nonostante in sponda sinistra esse interferiscano parzialmente con quella sabbiosa superficiale sopra descritta.

Procedendo verso valle (Sezione 11) si evidenzia un assetto analogo a quello descritto in precedenza, con una maggiore presenza delle unità sabbiose, rinvenute sia con assetto lenticolare lungo le verticali di sondaggio, sia come substrato riferibile all'intera sezione, ad una profondità di circa 18 metri rispetto al ripiano in sinistra.

La sezione di chiusura situata in corrispondenza del Ponte della Cittadella (Sezione n. 16) evidenzia una marcata differenza rispetto alle sezioni di monte dovuta alla presenza già in superficie dell'unità a carattere sabbioso lungo tutto il suo sviluppo, anche in corrispondenza del fondo alveo. Il suo spessore risulta variabile tra un minimo di 1,5 metri in sponda sinistra ed un massimo di oltre 5 metri in corrispondenza della sponda opposta, interessando massicciamente l'opera di fondazione delle scogliere.

L'acquifero principale è costituito dal materasso alluvionale ghiaioso-sabbioso, caratterizzato da una permeabilità piuttosto elevata, sebbene a piccola e media scala i sedimenti alluvionali possano presentare una notevole eterogeneità dal punto di vista granulometrico e/o del grado di addensamento che si ripercuote anche sulla permeabilità idraulica del mezzo attraversato.

Il fiume Tanaro costituisce il livello di base ricettore della falda acquifera superficiale, mentre i rapporti fra la falda ed i corsi d'acqua minori sono di interscambio reciproco, variabili stagionalmente e talvolta anche tra la sponda destra e quella sinistra del corso d'acqua.

Quest' ultimo, costituito da depositi alluvionali e torrentizi recenti non cementati e da depositi detritici, rappresenta un acquifero esteso nell'area rilevata. Sono compresi alluvionali di conoide che, proprio per la loro origine, presentano grado di permeabilità da medio a elevato compreso tra 10^{-4} e 10^{-6} m/s.

Le analisi sismiche condotte hanno permesso di escludere l'insorgenza del fenomeno della liquefazione dei terreni sabbiosi saturi.

5. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

La soluzione in progetto prevede l'esecuzione di tre differenti tipologie di intervento:

- l'abbassamento della briglia esistente posta in corrispondenza dell'ex ponte della Cittadella fino alla quota 85.30 m s.l.m.;
- la protezione di entrambe le sponde tra il ponte ferroviario e la briglia stessa, tramite la realizzazione di una scogliera in massi fondata alla base con pali in calcestruzzo, a salvaguardia delle opere esistenti in vista del previsto abbassamento del fondo alveo;
- il sovrizzo del muro spondale esistente su entrambe le sponde per garantire la continuità del franco idraulico minimo di 1.00m.

6. ANALISI IDROLOGICHE

Vengono riportate nel presente paragrafo le caratteristiche principali impiegate per l'analisi idrologica delle verifiche svolte, rimandando all'elaborato 02-IDR-R-RE-01-0 per i dettagli ed approfondimenti.

6.1 Portate al colmo di piena di riferimento

In data 3 agosto 2021 sono stati adottati, con Decreto del Segretario Generale, i Progetti di aggiornamento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (PAI-PO), che apportano modifiche anche delle Mappe di Pericolosità e Rischio del Piano di Gestione del Rischio Alluvione del Distretto Idrografico del Fiume Po (PGRA). Il tratto di studio si inserisce nello specifico nell'adozione dell'aggiornamento relativo al tratto 'Fiume Tanaro da Ceva alla confluenza nel fiume Po'.

Sulla base degli studi idrologici oggi disponibili sono aggiornate le stime delle portate al colmo per i tempi di ritorno di 200 anni nelle sezioni di Asti, Alessandria e Montecastello con riferimento alle condizioni di stato attuale e di progetto del corso d'acqua per il tratto da Asti ad Alessandria.

Il valore di portata di riferimento attualmente vigente nel tratto di analisi per l'evento duecentennale è quello relativo allo stato attuale e alla sezione del ponte della Cittadella ad Alessandria; tale valore è pari a 3.869 m³/s. Per lo stesso tratto la portata relativa allo stato di progetto, che tiene conto dell'effetto di interventi di laminazione a monte è pari, per lo stesso tempo di ritorno, a 3.493 m³/s.

6.2 Idrogrammi di piena

Per valutare la dinamica del fenomeno di trasporto solido e prevedere lo sviluppo morfologico dell'alveo è necessario effettuare una simulazione di lungo termine in modo da rappresentare, nell'ambito del periodo considerato, i diversi eventi di piena e di magra che si alternano durante i vari regimi idrologici e che modificano l'assetto del fondo. A tale scopo, le simulazioni sono state effettuate utilizzando l'intera serie temporale delle portate registrate presso l'idrometro di ponte Tiziano nel periodo 2015 – 2021.

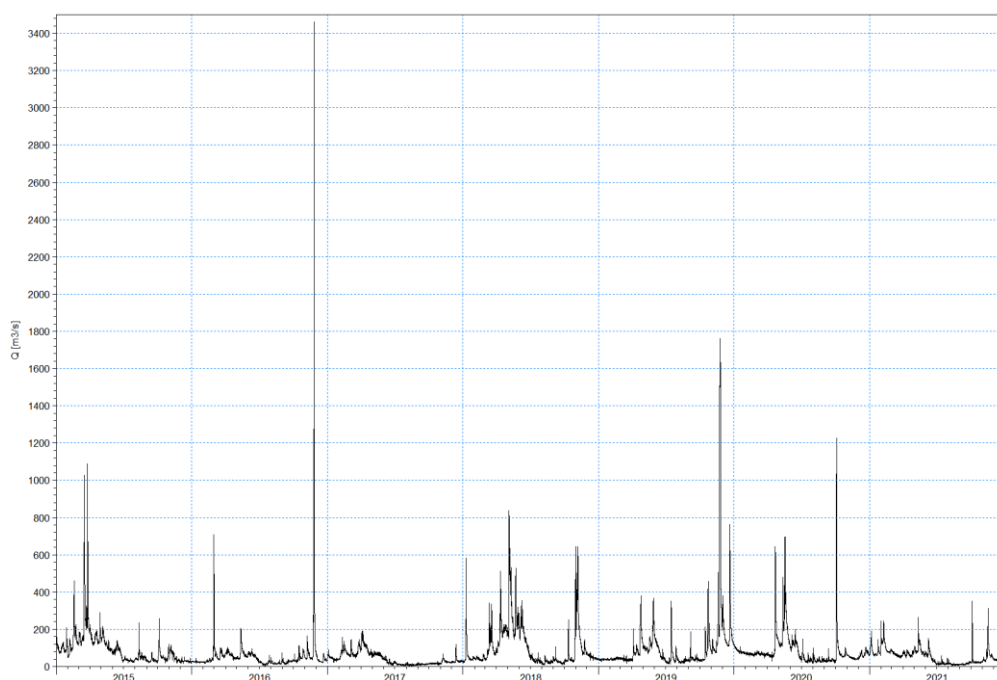


Figura 5 – Serie temporale delle portate registrate all'idrometro di ponte Tiziano nel periodo 2015 – 2021.

Nel periodo considerato, si evidenzia l'evento di piena del novembre 2016 durante il quale si è registrato nel tratto cittadino di Tanaro ad Alessandria un valore massimo di portata pari a 3463 m³/s.

7. VERIFICHE IDRAULICHE

Vengono riportate sinteticamente gli aspetti più rilevanti delle analisi idrauliche svolte, rimandando all'elaborato 02-IDR-R-RE-01-0 per i dettagli ed approfondimenti.

7.1 Analisi morfologica

La simulazione morfologica del tratto di alveo del Tanaro in studio è stata condotta mediante l'allestimento di un modello idrodinamico monodimensionale a fondo mobile, utilizzando il software MIKE11 del DHI.

I risultati che si ottengono con tale modello sono utili per fornire un inquadramento generale del problema e dare indicazioni plausibili su quelli che possono essere le dinamiche di erosione o sedimentazione che caratterizzano l'alveo durante i naturali regimi idrologici del corso d'acqua o in seguito a variazioni delle caratteristiche geometriche dell'alveo a seguito di interventi antropici.

Il calcolo è stato effettuato a fondo mobile e in condizioni di moto non stazionario su un periodo rappresentativo delle dinamiche morfologiche del corso d'acqua.

Le simulazioni sono state eseguite per lo stato attuale (configurazione effettiva riscontrabile a oggi in sito, descritta dal rilievo topografico eseguito, con presenza della soglia alla quota di 87,3 m s.m) e per lo stato di progetto, che comporta l'abbassamento della soglia alla quota di 85,3 m s.m.

7.2 Dati topografici e geometrici

La geometria del modello morfodinamico è stata costruita sulla base del rilievo topografico-celerimetrico di dettaglio eseguito per il presente progetto, dai rilievi di sezioni eseguiti in anni diversi dall'AIPO dalla confluenza del Belbo in Tanaro (S29) fino a valle della confluenza del Bormida in Tanaro e dal rilievo integrativo eseguito nell'ambito dello studio relativo alla 'Messa in sicurezza idraulica dell'area denominata Cascina Sella in golena sinistra del Tanaro a monte dell'abitato di Alessandria', HYDRODATA SpA, 2012 dalla confluenza del Belbo in Tanaro (S29) fino al tratto cittadino.

7.3 Dati granulometrici

Nell'ambito dell'attività sono stati raccolti 10 campioni di sedimenti in corrispondenza della soglia presso il ponte della Cittadella. Si tratta di materiale d'alveo che interessa un tratto di circa 250 m a monte e a valle della soglia stessa.

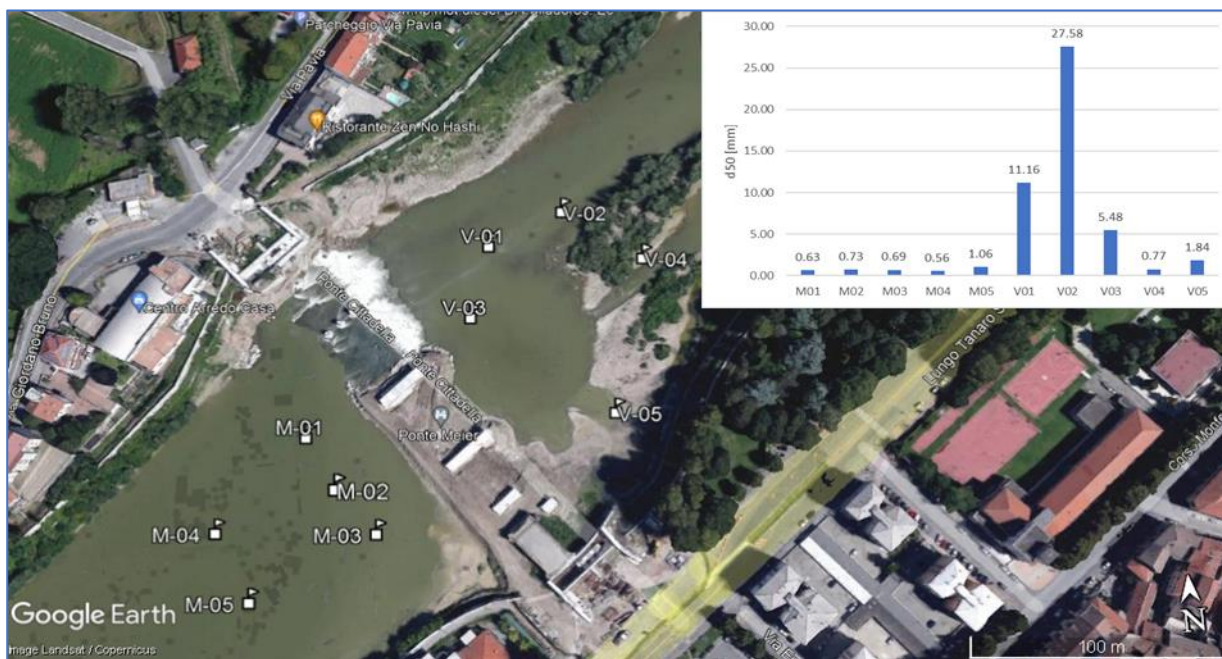


Figura 6 – Localizzazione dei punti di campionamento dei sedimenti. Nell'istogramma viene riportato il valore del diametro medio d50 delle curve granulometriche ottenute per ciascun campione.

Si può osservare come il valore medio del diametro caratteristico d50 vari da un minimo di 0,56 mm fino a un massimo di 27,58 mm nei diversi punti di prelievo; tale intervallo copre quindi la classe di sedimenti di appartenenza delle sabbie grosse e della ghiaia sottile.

7.4 Allestimento del modello numerico

Il modello monodimensionale schematizzato nel codice MIKE11 è costituito da 35 sezioni trasversali che rappresentano la geometria del corso d'acqua a partire da monte del ponte ferroviario Torino - Genova fino a valle della confluenza del fiume Bormida in Tanaro per un'estensione di circa 10.127 m.

Sono stati introdotti nel modello gli attraversamenti viari e ferroviari presenti nel tratto cittadino (ponti FF.SS. e Tiziano) e la soglia di fondo localizzata in corrispondenza del ponte della Cittadella.

Tali sezioni di rilievo schematizzano in modo esaustivo sia il tratto cittadino arginato da muri e sia quello naturale a valle e derivano dal rilievo topografico eseguito nel presente progetto per il tratto cittadino e da quelli eseguiti in anni diversi da AIPO (rilievi eseguiti negli anni 2005, 2006 e 2007).

7.4.1 Parametri e condizioni al contorno del modulo idrodinamico

Il modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessita della definizione delle condizioni al contorno idrodinamiche e di una serie di parametri quali il coefficiente di resistenza distribuita (scabrezza) e il passo temporale di integrazione del sistema.

Nel tratto urbano si è assunta per l'alveo di piena una scabrezza di Strickler di valore pari a:

- $35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ dalla sezione 19_n fino a monte della sezione 17_10_n;
- $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ dalla sezione 17_10_n alla 1_n;

Nel tratto naturale di valle (sez. TA09 - sez. 10) si è assunta per l'alveo inciso un valore di $22 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ mentre per le aree golenali si sono utilizzati valori di $15 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le aree incolte con presenza di vegetazione arbustiva.

Le condizioni al contorno imposte per la fase liquida sono costituite dagli input di portata non stazionaria nella sezione di monte del modello ed in corrispondenza della confluenza del Bormida; oltre alla scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sez. 10 di fine modello di valle.

7.4.2 Parametri e condizioni al contorno del modulo morfologico (trasporto solido)

Per l'applicazione del modello morfologico occorre definire, oltre alla geometria dell'alveo ed il regime idrologico già presenti nel modello idrodinamico, la condizioni al contorno di monte attraverso la stima della capacità di trasporto della corrente e, quindi, dell'intensità del trasporto solido.

L'unica assunzione possibile è quella di assumere una portata solida in ingresso al tronco pari alla capacità di trasporto relativa alla sezione di monte, dove vengono applicate le condizioni al contorno di tipo idrodinamico. In particolare, si è fatto riferimento alla formula empirica di Engelund e Hansen che calcola la somma della portata solida di fondo e in sospensione in funzione delle caratteristiche del moto e del sedimento.

È stata inoltre condotta un'analisi di sensitività utilizzando anche la formulazione di Engelund-Fredsøe che quantifica separatamente il trasporto solido in sospensione e al fondo.

7.5 Risultati delle simulazioni

Sono state eseguite le simulazioni qui di seguito descritte.

- **Simulazione non stazionaria a fondo fisso per l'evento di piena del 2016** nella **configurazione geometrica dello stato attuale** (quota soglia pari a 87,3 m s.m.) per verificare la coerenza tra i valori di livello calcolati dal modello in corrispondenza del ponte Tiziano e quelli misurati dall'idrometro collocato nella sezione di valle del ponte.

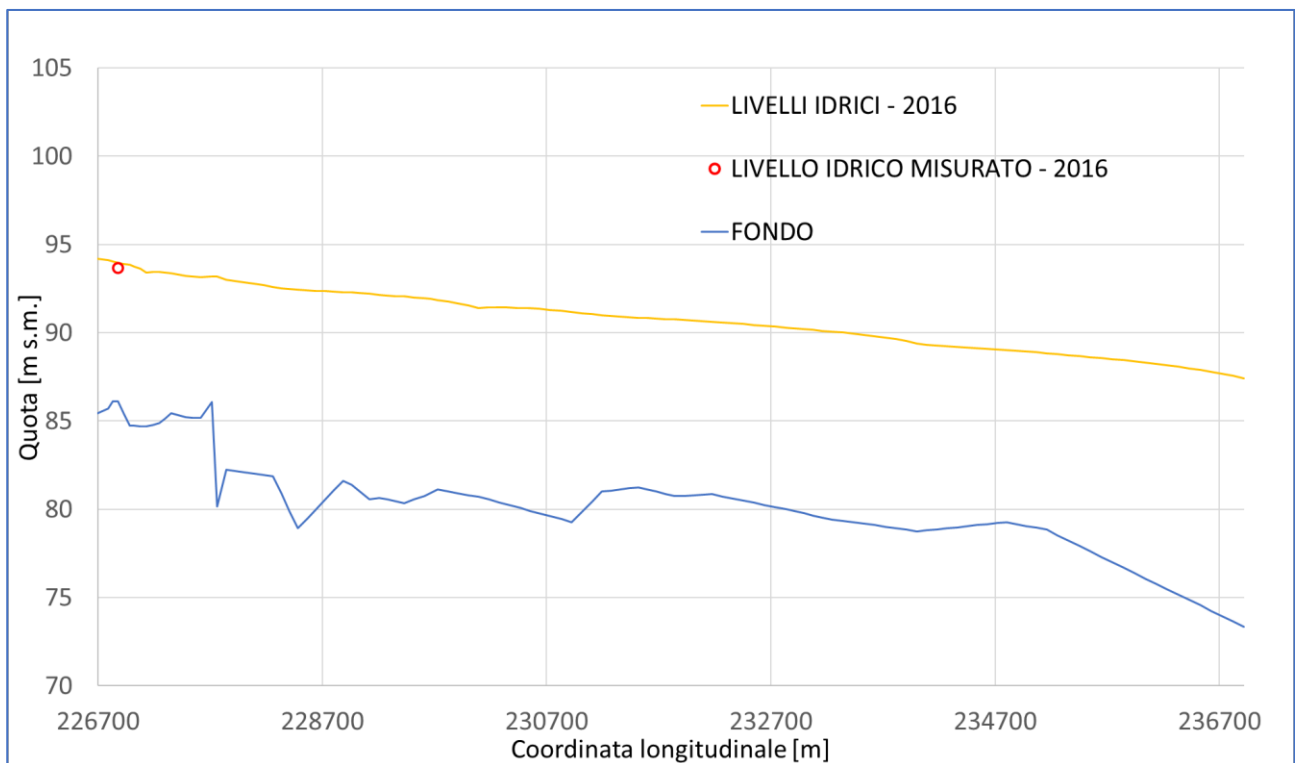


Figura 7 – Profilo di corrente relativo all'involuppo dei massimi livelli idrici simulati durante l'evento di piena del 2016. Il punto rosso rappresenta il valore di livello massimo registrato durante l'evento di piena del 2016 all'idrometro del ponte Tiziano.

Da notare la buona corrispondenza nella sezione di valle del ponte Tiziano tra i valori simulati dal modello e quelli misurati in campo per l'evento 2016, che presenta un valore al picco di poco inferiore al valore duecentennale. Il valore misurato in campo è pari a 93,68 m s.m. risulta inferiore di 8 cm rispetto a quello simulato (93,76 m s.m.).

- **Simulazioni in regime non stazionario a fondo mobile nella configurazione geometrica dello stato attuale** (quota soglia pari a 87,3 m s.m.) **e dello stato di progetto** (quota soglia pari a 85,3 m s.m.) **per valutare quali siano le modifiche sull'assetto del fondo del corso d'acqua, in termini di massimo scavo**, indotte dalla variazione della geometria della soglia. Il periodo simulato copre un'estensione di 7 anni (2015 – 2021). Un'analisi di sensitività è stata fatta relativamente ad alcune assunzioni adottate nella modellazione quali la formula di trasporto utilizzata ed il valore di granulometria.

Il modello è stato applicato nelle seguenti condizioni:

- scenario "base": simulazione morfologica nelle condizioni di stato di fatto (senza interventi) e di progetto (abbassamento quota della soglia);
- analisi di sensitività: simulazione morfologica nelle condizioni di stato di fatto e di progetto sul periodo 2015 – 2021 in relazione ai parametri maggiormente incerti: formula di trasporto e diametro dei sedimenti.

L'effetto dell'abbassamento della quota della soglia produce, in termini di livello minimo del fondo dell'alveo raggiunto durante il periodo di simulazione, un abbassamento dell'ordine di grandezza dei 2 m rispetto al fondo rilevato nel 2021 nel tratto compreso tra il ponte Tiziano e la soglia (valore massimo di 1,91 m e 2,03 m rispettivamente nella sezione 12_13_n e nella sezione di valle del ponte Tiziano). In corrispondenza del ponte della ferrovia l'abbassamento del fondo rispetto al rilievo del 2021 risulta pari a 1,44 m.

Il confronto tra il profilo del fondo ottenuto come inviluppo dei valori minimi simulati nello stato di fatto e nello stato di progetto evidenzia che l'approfondimento dell'alveo, durante gli eventi di piena considerati ed in seguito dell'abbassamento della quota della soglia, risulta dell'ordine di grandezza di 1 m rispetto alla configurazione dello stato attuale (valore massimo di 0,96 m e 1,48 m rispettivamente nella sezione 12_13_n e nella sezione di valle del Ponte Tiziano). In corrispondenza del ponte della ferrovia l'abbassamento del fondo risulta pari a 1 m.

- **Simulazioni in regime stazionario a fondo mobile nella configurazione geometrica dello stato attuale** (quota soglia pari a 87,3 m s.m.) **e dello stato di progetto** (quota soglia pari a 85,3 m s.m.) **per definire quale sia la nuova configurazione attesa di equilibrio del fondo del corso d'acqua a monte della soglia**, indotta dalla variazione della geometria di quest'ultima.

- **Simulazioni in regime stazionario a fondo fisso per la portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni nella configurazione geometrica dello stato attuale e nella nuova configurazione attesa di equilibrio del fondo del corso d'acqua a seguito dell'intervento progettuale.**

Sono esposti nel seguito i risultati delle simulazioni eseguite in regime stazionario a fondo fisso per la portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni nella configurazione geometrica dello stato attuale e nella nuova configurazione attesa di equilibrio del fondo del corso d'acqua a seguito dell'intervento in progetto.

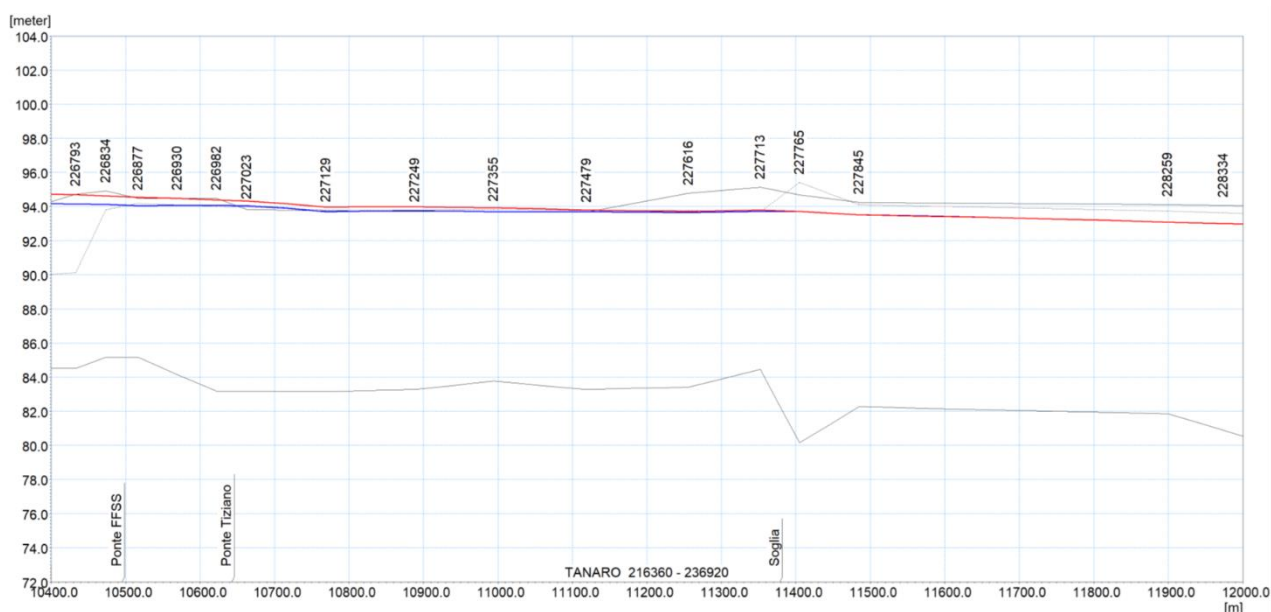


Figura 8 - Profilo dei livelli idrici per l'evento di piena con TR=200 anni. Stato di fatto (linea rossa) e stato di progetto (linea blu). Il profilo del fondo è relativo alla configurazione di progetto.

Si può notare come, per l'evento duecentennale, il profilo in corrispondenza della soglia risulti rigurgitato da valle in entrambe le configurazioni. L'abbassamento del profilo della superficie libera si verifica nel tratto a monte della soglia, con scostamenti tra i due profili che in corrispondenza del ponte della ferrovia raggiungono i 54 cm.

8. DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLE OPERE IN PROGETTO

Come brevemente descritto nel paragrafo 6, la soluzione in progetto si costituisce di tre principali tipologie di intervento:

- l'abbassamento e parziale demolizione della briglia esistente;
- la realizzazione su entrambe le sponde di una scogliera in massi fondata su pali in calcestruzzo;
- il sovrizzo del muro spondale esistente su entrambe le sponde per garantire la continuità del franco idraulico minimo di 1.00m

8.1 Abbassamento e demolizione della briglia esistente (presso ex ponte della Cittadella)

Il progetto prevede la demolizione della briglia esistente su tutta la larghezza dell'alveo ad eccezione del tratto in sponda destra su cui insiste la vecchia campata del ex ponte, per una lunghezza complessiva di circa 155 m. La quota di progetto, costante su tutta la larghezza, è pari a 85.30 m s.l.m.

A causa della variabilità della quota del ciglio della briglia nelle condizioni attuali, anche l'abbassamento per demolizione in progetto risulta variabile (da 30 cm a 2.00 m) in funzione della geometria effettiva, ma mediamente può essere stimato in circa 1.70 m.

La demolizione della muratura costituente la briglia dovrà avvenire sull'intera larghezza della stessa, che risulta variabile tra 15 e 20 m, fino a raggiungere la quota di progetto; inoltre, l'intervento prevede di dare un nuovo ciglio più uniforme all'opera in senso trasversale.

Grazie all'elaborazione tridimensionale della geometria ricavata dal rilievo topografico eseguito ed alla sovrapposizione con quella dell'intervento in progetto, è stata calcolata con accuratezza la volumetria complessiva della demolizione, che è pari a 4800 mc.

Inoltre, il progetto prevede il riempimento e riprofilatura del tratto oggi oggetto di erosione immediatamente a valle della briglia, con l'impiego di massi e pietrame naturali già presenti in alveo. Tale operazione, che ha come obiettivo di limitare i fenomeni erosivi locali, dovrà però avvenire previa la demolizione e rimozione dall'alveo di eventuali blocchi ed elementi in calcestruzzo presenti in sito.

A monte della briglia invece, il progetto prevede la riprofilatura progressiva in scavo del fondo alveo esistente fino al raggiungimento della quota di progetto di 85.30 m.s.l.m., limitandosi ad una fascia di intervento di circa 10-20 m. Ulteriore abbassamento del fondo alveo nel tratto di monte dovrà avvenire in modo naturale nel tempo in funzione dell'andamento delle portate.

Su entrambe le sponde, a protezione della spalla e della campata esistente del ex-ponte della cittadella è prevista la realizzazione di due paratie di micropali con funzione di garantire la stabilità della porzione di briglia in muratura restante e su cui si fondava il ponte. La paratia è formata da micropali lunghi 10 m, ad interasse di 40 cm, formati da armature tubolari Dn168.3, spessore 12.5 mm. Per mitigare l'impatto visivo del cordolo di collegamento se ne prevede l'esecuzione in scavo rispetto alla muratura ed una copertura finale con massi di cava.

A valle del salto le difese in massi si chiudono progressivamente verso le sponde attuali. Per consentire lo sostegno degli scavi a tergo e in avvicinamento ai muri di sponda esistenti, oltre che al fine di migliorare l'immorsamento delle stesse, è prevista l'esecuzione di paratia di pali in c.a. (analoghi a quelli previsti per la sistemazione) trasversali lunghi rispettivamente 10.60 m per lato ed alti 9.00 m.

8.2 Sistemazione delle sponde a monte della briglia

Nonostante le murature esistenti sulle due sponde siano differenti per tipologia costruttiva a tratti di lunghezza variabile, la sistemazione in progetto delle sponde prevede una sola sezione tipologica di progetto; tale soluzione, cautelativamente, consente di proteggere le opere esistenti sia dall'abbassamento previsto nel presente progetto, sia da eventuali abbassamenti del fondo dovuti all'ulteriore futura riduzione in altezza della briglia esistente.

Per il posizionamento in quota della scogliera in progetto si è tenuto conto dei risultati delle analisi idrauliche e morfodinamiche descritte al precedente capitolo; in particolare si è scelto di posizionare la base inferiore della fondazione della scogliera ad una quota sempre minore rispetto al massimo abbassamento del fondo atteso.

La difesa spondale in progetto è costituita da una scogliera in massi di altezza variabile tra i 5.00 e 7.00 m, con spessore del paramento inclinato (1:2) pari a 1.50 m e spessore della fondazione di 1.50 m. Sulla sommità è prevista la realizzazione di una pista in misto stabilizzato larga 2.50 m. A tergo della difesa si prevede l'inserimento di un telo in geotessuto in TNT. I massi costituenti la fondazione della scogliera dovranno essere intasati con cemento al fine di legare la difesa ai pali previsti in progetto. Il paramento inclinato invece è previsto intasato con terreno vegetale e rinverdito con l'inserimento di talee di salice. Si prevede di intervenire in sponda sinistra ed in sponda destra per una lunghezza complessiva di 1840 m.

In coerenza con il progetto definitivo, si prevede di eseguire la protezione al piede della scogliera mediante pali in c.a. Dn800 mm ad interasse però di 1.00 m, armati con gabbia metallica, di lunghezza pari a 6.00 m.

Tale soluzione consente di realizzare un elemento antierosione di larghezza costante, meno suscettibile alla variabilità delle caratteristiche granulometriche del terreno evidenziatasi, e con meno rischi di carattere ambientale dovuti all'eventuale dispersione della miscela iniettata ad alta pressione negli strati circostanti.

I pali saranno uniti in testa da una trave di collegamento in c.a. integrata nella fondazione della scogliera e nelle armature dei pali stessi, al di sopra della quale è previsto il rivestimento in massi di cava cementati.

I pali sono realizzati in calcestruzzo C25/30 – SCC – classe XC2. È previsto un D max aggregato di 18 mm.

Anziché mantenere un varco ogni 5 metri (come previsto in preliminare), per garantire la naturale filtrazione, che al contrario la perfetta e continua compenetrazione delle colonne rischierebbe di mettere in crisi, si è scelto di dare un margine di 20 cm tra le colonne in c.a. in progetto. In questo modo non si concentra il flusso di filtrazione su specifici varchi ma viene distribuito uniformemente lungo l'intero tratto.

Si evidenzia ancora come il progetto preveda l'esecuzione di un arginello sulla sommità spondale destra, tra il ponte della ferrovia e quello comunale, per il raggiungimento del franco idraulico minimo. L'altezza media dello stesso è contenuta è pari a circa 80 cm.

8.3 Sovralzo del muro in sponda esistente per raggiungimento del franco idraulico minimo

Su entrambe le sponde del Tanaro è presente un muro in c.a. rivestito in tavelloni di pietra che corre lungo l'intero tratto di interesse, con funzione di contenimento dei livelli e parapetto. In particolare, in sponda destra, si sviluppa lungo la strada pedonale esistente mentre sul lato opposto delimita la pista per la manutenzione delle sponde stesse.

Il progetto prevede il sovrалzo del muro esistente di un'altezza media di circa 1.00 m, da realizzarsi mediante la rimozione del rivestimento in tavelloni presente, la perforazione verticale e bolzonatura del muro esistente ed il successivo ripristino del rivestimento da eseguirsi in parte con l'impiego di quanto precedente rimosso ed in parte mediante la fornitura di nuovi elementi in pietra di analoga fattura. Dovrà essere posata sulla sommità anche la copertina di protezione.

La lunghezza del sovrалzo è pari a circa 860 m per la sponda sinistra e circa 610 m per la sponda destra.

In sponda sinistra, in corrispondenza del ponte cittadino Tiziano e delle aree commerciali presenti, è stato mantenuto un varco di accesso al di sotto della campata rispetto al sovrалzo del muro in progetto, di larghezza pari a 4.30 m. Tale apertura garantisce l'ispezionabilità dell'attraversamento stesso qualora strettamente

necessario, mediante la rimozione di panconi in legno di dimensioni 0.40x0.05 e lunghi 2.00m. Questi dovranno essere sempre mantenuti in posizione in condizioni ordinarie, e se ne prevede il bloccaggio con un meccanismo di serraggio munito di chiave.

Si osserva infine come il sovrizzo generale in progetto comporti di fatto l'impossibilità di affaccio al fiume in quanto viene a realizzarsi un muro di altezza media pari a 2.00m. Dovrà essere valutato pertanto in un successivo progetto l'adeguamento in quota del passaggio pedonale e della pista di servizio esistente. Tali interventi non trovano copertura economica nel presente progetto.

9. GESTIONE DELLE TERRE SCAVATE

In fase di esecuzione delle opere in progetto è prevista la produzione di terre da scavo derivante dalle seguenti attività:

- scavo a monte della briglia esistente: 1.500,00 m³;
- scavo per formazione opera di difesa sponale: 146.164 m³.

Gli scavo saranno eseguiti con escavatore meccanico.

Nell'ambito del progetto è previsto che tutte le terre prodotte, se conformi ai requisiti di cui all'art.185, comma 1, lettera c), del D.lgs. 152/2006 e s.m.i., verranno reimpiegate all'interno del cantiere per il rimodellamento morfologico dell'alveo, per tombamento di buche e bassure.

Le terre che risultassero non conformi ai requisiti di cui al citato art. 185, verrà gestite come rifiuti (CER 17.05.04) conferite in centri di recupero o discarica autorizzata.

Oltre alle terre da scavo, nell'ambito del cantiere è prevista la produzione di 4.800 m³ di rifiuti derivanti dalla demolizione della briglia. Tali rifiuti, classificati con codice CER 170904 - Rifiuti misti da costruzione e demolizione, saranno conferiti a impianto di recupero autorizzato al loro trattamento.

Il fabbisogno di materiali da approvvigionare è costituito da 48.332,60 m³ di massi di cava per la realizzazione delle scogliere. Tali inerti saranno approvvigionati da cava.

In linea con i principi ambientali di favorire il riutilizzo dei materiali piuttosto che il loro smaltimento, le terre derivanti dalle attività di scavo, verificati i requisiti previsti da norma, verranno riutilizzate nell'ambito del cantiere di produzione, per la sistemazione morfologica dell'alveo.

Ai fini della verifica dei requisiti ambientali delle terre prodotte in cantiere si è previsto di operare secondo due fasi distinte e complementari:

- una prima fase di indagine effettuata a supporto della progettazione definitiva;

- una seconda fase, di specifica caratterizzazione delle terre derivanti dallo scavo in alveo, da effettuare preliminarmente all'avvio dei lavori.

L'articolazione secondo due fasi temporalmente distinte risponde alla necessità di disporre di dati sufficientemente rappresentativi del reale stato delle terre interessate dagli scavi in alveo, in quanto, come specificato dalle Linee guida SNPA, "Data la dinamica fluviale, con conseguente trasporto del sedimento in alveo, dovrà essere limitato, nei limiti del possibile, il lasso di tempo intercorrente fra il campionamento in fase di progettazione e le attività di scavo.

In fase di progettazione definitiva le indagini di caratterizzazione sono state realizzate mediante prelievo di campioni in punti di prelievo dedicati (TRS-1, TRS-2, TRS-3, TRS-4, TRS-5, TRS-6) e in punti di prelievo coincidenti con quelli definiti nel piano di indagini geognostiche (S-1, S-2, S-3, S-4).

Sui campioni prelevati sono state effettuate, oltre alle analisi ambientali per la verifica di sussistenza delle caratteristiche di qualità richieste ai fini dell'utilizzo delle stesse nell'ambito del cantiere, le analisi per la gestione delle terre come rifiuti, in caso di assenza dei requisiti richiesti per l'esclusione delle terre dalla disciplina dei rifiuti:

- analisi sul tal quale dei parametri di cui alla tabella dell'allegato 4 del DPR 120/2017 comprensivi di IPA,
- BTEX e amianto (Tabella 3);
- test di cessione di cui al D.lgs. 121/2020, Allegato 6, set parametri standard per l'accettabilità in discariche di rifiuti.

Dai certificati di analisi emerge che tutti i parametri analizzati rientrano nei limiti di riferimento per il sito oggetto di scavo (alveo fluviale), ovvero Colonna A, Tab. 1, Allegato 5, titolo V, Parte IV – D.lgs. 152/2006 riferiti ai "siti ad uso verde pubblico/privato e residenziale", a eccezione di n. 3 campioni con superamenti di Colonna A dei valori di Cromo e Nikel. In merito, si specifica che si tratta di "valori di fondo naturali" caratteristici dell'area oggetto di indagine, come accertato dai più recenti dati di monitoraggio suoli di ARPA Piemonte, pubblicati nei rapporti annuali sullo stato dell'ambiente (<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/suolo/relazione-suolo>).

Sono emerse anche i superamenti dei limiti di colonna A Tab. 1, Allegato 5, titolo V, Parte IV – D.lgs. 152/2006 dei parametri Toluene, Benzo(a)pirene, Benzo(g, h, i)pirene, Indenopirene nei campioni superficiali TR S1 e TR S5. In merito si ipotizza trattarsi di superamenti circoscritti nello spazio, per i quali appare necessario avviare

indagini supplementari atte delimitare l'area interessata da superamenti, al fine di isolarla dal resto delle terre e trattarla come rifiuto, allontanandola dal cantiere.

Tale attività di indagine è rimandata alla fase preliminare all'avvio del cantiere.

Su tutti i campioni, ai fini della gestione eventuale gestione come rifiuti (170504), le indagini hanno dimostrato di essere in presenza di:

- Rifiuti speciali non pericolosi;
- Conformi alla tabella 5 del D.lgs. 121/2020, Allegato 4, integrato nel D.lgs. 36/2003 "Limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discarica per rifiuti non pericolosi";
- Conformi alla tabella 6 del D.lgs. 121/2020, Allegato 4, integrato nel D.lgs. 36/2003 "Limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discarica per rifiuti pericolosi".

A integrazione delle analisi già svolte, preliminarmente all'avvio dei lavori dovranno essere svolte, ad opera della ditta esecutrice dei lavori, le indagini sulle terre di fondo alveo, secondo le indicazioni fornite dalle Linee guida SNPA. L'area interessata dal campionamento sarà quella presso la quale è previsto lo scavo in alveo.

Il piano di campionamento seguirà quanto stabilito dalle Linee guida SNPA. Saranno prelevati tre campioni, distribuiti lungo la verticale di scavo, in ognuno dei tre punti relativi ad ogni transetto.

Nel caso fossero confermati i superamenti già individuati nelle analisi effettate in fase di progettazione definitiva, si dovrà procedere con campionamenti ulteriori, atti a circoscrivere i materiali fuori limite di colonna B, per i loro trasferimento in centro di recupero o discarica autorizzata.

10. CANTIERIZZAZIONE E GESTIONE DELLE INTERFERENZE

L'organizzazione dei lavori prevede la suddivisione delle attività in 10 fasi, funzionali alle attività stesse e alla loro sequenzialità operativa. In considerazione della tipologia di intervento, che prevede l'occupazione parziale del corso d'acqua del fiume Tanaro non sono previste sovrapposizioni temporali, che consentirebbero l'ottimizzazione della durata complessiva dei lavori a scapito però dell'occupazione di più tratti di alveo e quindi di un maggior rischio nel caso si verificasse un evento di piena. Unica eccezione prevista è la sovrapposizione temporale necessaria per l'esecuzione dell'adeguamento in quota del muro in c.a. esistente in sponda sinistra e destra, che pertanto è eseguibile interamente dall'esterno della sponda e senza interessamento dell'alveo. Per la rappresentazione grafica e l'individuazione delle fasi si rimanda all'elaborato grafico "Planimetria di dettaglio delle fasi e sezioni tipologiche".

La definizione delle fasi lavorative e delle aree di cantiere tiene conto dei seguenti aspetti organizzativi:

- le aree di cantiere, rispetto alle dimensioni delle opere in progetto, hanno un'estensione relativamente limitata in quanto sono vincolate dalle opere esistenti e dagli effettivi spazi a disposizione in alveo;
- la demolizione della briglia esistente deve essere eseguita in seguito alla realizzazione delle difese spondali a monte; viceversa, pur ottenendo un vantaggio quotidiano in termini di riduzione dei tiranti d'acqua in alveo, si presenterebbe un possibile rischio per la stabilità delle opere spondali esistenti. Infatti, in caso di un evento di piena intenso, l'assenza della briglia provocherebbe un repentino abbassamento del fondo alveo ed un rischio di scalzamento delle opere;
- la suddivisione in tratti di 250-300 m per l'esecuzione delle difese consente di ridurre l'interferenza del cantiere con il deflusso della corrente del corso, riducendo anche le tempistiche per eventuali ripristini delle arginature provvisorie necessarie alla cantierizzazione.

L'accesso alle aree di cantiere sarà possibile per ambo le sponde: due accessi sono ubicati sulla sponda destra a monte del ponte della ferrovia ed a valle della briglia in oggetto, mentre uno solo è presente in sponda sinistra, sempre a monte del ponte della ferrovia. Inoltre, nella scansione in fasi sviluppata è prevista la realizzazione di un guado provvisorio a valle della briglia, per agevolare l'esecuzione degli interventi in sponda sinistra e la demolizione della briglia stessa.

Le aree di cantiere sono protette dall'acqua in condizioni ordinarie del livello fluviale ed in condizioni di piene di modesta entità (quota fino a 89.0 m slm); oltre tale quota, a cui corrisponde una piena di circa 400 m³/s, le aree di cantiere in alveo vengono allagate. Considerando che la durata stimata del cantiere è pari a due anni, sarà necessario prevedere un sistema di monitoraggio meteo sia di previsione sia di misura dei livelli tale da consentire, con adeguato anticipo, la messa in sicurezza dei mezzi, delle attrezzature e del personale. Inoltre, in computo sono stati stanziati gli oneri per il ripristino delle piste e rilevati arginali provvisori di cantiere.

Le opere provvisorie previste per la protezione delle aree di cantiere in alveo sono costituite essenzialmente da un rilevato arginale 2:1, larghezza in sommità pari a 5.0 m che verrà montato e smontato per fasi progressivamente con l'avanzamento del cantiere. Si è definita una quota sommitale dell'arginatura pari a 89.0 m slm); oltre tale quota, a cui corrisponde una piena di circa 400 m³/s, le aree di cantiere in alveo vengono allagate. Considerando che la durata stimata del cantiere è pari a due anni, sarà necessario prevedere un sistema di monitoraggio meteo sia di previsione sia di misura dei livelli tale da consentire, con adeguato anticipo,

la messa in sicurezza dei mezzi, delle attrezzature e del personale. Inoltre, in computo sono stati stanziati gli oneri per il ripristino delle piste e rilevati arginali provvisori di cantiere.

In merito alle interferenze del progetto con la rete dei sottoservizi esistenti non si rilevano criticità né in termini di interferenza con le opere progettuali vere e proprie e neppure con la viabilità di accesso da usarsi in fase di cantierizzazione. Sono presenti in prossimità dei ponti della ferrovia e comunale alcuni pozzetti della fognatura ed acquedotto che non interferiscono con l'impronta delle opere. Anche la linea di illuminazione risulta posta ad una quota superiore rispetto all'area di cantiere.

La maggiore interferenza con il cantiere è rappresentata dalla presenza della linea ferroviaria e del relativo ponte di attraversamento del Tanaro, nel tratto di monte. L'impronta delle opere in progetto è stata mantenuta al di fuori della fascia di rispetto di 10 m dai binari.

11. COMPUTO METRICO E QUADRO RIEPOLOGATIVO DI SPESA

Le valutazioni economiche delle opere sono state condotte utilizzando come riferimenti il Prezzario AIPO – anno 2024 e il “Prezzario regionale delle opere pubbliche della Regione Piemonte” – anno 2024. Gli interventi proposti sono stati analizzati in termini economici, come dettagliato nell'Elaborato “Computo metrico estimativo”.

L'importo per la realizzazione degli interventi è pari a € 13'542'905,22, di cui € 13'248'523,72 di importo lavori e € 294'381,50 di costi della sicurezza. Nella tabella seguente si riporta il dettaglio delle somme a disposizione e del quadro economico.

QUADRO ECONOMICO

A1	IMPORTO LAVORI A CORPO SOGGETTI A RIBASSO D'ASTA	€	13.248.523,72
	di cui Costo della Manodopera	€	4.118.134,28
A2	COSTI PER LA SICUREZZA NON SOGGETTI A RIBASSO D'ASTA	€	294.381,50
A	TOTALE LAVORI E SICUREZZA (A1+A2)	€	13.542.905,22
B	SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		
B1	Imprevisti, opere complementari e arrotondamenti	€	2.410.426,22
B2	Spese tecniche relative alla progettazione preliminare, definitiva, esecutiva, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, verifica, tecnico amministrativo e in corso d'opera, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici, procedure espropriative, contributi previdenziali inclusi (10% di A)	€	1.354.290,52
B3	Rilievi, accertamenti e indagini, comprensivi di contributi previdenziali	€	50.000,00
B4	Risoluzione interferenze	€	15.000,00
B5	Acquisizione aree o immobili, indennizzi per occupazioni temporanee aree di cantiere e depositi provvisori	€	15.000,00
B6	Accantonamento di cui all'Art. 106 D.L.vo 50/2016 smi (2% di A)	€	270.858,10
B7	Importo relativo all'incentivo di cui all'art.113 del D.Lgs. 50/2016 (2% di A)	€	270.858,10
B8	Eventuali spese per commissioni giudicatrici e/o di gara	€	10.000,00
B9	Oneri a favore dell'Autorità per la Vigilanza sui LL.PP. (Delibera 29 dicembre 2023, n. 610)	€	220,00
B10	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto	€	30.000,00
B11	Oneri per la bonifica ordigni bellici	€	106.523,58
B12	IVA 22% su lavori e oneri sicurezza (A)	€	2.979.439,15
B13	IVA 22% sulle voci B2, B3, B4, B8, B10, B11	€	344.479,10
B	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE	€	7.857.094,78
A+B	TOTALE IMPORTO PROGETTO	€	21.400.000,00

L'importo complessivo delle somme a disposizione della Stazione Appaltante è quindi pari a € 7 857 094,78.

Pertanto, l'importo complessivo del finanziamento necessario per la realizzazione degli interventi previsti nel presente progetto definitivo ammonta a € 21 400 000,00.

12. ELENCO ELABORATI

Si riporta di seguito l'elenco degli elaborati costituenti il presente progetto definitivo Rev. giugno 2024.

		N	CAP	TIP	DOC	PR	REV	TITOLO
01	GEN							ELABORATI DI INQUADRAMENTO
		01	GEN	R	RE	00	0	ELENCO ELABORATI
		01	GEN	R	RE	01	0	RELAZIONE GENERALE
		01	GEN	D	CO	01	0	COROGRAFIA DI INQUADRAMENTO SU CARTA TECNICA
		01	GEN	D	PL	01	0	PLANIMETRIA DI RILIEVO - TAV. 1
		01	GEN	D	PL	02	0	PLANIMETRIA DI RILIEVO - TAV. 2
		01	GEN	D	PR	01	0	PROFILO LONGITUDINALE DI RILIEVO - ASSE ALVEO
		01	GEN	D	SZ	01	0	SEZIONI DI RILIEVO - TAV.1
		01	GEN	D	SZ	02	0	3333
		01	GEN	D	SZ	03	0	SEZIONI DI RILIEVO - TAV.3
		01	GEN	D	SZ	04	0	SEZIONI DI RILIEVO - TAV.4
		01	GEN	D	PL	03	0	PLANIMETRIA GENERALE DI PROGETTO
02	IDR							IDROLOGIA E IDRAULICA
		02	IDR	R	RE	01	0	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
03	GEO							GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA
		03	GEO	R	RE	01	0	RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
		03	GEO	D	PL	01	0	CARTA DI INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
		03	GEO	D	PL	02	0	PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE
		03	GEO	D	PR	01	0	SEZIONI GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE
04	TRS							GESTIONE MATERIALI DI SCAVO
		04	TRS	R	RE	01	0	RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE
05	DEM							DEMOLIZIONE DELLA BRIGLIA ESISTENTE
		05	DEM	D	PL	01	0	PLANIMETRIA DI PROGETTO
		05	DEM	D	SZ	01	0	SEZIONI E PARTICOLARI COSTRUTTIVI DI PROGETTO
06	ALV							SISTEMAZIONE DELL'ALVEO
		06	ALV	R	RE	01	0	RELAZIONE DI CALCOLO
		06	ALV	D	PL	01	0	PLANIMETRIA DI PROGETTO - TAV.1
		06	ALV	D	PL	02	0	PLANIMETRIA DI PROGETTO - TAV.2
		06	ALV	D	PL	03	0	PLANIMETRIA DI PROGETTO DI DETTAGLIO - TAV.1
		06	ALV	D	PL	04	0	PLANIMETRIA DI PROGETTO DI DETTAGLIO - TAV.2
		06	ALV	D	PL	05	0	PLANIMETRIA DI TRACCIAMENTO DELLE OPERE - DIFESE SPONDALI - TAV.1
		06	ALV	D	PL	06	0	PLANIMETRIA DI TRACCIAMENTO DELLE OPERE - DIFESE SPONDALI - TAV.2
		06	ALV	D	PL	07	0	PLANIMETRIA DI TRACCIAMENTO DELLE OPERE - PARATIE - TAV.1
		06	ALV	D	PL	08	0	PLANIMETRIA DI TRACCIAMENTO DELLE OPERE - PARATIE - TAV.2
		06	ALV	D	ST	01	0	SEZIONI TIPO E PARTICOLARI COSTRUTTIVI DI PROGETTO
		06	ALV	D	PR	01	0	PROFILO LONGITUDINALE DI PROGETTO - SPONDA SINISTRA

		06	ALV	D	PR	02	0	PROFILO LONGITUDINALE DI PROGETTO - SPONDA DESTRA
		06	ALV	D	SZ	01	0	SEZIONI DI PROGETTO - TAV.1
		06	ALV	D	SZ	02	0	SEZIONI DI PROGETTO - TAV.2
		06	ALV	D	SZ	03	0	SEZIONI DI PROGETTO - TAV.3
		06	ALV	D	SZ	04	0	SEZIONI DI PROGETTO - TAV.4
		06	ALV	D	AR	01	0	BERLINESE IN PALI SPONDA SX MONTE TRAVERSA - CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	02	0	BERLINESE IN PALI SPONDA DX MONTE TRAVERSA - CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	03	0	BERLINESE IN MICROPALI SPONDA SX VALLE TRAVERSA - CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	04	0	BERLINESE IN PALI SPONDA SX VALLE TRAVERSA - CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	05	0	BERLINESE IN MICROPALI SPONDA DX VALLE TRAVERSA - CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	06	0	BERLINESE IN PALI SPONDA DX VALLE TRAVERSA- CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	07	0	PALI DI FONDAZIONE SX- CARPENTERIA ED ARMATURE
		06	ALV	D	AR	08	0	PALI DI FONDAZIONE DX- CARPENTERIA ED ARMATURE
07	CAN							CANTIERIZZAZIONE ED INTERFERENZE
		07	CAN	R	RE	01	0	RELAZIONE DI CANTIERIZZAZIONE E GESTIONE DELLE INTERFERENZE
		07	CAN	R	RE	02	0	CRONOPROGRAMMA GENERALE DEI LAVORI
		07	CAN	D	PL	01	0	PLANIMETRIA DI DETTAGLIO DELLE FASI
		07	CAN	D	PL	02	0	INTERFERENZE - PLANIMETRIA GENERALE
08	ESP							ESPROPRI E INTERFERENZE
		08	ESP	R	PL	01	0	PLANIMETRIA CATASTALE
		08	ESP	R	RE	01	0	PIANO PARTICELLARE
09	AMB							AMBIENTE E INSERIMENTO NEL TERRITORIO
		09	AMB	R	RE	03	0	RELAZIONE PAESAGGISTICA
10	DTE							DOCUMENTAZIONE TECNICA-ECONOMICA
		10	DTE	R	RE	01	0	QUADRO ECONOMICO
		10	DTE	R	RE	02	0	ELENCO PREZZI UNITARI
		10	DTE	R	RE	03	0	ANALISI NUOVI PREZZI
		10	DTE	R	RE	04	0	COMPUTO METRICO ESTIMATIVO
		10	DTE	R	RE	05	0	CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO - AMMINISTRATIVO
		10	DTE	R	RE	06	0	CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO - TECNICO
		10	DTE	R	RE	07	0	PIANO DI MANUTENZIONE
11	SIC							SICUREZZA
		11	SIC	R	RE	01	0	PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO
		11	SIC	R	RE	02	0	STIMA DEI COSTI DELLA SICUREZZA
		11	SIC	R	RE	03	0	FASCICOLO CON LE CARATTERISTICHE DELL'OPERA
		11	SIC	D	PL	01	0	LAYOUT DI CANTIERE - FASI DI LAVORO
		11	SIC	D	PL	02	0	LAYOUT DI CANTIERE - INQUADRAMENTO GENERALE