



Città Metropolitana di Bologna

Via Zamboni, 13 - 40126 Bologna (BO)

IL RUP:

P.I.E. Stefano Romagnoli

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO:

Ing. Jonathan Manzi

INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA

(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ELABORATI GENERALI

-

Relazione idraulica

PROGETTAZIONE:
Mandataria:

SYSTRA S.p.A.

Via della Stazione, 27 38123 Trento (TN), Italy - www.systra.com/italy

Mandanti:



SETECO Ingegneria S.r.l.



ITEC Engineering S.r.l.

SCALA: ---		IL PROGETTISTA: Ing. P. Misurale	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Erica Calatizzo	
FORMATO: A4	DATA: Apr 2026			

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
r00	Emissione	D. Loria	Apr 2026	M. Ivaldii	Apr 2026	P. Misurale	Apr 2026

CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROGETTAZIONE PF	TIPO DOC. R	AMBITO ID	PROGRESSIVO 102	REV. r00
---------------------------------	------------------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------------	--------------------

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25 LIVELLO PROG. PF TIPO DOC. D AMBITO GN PROGRESSIVO 102 REV. r00

INDICE

1.	PREMESSA E CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE	3
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO	5
3.	CANTIERIZZAZIONE	6
4.	NORMATIVA IDRAULICA VIGENTE	7
4.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI Po)	7
4.2	ARTICOLO 5.1.2.3. "COMPATIBILITÀ IDRAULICA" DELLE NTC2018	9
5.	DATI IDROLOGICI E MODELLO IDRAULICO	10
5.1	CONFIGURAZIONI DI VERIFICA E PARAMETRI DI CALCOLO	10
5.1.1	PORTATE	11
5.1.2	CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE	11
5.1.3	GEOMETRIA DELL'ALVEO	12
5.1.4	COEFFICIENTI DI SCABREZZA	13
6.	VERIFICHE IDRAULICHE DI STATO ATTUALE	14
6.1	PORTATA 50-ENNALE	14
6.2	PORTATA 200-ENNALE	14
6.3	MASSIMA PORTATA CONTENUTA IN ALVEO	14
7.	INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	15
7.1	DIMENSIONAMENTO OPERE DI DIFESA SPONDALE	15
7.2	VERIFICHE IDRAULICHE FASE DI CANTIERIZZAZIONE	16
7.2.1	PORTATA 50-ENNALE	16
7.2.2	PORTATA 200-ENNALE	16
7.2.3	MASSIMA PORTATA CONTENUTA IN ALVEO	16
7.3	VERIFICHE IDRAULICHE FASE DI PROGETTO	17
7.3.1	PORTATA 50-ENNALE	17
7.3.2	PORTATA 200-ENNALE	17
7.3.3	MASSIMA PORTATA CONTENUTA IN ALVEO	17

Allegati:

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche

Appendici:

APPENDICE 1 Software di calcolo HEC-RAS

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

1. PREMESSA E CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

La presente relazione idraulica è finalizzata, in primo luogo, alla verifica dei livelli di piena del Torrente Idice in corrispondenza della località La Motta, lungo la SP 6 “Zenzalino”, asse viario di collegamento tra il Comune di Budrio (BO) e il Comune di Molinella (BO), a seguito del crollo del ponte esistente dovuto agli eventi di piena del 16-17 maggio 2023.

In particolare, verranno effettuate due verifiche di tipo comparativo: la prima riferita allo stato attuale della geometria fluviale, la seconda allo stato di progetto, che prevede l’inserimento del nuovo ponte all’interno del modello idraulico.

Tali analisi sono finalizzate a valutare la compatibilità dell’intervento sia rispetto alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), sia in relazione ai criteri stabiliti dal Piano Speciale del Commissario straordinario per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi alluvionali in Emilia-Romagna, Toscana e Marche, approvato con Decreto n. 32 dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (Allegato 9 – “Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica dei ponti e delle infrastrutture”), richiamati nei capitoli successivi.

L’area oggetto dell’intervento e delle simulazioni idrauliche è rappresentata nelle corografie riportate di seguito su base ortofoto e CTR della Regione Emilia-Romagna.



Figura 1-1: Corografia di inquadramento, vista del ponte prima del crollo a seguito della piena del 16/17 maggio 2023

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

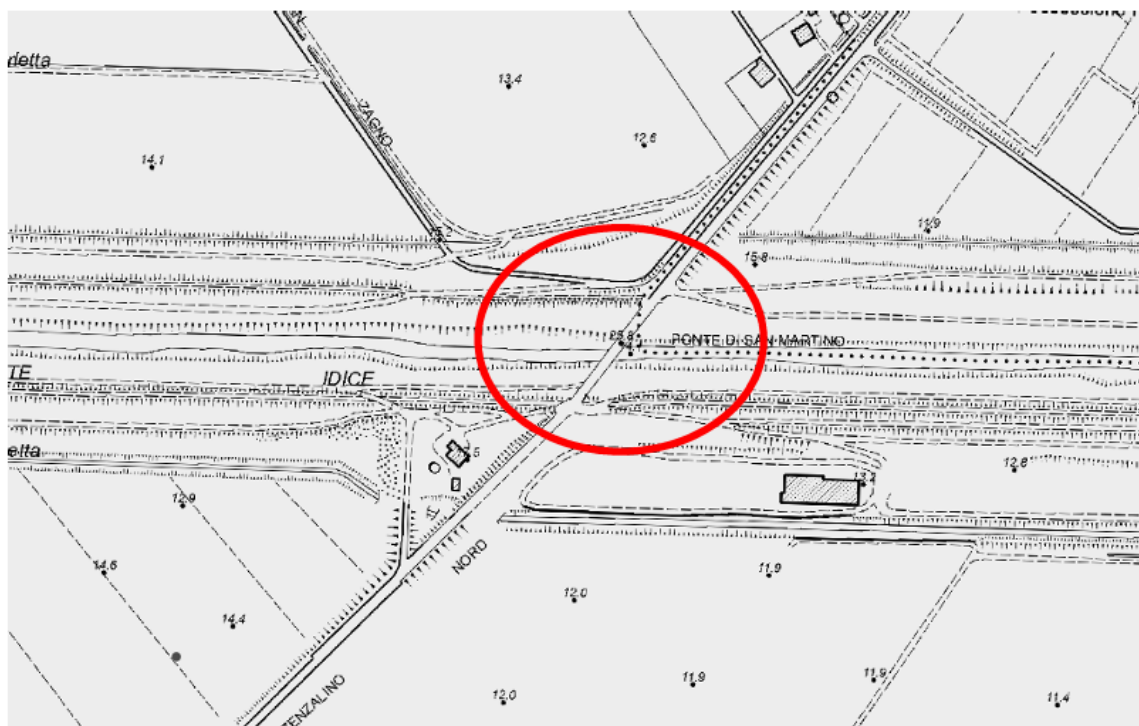


Figura 1-2: Corografia di inquadramento su CTR Regione Emilia-Romagna

Lo studio svolto nel presente elaborato è stato eseguito a fronte dei seguenti scopi:

1. Individuare i livelli idraulici al picco per piene con tempo di ritorno pari a 50 anni (con proiezione incrementale del 10% per gli effetti del cambiamento climatico potenziale al 2090);
2. Individuare i livelli idraulici al picco per piene con tempo di ritorno pari a 200 anni (con proiezione incrementale del 10% per gli effetti del cambiamento climatico potenziale al 2090);
3. Individuare i livelli idraulici associati al deflusso della massima piena transitabile all'interno dell'alveo del T. Idice nelle sezioni di interesse
4. Definire la compatibilità idraulica dell'intervento di progetto alle normative vigenti

Per lo svolgimento di tale studio sono state raccolte le informazioni disponibili, sia di tipo topografico sia relative alle ipotesi idrologiche e idrauliche, adottando le stesse procedure di modellazione e utilizzo del modello numerico di simulazione (HEC-RAS) già impiegate dall'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile dell'Emilia-Romagna e coerenti con l'impostazione metodologica dell'ex Autorità di bacino del Reno, responsabile della redazione e dell'adozione del vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico relativo al bacino del Torrente Idice.

L'attività di approfondimento si è concentrata in modo particolare sul tratto di torrente interessato dall'intervento, esteso per circa 450 m, all'interno del quale si colloca l'intera area di intervento.

È stato quindi sviluppato un modello topografico di dettaglio per l'intero tratto di studio e, su tale base, sono state ricavate sezioni trasversali opportunamente distribuite lungo l'asta fluviale, così da consentire una rappresentazione più accurata del corso d'acqua all'interno del modello idraulico HEC-RAS. Per ulteriori dettagli sulla geometria del modello si rimanda al paragrafo specifico dedicato alla descrizione dell'intervento.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO

Il principio che ha accompagnato la progettazione del nuovo ponte è quello di eliminare ogni possibile interdipendenza tra corso d'acqua e struttura, ovvero di evitare che la nuova costruzione risultasse di ostacolo alle acque di piena ed agli eventuali trasporti solidi del corso d'acqua. Tale obiettivo è stato raggiunto con i seguenti interventi:

- Alzando sensibilmente la livelletta dell'attuale tracciato stradale in modo da garantire adeguati franchi rispetto ai livelli stimati di piena bisecolare ed a garantire la completa manutenzione della struttura arginale in sommità (il franco risulta di 3.50 m rispetto alla sommità arginale);
- Portando il dislivello tra il fondo dell'alveo e l'intradosso del nuovo impalcato a oltre 13.50m, mitigando sensibilmente il rischio di ostruzione da alberi ad alto fusto (valore raccomandato dal PSP: 6-7 m);
- Ampliando la lunghezza di impalcato a circa 200 m eliminando i supporti intermedi (pile), prevedendo quindi una struttura a luce unica con spalle poste al di fuori dei corpi arginali.

La scelta operata in fase progettuale, supportata anche da considerazioni tecnico economiche e di utilizzo del territorio, è stata quella di ripercorrere l'attuale sede della SP6 "Zenzalino", che attraversa in obliquo l'Idice con una variazione angolare di circa 52° rispetto allo scorrimento del torrente.

Si riportano nel seguito le immagini di foto inserimento della soluzione proposta



Figura 2-1: Fotoinserimento del ponte di nuova costruzione

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

3. CANTIERIZZAZIONE

Il progetto di cantierizzazione dei lavori relativi alle opere illustrate nel presente documento dovrà essere organizzato in modo da interferire il meno possibile con la viabilità ordinaria delle aree circostanti e prevedere la localizzazione di un cantiere principale che inizialmente sarà allestito sulla sponda destra del torrente Idice al fine di effettuare la prima fase del varo del ponte di progetto.

In generale, l'individuazione delle aree di cantiere dovrà rispettare i seguenti criteri:

- localizzare e dimensionare il cantiere nelle immediate vicinanze del sedime del ponte sia a monte che a valle dello stesso, nonché delle aree a ridosso delle rampe di accesso allo stesso sia a destra che in sinistra idraulica sia a monte che a valle delle stesse;
- individuazione delle zone con dimensioni, caratteristiche, profili altimetrici adeguati e conformi alle indicazioni fornite dal progetto e allo stesso tempo avere un impatto ambientale più ridotto possibile;
- localizzare il cantiere in modo da ottimizzare gli spostamenti e le fasi di intervento in conformità alle indicazioni fornite dal presente progetto;
- consentire una sicura accessibilità dalla viabilità esistente secondo le indicazioni fornite dagli elaborati grafici inseriti nel presente progetto.

Sulla base delle indicazioni appena esposte per la valutazione del posizionamento delle aree di cantiere, il progetto prevede le seguenti macro-fasi:

- **Fase 0:** realizzazione delle pile provvisorie a supporto del varo. Le pile sono disposte lungo la direzione di avanzamento dell'impalcato, in corrispondenza dei punti di appoggio intermedi (indicati in tavola come PP1, PP2, PP3, PP4 e SPB), garantendo il sostegno durante le fasi di spinta.
- **Fase 1:** assemblaggio avambecco sul campo di varo, prima spinta iniziale e messa in sicurezza; assemblaggio del 1° treno di varo (L = 32 m), senza predalle e armatura
- **Fase 2:** spinta del treno di varo di circa 60 m e messa in sicurezza.
- **Fase 3:** assemblaggio del 2° treno di varo (L = 57 m) e posizionamento predalle nei tratti previsti.
- **Fase 4:** spinta di circa 56 m e messa in sicurezza.
- **Fase 5:** assemblaggio del 3° treno di varo (L = 65 m), con inserimento predalle nei tratti indicati.
- **Fase 6:** spinta di circa 67 m e messa in sicurezza.
- **Fase 7:** assemblaggio del 4° treno di varo e completamento impalcato (L ≈ 54 m).
- **Fase finale:** spinta terminale, smontaggio avambecco e rimozione retrobecco; calaggio sugli appoggi definitivi ed eliminazione pile provvisorie; completamento soletta e finiture.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

4. NORMATIVA IDRAULICA VIGENTE

La normativa idraulica di riferimento è la seguente:

- PAI Po
- Articolo 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica” delle NTC2018

4.1 Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI Po)

Il Piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d’uso riguardanti l’assetto idraulico e idrogeologico del bacino idrografico al fine di garantire un livello di sicurezza adeguato rispetto ai pericoli di natura idraulica e geologica e mitigare le condizioni di rischio tutelando gli aspetti ambientali e paesaggistici ad esse connesse.

Attualmente sono vigenti nel Distretto del fiume Po diversi PAI, che erano stati a suo tempo predisposti dalle Autorità di Bacino nazionali interregionali e regionali ora soppresse. Uno di questi è il PAI Po.

Le previsioni e le prescrizioni del piano hanno valore a tempo indeterminato, tuttavia esse sono verificate e, se necessario, aggiornate in relazione allo stato di realizzazione delle opere programmate, al variare della situazione morfologica, ecologica e territoriale dei luoghi, ai nuovi elementi conoscitivi derivanti da studi e monitoraggi ed infine agli eventi alluvionali. Il PAI è soggetto quindi a vari processi di modifica e di aggiornamento che possono modificare gli aspetti conoscitivi come gli aspetti normativi o le determinazioni del Piano relativamente a certe parti del territorio.

Con Deliberazione della Conferenza Istituzionale Permanente n. 13/2025 del 18/12/2025 è stato adottato il Progetto di Variante al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Po: estensione ai bacini del Reno, dei Romagnoli, del Conca Marecchia e al bacino del Fissero, Tartato, Canalbianco. Tale Delibera abroga integralmente le misure di salvaguardia adottate dall’ADBPO con Decreto del segretario generale n. 13/2025.

Il Decreto del segretario generale facente funzione n. 4/2026 del 19/01/2026 dell’ADBPO riporta le disposizioni conseguenti alla presa d’atto delle mappe di pericolosità e rischio di alluvioni relative al terzo ciclo sessennale di gestione del rischio di alluvioni (2027-2033) del distretto idrografico del fiume Po.

Si riporta di seguito un estratto della mappa di pericolosità di alluvioni. L’area di interesse ricade in Aree allagabili e aree allagabili per rottura arginale H-P3.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00



Figura 4-1: Estratto della mappa pericolosità di alluvioni

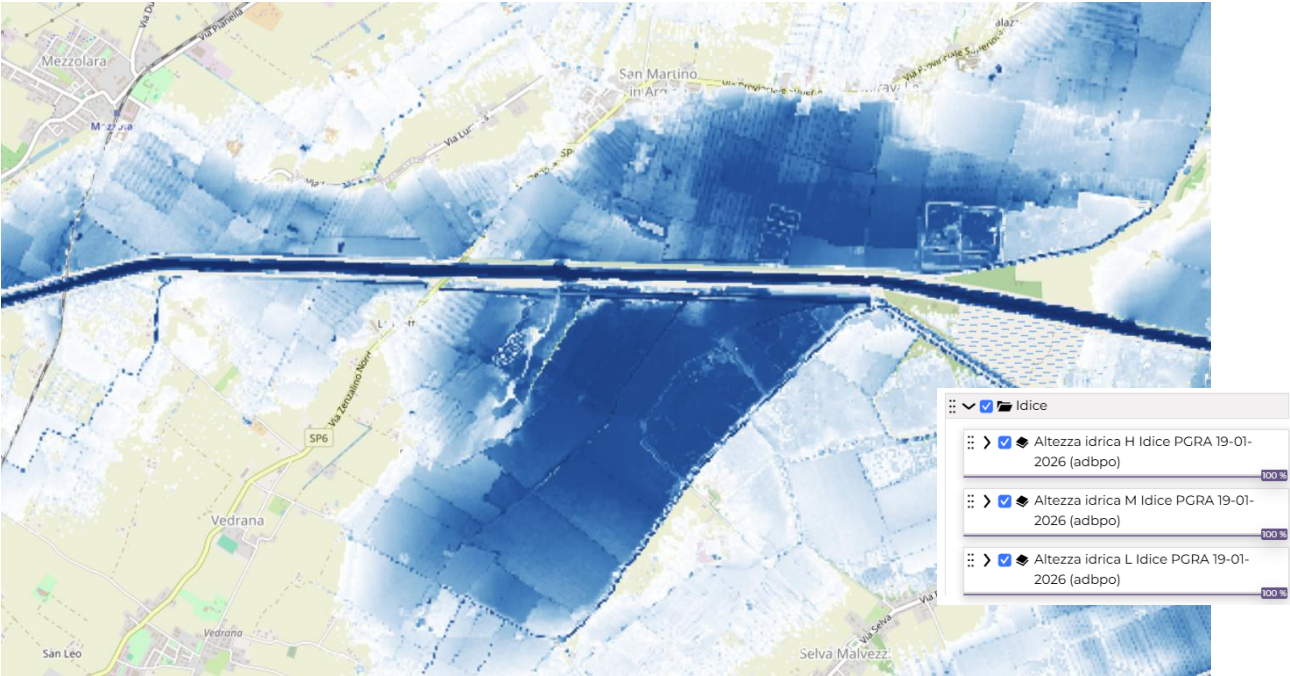


Figura 4-2: Estratto della mappa altezza idrica

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00

4.2 Articolo 5.1.2.3. "Compatibilità idraulica" delle NTC2018

Si richiama inoltre un estratto dell'articolo 5.1.2.3 "Compatibilità idraulica" delle NTC2018 (Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni") relativo alla verifica appunto della compatibilità idraulica dei ponti stradali di progetto il quale cita:

"Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte. L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$)."

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

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

Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.

Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato. In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

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

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m ...".

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

Nel caso qui studiato, la configurazione geometrica del nuovo ponte in progetto garantirà, come caratteristiche principali “non derogabili”, le seguenti condizioni:

- Avere una quota dell'intradosso dell'impalcato superiore di almeno 1.50 metri rispetto alla quota raggiunta, al picco, dalla piena con tempo di ritorno pari a 200 anni;
- Non interessare con le spalle ed i rilevati di accesso al ponte la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto TR 200 anni (il filo interno delle spalle e delle relative fondazioni risultano ben al di fuori della proiezione verticale dell'attuale piede esterno d'argine del torrente, e quindi a maggior ragione dei cigli interni d'alveo all'interno dei quali deve (dovrebbe) risultare confinata la dinamica di piena);

Si segnala inoltre che:

- A differenza del ponte esistente crollato non sono più presenti pile in alveo
- Le spalle del ponte risultano esterni rispetto ai corpi arginali del Torrente Idice.

5. DATI IDROLOGICI E MODELLO IDRAULICO

Nel seguito si procede alla definizione dei principali dati e parametri idraulici impiegati per l'esecuzione delle verifiche idrauliche monodimensionali, relative a un tratto del torrente Idice di lunghezza complessiva pari a 450 m, analizzato sia nello scenario di stato attuale sia nello stato di progetto.

Le verifiche sono state condotte mediante l'utilizzo del software HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers, che consente il calcolo dei profili di rigurgito in condizioni di moto permanente gradualmente variato, sia in alvei naturali sia in canali artificiali. Il modello permette inoltre di valutare gli effetti idraulici derivanti dall'interazione della corrente con opere e manufatti quali ponti, tombinature, briglie, stramazzi e aree golenali.

La metodologia di calcolo adottata è descritta in modo più dettagliato nell'Appendice 1 allegata alla presente relazione.

5.1 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA E PARAMETRI DI CALCOLO

Sono state condotte le verifiche idrauliche nella configurazione di stato attuale del torrente Idice per un tratto della lunghezza di circa 450 m.

Lungo l'asta del corso d'acqua sono state individuate una serie di sezioni trasversali sulla base del rilievo topografico di dettaglio disponibile; esse sono numerate in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, depositi al fondo, salti di quota, ecc.).

I parametri idraulici utilizzati, in primis il coefficiente di scabrezza del contorno bagnato, sono stati mutuati dalle calibrizioni svolte e dai valori conseguentemente assunti in fase di redazione del vigente Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico; questo vale anche per i valori di portata di riferimento (“sollecitazione idrologica”), per i quali sono stati però adottati coefficienti incrementali di sicurezza per tenere conto anche degli effetti potenziali indotti dal cambiamento climatico.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

Relativamente al Torrente Idice e alle condizioni idrologiche di riferimento, si sono assunti - al fine del corretto calcolo idraulico, come da normativa esaminata al precedente Paragrafo - i valori di portata al colmo dell'onda di piena in transito determinati nella "Relazione idrologica, alla quale si rimanda.

In ultimo, si vuole sottolineare un aspetto metodologico delle simulazioni modellistiche molto importante.

Le verifiche in moto permanente condotte con il presente studio sono notevolmente cautelative in quanto nelle simulazioni sono stati impostati dei "muri verticali" fittizi, in corrispondenza dei due cigli sommitali interni degli argini, in modo che la portata simulata sia vincolata a scorrere internamente all'alveo (senza possibilità di spagliamenti laterali, condizione che in realtà si verificherà per eventi straordinari che superino l'ufficiosità idraulica del torrente).

Nella realtà, quindi, la quota raggiunta in corrispondenza delle sezioni sarà sempre inferiore perché, come si evince dalle simulazioni svolte, il Torrente Idice non riesce a smaltire la portata duecentennale (i.e. la portata di riferimento normativo) e conseguentemente una quota porta del volume uscirà dall'alveo del torrente Idice stesso.

Di fatto, con la logica dei "muri fittizi" si ipotizza un futuro intervento di rialzo arginale tale da contenere i deflussi della piena bisecolare, e rispetto a tale condizione ottimale potenziale si va a definire le quote e la geometria del nuovo ponte in progetto.

5.1.1 Portate

Per la stima delle portate in ingresso al modello idraulico si è fatto riferimento ai valori riportati nella relazione del PSAI, incrementati del 10% al fine di tenere conto dei possibili effetti legati ai cambiamenti climatici.

Inoltre, si è ritenuto opportuno estendere le verifiche anche alla portata massima contenibile in alveo, così come indicato nella "Relazione Idrologica".

Le portate che verranno utilizzate nelle simulazioni sono le seguenti:

- **Portata cinquantennale - $Q_{50} = 687.5 \text{ m}^3/\text{s}$**
- **Portata duecentennale - $Q_{200} = 852.5 \text{ m}^3/\text{s}$**
- **Massima portata contenuta in alveo - $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$**

5.1.2 Condizioni al contorno di valle

Altro parametro fondamentale per le simulazioni sul Torrente Idice è la condizione al contorno imposta alla sezione di chiusura del tratto indagato.

Nelle simulazioni svolte è stata inserita, come condizione di valle la pendenza media del Torrente Idice nel tratto considerato— desunta dai rilievi topografici - pari allo 0.03 %.

Di fatto, si è imposta alla sezione di chiusura una scala di deflusso $[Q,h]$ del torrente in moto permanente, che il modello matematico è in grado di calcolarsi automaticamente disponendo della sezione finale e della sua scabrezza.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00

5.1.3 Geometria dell'alveo

La geometria utilizzata nelle simulazioni è stata dedotta mediante un rilievo piano altimetrico eseguito nei primi mesi del 2026 da parte del Geom. Libro, il quale ha permessa la conoscenza dello stato attuale dell'area di intervento.

L'intervento in corrispondenza di tale zona è stato reso necessario a causa dei danni causati all'argine del torrente Idice conseguenti alla rottura arginale avvenuta nella notte compresa fra il 16 e il 17 maggio 2023 a cui è seguito, il crollo, prima parziale e poi completo del ponte San Martino.

La rottura arginale ha provocato l'allagamento dei terreni a campagna situati in destra idraulica, con interessamento di strade comunali e della strada provinciale SP6 di competenza della Città Metropolitana di Bologna, di abitazioni civili ed edifici rurali.

La rottura dell'argine in destra idraulica e il conseguente aumento della velocità della corrente, unito al rapido svasso del corso d'acqua, ha provocato il collasso, parziale o completo, del corpo arginale e delle golene, sia in destra che in sinistra idraulica, per un tratto di circa 3 Km a monte della rottura, sino al ponte della ferrovia Bo – Portomaggiore, nonché erosione del fondo alveo per una profondità stimata di circa un metro.

Al termine dell'evento di piena, il tratto di argini del Torrente Idice compreso tra il ponte della ferrovia Bologna Portomaggiore e il punto di rottura presentava un preoccupante stato di degrado, compromettendo seriamente il livello di sicurezza idraulica.

In particolare, oltre al punto di rottura, temporaneamente chiuso con una scogliera in massi, si osservava l'erosione completa delle sommità arginali in ampi tratti, sia sulla destra che sulla sinistra idraulica. Questo fenomeno, unito all'erosione di buona parte del corpo arginale, rendeva la porzione residua estremamente vulnerabile, incapace di contenere anche piene di modesta entità.

Pertanto, il progetto di somma urgenza non si è potuto limitare alla sola ricostruzione dell'argine in corrispondenza della rotta, ma alla riparazione anche dei tratti arginali a monte della stessa la cui integrità era stata fortemente compromessa, in modo da riportare il corso d'acqua al medesimo grado di sicurezza ante – evento.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00

5.1.4 Coefficienti di scabrezza

Per quanto concerne la definizione dei coefficienti di scabrezza da utilizzare nelle modellazioni idrauliche si è fatto riferimento alla pianificazione esistente ed in particolare alla già citata relazione di PSAI. Si riporta di seguito un estratto di tale relazione nei quali vengono elencati i coefficienti di scabrezza utilizzati nelle simulazioni di PSAI:

“... Nell’ottica di assegnare comunque valori cautelativi (i.e. pari al valore più basso del probabile dominio numerico di appartenenza) al coefficiente di scabrezza c^* , sono stati in conclusione assegnati i seguenti valori nel Torrente Idice:

- $c^* = 13$ [$m^{1/3} s^{-1}$] a monte del ponte di Castenaso (da taratura)
- $c^* = 11,5$ [$m^{1/3} s^{-1}$] dal ponte di Castenaso al ponte del Dritto (da taratura)
- **$c^* = 20$ [$m^{1/3} s^{-1}$] dal ponte del Dritto allo sfocio in Reno ...”**

Il tratto qui oggetto di intervento ricade nel tratto di torrente compreso tra il ponte del Dritto e lo sfocio nel torrente Reno.

Tali caratteristiche di resistenza al moto, stimate per il PSAI (da attività specifica di calibrazione) circa due decenni fa, viste le condizioni abbastanza costanti nel tempo dello stato vegetativo e manutentivo del torrente possono ritenersi tuttora valide e verosimili, se non leggermente severe (i.e. scabrezza alta) sia alla luce dello stato medio di esercizio del torrente e delle caratteristiche tarate e ricavate in fiumi emiliano-romagnoli simili, sia proprio in ragione dei recenti lavori della RER di risagomatura e ricalibrazione dell’alveo nel tratto.

In conclusione, anche a favore di sicurezza, il coefficiente di Manning “ n ” utilizzato (dove $n = 1/c^*$, con c^* coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler utilizzato nelle modellazioni di PSAI) sarà il seguente:

- **$n = 0.05 s/m^{1/3}$**

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

6. VERIFICHE IDRAULICHE DI STATO ATTUALE

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato A, di seguito se ne riporta una descrizione sintetica per le portate considerate nella configurazione di stato attuale.

6.1 Portata 50-ennale

Il deflusso della portata 50-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.15 e 0.2, velocità variabili tra 1.2 m/s e 1.55 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.84 m e 21.68 m

6.2 Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.15 e 0.2, velocità variabili tra 1.66 m/s e 1.3 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 22.84 m e 22.70 m

6.3 Massima portata contenuta in alveo

Il deflusso della massima portata contenuta in alveo del torrente Idice nel tratto di interesse risulta essere contenuta all'interno delle sponde per ogni sezione idraulica considerata con franco minimo pari a 0.16 m

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.15 e 0.2, velocità variabili tra 1.48 m/s e 1.15 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 22.84 m e 22.70 m

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)					
PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00

7. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

7.1 Dimensionamento opere di difesa spondale

Il dimensionamento delle opere di difesa spondale è stato effettuato sulla base dello studio idraulico della condizione di stato attuale precedentemente analizzata

Tale studio ha fornito i parametri idraulici necessari a determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che ne causano il movimento.

In particolare, sono state determinate le dimensioni minime del singolo masso e, conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media v .

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica v_{cr} (velocità al fondo) che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente d della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione:

$$v_{cr} = k d^{0.5}$$

con v_{cr} espresso in m/s e d in metri.

Il coefficiente k assume valori variabili fra 4 e 8¹; le condizioni di movimento del singolo masso si hanno quando k supera il valore di 8.

Nel caso in esame si è assunto un valore $K = 4$ e, considerando un valore della velocità critica pari a 1.3 m/s, si ottiene un diametro caratteristico dei massi pari a $d = 1,0$ m, corrispondente ad un masso di peso .1.3 t. (masso di II categoria)

Come descritto in precedenza, per la realizzazione delle opere di difesa spondale, si prevede a progetto la realizzazione di tre differenti ordini di scogliera posizionati come mostrato nell'immagine seguente.

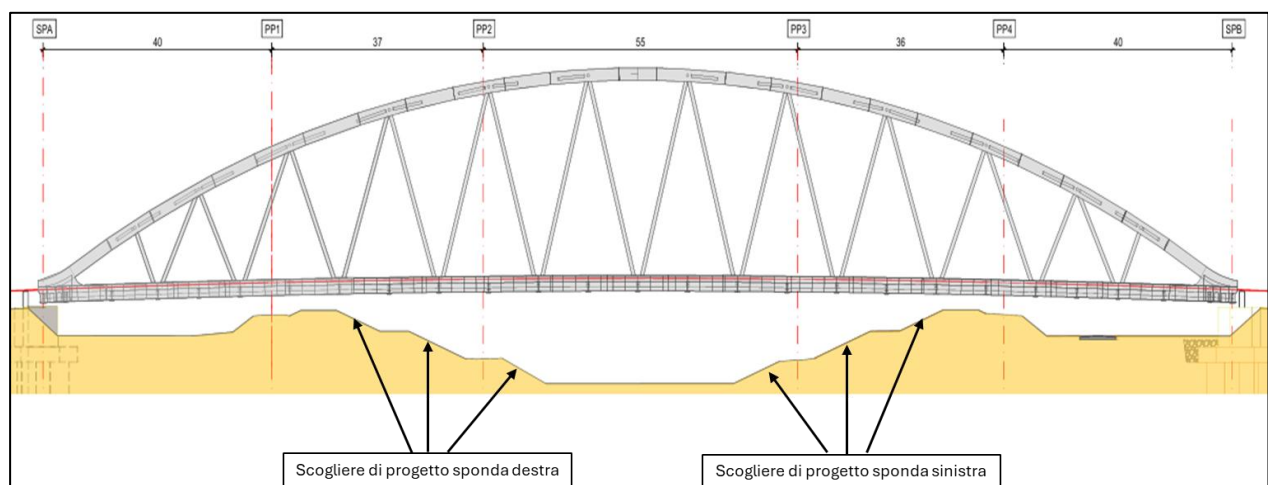


Figura 7-1: Schema scogliere di progetto

¹ L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

7.2 Verifiche idrauliche fase di Cantierizzazione

Come anticipato, per la realizzazione delle operazioni di varo del ponte di progetto è prevista una fase di cantierizzazione della durata di circa 300 giorni.

Durante tale periodo è prevista la posa in alveo di quattro pile provvisorie, con funzione di sostegno dell'impalcato nelle diverse fasi di avanzamento del varo.

Tali strutture saranno posizionate in corrispondenza del terzo ordine di scogliera, come desumibile dagli elaborati progettuali, e determineranno un ingombro significativo della sezione idraulica dell'alveo di progetto, con potenziali effetti sul regime delle correnti e sui livelli idrici.

Alla luce di ciò, si è reso necessario procedere con specifiche verifiche idrauliche nello stato di cantiere, al fine di valutare l'interferenza delle opere provvisorie sul deflusso. I risultati di tali analisi sono riportati nei paragrafi successivi.

7.2.1 Portata 50-ennale

Il deflusso della portata 50-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.14 e 0.2, velocità variabili tra 1.16 m/s e 1.55 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.84 m e 21.68 m.

7.2.2 Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.14 e 0.2, velocità variabili tra 1.26 m/s e 1.66 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 22.86 m e 22.70 m.

7.2.3 Massima portata contenuta in alveo

Il deflusso della massima portata contenuta in alveo del torrente Idice nel tratto di interesse risulta essere contenuta all'interno delle sponde per ogni sezione idraulica considerata con franco minimo pari a 0.14 m

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.13 e 0.2, velocità variabili tra 1.10 m/s e 1.48 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.84 m e 21.68 m.

In conclusione, alla luce dei risultati appena descritti si può asserire che il deflusso della portata 50-ennale, della portata 200-ennale e della massima portata transitabile in alveo, non risultano essere significativamente condizionate dall'ingombro in alveo dovuto alla presenza delle pile provvisorie per il varo del ponte di progetto.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)					
PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25	LIVELLO PROG. PF	TIPO DOC. D	AMBITO GN	PROGRESSIVO 102	REV. r00

7.3 Verifiche idrauliche fase di Progetto

In conclusione, si riportano i risultati relativi alla configurazione di progetto comprendente il ponte varato nella sua posizione definitiva. Nel seguito si riportano i risultati relativi alla modellazione idraulica in tale configurazione.

7.3.1 Portata 50-ennale

Il deflusso della portata 50-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.14 e 0.2, velocità variabili tra 1.16 m/s e 1.44 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.83 m e 21.68 m.

In corrispondenza dell'impalcato di progetto il livello raggiunto dalla portata 50-ennale è significativamente inferiore all'intradosso del ponte con un franco idraulico pari a circa 3.7 m, ben superiore a 1.5 m, così come indicato dalle NTC2018. Anche il carico idraulico risulta essere abbondantemente contenuto al di sotto dell'impalcato del ponte.

7.3.2 Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale del torrente Idice nel tratto di interesse non risulta essere mai contenuta all'interno delle sponde.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.14 e 0.2, velocità variabili tra 1.16 m/s e 1.44 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.83 m e 21.68 m.

In corrispondenza dell'impalcato di progetto, il livello idrico associato alla portata con tempo di ritorno pari a 200 anni risulta significativamente inferiore all'intradosso del ponte, garantendo un franco idraulico pari a circa 2,7 m. Tale valore risulta conforme alle indicazioni delle NTC 2018, che prevedono un franco minimo pari a 1,5 m. Si evidenzia inoltre che il carico idraulico rimane ampiamente contenuto al di sotto dell'impalcato del ponte, escludendo condizioni di interferenza con la struttura.

7.3.3 Massima portata contenuta in alveo

Il deflusso della massima portata contenuta in alveo del torrente Idice nel tratto di interesse risulta essere contenuta all'interno delle sponde per ogni sezione idraulica considerata con franco minimo pari a circa 0.15 m.

Il profilo della corrente si mantiene in corrente lenta con numeri di Froude compresi tra 0.13 e 0.2, velocità variabili tra 1.10 m/s e 1.49 m/s e con un'altezza del pelo libero variabile tra 21.24 m e 21.09 m.

In corrispondenza dell'impalcato di progetto, il livello idrico associato alla portata di piena di riferimento risulta significativamente inferiore all'intradosso del ponte, garantendo un franco idraulico pari a circa 4,3 m. Analogamente ai casi precedentemente analizzati, anche in questa configurazione il franco idraulico risulta ampiamente superiore al valore minimo di 1,5 m, come previsto dalle NTC 2018. Si evidenzia inoltre che il carico idraulico rimane ampiamente contenuto al di sotto dell'impalcato, escludendo condizioni di interferenza tra il deflusso e la struttura del ponte.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

ALLEGATO A

Verifiche idrauliche

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

APPENDICE 1

Software di calcolo Hec-Ras

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25 LIVELLO PROG. PF TIPO DOC. D AMBITO GN PROGRESSIVO 102 REV. r00

Il software di calcolo *Hec-Ras* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3} s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	CODICE PROGETTO 24V25 LIVELLO PROG. PF TIPO DOC. D AMBITO GN PROGRESSIVO 102 REV. r00

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombature (*bridge and culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove Q [m³/s] è la portata defluita attraverso la luce di area A [m²], H [m] è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria) SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA												
IDRAULICA Relazione smaltimento acque meteoriche	<table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>D</td><td>GN</td><td>102</td><td>r00</td></tr></table>	CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.	24V25	PF	D	GN	102	r00
CODICE PROGETTO	LIVELLO PROG.	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.								
24V25	PF	D	GN	102	r00								

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.