

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

**POTENZIAMENTO LINEA RHO - ARONA
TRATTA RHO - GALLARATE**

Studio idraulico Fiume Olona

SCALA

-

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

MDL	1	00	D	11	RI	ID0002	002	A
-----	---	----	---	----	----	--------	-----	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Consegna per Cds	<i>A. Tortora</i>	Marzo 2013	<i>F. Gabbs</i>	Marzo 2013	S. Borelli <i>SB</i>	Marzo 2013	ITALFERR S.P.A. U.O. CORPO STRADALE e GEOTECNICA Ing. FRANCESCO BACCANI Ufficiale degli Ingegneri della Provincia di Pavia n. 123172

File: MDL1 00 D 11 RI ID0002 002 A.doc

n. Elab.:

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	IDROGRAFIA DEL TERRITORIO	6
3	SINTESI NORMATIVA	9
3.1	PIANO DI BACINO E PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO	10
3.2	NORME DI ATTUAZIONE DEL P.A.I.	15
3.3	DIRETTIVE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO	17
3.4	STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA NATURALI E ARTIFICIALI ALL'INTERNO DELL'AMBITO IDROGRAFICO DI PIANURA LAMBRO – OLONA (SDF)	19
4	VERIFICHE IDRAULICHE	22
4.1	ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME OLONA IN LOCALITÀ RHO	22
4.1	ATTRAVERSAMENTO DI PROGETTO DEL FIUME OLONA IN LOCALITÀ RHO SOLUZIONE 2013	23
4.1.1	<i>Implementazione del modello matematico</i>	25
4.1.1	<i>Condizioni al contorno</i>	31
4.1.2	<i>Risultati delle simulazioni</i>	32
5	CONCLUSIONE	55

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 3 di 77

1 PREMESSA

Il progetto di potenziamento della linea ferroviaria Rho – Gallarate presentato nel 2009, prevedeva, in uscita dalla stazione di Rho, la realizzazione di 5 nuovi binari (1 linea DD, 1 linea Novara e 3 magazzini Sogemar), in affiancamento a quelli esistenti.

La costruzione dei suddetti binari risultava strettamente legata alla richiesta di ampliamento della larghezza dell'attuale sede ferroviaria, con conseguente necessità di adeguamento delle strutture di attraversamento dei corsi d'acqua e delle eventuali opere idrauliche che, per loro posizione, risultavano incompatibili con il futuro assetto della linea ferroviaria.

In particolare il progetto prevedeva la realizzazione di nuovi manufatti di attraversamento con luce superiore a quella dell'attuale opera di attraversamento ferroviario sul fiume Olona; per questo corso d'acqua le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino del Fiume Po (AdBPo) mentre l'espressione del parere di compatibilità, ai sensi dell'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), è di competenza di Agenzia Interregionale del Fiume Po (AIPO).

Nell'ambito delle analisi idrologiche ed idrauliche svolte nello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*, l'Autorità di Bacino del Fiume Po (AdBPo) ha definito le condizioni di deflusso della piena di riferimento, di tempo di ritorno di 100 anni, lungo l'asta dell'Olona da Induno Olona fino all'ingresso nella tombinatura di Milano, con determinazione degli idrogrammi di portata e di livello idrico in tutte le sezioni topografiche rilevate nell'apposita attività di campo eseguita nell'ambito dello stesso studio; in base alla delibera del Comitato Istituzionale n.12 del 18 marzo 2008 tale studio, relativamente agli esiti delle indagini conoscitive, è da considerarsi quadro di riferimento aggiornato del PAI.

Le analisi svolte nello Studio di fattibilità hanno evidenziato, attraverso un modello numerico di simulazione della formazione e propagazione dei deflussi, la condizione di criticità del ponte ferroviario esistente della linea Rho - Gallarate, in località Rho, e del tratto di asta dell'Olona a valle di esso (il Ponte stradale SP 130 e i due ponticelli di loc. Lucernate e il ponte stradale di loc. Campagna Bastaia).

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 4 di 77

In data 18 gennaio 2011, presso la sede dell’Autorità di Bacino del fiume Po a Parma è stata convocata una riunione tra RFI, Italferr, l’Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO) e l’Autorità di bacino del fiume Po (AdBPo) per illustrare le problematiche idrauliche inerenti il progetto del nuovo attraversamento ferroviario del fiume Olona a Rho.

Nel corso dell’incontro, AdBPo aveva evidenziato l’opportunità di verifica immediata dell’interferenza del ponte nuovo con il deflusso della piena dell’Olona nello scenario ipotetico in cui vengano adeguati tutti i ponti esistenti, compreso quello ferroviario, che, in base al più recente studio da essa condotto risultano oggi interferenti.

Ciò al fine di determinare l’eventuale ostacolo alle condizioni di deflusso determinato dalla nuova opera, indipendentemente dalle altre.

Sulla base di tali indicazioni, lo studio di fattibilità presentato da Italferr all’AdBPo si poneva l’obiettivo di valutare le condizioni di funzionamento del nuovo manufatto ferroviario in progetto nello scenario proposto dall’AdBPo; in particolare : *“Dovranno essere rimosse le interferenze degli altri ponti a valle del ponte ferroviario e anche l’interferenza del ponte ferroviario esistente, al fine di confrontare le diverse condizioni ed evidenziare l’interferenza del ponte ferroviario esistente.*

Sulla base di tale verifica dovranno essere proposte le soluzioni tecniche possibili al fine della riduzione del grado di rischio per il territorio connesso all’interferenza dell’ opera di attraversamento ferroviaria e delle altre esistenti a valle di essa nel tratto in questione.”

Tutte le verifiche furono condotte considerando i due seguenti assetti, riportati nello studio di fattibilità svolta dall’AdBPo ovvero:

1. assetto nuovo (“di progetto”) nel quale, per il tempo di ritorno di 10 anni, per effetto degli interventi prioritari previsti sul bacino dell’Olona, la portata in arrivo al ponte ferroviario si ridurrebbe a 43,6 m³/s
2. per effetto di tutti gli interventi previsti, invece, per il tempo di ritorno di 100 anni, la portata in arrivo al ponte ferroviario potrebbe essere ridotta a 42,5 m³/s

Sulla base di modellazioni idrauliche monodimensionali e di considerazioni di tipo tecnico si era potuti quindi arrivare alla formulazione di diversi scenari di funzionamento atti a ridurre al minimo la vulnerabilità dell’intero sistema in progetto.

Nell’ambito della procedura di pubblicizzazione degli espropri (15/06/2011)

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 5 di 77

relativamente al progetto di potenziamento Rho-Gallarate, la ditta Arkema ha evidenziato l'impossibilità di rimozione/spostamento del fabbricato tecnico di proprietà interferito dal tracciato del singolo binario Nord di PD. Al fine di evitare tale interferenza è stata studiata una nuova soluzione plano-altimetrica del tracciato del binario interferente. La soluzione individuata è stata condivisa dal Referente di progetto nell'incontro del 14710/2011.

E' stato quindi necessario modificare il tracciato del singolo binario Nord per consentire il mantenimento del fabbricato tecnico di Arkema posto alla progressiva km -0+167 circa. Le principali modifiche vedono un progressivo spostamento del tracciato verso sud fino al suo posizionamento ad una distanza massima di circa 12.50 m rispetto alla posizione di PD del 2009 (in corrispondenza del passaggio sul fiume Olona); oltre tale punto il binario prosegue in direzione nord avvicinandosi alla posizione prevista nella soluzione originaria.

Altimetricamente tale binario si stacca dalla bretella Nord proseguendo la livelletta orizzontale di quest'ultima alla quota di 154.10 m per circa 250 m; prosegue poi con una prima livelletta di pendenza 4.328‰ per circa 540 m, seguita da una seconda di pendenza -6.594‰ per circa 295 m per poi riprendere l'altimetria prevista per tale binario dal PD.

L'opera di attraversamento del fiume Olona risulta quindi modificata sia nella posizione planimetrica sia nell'altimetria.

A valle di questa modifica sono state ripetute le modellazioni idrauliche svolte nello studio di fattibilità presentate all'AdBPo e si sono valutati gli effetti migliorativi dovuti alla sistemazione dell'opera.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 6 di 77

2 IDROGRAFIA DEL TERRITORIO

Il territorio interessato dal progetto rientra interamente all'interno del bacino idrografico del **fiume Olona** che si estende nel territorio delle province di Varese, Milano e marginalmente quella di Como, oltre ad interessare marginalmente anche il territorio svizzero.

L'origine del corso d'acqua trova ubicazione presso le pendici dei monti a Nord di Varese ad una quota di circa 1000 m s.m.m. e, dopo un tragitto di circa 60 km, entra nell'abitato di Milano da cui esce con il nome di Lambro Meridionale. Lungo il suo percorso, lambisce la città di Varese, riceve, in sinistra, il contributo del Torrente Bevera e, in destra, le acque del Rio Velone; poco più a sud, in località Valle Folla, raccoglie le acque del Rio Ranza, il cui corso ha origine dalle pendici del Monte San Giorgio, in territorio svizzero.

Il bacino dell'Olona, chiuso in corrispondenza dell'immissione nel tombino appena a monte di Milano ha un'estensione complessiva di circa 475 km², che include sia il bacino del torrente Bozzente avente un'estensione di 79 km², sia il bacino del torrente Lura con superficie di 150 km².

I caratteri morfologici del bacino idrografico si differenziano in maniera netta in una parte montana e quella pianeggiante.

La prima si chiude in corrispondenza di Ponte Gurone, in comune di Malnate, e presenta una superficie di 95 km². La seconda si estende dalla sezione di Ponte Gurone fino alla chiusura.

La parte montana del bacino ha una forma a Y, dove il ramo occidentale è rappresentato dal bacino dell'Olona vero e proprio mentre la parte orientale è costituita dal territorio tributario del Torrente Bevera, del Torrente Clivio e del Rio Ranza. Al ramo occidentale, il più urbanizzato dei due, appartengono gli abitati di Varese e di Induno Olona, mentre il ramo orientale, salvo alcuni centri abitati di modeste dimensioni, è per la maggior parte costituito da terreno boschivo e agricolo.

Per alleggerire i carichi idraulici sul reticolo idrografico che entra in Milano, all'inizio degli anni '80 fu realizzato il **Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO)**, che scolma i contributi di piena a Nord di Milano, intercettando i corsi d'acqua a partire dal Seveso, per sversarli nel Ticino all'altezza di Abbiategrasso. Lungo il percorso intercetta

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 7 di 77

le portate eccedenti dell'Olona, derivate alle prese denominate Olona1 e Olona2; le portate provenienti da quest'ultima sversano nel canale scolmatore al nodo di Cornaredo, da dove parte il Deviatore Olona, realizzato recentemente per convogliare le portate in eccesso dell'Olona, che non possono essere scaricate nel CSNO. Il Deviatore aggira a ovest la città e si collega, presso Gratosoglio, al Lambro meridionale.

A valle di Ponte Gurone, il bacino assume una forma molto stretta e allungata in direzione Nord-Sud, alternando zone densamente urbanizzate a zone agricole e/o boschive.

Fino all'attraversamento con l'autostrada Milano-Varese l'alveo percorre una valle nella quale i centri abitati sono situati in posizione sopraelevata rispetto al corso del fiume.

Oltrepassata l'autostrada l'Olona entra nella zona maggiormente urbanizzata attraversando i comuni di Castellanza e Legnano all'interno dei quali l'alveo risulta addirittura tombinato.

A valle dell'Autostrada Mi-Laghi, viene immessa la portata di scarico del bacino di invaso dei torrenti Rile e Tenore (max 10 m³/s). Dopo l'abitato di Legnano, il fiume attraversa nuovamente aree agricole alternate ad aree urbane fino al confine del territorio del Comune di Rho, in corrispondenza del quale è posta l'opera di scolmo delle piene denominata "Preso Olona 1", progettata per deviare verso il canale scolmatore di Nord-Ovest una portata pari a 25 m³/s mediante il Ramo Olona. A monte della "Preso Olona 1" viene immessa la portata di scolmo delle piene del Bozzente (circa 13 m³/s) mediante uno scolmatore tombinato che devia le portate del Bozzente stesso a nord dell'abitato di Rho, in località Biringhello. La seconda presa dell'Olona, denominata "Preso Olona 2", a sud dell'abitato di Rho, è stata dimensionata per poter scaricare direttamente nel CSNO (Canale Scolmatore di Nord Ovest) sino a 15 m³/s.

Tra le due prese vi sono le confluenze di Bozzente e Lura, i cui bacini idrografici delimitano ad est il bacino dell'Olona: il primo immette la portata di magra (3 m³/s) e il secondo circa 18 m³/s. A valle della "Preso Olona 2" il fiume sovrappassa il CSNO con un ponte canale e percorrendo un breve tratto (circa 3 km) sino a raggiungere l'abitato di Pero, da cui prosegue completamente tombinato, fino all'attraversamento del Naviglio Grande oltre il quale continua a cielo aperto, fino al nodo di Conca Fallata, con il nome di Lambro Meridionale. La massima portata compatibile con le canalizzazioni

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	<table border="0"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>002 A</td> <td>8 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	002 A	8 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	002 A	8 di 77									

sotterranee risulta essere di 50÷54 m³/s.

A valle dell'imbocco della tombinatura di Pero, si immette lo scarico del sistema fognante del bacino del fontanile Cagnola (comprendente il polo industriale di Arese, Mazzo di Rho, nuovo polo fieristico di Pero). Più a valle, l'Olona riceve gli apporti della Roggia Merlata (Guisa + Nirone, dopo gli scolmi in CSNO) e del Torrente Pudiga oltre a drenaggi minori della rete fognaria urbana.

3 SINTESI NORMATIVA

L'attraversamento ferroviario in progetto rientra all'interno del bacino idrografico del fiume Po, pertanto le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino del fiume Po.

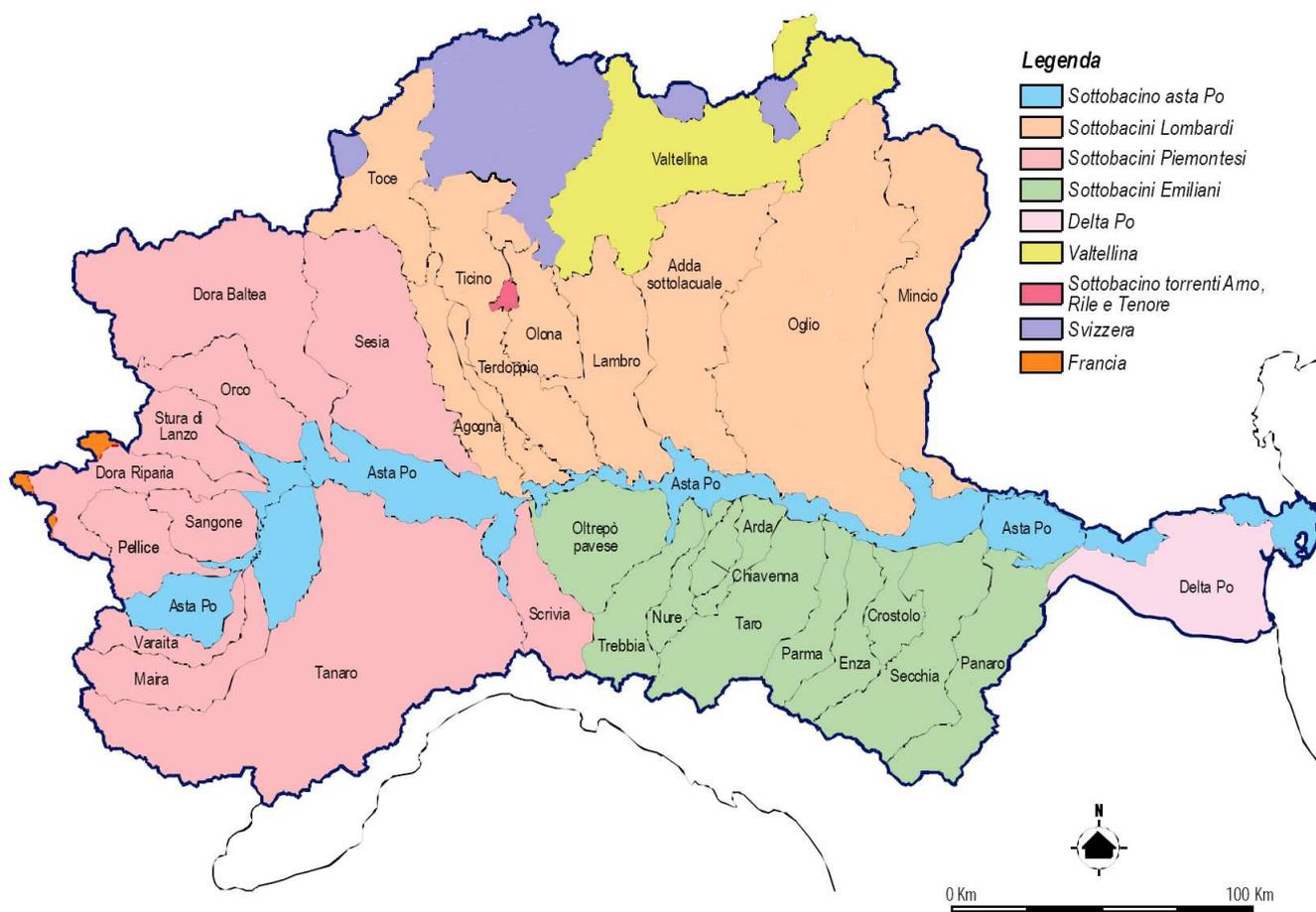


Figura 3.1 - Principali sottobacini idrografici del fiume Po.

I vincoli d'uso del territorio e le direttive in materia di progettazione di opere idrauliche, sono contenute nel Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dalla stessa Autorità di Bacino e approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

In questo capitolo vengono analizzati i documenti contenuti nel PAI, i vincoli e le direttive da considerare nella progettazione, al fine di garantire la compatibilità idraulica

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002	FOGLIO A 10 di 77

del progetto. Tali documenti sono diretti a fornire:

- le prescrizioni sulle metodologie di studio e sulle portate di progetto;
- la mappatura del territorio a rischio di esondazione;
- le direttive per la progettazione.

3.1 PIANO DI BACINO E PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano di Bacino, i cui contenuti sono definiti dalla legge 183/89, si propone come strumento di pianificazione di tutte le componenti connesse all'ambiente idrogeologico, dalla qualità delle acque, alla difesa contro i fenomeni alluvionali e gravitativi, alla gestione della risorsa idrica, all'individuazione dei piani di intervento, strutturali e non, e necessità di una base conoscitiva e di studi settoriali molto ampia.

Il "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" rappresenta l'atto di pianificazione, per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico, conclusivo e unificante di due strumenti di pianificazione precedentemente approvati, ovvero:

- il "*Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione*", realizzato a seguito della piena del novembre 1994;
- il "*Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*" (PSFF), relativo alla rete idrografica principale del sottobacino del Po sotteso alla confluenza del Tanaro (territorio della Regione Piemonte e Valle d'Aosta) e, per la restante parte del bacino, all'asta del Po e agli affluenti emiliani e lombardi, limitatamente ai tratti arginati.

Il "*Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*" (PSFF) è stato approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 24 luglio 1998. Esso contiene la definizione e la delimitazione cartografica delle fasce fluviali dei corsi d'acqua principali piemontesi, del fiume Po e dei corsi d'acqua emiliani e lombardi, limitatamente ai tratti arginati a monte della confluenza in Po.

Il PAI estende la delimitazione delle fasce fluviali ai rimanenti corsi d'acqua principali del bacino, per i quali assume la normativa relativa alla regolamentazione degli usi del suolo e degli interventi nei territori fluviali delimitati già approvata nell'ambito del PSFF.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE							
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002	DOCUMENTO 002	REV. A	FOGLIO 11 di 77

Per quanto riguarda il fiume Olona non esiste una perimetrazione delle fasce fluviali inserita nel PSFF e la delimitazione alla quale fare riferimento è quella riportata nel PAI. In applicazione del metodo di delimitazione, approvato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino con deliberazione n. 19/1995, il PSFF ha individuato tre fasce fluviali definite come segue:

- **Fascia A** (Fascia di deflusso della piena): è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall’insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena.
- **Fascia B** (Fascia di esondazione): esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell’evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.
- **Fascia C** (Area di inondazione per piena catastrofica): è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Uno schema esplicativo della definizione delle Fasce fluviali è riportato in Figura 3.2.

Le fasce fluviali sono state delimitate in funzione dei principali elementi dell’alveo che ne determinano la connotazione fisica: caratteristiche geomorfologiche, dinamica evolutiva, opere idrauliche, caratteristiche naturali e ambientali.

L’individuazione delle fasce rappresenta l’assetto di progetto di ciascuno dei corsi d’acqua dei corsi d’acqua, determinando i caratteri idraulici dell’alveo in condizioni di piena e le modalità di uso della regione fluviale dalle stesse perimetrata.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 13 di 77

Nella fascia B di esondazione:

- garantire il mantenimento delle aree di espansione naturale per la laminazione della piena;
- contenere ed eventualmente ridurre la vulnerabilità degli insediamenti e delle infrastrutture presenti;
- garantire il mantenimento e il recupero dell'ambiente fluviale e la conservazione dei valori paesaggistici, storici, artistici e culturali.

Nella fascia C di inondazione per piena catastrofica:

- segnalare le condizioni di rischio idraulico residuo, ai fini della riduzione della vulnerabilità degli insediamenti, in rapporto alle funzioni di protezione civile.

Per quanto riguarda il fiume Olona, il quadro della definizione delle fasce fluviali può essere rappresentato suddividendo il fiume in tre tratti.

1. Da Bregazzana a Torba: l'alveo è prevalentemente monocursale sinuoso e scorre incassato entro alti terrazzi; il limite della fascia di esondazione coincide in generale con la scarpata morfologica alla base di tali terrazzi e in alcuni tratti si attesta su limiti di progetto, a protezione degli insediamenti.

La fascia assume ampiezza variabile da qualche decina di metri, dove coincide con le sponde alte dell'alveo, fino a 350-400 m, dove aumenta la distanza fra i due orli del terrazzo principale.

2. Da Torba a Parabiago: l'alveo è monocursale incassato con andamento sinuoso. Il limite della Fascia B coincide prevalentemente con la scarpata morfologica alla base dei terrazzi, in molti tratti sufficienti a contenere i livelli della piena di riferimento. Assume ampiezza variabile, da qualche decina di metri, dove il limite coincide con le sponde alte dell'alveo, fino a 500-600 m, dove aumenta la distanza fra i due orli del terrazzo principale.

3. Da Parabiago a Rho: l'alveo è monocursale sinuoso, prevalentemente canalizzato, con arginature in frodo. La Fascia B coincide con le sponde dell'alveo inciso o più frequentemente con le arginature in frodo all'alveo stesso, esistenti o di progetto. Ha larghezza di qualche decina di metri, coincidendo prevalentemente con l'ampiezza dell'alveo inciso, salvo locali allargamenti nel settore più prossimo all'abitato di Rho.

La morfologia tipica dell'alveo del fiume Olona nel tratto Parabiago – Rho, determina una delimitazione delle fasce fluviali come quella riportata, a titolo esemplificativo, nello stralcio planimetrico in Figura 3.3, nel quale viene inquadrata un'area prossima all'abitato di Pogliano Milanese, dove la linea ferroviaria corre parallelamente al canale secondario Villorosi.

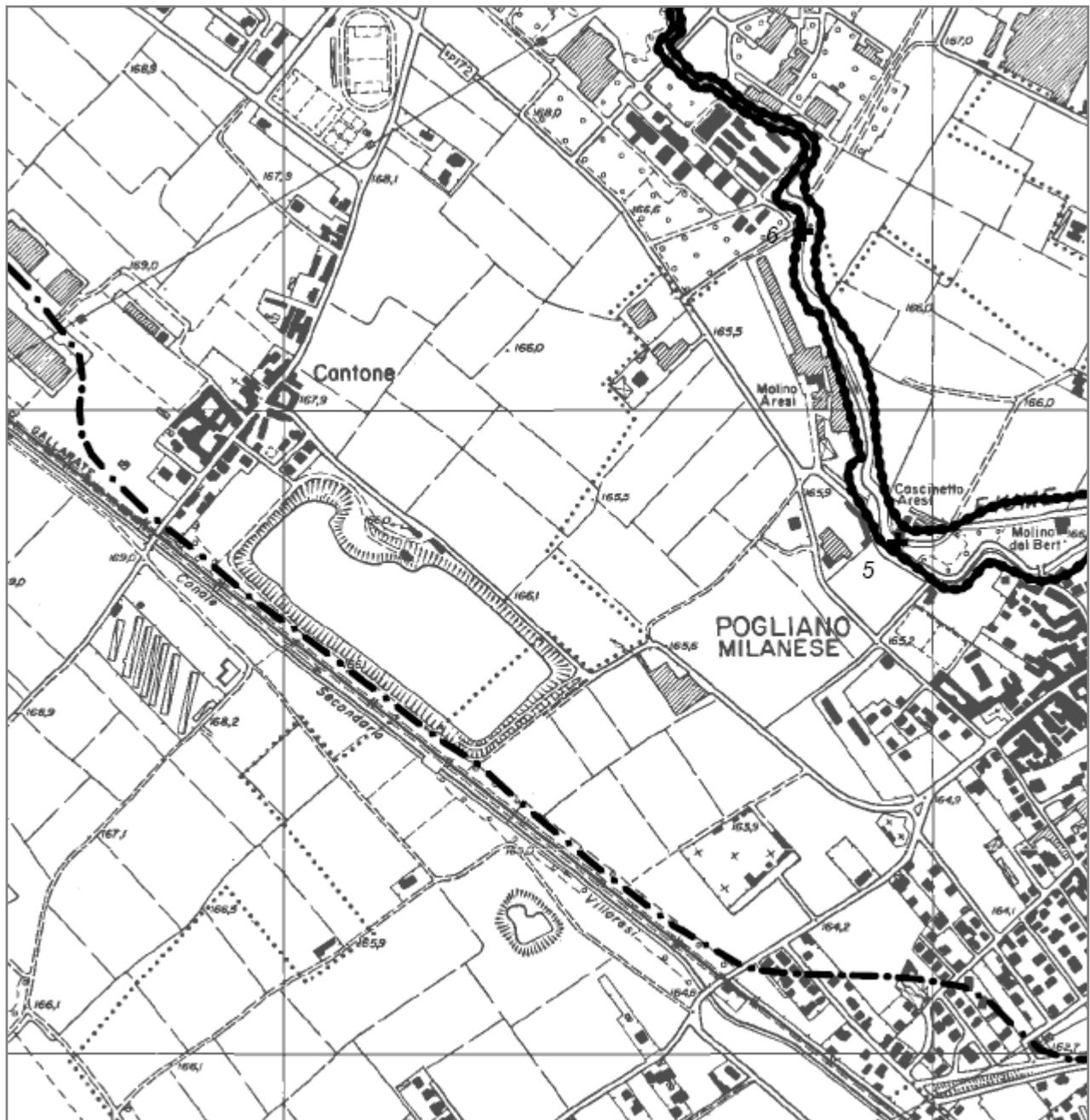


Figura 3.3 - Stralcio della Tavola di Delimitazione delle fasce fluviali (PAI)

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002	FOGLIO A 15 di 77

La fascia A si presenta molto ristretta, in quanto l'alveo del fiume non è più dotato da ampie golene o da ramificazione secondarie riattivabili e la corrente o si mantiene entro i limiti spondali oppure determina esondazioni nel piano campagna esterno, allagando vaste porzioni di territorio. A questa situazione consegue una fascia B piuttosto estesa. Nel caso in figura, la fascia B si estende fino al rilevato della stessa linea ferroviaria.

3.2 NORME DI ATTUAZIONE DEL P.A.I.

Le *Norme di attuazione* del Piano costituiscono la parte fondamentale del Piano che definisce non solo le prescrizioni e i vincoli ma precisa anche le forme e i criteri di applicazione nonché le attribuzioni e le responsabilità ai diversi livelli della pubblica Amministrazione, sulla base dell'ordinamento istituzionale vigente, e le relative procedure.

Le Norme di attuazione sono divise in sezioni distinte:

1. il *Titolo I* "Norme generali per l'assetto della rete idrografica e dei versanti" riguarda, in generale, le finalità e gli effetti del Piano e definisce le modalità di attuazione di tutti gli interventi, strutturali e non, individuati dal Piano stesso;
2. il *Titolo II* "Norme per le fasce fluviali" riguarda in specifico i corsi d'acqua oggetto di delimitazione delle fasce nell'ambito del PAI e riprende per essi, senza apportare modifica alcuna, la normativa approvata nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali;
3. il *Titolo III* "Derivazioni di acque pubbliche e attuazione dell'art. 8, comma 3, della legge 102/90" comprende disposizioni generali che riguardano le modalità di rilascio e controllo delle derivazioni e stabilisce, per la Valtellina, i criteri e le prescrizioni per il rilascio di nuove derivazioni idroelettriche sulla base del bilancio idrico.

In generale,definiscono:

- le finalità e gli effetti del Piano;
- regolamentano le attività di uso e trasformazione del suolo maggiormente

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 16 di 77

interagenti con lo stato di rischio presente sul territorio del bacino, nonché le modalità di attuazione degli interventi strutturali di difesa;

- completano e integrano il quadro normativo di settore definito nei due precedenti Piani stralcio:

- i) il PS 45 - Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché al ripristino delle aree di esondazione - approvato ai sensi della legge 21 gennaio 1995, n. 22 con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 9 del 10 maggio 1995;
- ii) il PSFF – Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, adottato ai sensi della legge 18 maggio 1989, n. 183 con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 26 del 11 dicembre 1997 e Approvazione con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 24 luglio 1998.

I criteri di compatibilità definiti all'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico prescrivono che gli interventi "*non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo*". Tale indicazione rappresenta l'elemento principale per la valutazione di compatibilità.

In particolare l'Art. 9 (*Realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico*) e soprattutto l'art. 10 (*Infrastrutture di attraversamento*), citano:

All'interno della fascia A – B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrove localizzabili, a condizione che:

- *non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche bio-ecologiche del fiume e delle rive;*
- *non costituiscano significativo ostacolo al deflusso;*
- *non limitino in modo significativo la capacità di invaso;*
- *non concorrano ad incrementare il carico insediativo.*

Tali progetti devono essere accompagnati da uno studio di compatibilità predisposti in conformità alla direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 17 di 77

infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" adottata dal Comitato Istituzionale con Deliberazione n. 2 del 11 maggio 1999.

Gli effetti principali da considerare sono i seguenti:

- 1) Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena;
- 2) Riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- 3) Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;
- 4) Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento;
- 5) Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena;
- 6) Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- 7) Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Ai sensi del comma 2 dell'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, i ponti e i viadotti di attraversamento e le linee ferroviarie sono da sottoporre a specifico parere dell'Autorità di bacino.

3.3 DIRETTIVE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

Un riferimento tecnico di particolare importanza per la progettazione di interventi di difesa idraulica o di opere interferenti con il corso d'acqua è costituito dalla "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*" approvata come allegato tecnico del PAI. La direttiva contiene, tra le altre cose, le indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografiche di piccole dimensioni ovvero le procedure adottabili per la stima della portata di piena in un corso d'acqua.

Tale documento tecnico consiglia l'utilizzo di differenti procedure in funzione della disponibilità di dati che possono essere suddivise in due categorie di metodi:

1. l'impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti tramite l'analisi statistica dei dati idrologici disponibili relativi a una porzione di territorio ("regione idrologica") omogenea rispetto ai fenomeni di piena;
2. l'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e impiego di modelli afflussi

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE							
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	002	REV. A	FOGLIO 18 di 77

deflussi per la trasformazione in portate.

I dati di portata disponibili nel tratto del fiume Olona di nostro interesse non hanno consentito l'applicazione di metodologie statistiche, rendendo necessario il ricorso a procedure appartenenti alla seconda categoria sopra indicata. Tra queste, la direttiva ne propone due, di semplice applicazione e largo utilizzo a livello professionale, applicabili ai casi in cui le modeste dimensioni degli interventi in progetto non giustificano studi idrologici approfonditi.

I metodi che consentono la determinazione delle portate di massima piena per tali bacini secondari sono:

1. il metodo razionale;
2. il metodo del Curve Number (S.C.S.).

L'applicazione di questi metodi al caso specifico del fiume Olona, se da un lato consente di ottenere una importante informazione sul comportamento idrologico del fiume, dall'altro non consente di ottenere i valori di portata direttamente utilizzabili come riferimento per la progettazione. Il motivo sta nella conformazione fortemente antropizzata del corso d'acqua, che impone un comportamento molto differente da quello naturale.

Secondo la *“Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B”* approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999, la portata di piena di riferimento da assumere per le valutazioni idrauliche è quella per cui è stata condotta la delimitazione della Fascia B.

Nella stessa direttiva, vengono riportati i profili di piena relativi alla portata di riferimento utilizzata per la delimitazione delle Fasce A e B di ciascun corso d'acqua tra quelli interessati dalle operazioni di delimitazione delle fasce fluviali. Tale portata corrisponde alla *portata di progetto del corso d'acqua*, definita come il valore per cui è dimensionato il sistema di opere strutturali di difesa. In assenza di tale sistema, corrisponde al valore massimo per il quale l'estensione delle aree inondate è compatibile con l'assetto insediativo e infrastrutturale del territorio. I profili sono pertanto relativi a condizioni di deflusso della piena nel corso d'acqua che corrispondono all'assetto di progetto dello stesso, quale individuato dalla definizione planimetrica delle Fasce A e B ad esso

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002 A

relative e dal corrispondente modello geometrico e idraulico dell'alveo.

Nelle tabella 7 allegata alla suddetta direttiva, riprodotta in parte nella tabella 3.1, vengono riportati i valori delle portate di piena per una serie di sezioni idrografiche lungo il fiume Olona individuate dalle progressiva chilometrica.

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro Denominazione
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.						
Olona	Olona	10.184	50	Ponte Gurone	97	-	118	-	-	
Olona	Olona	16.467	43	Gornate Olona	135	-	72	-	-	
Olona	Olona	24.921	32	Fagnano Olona	156	-	61	-	-	
Olona	Olona	31.710	25	Olgiate Olona	180	-	53	-	-	
Olona	Olona	42.799	10	Nerviano	227	-	59	-	-	
Olona	Olona	49.112	1	Rho	242	-	59	-	-	

Tabella 3.1 - Portate di piena per il fiume Olona

In caso di disponibilità di informazioni di dettaglio circa la morfologia dell'alveo, dati idrologici, ecc. possono essere considerati scostamenti locali del profilo di piena rispetto a quello ufficiale, con l'obbligo di darne comunicazione all'Autorità di Bacino, che provvederà a validare i dati e ad aggiornare le tabelle di riferimento.

3.4 STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA NATURALI E ARTIFICIALI ALL'INTERNO DELL'AMBITO IDROGRAFICO DI PIANURA LAMBRO – OLONA (SDF)

In coerenza con le indicazioni metodologiche dettate dalle direttive del PAI, l'Agenzia Interregionale del fiume PO (AIPO) ha provveduto a redigere lo *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*" (SDF).

Nell'ambito delle analisi idrologiche ed idrauliche svolte nello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*, sono state definite le condizioni di deflusso della piena di riferimento, di tempo di ritorno di 100 anni, lungo l'asta dell'Olona da Induno

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE							
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	LOTTO D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	DOCUMENTO 002	REV. A	FOGLIO 20 di 77

Olon a fino all'ingresso nella tombinatura di Milano, con determinazione degli idrogrammi di portata e di livello idrico in tutte le sezioni topografiche rilevate nell'apposita attività di campo eseguita nell'ambito dello stesso studio.

La definizione delle condizioni di deflusso è avvenuta mediante modello numerico di simulazione della formazione e della propagazione dei deflussi.

Lo stesso modello di simulazione è stato utilizzato per la verifica di due ipotetici scenari futuri di adeguamento dei manufatti di attraversamento inadeguati al deflusso della piena di riferimento, presenti nel tratto oggetto dello studio:.

Scenario 1: adeguamento dei quattro ponti esistenti a valle del ponte ferroviario che risultano inadeguati al deflusso sia della piena di riferimento, sia della piena di tempo di ritorno di 10 anni, mantenendo nelle condizioni attuali il ponte ferroviario

Scenario 2: adeguamento del ponte ferroviario e dei quattro ponti esistenti a valle di esso

Le analisi svolte nello *Studio di fattibilità* hanno evidenziato la condizione di criticità del ponte ferroviario della linea Rho-Gallarate, in località Rho, e del tratto di asta dell'Olon a a valle di esso; in particolare:

Criticità dell'attraversamento ferroviario esistente

il ponte presenta intradosso a quota 152,17 m.s.m ed estradosso a quota 154,51 m.s.m.

Per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno di 10 anni, il livello idrico immediatamente a monte del ponte risulta di 153,75 m.s.m, con una portata di 48,5 m³/s ed un dislivello monte-valle di 20 cm.

Per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno di 100 anni, di riferimento per la valutazione della compatibilità e la definizione degli interventi di adeguamento, il livello idrico immediatamente a monte del ponte risulta di 154.41 m.s.m., con una portata di 58,2 m³/s ed un dislivello monte-valle di 33 cm.

Pertanto in entrambi gli eventi il ponte risulta funzionante in pressione e, per i 100 anni di tempo di ritorno, molto prossimo al sormonto. Inoltre, per entrambi gli eventi, tali livelli idrici provocano esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica, sia a monte che a valle del ponte.

Criticità del tratto di olona a valle dell'attraversamento ferroviario esistente

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 21 di 77

Procedendo da monte verso valle, già per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno di 10 anni, il Ponte stradale SP 130, i due ponticelli di loc. Lucernate e il ponte stradale di loc. Campagna Bastaia risultano tutti inadeguati e funzionanti in pressione, alcuni anche tracimati.

Le esondazioni riguardano il tratto tra il ponte ferroviario e il primo dei due ponticelli e tra il ponte stradale di loc. Campagna Bastaia e il nuovo ponte stradale a valle di esso (quest'ultimo, peraltro, funzionante, comunque, a pelo libero).

Nello studio di fattibilità è proposto un assetto nuovo ("di progetto") nel quale, per il tempo di ritorno di 10 anni, per effetto degli interventi prioritari previsti, la portata in arrivo al ponte ferroviario si ridurrebbe a 43,6 m³/s, con abbassamento del livello idrico a monte del ponte a 153.59 m.s.m.

Per effetto di tutti gli interventi previsti, invece, per il tempo di ritorno di 100 anni, la portata in arrivo al ponte ferroviario potrebbe essere ridotta a 42,5 m³/s con riduzione del livello idrico a monte del ponte a 153.55 m.s.m.

In tutti i casi, pur cambiando i livelli, il ponte ferroviario rimarrebbe fortemente inadeguato, con funzionamento in pressione con battente di circa 140 cm.

Inoltre anche gli altri ponti sopra elencati rimarrebbero nelle stesse condizioni di criticità, cioè soggetti a tracimazione o comunque funzionanti in pressione.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 22 di 77

4 VERIFICHE IDRAULICHE

L' interferenza idraulica analizzata in dettaglio in questo capitolo, è la seguente:

- adeguamento dell'attraversamento del fiume Olona in località Rho, mediante costruzione di un nuovo ponte a monte dell'esistente;

Per tale interferenza, viene descritta la metodologia di analisi e riportati i risultati delle verifiche.

4.1 Attraversamento del fiume Olona in località Rho

Il fiume Olona attraversa la linea ferroviaria in prossimità della stazione di Rho.

L'attraversamento rappresenta uno dei punti critici dal punto di vista della sicurezza idraulica che si possono incontrare lungo il fiume Olona. La sezione utile al deflusso si presenta alquanto esigua e la quota di intradosso del ponte non presenta elevati franchi di sicurezza nemmeno nelle condizioni idrologiche ordinarie.

Il ponte presenta una struttura ad arco con quota di intradosso variabile tra il paramento di monte e quello di valle.

Poco a monte dell'attraversamento l'alveo dell'Olona presenta, sulla sponda sinistra, una diramazione costituita da un piccolo canale secondario, anch'esso destinato a sotto passare la linea ferroviaria per immettersi, subito a valle di essa, nuovamente nel fiume principale. Tale diramazione consente di aumentare leggermente la portata defluibile verso valle.

E' necessario evidenziare fin d'ora che poco a valle dell'attraversamento, e precisamente subito dopo il suo ingresso nel territorio comunale di Pero, il fiume Olona è destinato ad immettersi entro una tombinatura che lo accompagnerà per molti chilometri, facendolo riemergere solamente a valle di Milano. La limitazione della portata indotta dalla presenza del ponte non è necessariamente da considerarsi dannosa per la sicurezza del territorio, in quanto un eventuale adeguamento della struttura al fine di aumentare la capacità di deflusso attraverso la luce, potrebbe comportare il trasferimento delle condizioni di rischio a valle del ponte.

4.1 Attraversamento di progetto del fiume Olona in località Rho soluzione 2013

L'attraversamento del fiume Olona da parte del singolo binario nord previsto in progetto in corrispondenza della progressiva chilometrica 0-112, avviene tramite la realizzazione di un solettone in c.a su pali di grande diametro, conformato in modo tale da non interferire con la sede naturale dell'importante corso d'acqua.

La nuova opera in progetto garantisce una sezione idraulica netta di larghezza 17m con intradosso minimo a q.ta 153.57, e franchi idraulici maggiori di quelli che si hanno poco più a valle in corrispondenza dell'opera di attraversamento della linea storica. Questa ultima è infatti costituita da un tombino di luce 6.8m e intradosso in chiave a q.ta 152.27.

L'intersezione fra il binario in progetto e il fiume Olona avviene in prossimità di un tratto in curva dell'alveo che si immette nel tombino esistente. La continuità della sede idraulica sarà garantita con la riprofilatura degli argini lato Gallarate e la realizzazione di muri d'argine in c.a. di raccordo con il tombino esistente, lato Milano.

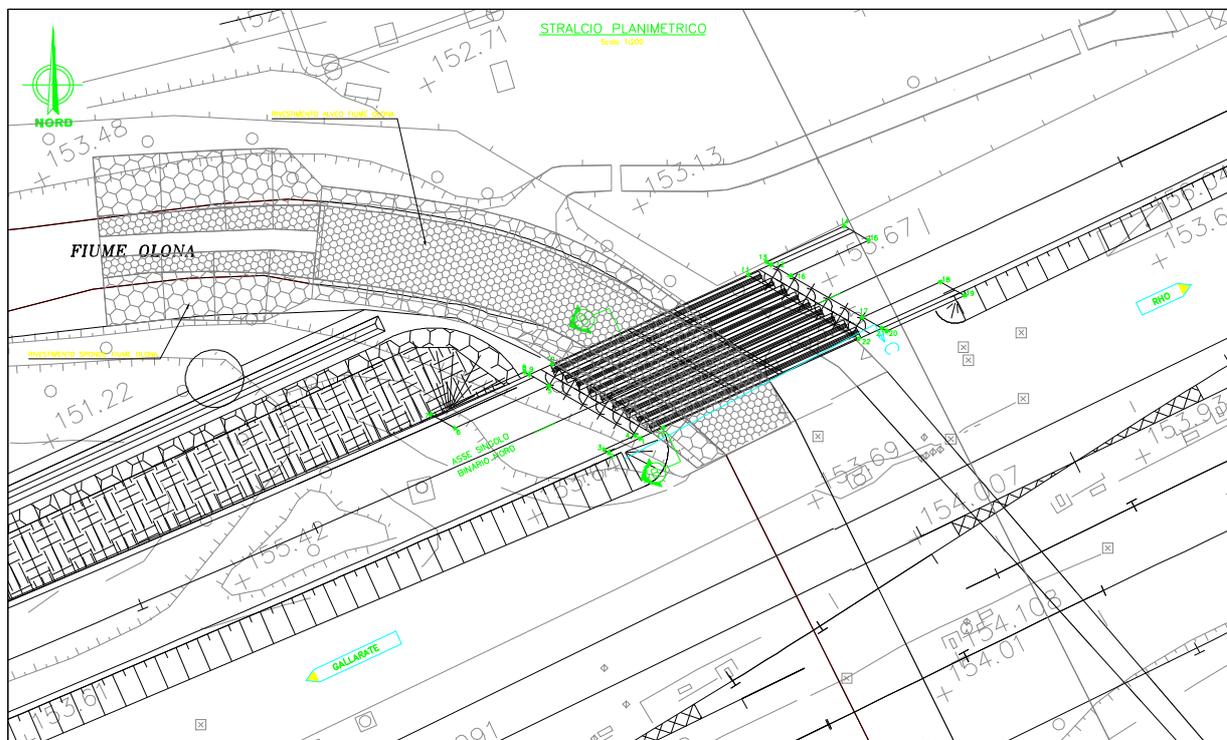


Figura 4.1 - Planimetria intervento

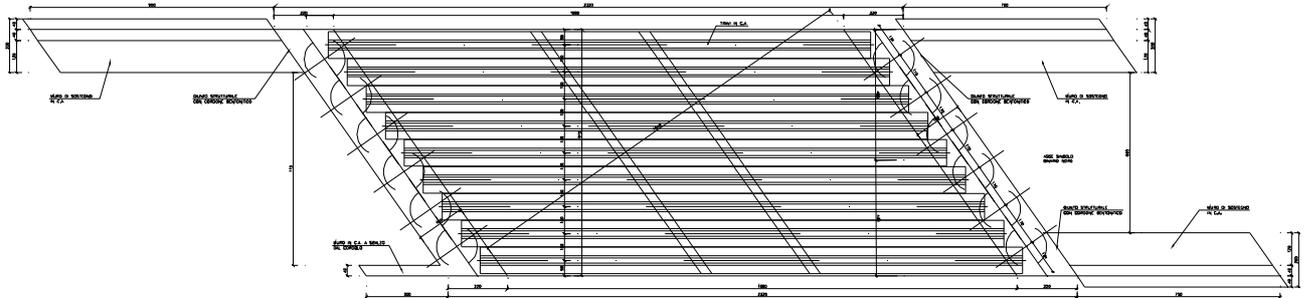


Figura 4.2 - Pianta solettone

L'opera è costituita da un solettone in c.a. gettato in opera in unica fase con l'ausilio di travi prefabbricate in c.a., di spessore 135 cm, oltre a 25 cm di soletta in c.a. gettata in opera. su 6+6 pali $\phi 1500$ posti ad interasse 1.7m di lunghezza 25m.

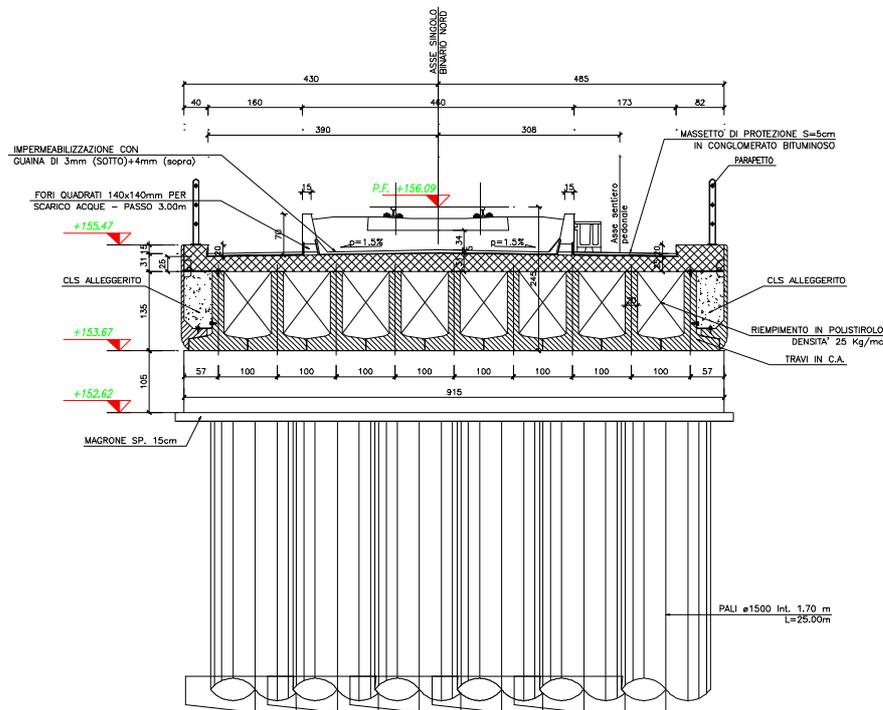


Figura 4.3 - Sezione trasversale

L'estradosso del solettone è conformato con pendenza pari a 1.5% con colmo in asse al binario di progetto, talché ne risulta uno spessore variabile della soletta in c.a.

	<p>POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>002 A</td> <td>26 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	002 A	26 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	002 A	26 di 77								

valle del ponte ferroviario, evitando quindi possibili effetti negativi al naturale deflusso delle acque.

Una volta inserita la geometria nel modello matematico, è stato assunto un coefficiente di scabrezza di Manning pari a $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^1$ per l'alveo centrale e pari a $0.050 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^1$ per le zone golenali (corrispondenti ai coefficienti di Strickler pari a $K_s = 28.5 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e a $K_s = 20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, rispettivamente).

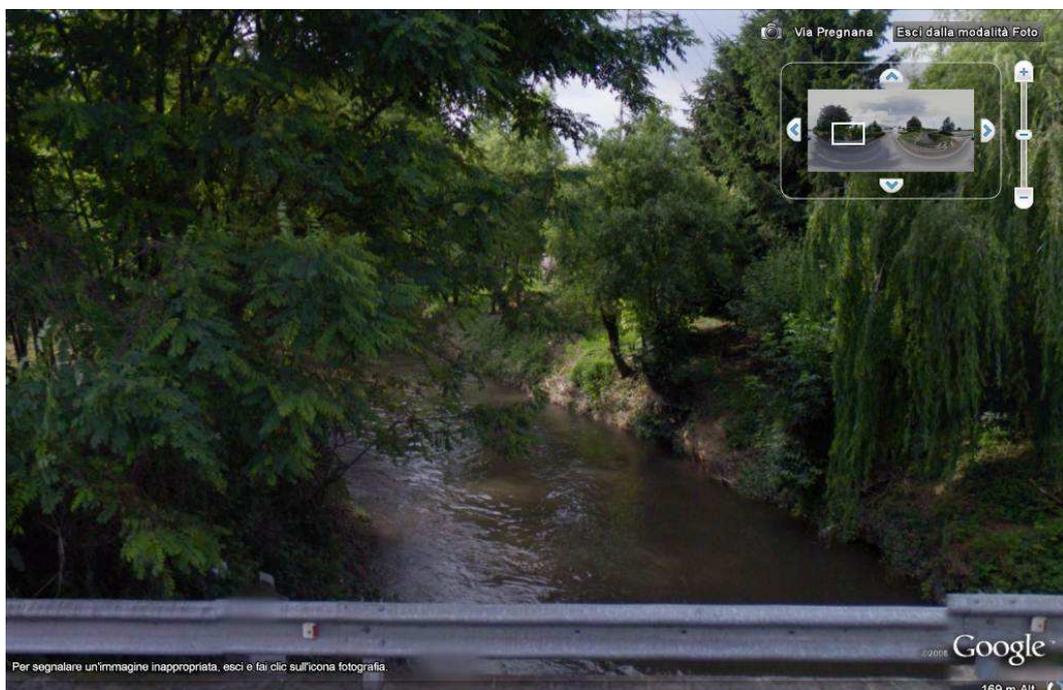


Figura 4.5 – Foto alveo Fiume Olona

	<p>POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A 27 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 27 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 27 di 77								

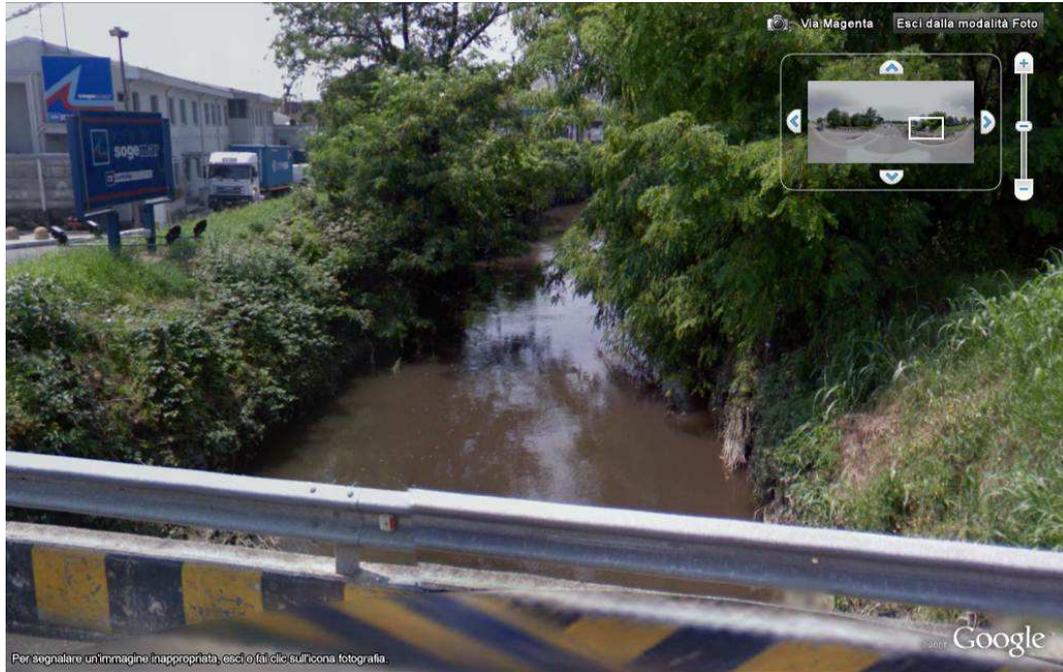


Figura 4.6 – Foto alveo Fiume Olona

Condizioni post operam

Sulla base delle indicazioni dell’Autorità di Bacino del fiume Po, la modellazione del corso d’acqua nello scenario di progetto prevede la rimozione delle interferenze degli altri ponti a valle del ponte ferroviario e anche l’interferenza del ponte ferroviario esistente, al fine di confrontare le diverse condizioni ed evidenziare l’interferenza del ponte ferroviario in progetto.

Nelle condizioni di progetto l’opera proposta riduce al minimo lo spessore dell’impalcato e amplia la sezione di deflusso rispetto a quella del ponte esistente; pertanto la sezione del nuovo ponte risulta maggiore sia in larghezza che in altezza ed è ritenuta la massima possibile nell’attuale configurazione dell’alveo e del piano di campagna.

Oltre all’adeguamento dell’opera ferroviaria l’intervento che appare più funzionale è una riprofilatura dell’alveo.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 002 A

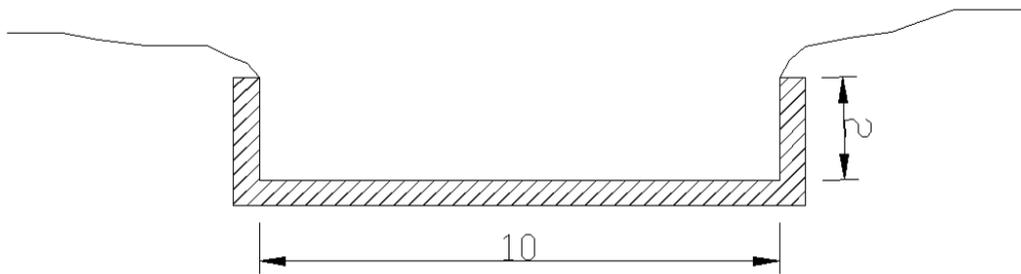


Figura 4.7 – Sezione tipologica

La sezione utilizzata per la riprofilatura avrà una larghezza massima di 10 m che corrisponde alla dimensione massima che l'alveo può assumere in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario (Fig. 4.7).

Nella condizione post operam sono stati analizzati 7 scenari differenti caratterizzati da riprofilature, eventuali salti di fondo, ed un rivestimento dell'alveo con materiali differenti.

In particolare:

1. **Scenario 1:** Riprofilatura solo a valle del ponte ferroviario. L'intervento ha inizio nella sezione 21.07 sino alla fine del tratto oggetto di analisi. Tale riprofilatura viene eseguita con gabbioni e materassi tipo Reno; pertanto è stato adottato un coefficiente di Manning pari a $0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ nelle sezioni interessate dall'intervento (dalla 21.07 alla 16) mentre per le altre è stato fissato un valore di $n=0.05 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ per le sponde e $n=0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ per il fondo. Oltre alla riprofilatura questo scenario prevede la realizzazione di due salti di fondo, di modesta entità (0,5 m), uno posto a 114 m a monte dell'attraversamento ferroviario (sezione 21.07), ed uno immediatamente a valle (sezione 21.01 - Fig 5.6);

2. **Scenario 2:** tale scenario risulta analogo al precedente tranne che per l'utilizzo, in corrispondenza delle sezioni a ridosso del ponte, di un rivestimento in cemento. Per le sezioni ubicate a monte del ponte ferroviario è stato fissato per le sponde un valore di scabrezza $n=0.05 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ e per il fondo $n=0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$, mentre per il tratto riprofilato, dalla sezione 21.07 alla sezione 21, è stato adottato un coefficiente di Manning pari a $0.016 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ nella sola zona centrale dell'alveo. Nelle rimanenti sezioni, in cui comunque viene

effettuata una riprofilatura con gabbioni (dalla sezione 21 sino alla sezione 16), è stato assunto un valore $n=0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$.

3. **Scenario 3:** La terza ipotesi di progetto prevede un unico salto di fondo, con altezza 1m posto immediatamente a valle del ponte ferroviario (sezione 21.03). La riprofilatura dell'alveo in questo caso interesserà il tratto d'asta compreso fra la sezione 21.05 e la sezione 16 per una lunghezza di 1357 m. I materiali utilizzati per eseguire gli interventi di riprofilatura in questa simulazione sono i gabbioni e materassi tipo Reno; sulla base di questa assunzione i coefficienti di scabrezza adottati risultano, nelle sezioni interessate dall'intervento, pari a $0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$. A monte del tratto soggetto a riprofilatura permangono le condizioni di alveo naturale; pertanto le condizioni di scabrezza saranno per le sponde $0.05 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ e nella parte centrale $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$.

4. **Scenario 4 :** prevede gli stessi interventi di progetto dello scenario 3; le uniche modifiche apportate riguardano i materiali utilizzati per effettuare gli interventi di riprofilatura. In questo caso specifico è prevista, nelle sezioni a ridosso dell'attraversamento ferroviario e per un breve tratto a valle del manufatto (sezione 21.05 alla sezione 21), una riprofilatura con strutture in cemento. Nel tratto successivo e sino alla fine dell'intervento, invece, è prevista una riprofilatura eseguita con gabbioni e materassi di tipo Reno; pertanto è stato adottato un coefficiente di Manning pari a $0.016 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ per le sezioni riprofilate con cemento e $0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ per quelli con gabbioni. A monte permangono le condizioni di alveo naturale con coefficienti di Manning pari a $0.05 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ e $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$.

5. **Scenario 5:** la riprofilatura prevista per questo scenario di funzionamento riguarda il tratto d'asta compreso fra le sezioni 21.07 e 16; permane il salto di fondo di 0.5 m in corrispondenza della sezione a monte del ponte (21.07), mentre si elimina il secondo salto in corrispondenza della sezione di valle del manufatto ferroviario (21.03) a favore di un raccordo che comunque ci consente di raggiungere la medesima quota fondo. La riprofilatura prevede l'utilizzo di gabbioni e materassi tipo Reno (coefficiente di Manning costante nel tratto oggetto di intervento e pari a $n=0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$). A monte si assumono i coefficienti

di scabrezza caratteristici dell'alveo naturale.

6. **Scenario 6:** La riprofilatura viene eseguita con strutture in cemento nel tratto compreso fra la sezione 21.07 e la sezione 21 (coefficiente di Manning pari a $0.016 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$), mentre quella eseguita con gabbioni, viene estesa dalla sezione 21 sino alla sezione 16 (coefficiente di Manning pari a $0.028 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$).

Su esplicita richiesta dell'Autorità di Bacino è stata sviluppata un'ulteriore simulazione; tale modellazione prevede l'estensione del tratto d'asta fluviale analizzato sino allo scolmatore (**CSNO**) posto a valle del ponte ferroviario. Nelle sezioni restituite dall'Autorità di Bacino, tale manufatto coincide con la sezione numero 12 (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Foto aerea con indicazione dello scolmatore CSNO ove termina il tratto d'asta oggetto di studio per la simulazione 7

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 31 di 77

Lo scenario analizzato si estende per un tratto di lunghezza pari a 3482 m, con una riprofilatura sviluppata fra le sezioni 21.07 e 16.

4.1.1 Condizioni al contorno

Per la simulazione di uno scenario di piena, il modello richiede l'inserimento di opportune condizioni al contorno. Nel caso di simulazioni condotte in regime di moto permanente, le condizioni da specificare sono:

- condizione al contorno di monte, rappresentata dai livelli idrometrici rappresentativi della portata in arrivo da monte;
- condizione al contorno di valle, rappresentata dalle condizioni idrodinamiche che si instaurano nella sezione estrema di valle.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di monte, si è ipotizzato che si instaurino condizioni idrometriche corrispondenti ad un regime di moto uniforme (pendenza del 7‰) per la portata di progetto.

Per quanto riguarda la condizioni al contorno di valle, si è ipotizzato che nella sezione estrema si instaurino condizioni idrometriche corrispondenti ad un regime di moto uniforme, corrispondente ad una pendenza dello 0.93 ‰; negli scenari 3 e 4 la riprofilatura del fondo alveo consente di ridurre la pendenza ad un valore pari allo 0.59 ‰.

Nell'ultimo scenario (scenario 7) la condizione al contorno di valle imposta è il livello idrico corrispondente alla sezione 12 riportato nello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*.

Tutte le verifiche sono state condotte considerando i due seguenti assetti, riportati nello studio di fattibilità svolta dall'AdBPo, ovvero:

1. assetto nuovo ("di progetto") nel quale, per il tempo di ritorno di 10 anni, per effetto degli interventi prioritari previsti sul bacino dell'Olona, la portata in arrivo al ponte ferroviario si ridurrebbe a 43,6 m³/s
2. per effetto di tutti gli interventi previsti, invece, per il tempo di ritorno di 100 anni, la portata in arrivo al ponte ferroviario potrebbe essere ridotta a 42,5 m³/s

Nella rappresentazione dei risultati, per maggiore semplicità, vengono riportate

unicamente le verifiche condotte con la portata maggiore ovvero quella corrispondente ad un Tr di 10 anni.

4.1.2 Risultati delle simulazioni

Ante operam

Dal profilo idrometrico, restituito in output dal modello, si evidenzia una situazione fortemente critica; il ponte ferroviario viene sormontato dalla portata con tempo di ritorno 10 anni e va in pressione con quella centennale.

La causa principale risulta essere l'esigua sezione di deflusso legata alla larghezza dell'impalcato ferroviario esistente.

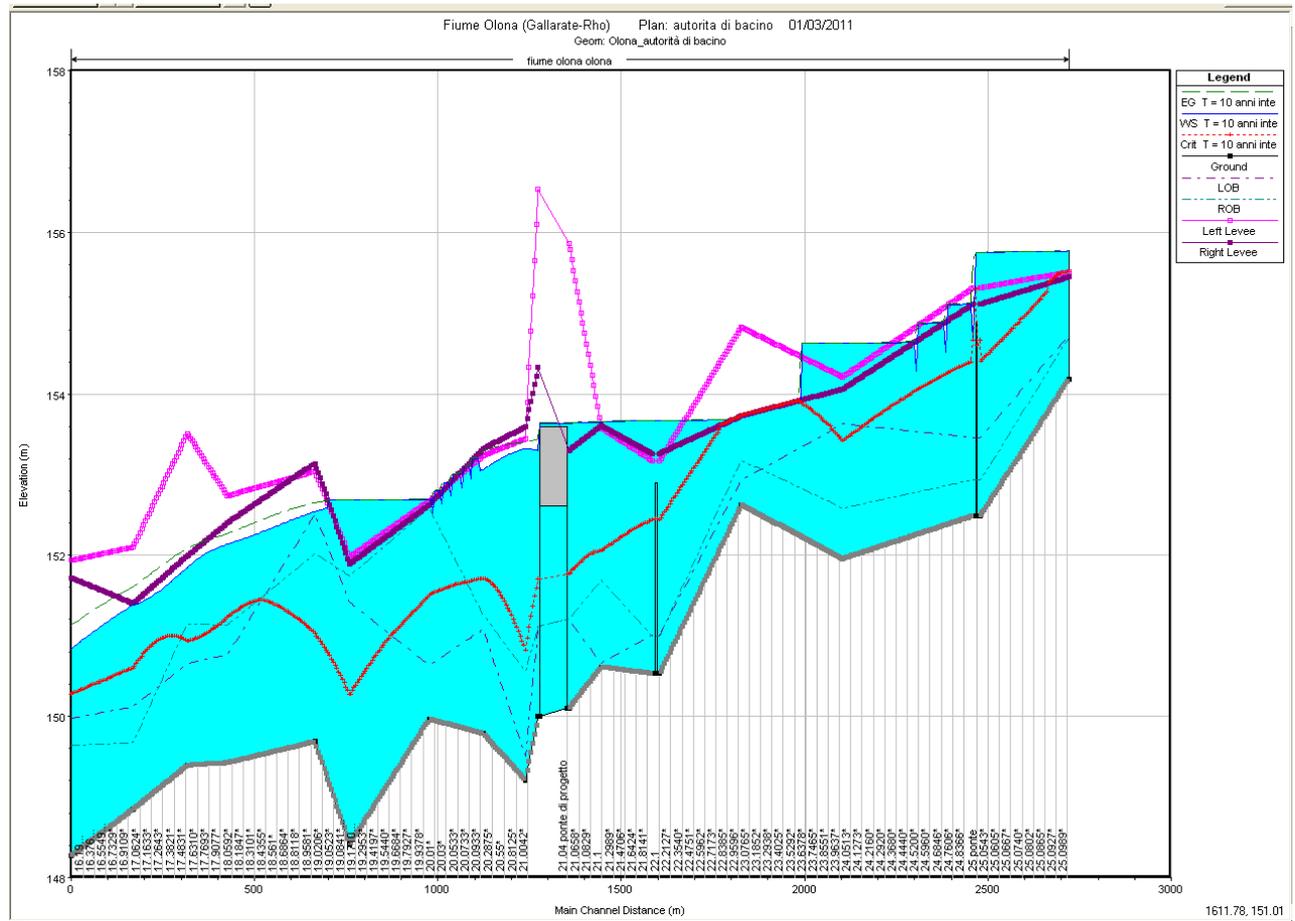


Figura 4.9 – Profilo idrometrico ante operam

Post Operam ponte di progetto 2009 e ponte di progetto 2013

1. Scenario 1

Dal profilo di seguito riportato risulta evidente l'effetto migliorativo degli interventi proposti rispetto alla situazione ante operam.

Effettuando un confronto tra le due modellazioni geometriche si nota come la regolarizzazione del fondo alveo non comporti onerosi scavi i; la massima profondità di scavo raggiunta è, infatti, di 0.9 m in corrispondenza della sezione 17.5.

Il materiale di scavo può essere anche recuperato e riutilizzato per il rimodellamento di tratti d'alveo che presentano una quota fondo inferiore a quella di progetto.

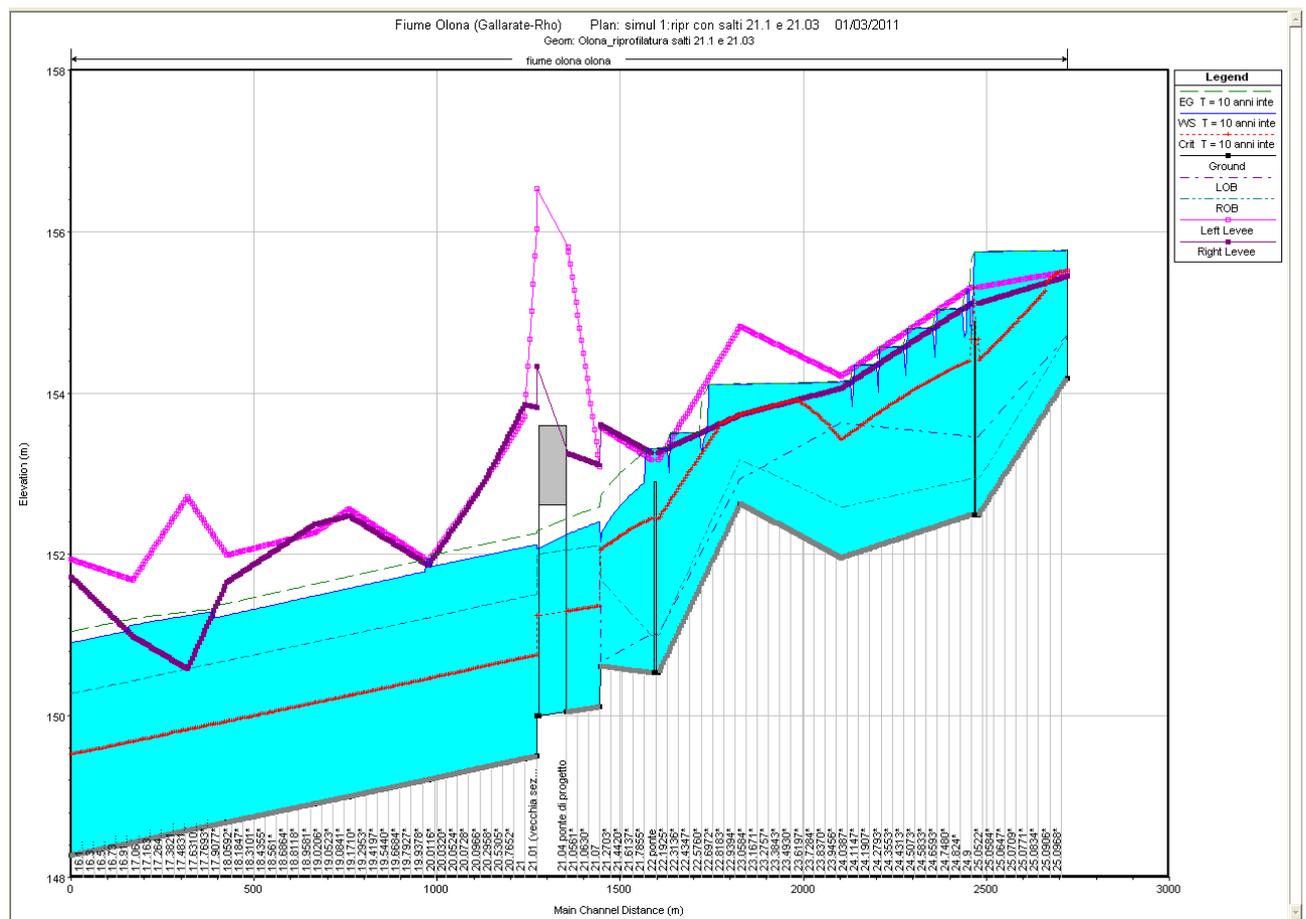


Figura 4.10 – Profilo idrometrico simulazione 1 soluzione 2009

Nella tabella 4.1 vengono riassunti i risultati della simulazione numerica:

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.23	152.44	152.61	0.38	0.17

Tabella.4.1 – Risultati simulazione 1 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.17	152.45	152.61	0.36	0.16

Tabella.4.2 – Risultati simulazione 1 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

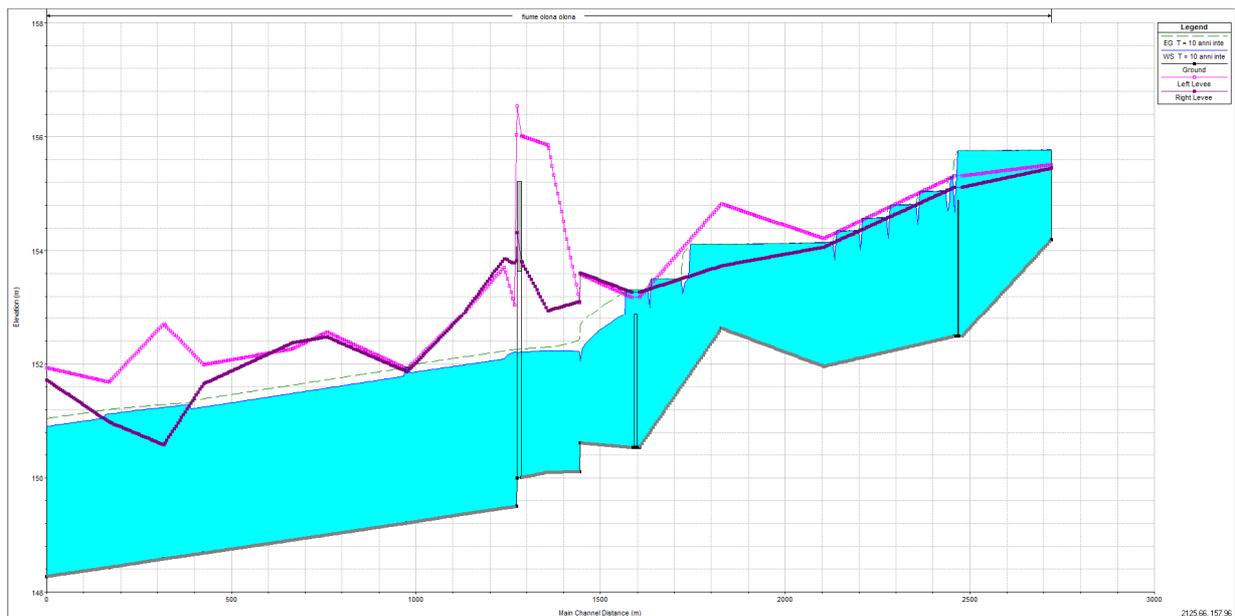


Figura 4.11 – Profilo idrometrico simulazione 1 soluzione 2013

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.21	152.26	153.57	1.36	1.31

Tabella.4.3 – Risultati simulazione 1 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
100	42.5	152.14	152.20	153.57	1.43	1.37

Tabella.4.4 – Risultati simulazione 1 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

2. Scenario 2

Effettuando un confronto con i risultati della precedente simulazione si ottiene, per una portata di 43.6 m³/s, un'effettiva riduzione dei livelli energetici e di quelli idrici (Tab 4.5 e 4.6).

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	23	T = 10 anni inte	2	43.60	152.62	154.12	153.74	154.12	0.000041	0.23	216.18	110.82	0.06
olona	22.1	T = 10 anni inte	1	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000067	0.43	204.66	158.38	0.09
olona	22.1	T = 10 anni inte	2	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000067	0.43	204.77	158.38	0.09
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 10 anni inte	1	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000069	0.44	198.11	142.90	0.09
olona	21.9	T = 10 anni inte	2	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000069	0.44	198.20	142.92	0.09
olona	21.1	T = 10 anni inte	1	43.60	150.61	152.15	152.05	152.70	0.008942	3.34	14.10	11.08	0.89
olona	21.1	T = 10 anni inte	2	43.60	150.61	152.05	152.05	152.68	0.011461	3.60	13.00	10.85	1.00
olona	21.07	T = 10 anni inte	1	43.60	150.11	152.40	151.35	152.58	0.001473	1.90	23.09	11.31	0.40
olona	21.07	T = 10 anni inte	2	43.60	150.11	152.15	151.35	152.39	0.000703	2.13	20.45	10.20	0.48
olona	21.05	T = 10 anni inte	1	43.60	150.05	152.25	151.30	152.45	0.001691	1.98	21.98	10.73	0.43
olona	21.05	T = 10 anni inte	2	43.60	150.05	152.09	151.30	152.32	0.000706	2.14	20.42	10.15	0.48
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 10 anni inte	1	43.60	150.00	152.06	151.25	152.29	0.002105	2.12	20.58	10.12	0.47
olona	21.03	T = 10 anni inte	2	43.60	150.00	152.03	151.25	152.26	0.000720	2.15	20.30	10.06	0.48
olona	21.01	T = 10 anni inte	1	43.60	149.50	152.12	150.75	152.26	0.000772	1.67	26.14	11.49	0.33
olona	21.01	T = 10 anni inte	2	43.60	149.50	152.09	150.75	152.24	0.000260	1.68	25.89	11.40	0.33
olona	21	T = 10 anni inte	1	43.60	149.47	152.08	150.70	152.23	0.000947	1.67	26.25	10.34	0.33
olona	21	T = 10 anni inte	2	43.60	149.47	152.08	150.70	152.22	0.000310	1.67	26.23	10.34	0.33
olona	20.1	T = 10 anni inte	1	43.60	149.36	151.98	150.61	152.12	0.000939	1.66	26.77	11.96	0.33
olona	20.1	T = 10 anni inte	2	43.60	149.36	151.98	150.61	152.12	0.000939	1.66	26.77	11.96	0.33
olona	20	T = 10 anni inte	1	43.60	149.21	151.90	150.45	151.90	0.000149	0.68	164.61	230.36	0.13
olona	20	T = 10 anni inte	2	43.60	149.21	151.83	150.45	151.84	0.000149	0.68	164.61	230.36	0.13
olona	19.1	T = 10 anni inte	1	43.60	149.00	151.58	150.24	151.72	0.000996	1.69	25.84	10.26	0.34
olona	19.1	T = 10 anni inte	2	43.60	149.00	151.58	150.24	151.72	0.000996	1.69	25.84	10.26	0.34
olona	19	T = 10 anni inte	1	43.60	148.91	151.48	150.16	151.63	0.000995	1.69	26.24	11.70	0.34
olona	19	T = 10 anni inte	2	43.60	148.91	151.48	150.16	151.63	0.000995	1.69	26.24	11.70	0.34
olona	18	T = 10 anni inte	1	43.60	148.68	151.24	149.93	151.39	0.000998	1.69	26.77	14.04	0.34
olona	18	T = 10 anni inte	2	43.60	148.68	151.24	149.93	151.39	0.000998	1.69	26.77	14.04	0.34
olona	17.5	T = 10 anni inte	1	43.60	148.58	151.24	149.83	151.29	0.000524	1.15	59.85	46.46	0.22
olona	17.5	T = 10 anni inte	2	43.60	148.58	151.24	149.83	151.29	0.000524	1.15	59.85	46.46	0.22
olona	17	T = 10 anni inte	1	43.60	148.43	151.12	149.68	151.20	0.000603	1.36	50.13	56.12	0.26
olona	17	T = 10 anni inte	2	43.60	148.43	151.12	149.68	151.20	0.000603	1.36	50.13	56.12	0.26
olona	16	T = 10 anni inte	1	43.60	148.27	150.90	149.52	151.04	0.000930	1.66	26.41	10.39	0.33
olona	16	T = 10 anni inte	2	43.60	148.27	150.90	149.52	151.04	0.000930	1.66	26.41	10.39	0.33

Tabella. 4.5 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 1 e 2 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	23	T = 100 anni int	1	42.50	152.62	154.09	153.74	154.09	0.000041	0.23	213.55	110.80	0.06
olona	23	T = 100 anni int	2	42.50	152.62	154.09	153.74	154.09	0.000041	0.23	213.55	110.80	0.06
olona	22.1	T = 100 anni int	1	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000066	0.43	202.10	158.38	0.09
olona	22.1	T = 100 anni int	2	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000066	0.43	202.22	158.38	0.09
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 100 anni int	1	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000068	0.44	195.81	142.54	0.09
olona	21.9	T = 100 anni int	2	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000068	0.43	195.92	142.55	0.09
olona	21.1	T = 100 anni int	1	42.50	150.61	152.03	152.03	152.65	0.010399	3.46	13.19	10.89	0.95
olona	21.1	T = 100 anni int	2	42.50	150.61	152.03	152.03	152.65	0.011489	3.57	12.77	10.80	1.00
olona	21.07	T = 100 anni int	1	42.50	150.11	152.35	151.33	152.53	0.001516	1.90	22.48	11.07	0.41
olona	21.07	T = 100 anni int	2	42.50	150.11	152.09	151.33	152.33	0.000739	2.15	19.81	10.00	0.49
olona	21.05	T = 100 anni int	1	42.50	150.05	152.19	151.28	152.39	0.001762	1.99	21.38	10.51	0.43
olona	21.05	T = 100 anni int	2	42.50	150.05	152.02	151.28	152.26	0.000746	2.15	19.75	10.00	0.49
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 100 anni int	1	42.50	150.00	151.99	151.2	152.22	0.002241	2.14	19.88	10.00	0.48
olona	21.03	T = 100 anni int	2	42.50	150.00	151.96	151.2	152.20	0.000765	2.17	19.58	10.00	0.50
olona	21.01	T = 100 anni int	1	42.50	149.50	152.05	150.2	152.19	0.000800	1.67	25.47	11.25	0.33
olona	21.01	T = 100 anni int	2	42.50	149.50	152.02	150.2	152.17	0.000270	1.69	25.21	11.16	0.34
olona	21	T = 100 anni int	1	42.50	149.47	152.02	150.6	152.16	0.000984	1.67	25.54	10.31	0.33
olona	21	T = 100 anni int	2	42.50	149.47	152.01	150.6	152.16	0.000322	1.67	25.52	10.30	0.33
olona	20.1	T = 100 anni int	1	42.50	149.36	151.90	150.58	152.04	0.000984	1.67	25.89	11.72	0.33
olona	20.1	T = 100 anni int	2	42.50	149.36	151.90	150.58	152.04	0.000984	1.67	25.89	11.72	0.33
olona	20	T = 100 anni int	1	42.50	149.21	151.76	150.43	151.90	0.000983	1.67	25.53	10.22	0.33
olona	20	T = 100 anni int	2	42.50	149.21	151.76	150.43	151.90	0.000983	1.67	25.53	10.22	0.33
olona	19.1	T = 100 anni int	1	42.50	149.00	151.54	150.22	151.68	0.000990	1.67	25.48	10.25	0.33
olona	19.1	T = 100 anni int	2	42.50	149.00	151.54	150.22	151.68	0.000990	1.67	25.48	10.25	0.33
olona	19	T = 100 anni int	1	42.50	148.91	151.45	150.14	151.59	0.000990	1.67	25.83	11.61	0.33
olona	19	T = 100 anni int	2	42.50	148.91	151.45	150.14	151.59	0.000990	1.67	25.83	11.61	0.33
olona	18	T = 100 anni int	1	42.50	148.68	151.21	149.91	151.35	0.000992	1.67	26.32	13.80	0.33
olona	18	T = 100 anni int	2	42.50	148.68	151.21	149.91	151.35	0.000992	1.67	26.32	13.80	0.33
olona	17.5	T = 100 anni int	1	42.50	148.58	151.20	149.80	151.25	0.000538	1.15	58.01	46.35	0.23
olona	17.5	T = 100 anni int	2	42.50	148.58	151.20	149.80	151.25	0.000538	1.15	58.01	46.35	0.23
olona	17	T = 100 anni int	1	42.50	148.43	151.08	149.66	151.16	0.000628	1.37	47.65	55.90	0.27
olona	17	T = 100 anni int	2	42.50	148.43	151.08	149.66	151.16	0.000628	1.37	47.65	55.90	0.27
olona	16	T = 100 anni int	1	42.50	148.27	150.86	149.50	151.00	0.000930	1.64	26.00	10.37	0.33
olona	16	T = 100 anni int	2	42.50	148.27	150.86	149.50	151.00	0.000930	1.64	26.00	10.37	0.33

Tabella. 4.6 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 1 e 2 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

I risultati per questa simulazione possono essere così riassunti:

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.09	152.32	152.61	0.52	0.29

Tabella.4.7 – Risultati simulazione 2 soluzione 2009(Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.02	152.26	152.61	0.59	0.35

Tabella.4.8 – Risultati simulazione 2 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.19	152.25	153.57	1.38	1.32

Tabella.4.9 – Risultati simulazione 2 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.12	152.18	153.57	1.45	1.39

Tabella. 4.10 – Risultati simulazione 2 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

I profili idrometrici riportati in figura 4.12 e 4.13 mostrano una riduzione del livello idrico in corrispondenza dell'implacato ferroviario; a monte risulta comunque evidente la necessità di adeguamento delle opere di attraversamento stradali presenti nel tratto fluviale sottoposto a verifica idraulica.

I manufatti stradali vengono, infatti, completamente sormontati anche dalla portata più bassa; si verificano, inoltre, estesi fenomeni di esondazione.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.07	152.32	152.61	0.54	0.29

Tabella.4.11 – Risultati simulazione 3 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.04	152.28	152.61	0.57	0.33

Tabella.4.12 – Risultati simulazione 3 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.00	152.07	153.57	1.57	1.50

Tabella.4.13 – Risultati simulazione 3 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	151.96	152.03	153.57	1.61	1.54

Tabella. 4.14 – Risultati simulazione 3 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

Anche in questo scenario si è prestata particolare attenzione alla necessità di evitare scavi particolarmente rilevanti; la massima profondità di scavo risulta, infatti, poco più di 1m.

Nella figura 4.14 viene riportata una sovrapposizione di due profili dell'alveo; il tratto rosa indica l'andamento dell'alveo naturale, quello grigio rappresenta il fondo alveo riprofilato.

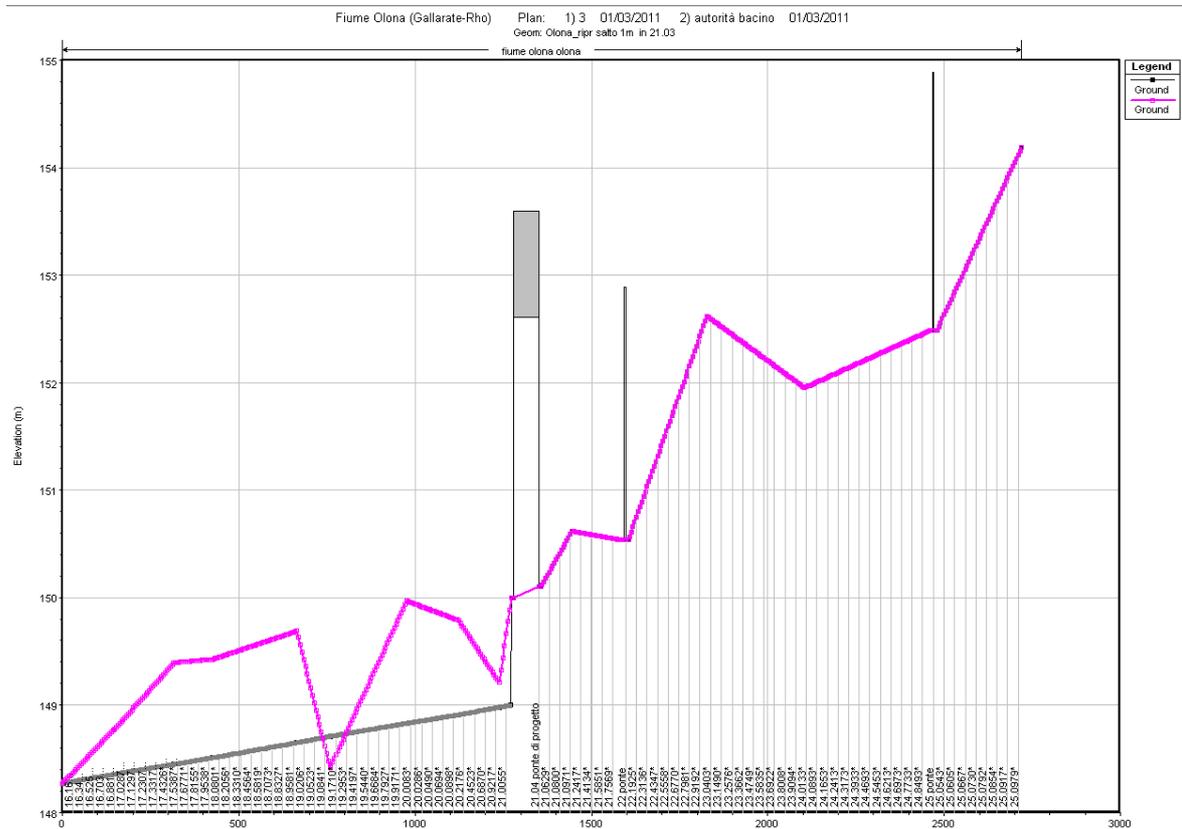


Figura 4.14 – confronto fra il fondo alveo nello scenario ante operam e quello della simulazione 3.

4. Scenario 4

Effettuando un confronto dei risultati con la precedente simulazione, considerando una portata di 43.6 m³/s, si evince che seppur in forma minima, gli interventi proposti, portano ad una riduzione dei livelli idrici in corrispondenza del manufatto ferroviario e di conseguenza un aumento dei franchi di sicurezza.

HEC-RAS River: fiume olona Reach: olona Profile: T = 10 anni inte													
Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	25.1	T = 10 anni inte	3	43.60	154.19	155.77	155.52	155.78	0.000224	0.55	125.26	126.38	0.14
olona	25.1	T = 10 anni inte	4	43.60	154.19	155.77	155.52	155.78	0.000224	0.55	125.26	126.38	0.14
olona	25.05	T = 10 anni inte	3	43.60	152.49	155.76	154.67	155.76	0.000017	0.24	394.05	268.61	0.04
olona	25.05	T = 10 anni inte	4	43.60	152.49	155.76	154.67	155.76	0.000017	0.24	394.05	268.61	0.04
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 10 anni inte	3	43.60	152.49	154.68	154.68	155.66	0.009759	4.39	9.93	8.47	1.00
olona	24.9	T = 10 anni inte	4	43.60	152.49	154.68	154.68	155.66	0.009759	4.39	9.93	8.47	1.00
olona	24	T = 10 anni inte	3	43.60	151.96	154.13	153.43	154.14	0.000288	0.70	119.36	124.14	0.15
olona	24	T = 10 anni inte	4	43.60	151.96	154.13	153.43	154.14	0.000288	0.70	119.36	124.14	0.15
olona	23	T = 10 anni inte	3	43.60	152.62	154.11	153.74	154.11	0.000042	0.23	214.96	110.81	0.06
olona	23	T = 10 anni inte	4	43.60	152.62	154.11	153.74	154.11	0.000042	0.23	214.96	110.81	0.06
olona	22.1	T = 10 anni inte	3	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000064	0.43	207.84	158.38	0.08
olona	22.1	T = 10 anni inte	4	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000064	0.43	208.06	158.38	0.08
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 10 anni inte	3	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000066	0.43	201.00	143.36	0.09
olona	21.9	T = 10 anni inte	4	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000066	0.43	201.20	143.39	0.09
olona	21.1	T = 10 anni inte	3	43.60	150.61	152.53	152.05	152.86	0.004002	2.61	18.45	11.97	0.62
olona	21.1	T = 10 anni inte	4	43.60	150.61	152.54	152.05	152.96	0.003952	2.60	18.53	11.98	0.62
olona	21.05	T = 10 anni inte	3	43.60	150.10	152.09	151.35	152.33	0.002357	2.19	19.88	10.00	0.50
olona	21.05	T = 10 anni inte	4	43.60	150.10	151.88	151.35	152.18	0.001077	2.46	17.75	10.00	0.59
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 10 anni inte	3	43.60	150.00	151.81	151.25	152.11	0.003107	2.41	18.11	10.00	0.57
olona	21.03	T = 10 anni inte	4	43.60	150.00	151.79	151.25	152.09	0.001051	2.44	17.90	10.00	0.58
olona	21.01	T = 10 anni inte	3	43.60	149.00	151.94	150.25	152.05	0.000525	1.49	29.35	11.17	0.28
olona	21.01	T = 10 anni inte	4	43.60	149.00	151.92	150.25	152.03	0.000175	1.49	29.18	11.15	0.28
olona	21	T = 10 anni inte	3	43.60	148.98	151.92	150.23	152.03	0.000643	1.48	29.60	10.52	0.28
olona	21	T = 10 anni inte	4	43.60	148.98	151.91	150.23	152.03	0.000211	1.49	29.58	10.52	0.28
olona	20.1	T = 10 anni inte	3	43.60	148.91	151.84	150.16	151.95	0.000635	1.47	30.72	12.97	0.27
olona	20.1	T = 10 anni inte	4	43.60	148.91	151.84	150.16	151.95	0.000635	1.47	30.72	12.97	0.27
olona	20	T = 10 anni inte	3	43.60	148.83	151.85	150.07	151.86	0.000059	0.46	233.93	230.37	0.08
olona	20	T = 10 anni inte	4	43.60	148.83	151.85	150.07	151.86	0.000059	0.46	233.93	230.37	0.08
olona	19.1	T = 10 anni inte	3	43.60	148.71	151.65	149.95	151.76	0.000639	1.48	29.63	10.43	0.28
olona	19.1	T = 10 anni inte	4	43.60	148.71	151.65	149.95	151.76	0.000639	1.48	29.63	10.43	0.28
olona	19	T = 10 anni inte	3	43.60	148.65	151.59	149.90	151.70	0.000629	1.47	31.31	19.06	0.27
olona	19	T = 10 anni inte	4	43.60	148.65	151.59	149.90	151.70	0.000629	1.47	31.31	19.06	0.27

Tabella.4.15 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 3 e 4 (Tr = 10 anni)

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Ch
olona	25.1	T = 100 anni int	3	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.1	T = 100 anni int	4	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.05	T = 100 anni int	3	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25.05	T = 100 anni int	4	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 100 anni int	3	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24.9	T = 100 anni int	4	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24	T = 100 anni int	3	42.50	151.96	154.11	153.40	154.12	0.000292	0.70	116.73	124.14	0.15
olona	24	T = 100 anni int	4	42.50	151.96	154.11	153.40	154.12	0.000292	0.70	116.73	124.14	0.15
olona	23	T = 100 anni int	3	42.50	152.62	154.08	153.74	154.09	0.000041	0.23	212.62	110.80	0.06
olona	23	T = 100 anni int	4	42.50	152.62	154.08	153.74	154.09	0.000041	0.23	212.62	110.80	0.06
olona	22.1	T = 100 anni int	3	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000063	0.42	205.10	158.38	0.08
olona	22.1	T = 100 anni int	4	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000063	0.42	205.34	158.38	0.08
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 100 anni int	3	42.50	150.53	153.32	152.41	153.32	0.000065	0.43	198.51	142.97	0.09
olona	21.9	T = 100 anni int	4	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000065	0.43	198.73	143.00	0.09
olona	21.1	T = 100 anni int	3	42.50	150.61	152.51	152.03	152.83	0.003989	2.59	18.16	11.91	0.62
olona	21.1	T = 100 anni int	4	42.50	150.61	152.51	152.03	152.83	0.003932	2.57	18.25	11.93	0.61
olona	21.05	T = 100 anni int	3	42.50	150.10	152.06	151.33	152.30	0.002344	2.17	19.58	10.00	0.50
olona	21.05	T = 100 anni int	4	42.50	150.10	151.85	151.33	152.15	0.001075	2.43	17.47	10.00	0.59
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 100 anni int	3	42.50	150.00	151.78	151.22	152.07	0.003097	2.38	17.82	10.00	0.57
olona	21.03	T = 100 anni int	4	42.50	150.00	151.76	151.22	152.06	0.001048	2.41	17.62	10.00	0.58
olona	21.01	T = 100 anni int	3	42.50	149.00	151.91	150.22	152.02	0.000516	1.46	29.05	11.13	0.27
olona	21.01	T = 100 anni int	4	42.50	149.00	151.89	150.22	152.00	0.000172	1.47	28.88	11.11	0.28
olona	21	T = 100 anni int	3	42.50	148.98	151.89	150.21	151.99	0.000632	1.46	29.29	10.51	0.27
olona	21	T = 100 anni int	4	42.50	148.98	151.88	150.21	151.99	0.000207	1.46	29.27	10.51	0.27
olona	20.1	T = 100 anni int	3	42.50	148.91	151.81	150.14	151.92	0.000624	1.45	30.35	12.88	0.27
olona	20.1	T = 100 anni int	4	42.50	148.91	151.81	150.14	151.92	0.000624	1.45	30.35	12.88	0.27
olona	20	T = 100 anni int	3	42.50	148.83	151.82	150.05	151.82	0.000061	0.46	226.37	230.37	0.09
olona	20	T = 100 anni int	4	42.50	148.83	151.82	150.05	151.82	0.000061	0.46	226.37	230.37	0.09
olona	19.1	T = 100 anni int	3	42.50	148.71	151.62	149.93	151.73	0.000631	1.46	29.27	10.42	0.27
olona	19.1	T = 100 anni int	4	42.50	148.71	151.62	149.93	151.73	0.000631	1.46	29.27	10.42	0.27
olona	19	T = 100 anni int	3	42.50	148.65	151.56	149.88	151.67	0.000623	1.45	30.66	19.03	0.27
olona	19	T = 100 anni int	4	42.50	148.65	151.56	149.88	151.67	0.000623	1.45	30.66	19.03	0.27
olona	18	T = 100 anni int	3	42.50	148.51	151.48	149.74	151.49	0.000098	0.58	131.90	95.51	0.11

Tabella.4.16 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 3 e 4 (Tr = 100 anni)

Nelle tabella 4.15 e 4.16 sono stati evidenziati i valori assunti dal livello idrico e da quello energetico.

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	151.87	152.18	152.61	0.74	0.43

Tabella.4.17 – Risultati simulazione 4 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	151.84	152.14	152.61	0.77	0.47

Tabella.4.18 – Risultati simulazione 4 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	151.98	152.05	153.57	1.59	1.52

Tabella.4.19 – Risultati simulazione 4 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	151.95	152.02	153.57	1.62	1.55

Tabella. 4.20 – Risultati simulazione 4 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

5. Scenario 5

Confrontando i risultati della modellazione corrispondente allo scenario 1 con quella dello scenario 5, è evidente come gli interventi proposti inducano una riduzione dei livelli idrici al di sotto del maufatto in progetto (152.23 contro 152.19 della soluzione del 2009).

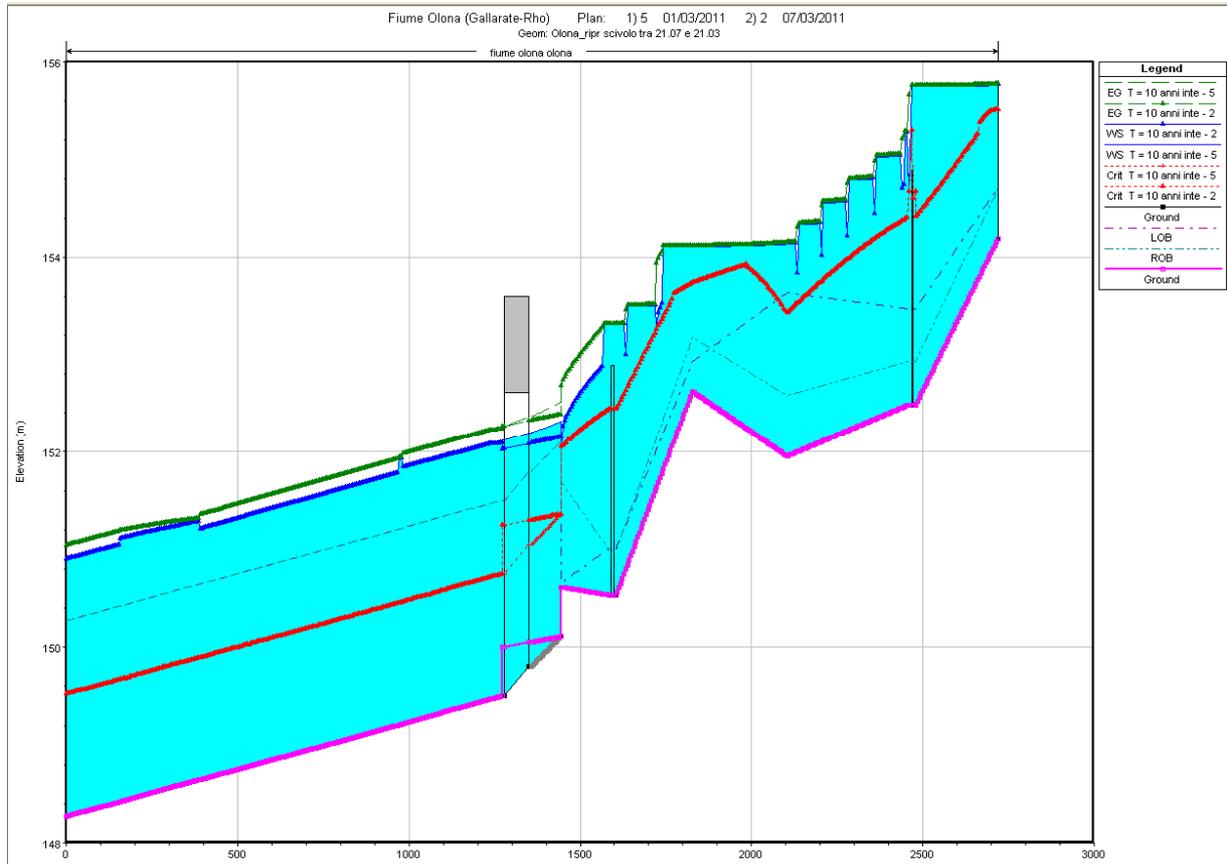


Figura 4.15 – confronto fra il fondo alveo dello scenario 1 e quello dello scenario 5 soluzione 2009

Gli scavi legati alla realizzazione di questa opera di intervento risultano del tutto contenuti.

Di seguito inseriamo una tabella riassuntiva dei livelli idrici ed energetici ottenuti con gli interventi in progetto:

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.19	152.36	152.61	0.42	0.25

Tabella.4.21 – Risultati simulazione 5 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.12	152.29	152.61	0.49	0.32

Tabella.4.22 – Risultati simulazione 5 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.22	152.25	153.57	1.35	1.32

Tabella.4.23 – Risultati simulazione 5 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.15	152.19	153.57	1.42	1.38

Tabella. 4.24 – Risultati simulazione 5 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

6. Scenario 6

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
10	43.6	152.09	152.24	152.61	0.52	0.37

Tabella.4.25 – Risultati simulazione 6 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Tempo di Ritorno (anni)	Portata (m³/s)	Livello idrico (m.s.l.m)	Livello energetico (m.s.l.m)	Quota intradosso (m.s.l.m)	Franco sul livello idrico (m)	Franco sul livello energetico (m)
100	42.5	152.03	152.21	152.61	0.58	0.4

Tabella.4.26 – Risultati simulazione 6 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
10	43.6	152.21	152.25	153.57	1.36	1.32

Tabella.4.27 – Risultati simulazione 6 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
100	42.5	152.14	152.19	153.57	1.43	1.38

Tabella. 4.28 – Risultati simulazione 6 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

Confrontando i risultati fra lo scenario 5 e il 6: si evidenzia che l'utilizzo del cemento per la riprofilatura delle sezioni poste immediatamente a monte e subito a valle dell'opera d'arte ferroviaria, porta un leggero miglioramento dei franchi sul livello idrico e su quello energetico

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	25.1	T = 10 anni inte	6.	43.60	154.19	155.77	155.52	155.78	0.000224	0.55	125.26	126.38	0.14
olona	25.1	T = 10 anni inte	5	43.60	154.19	155.77	155.52	155.78	0.000224	0.55	125.26	126.38	0.14
olona	25.05	T = 10 anni inte	6.	43.60	152.49	155.76	154.67	155.76	0.000017	0.24	394.05	268.61	0.04
olona	25.05	T = 10 anni inte	5	43.60	152.49	155.76	154.67	155.76	0.000017	0.24	394.05	268.61	0.04
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 10 anni inte	6.	43.60	152.49	154.68	154.68	155.66	0.009759	4.39	9.93	8.47	1.00
olona	24.9	T = 10 anni inte	5	43.60	152.49	154.68	154.68	155.66	0.009759	4.39	9.93	8.47	1.00
olona	24	T = 10 anni inte	6.	43.60	151.96	154.14	153.43	154.15	0.000278	0.69	120.63	124.14	0.15
olona	24	T = 10 anni inte	5	43.60	151.96	154.14	153.43	154.15	0.000278	0.69	120.63	124.14	0.15
olona	23	T = 10 anni inte	6.	43.60	152.62	154.12	153.74	154.12	0.000041	0.23	216.18	110.82	0.06
olona	23	T = 10 anni inte	5	43.60	152.62	154.12	153.74	154.12	0.000041	0.23	216.18	110.82	0.06
olona	22.1	T = 10 anni inte	6.	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000067	0.43	204.75	158.38	0.09
olona	22.1	T = 10 anni inte	5	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000067	0.43	204.68	158.38	0.09
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 10 anni inte	6.	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000069	0.44	198.19	142.91	0.09
olona	21.9	T = 10 anni inte	5	43.60	150.53	153.32	152.44	153.32	0.000069	0.44	198.12	142.90	0.09
olona	21.1	T = 10 anni inte	6.	43.60	150.61	152.05	152.05	152.68	0.011461	3.60	13.00	10.85	1.00
olona	21.1	T = 10 anni inte	5	43.60	150.61	152.05	152.05	152.68	0.011461	3.60	13.00	10.85	1.00
olona	21.07	T = 10 anni inte	6.	43.60	150.11	152.11	151.35	152.35	0.000755	2.18	20.01	10.00	0.49
olona	21.07	T = 10 anni inte	5	43.60	150.11	152.31	151.35	152.51	0.001680	1.98	22.11	10.91	0.43
olona	21.05	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.80	152.10	151.05	152.28	0.000475	1.90	23.00	11.10	0.40
olona	21.05	T = 10 anni inte	5	43.60	149.80	152.20	151.05	152.37	0.001263	1.82	23.99	11.46	0.37
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.50	152.09	150.75	152.24	0.000319	1.68	25.92	11.40	0.33
olona	21.03	T = 10 anni inte	5	43.60	149.50	152.12	150.75	152.26	0.000945	1.67	26.17	11.49	0.33
olona	21.01	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.50	152.09	150.75	152.24	0.000260	1.68	25.89	11.40	0.33
olona	21.01	T = 10 anni inte	5	43.60	149.50	152.12	150.75	152.26	0.000772	1.67	26.14	11.49	0.33
olona	21	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.47	152.08	150.72	152.22	0.000310	1.67	26.23	10.34	0.33
olona	21	T = 10 anni inte	5	43.60	149.47	152.08	150.72	152.23	0.000947	1.67	26.25	10.34	0.33
olona	20.1	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.36	151.98	150.61	152.12	0.000939	1.66	26.77	11.96	0.33
olona	20.1	T = 10 anni inte	5	43.60	149.36	151.98	150.61	152.12	0.000939	1.66	26.77	11.96	0.33
olona	20	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.21	151.93	150.45	151.94	0.000149	0.68	164.61	230.36	0.13
olona	20	T = 10 anni inte	5	43.60	149.21	151.93	150.45	151.94	0.000149	0.68	164.61	230.36	0.13
olona	19.1	T = 10 anni inte	6.	43.60	149.00	151.58	150.24	151.72	0.000996	1.69	25.84	10.26	0.34
olona	19.1	T = 10 anni inte	5	43.60	149.00	151.58	150.24	151.72	0.000996	1.69	25.84	10.26	0.34

Tabella.4.29 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 5 e 6 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	25.1	T = 100 anni int	6.	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.1	T = 100 anni int	5	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.05	T = 100 anni int	6.	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25.05	T = 100 anni int	5	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 100 anni int	6.	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24.9	T = 100 anni int	5	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24	T = 100 anni int	6.	42.50	151.96	154.12	153.40	154.13	0.000285	0.69	117.71	124.14	0.15
olona	24	T = 100 anni int	5	42.50	151.96	154.12	153.40	154.13	0.000285	0.69	117.71	124.14	0.15
olona	23	T = 100 anni int	6.	42.50	152.62	154.09	153.74	154.09	0.000041	0.23	213.55	110.80	0.06
olona	23	T = 100 anni int	5	42.50	152.62	154.09	153.74	154.09	0.000041	0.23	213.55	110.80	0.06
olona	22.1	T = 100 anni int	6.	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000066	0.43	202.21	158.38	0.09
olona	22.1	T = 100 anni int	5	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000066	0.43	202.16	158.38	0.09
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 100 anni int	6.	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000068	0.43	195.91	142.55	0.09
olona	21.9	T = 100 anni int	5	42.50	150.53	153.30	152.41	153.31	0.000068	0.44	195.87	142.54	0.09
olona	21.1	T = 100 anni int	6.	42.50	150.61	152.03	152.03	152.65	0.011489	3.57	12.77	10.80	1.00
olona	21.1	T = 100 anni int	5	42.50	150.61	152.03	152.03	152.65	0.011489	3.57	12.77	10.80	1.00
olona	21.07	T = 100 anni int	6.	42.50	150.11	152.04	151.34	152.29	0.000793	2.20	19.34	10.00	0.50
olona	21.07	T = 100 anni int	5	42.50	150.11	152.25	151.34	152.45	0.001751	1.98	21.46	10.64	0.43
olona	21.05	T = 100 anni int	6.	42.50	149.80	152.03	151.03	152.22	0.000499	1.90	22.32	10.85	0.41
olona	21.05	T = 100 anni int	5	42.50	149.80	152.13	151.03	152.30	0.001315	1.82	23.34	11.22	0.38
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 100 anni int	6.	42.50	149.50	152.02	150.72	152.17	0.000331	1.68	25.23	11.16	0.34
olona	21.03	T = 100 anni int	5	42.50	149.50	152.05	150.72	152.19	0.000979	1.67	25.50	11.26	0.33
olona	21.01	T = 100 anni int	6.	42.50	149.50	152.02	150.72	152.17	0.000270	1.69	25.21	11.16	0.34
olona	21.01	T = 100 anni int	5	42.50	149.50	152.05	150.72	152.19	0.000800	1.67	25.47	11.25	0.33
olona	21	T = 100 anni int	6.	42.50	149.47	152.01	150.69	152.16	0.000322	1.67	25.52	10.30	0.33
olona	21	T = 100 anni int	5	42.50	149.47	152.02	150.69	152.16	0.000984	1.67	25.54	10.31	0.33
olona	20.1	T = 100 anni int	6.	42.50	149.36	151.90	150.58	152.04	0.000984	1.67	25.89	11.72	0.33
olona	20.1	T = 100 anni int	5	42.50	149.36	151.90	150.58	152.04	0.000984	1.67	25.89	11.72	0.33
olona	20	T = 100 anni int	6.	42.50	149.21	151.76	150.43	151.90	0.000983	1.67	25.53	10.22	0.33
olona	20	T = 100 anni int	5	42.50	149.21	151.76	150.43	151.90	0.000983	1.67	25.53	10.22	0.33
olona	19.1	T = 100 anni int	6.	42.50	149.00	151.54	150.22	151.68	0.000990	1.67	25.48	10.25	0.33
olona	19.1	T = 100 anni int	5	42.50	149.00	151.54	150.22	151.68	0.000990	1.67	25.48	10.25	0.33
olona	19	T = 100 anni int	6.	42.50	148.91	151.45	150.14	151.59	0.000990	1.67	25.83	11.61	0.33

Tabella.4.30 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 5 e 6 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

7. Scenario 7

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
10	43.6	151.96	152.24	152.61	0.65	0.37

Tabella 4.31 – risultati simulazione 7 soluzione 2009 (Tr = 10 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
100	42.5	151.94	152.21	152.61	0.67	0.40

Tabella 4.32 – risultati simulazione 7 soluzione 2009 (Tr = 100 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
10	43.6	152.07	152.13	153.57	1.50	1.44

Tabella.4.33 – Risultati simulazione 7 soluzione 2013 (Tr = 10 anni)

<i>Tempo di Ritorno (anni)</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Livello idrico (m.s.l.m)</i>	<i>Livello energetico (m.s.l.m)</i>	<i>Quota intradosso (m.s.l.m)</i>	<i>Franco sul livello idrico (m)</i>	<i>Franco sul livello energetico (m)</i>
100	42.5	152.05	152.11	153.57	1.52	1.46

Tabella. 4.34 – Risultati simulazione 7 soluzione 2013 (Tr = 100 anni)

Effettuando un confronto fra le simulazioni 4 e 7 si nota che nonostante il tratto di studio sia stato aumentato le condizioni di moto non variano ed i valori dei franchi idraulici non presentano incrementi significativi.

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
olona	25.1	T = 10 anni inte	4	43.60	154.19	155.77	155.52	155.78	0.000224	0.55	125.26	126.38	0.14
olona	25.1	T = 10 anni inte	7	43.60	154.19	155.69	155.52	155.70	0.000282	0.60	115.28	124.03	0.16
olona	25.05	T = 10 anni inte	4	43.60	152.49	155.76	154.67	155.76	0.000017	0.24	394.05	268.61	0.04
olona	25.05	T = 10 anni inte	7	43.60	152.49	155.32	154.67	155.32	0.000053	0.38	276.76	268.61	0.08
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 10 anni inte	4	43.60	152.49	154.68	154.68	155.66	0.009759	4.39	9.93	8.47	1.00
olona	24.9	T = 10 anni inte	7	43.60	152.49	155.31	154.68	155.32	0.000165	0.66	148.69	143.86	0.13
olona	24	T = 10 anni inte	4	43.60	151.96	154.13	153.43	154.14	0.000288	0.70	119.36	124.14	0.15
olona	24	T = 10 anni inte	7	43.60	151.96	154.16	153.43	154.17	0.000262	0.67	123.04	124.14	0.15
olona	23	T = 10 anni inte	4	43.60	152.62	154.11	153.74	154.11	0.000042	0.23	214.96	110.81	0.06
olona	23	T = 10 anni inte	7	43.60	152.62	154.14	153.74	154.14	0.000040	0.23	218.47	110.84	0.06
olona	22.1	T = 10 anni inte	4	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000064	0.43	208.06	158.38	0.08
olona	22.1	T = 10 anni inte	7	43.60	150.53	153.34	152.44	153.35	0.000064	0.43	208.25	158.38	0.08
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 10 anni inte	4	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000066	0.43	201.20	143.39	0.09
olona	21.9	T = 10 anni inte	7	43.60	150.53	153.34	152.44	153.34	0.000066	0.43	201.37	143.42	0.09
olona	21.1	T = 10 anni inte	4	43.60	150.61	152.54	152.05	152.86	0.003952	2.60	18.53	11.98	0.62
olona	21.1	T = 10 anni inte	7	43.60	150.61	152.54	152.05	152.87	0.003910	2.59	18.60	12.00	0.61
olona	21.05	T = 10 anni inte	4	43.60	150.10	151.88	151.35	152.18	0.001077	2.46	17.75	10.00	0.59
olona	21.05	T = 10 anni inte	7	43.60	150.10	151.97	151.35	152.24	0.000930	2.34	18.65	10.00	0.55
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 10 anni inte	4	43.60	150.00	151.79	151.25	152.09	0.001051	2.44	17.90	10.00	0.58
olona	21.03	T = 10 anni inte	7	43.60	150.00	151.90	151.25	152.17	0.000886	2.30	18.96	10.00	0.53
olona	21.01	T = 10 anni inte	4	43.60	149.00	151.92	150.25	152.03	0.000175	1.49	29.18	11.15	0.28
olona	21.01	T = 10 anni inte	7	43.60	149.00	152.01	150.25	152.12	0.000158	1.45	30.06	11.38	0.27
olona	21	T = 10 anni inte	4	43.60	148.98	151.91	150.23	152.03	0.000211	1.49	29.58	10.52	0.28
olona	21	T = 10 anni inte	7	43.60	148.98	152.00	150.23	152.11	0.000191	1.44	30.52	10.57	0.26
olona	20.1	T = 10 anni inte	4	43.60	148.91	151.84	150.16	151.95	0.000635	1.47	30.72	12.97	0.27
olona	20.1	T = 10 anni inte	7	43.60	148.91	151.99	150.16	152.08	0.000539	1.40	32.59	13.42	0.26
olona	20	T = 10 anni inte	4	43.60	148.83	151.85	150.07	151.86	0.000059	0.46	233.93	230.37	0.08
olona	20	T = 10 anni inte	7	43.60	148.83	152.01	150.07	152.01	0.000039	0.39	270.24	230.37	0.07
olona	19.1	T = 10 anni inte	4	43.60	148.71	151.65	149.95	151.76	0.000639	1.48	29.63	10.43	0.28
olona	19.1	T = 10 anni inte	7	43.60	148.71	151.86	149.95	151.96	0.000507	1.38	31.93	11.70	0.25
olona	19	T = 10 anni inte	4	43.60	148.65	151.59	149.90	151.70	0.000629	1.47	31.31	19.06	0.27
olona	19	T = 10 anni inte	7	43.60	148.65	151.82	149.90	151.91	0.000478	1.35	35.63	19.22	0.24

olona	18	T = 10 anni inte	4	43.60	148.51	151.52	149.76	151.53	0.000096	0.58	135.97	97.52	0.11
olona	18	T = 10 anni inte	7	43.60	148.51	151.82	149.76	151.82	0.000064	0.51	164.90	100.15	0.09
olona	17.5	T = 10 anni inte	4	43.60	148.45	151.49	149.70	151.51	0.000272	0.90	77.62	47.04	0.17
olona	17.5	T = 10 anni inte	7	43.60	148.45	151.79	149.70	151.81	0.000170	0.76	91.96	47.04	0.13
olona	17	T = 10 anni inte	4	43.60	148.37	151.43	149.62	151.47	0.000291	1.03	71.55	58.92	0.19
olona	17	T = 10 anni inte	7	43.60	148.37	151.78	149.62	151.78	0.000031	0.36	228.09	121.48	0.06
olona	16	T = 10 anni inte	4	43.60	148.27	151.28	149.52	151.39	0.000591	1.45	30.42	10.63	0.27
olona	16	T = 10 anni inte	7	43.60	148.27	151.66	149.51	151.75	0.000478	1.27	35.90	22.44	0.22
olona	15	T = 10 anni inte	7	43.60	148.22	151.31	150.25	151.49	0.002089	1.97	25.70	19.19	0.41
olona	14	T = 10 anni inte	7	43.60	148.02	150.93	149.85	151.17	0.001668	2.23	22.47	10.26	0.44
olona	13	T = 10 anni inte	7	43.60	148.90	151.04	150.08	151.04	0.000045	0.26	187.12	82.67	0.06
olona	12	T = 10 anni inte	7	43.60	147.78	149.77	149.02	150.01	0.003622	2.18	20.02	10.06	0.49

Tabella.4.21 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 4 e 7 soluzione 2009 ($T_r = 10$ anni)

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
olona	25.1	T = 100 anni int	4	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.1	T = 100 anni int	7	42.50	154.19	155.72	155.52	155.73	0.000245	0.57	119.00	124.91	0.15
olona	25.05	T = 100 anni int	4	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25.05	T = 100 anni int	7	42.50	152.49	155.71	154.64	155.71	0.000018	0.24	380.27	268.61	0.05
olona	25			Bridge									
olona	24.9	T = 100 anni int	4	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24.9	T = 100 anni int	7	42.50	152.49	154.64	154.64	155.61	0.009853	4.36	9.75	8.43	1.00
olona	24	T = 100 anni int	4	42.50	151.96	154.11	153.40	154.12	0.000292	0.70	116.73	124.14	0.15
olona	24	T = 100 anni int	7	42.50	151.96	154.11	153.40	154.12	0.000292	0.70	116.73	124.14	0.15
olona	23	T = 100 anni int	4	42.50	152.62	154.08	153.74	154.09	0.000041	0.23	212.62	110.80	0.06
olona	23	T = 100 anni int	7	42.50	152.62	154.08	153.74	154.09	0.000041	0.23	212.62	110.80	0.06
olona	22.1	T = 100 anni int	4	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000063	0.42	205.34	158.38	0.08
olona	22.1	T = 100 anni int	7	42.50	150.53	153.33	152.41	153.33	0.000063	0.42	205.57	158.38	0.08
olona	22			Bridge									
olona	21.9	T = 100 anni int	4	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000065	0.43	198.73	143.00	0.09
olona	21.9	T = 100 anni int	7	42.50	150.53	153.32	152.41	153.33	0.000065	0.43	198.94	143.03	0.09
olona	21.1	T = 100 anni int	4	42.50	150.61	152.51	152.03	152.83	0.003932	2.57	18.25	11.93	0.61
olona	21.1	T = 100 anni int	7	42.50	150.61	152.52	152.03	152.84	0.003879	2.56	18.33	11.94	0.61
olona	21.05	T = 100 anni int	4	42.50	150.10	151.85	151.33	152.15	0.001075	2.43	17.47	10.00	0.59
olona	21.05	T = 100 anni int	7	42.50	150.10	151.95	151.33	152.22	0.000903	2.30	18.51	10.00	0.54
olona	21.04			Bridge									
olona	21.03	T = 100 anni int	4	42.50	150.00	151.76	151.22	152.06	0.001048	2.41	17.62	10.00	0.58
olona	21.03	T = 100 anni int	7	42.50	150.00	151.88	151.22	152.14	0.000857	2.26	18.84	10.00	0.52
olona	21.01	T = 100 anni int	4	42.50	149.00	151.89	150.22	152.00	0.000172	1.47	28.88	11.11	0.28
olona	21.01	T = 100 anni int	7	42.50	149.00	151.99	150.22	152.10	0.000153	1.42	29.91	11.33	0.26
olona	21	T = 100 anni int	4	42.50	148.98	151.88	150.21	151.99	0.000207	1.46	29.27	10.51	0.27
olona	21	T = 100 anni int	7	42.50	148.98	151.99	150.21	152.09	0.000184	1.41	30.35	10.56	0.26
olona	20.1	T = 100 anni int	4	42.50	148.91	151.81	150.14	151.92	0.000624	1.45	30.35	12.88	0.27
olona	20.1	T = 100 anni int	7	42.50	148.91	151.97	150.14	152.07	0.000521	1.37	32.39	13.37	0.25
olona	20	T = 100 anni int	4	42.50	148.83	151.82	150.05	151.82	0.000061	0.46	226.37	230.37	0.09
olona	20	T = 100 anni int	7	42.50	148.83	151.99	150.05	152.00	0.000039	0.38	266.46	230.37	0.07
olona	19.1	T = 100 anni int	4	42.50	148.71	151.62	149.93	151.73	0.000631	1.46	29.27	10.42	0.27
olona	19.1	T = 100 anni int	7	42.50	148.71	151.85	149.93	151.95	0.000487	1.35	31.81	11.62	0.24
olona	19	T = 100 anni int	4	42.50	148.65	151.56	149.88	151.67	0.000623	1.45	30.66	19.03	0.27
olona	19	T = 100 anni int	7	42.50	148.65	151.81	149.88	151.90	0.000459	1.32	35.47	19.21	0.24

olona	18	T = 100 anni int	4	42.50	148.51	151.48	149.74	151.49	0.000098	0.58	131.90	95.51	0.11
olona	18	T = 100 anni int	7	42.50	148.51	151.80	149.74	151.81	0.000062	0.50	163.86	100.12	0.09
olona	17.5	T = 100 anni int	4	42.50	148.45	151.44	149.67	151.47	0.000277	0.90	75.61	47.04	0.17
olona	17.5	T = 100 anni int	7	42.50	148.45	151.78	149.67	151.80	0.000164	0.74	91.52	47.04	0.13
olona	17	T = 100 anni int	4	42.50	148.37	151.39	149.60	151.43	0.000301	1.03	68.91	58.88	0.19
olona	17	T = 100 anni int	7	42.50	148.37	151.77	149.60	151.77	0.000030	0.35	226.98	121.48	0.06
olona	16	T = 100 anni int	4	42.50	148.27	151.24	149.50	151.34	0.000590	1.43	29.96	10.60	0.27
olona	16	T = 100 anni int	7	42.50	148.27	151.66	149.49	151.74	0.000456	1.24	35.79	22.12	0.22
olona	15	T = 100 anni int	7	42.50	148.22	151.28	150.23	151.46	0.002092	1.95	25.13	18.93	0.41
olona	14	T = 100 anni int	7	42.50	148.02	150.91	149.82	151.14	0.001640	2.20	22.21	10.23	0.43
olona	13	T = 100 anni int	7	42.50	148.90	151.01	150.08	151.01	0.000045	0.26	184.47	82.62	0.06
olona	12	T = 100 anni int	7	42.50	147.78	149.76	149.00	149.99	0.003492	2.13	19.92	10.06	0.46

Tabella.4.22 – Confronto dei risultati ottenuti con la modellazione numerica per le simulazioni 4 e 7 soluzione 2009 ($T_r = 100$ anni)

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 55 di 77

5 CONCLUSIONE

In questa relazione sono state esaminate le problematiche di carattere idraulico riguardante il nuovo manufatto di attraversamento ferroviario sul fiume Olona, nell'ambito del progetto del potenziamento della tratta ferroviaria Rho – Gallarate.

Lo studio ha analizzato la soluzione progettuale dell'attraversamento del fiume Olona proposto nel 2009 e la nuova soluzione proposta a seguito della procedura di pubblicizzazione degli espropri (15/06/2011).

Sulla base delle analisi idrologiche ed idrauliche svolte nello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*, e del rilievo topografico svolto nell'apposita attività di campo eseguita nell'ambito dello stesso studio, sono stati implementati una serie di modelli di simulazione monodimensionali nei diversi scenari ante e post operam.

Per lo studio del corso d'acqua si è fatto ricorso al modello matematico HEC RAS, implementando 1 modello geometrico nelle condizioni ante-operam, e 7 modelli geometrici rappresentativi dei diversi scenari di adeguamento nello stato post-operam; su indicazione dell'AdBPo, nella condizione ante operam sono stati eliminati tutti i manufatti di attraversamento stradale insufficienti alla transito della portata di riferimento, mentre nella condizione post operam è stato eliminato anche l'attuale ponte ferroviario e simulata unicamente l'interferenza del nuovo manufatto ferroviario di progetto.

Tutte le modellazioni sono state effettuate considerando i valori di portata indicati nello studio di fattibilità redatto dall'Agenzia Interregionale del fiume PO (AIPO) ovvero:

1. assetto nuovo ("di progetto") nel quale, per il tempo di ritorno di 10 anni, per effetto degli interventi prioritari previsti sul bacino dell'Olona, la portata in arrivo al ponte ferroviario si ridurrebbe a 43,6 m³/s
2. per effetto di tutti gli interventi previsti, invece, per il tempo di ritorno di 100 anni, la portata in arrivo al ponte ferroviario potrebbe essere ridotta a 42,5 m³/s

I risultati modellistici hanno consentito di verificare da un lato il corretto dimensionamento delle opere e dall'altro la loro compatibilità idraulica.

Una situazione di criticità è stata rilevata per l'attraversamento attuale del fiume Olona, dovuta alla livelletta di progetto della linea ferroviaria esistente e alle dimensioni del

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 56 di 77

manufatto che non consentono il rispetto dei franchi di sicurezza dettati dalla normativa statale e dalla direttiva dell’Autorità di Bacino; il ponte esistente costituisce una situazione di criticità già nota ed evidenziata nello stesso Studio di Fattibilità redatto dall’Agenzia Interregionale del fiume PO.

Le simulazioni relative allo stato post-operam con la soluzione del 2009 hanno evidenziato che con l’adeguamento del ponte ferroviario esistente e di tutti i manufatti stradali insufficienti, la costruzione del nuovo ponte e i relativi interventi di sistemazione e riprofilatura proposti (materassi tipo “Reno”, gabbioni, cemento), consentono un transito delle portate di riferimento con franchi accettabili al di sotto dell’opera ferroviaria in progetto.

Le simulazioni relative allo stato post-operam con la nuova soluzione hanno invece evidenziato che con l’adeguamento del ponte ferroviario esistente e di tutti i manufatti stradali insufficienti, la costruzione del nuovo ponte e i relativi interventi di sistemazione e riprofilatura proposti (materassi tipo “Reno”, gabbioni, cemento), consentono un transito delle portate di riferimento con ampi franchi di sicurezza sia sui livelli idrici che energetici al di sotto dell’opera ferroviaria in progetto.

Nelle eventuali seguenti fasi progettuali, con i rilievi di dettaglio e lo studio progettuale relativo, si potranno raggiungere ulteriori miglioramenti ai franchi minimi di sicurezza previsti.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 57 di 77

ALLEGATO A. MODELLO MATEMATICO HEC-RAS 4.0

Si riporta la descrizione degli algoritmi di calcolo alla base del modello matematico HEC-RAS utilizzato nel presente lavoro ai fini delle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento stradali interferenti con il sistema idrografico.

Le procedure di calcolo descritte nelle seguenti pagine si limitano agli algoritmi effettivamente utilizzati ovvero a quelli che consentono la simulazione dei profili idrometrici operando in regime di moto permanente ed in corrente mista (sub e supercritica).

A.1 Obiettivi e capacità di elaborazione

Il modello di simulazione HEC-RAS è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio delle correnti nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso.

HEC-RAS rappresenta l'evoluzione del noto modello HEC-2, che fornisce tuttora la base di calcolo della versione attuale e al quale sono state aggiunte numerose altre funzioni e strumenti di analisi. In particolare, a partire dalla versione 3.1 è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico. Successivamente, nel Marzo del 2008 con la distribuzione della versione 4.0, il modello ha acquisito ulteriori capacità di simulazione, principalmente orientate alle valutazioni di trasporto solido, che lo rendono adatto a simulare profili di piena nell'ipotesi di fondo mobile in regime quasi vario ed a fornire previsioni sulle tendenze evolutive degli alvei. Quest'ultima è la versione utilizzata nella presente analisi.

Obiettivo principale del modello, utilizzato nell'ipotesi di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>002 A</td> <td>58 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	002 A	58 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	002 A	58 di 77								

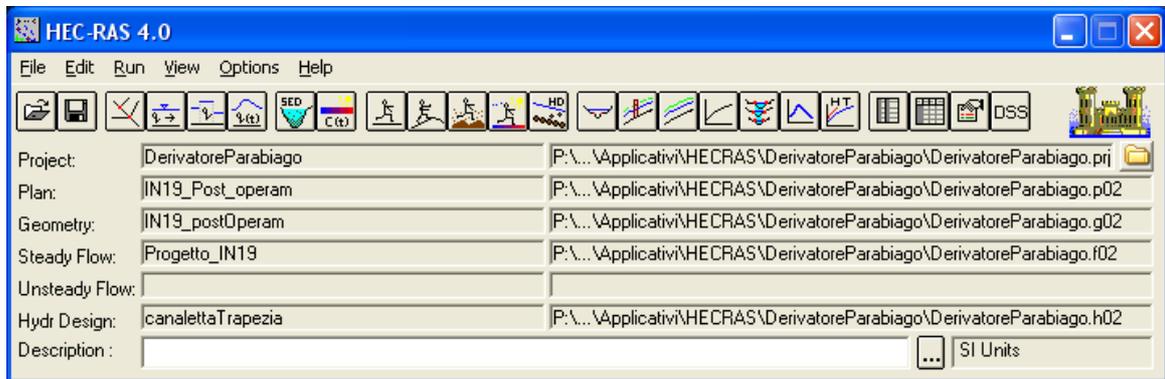


Figura A. 1 - Finestra principale del modello HEC-RAS 4.0

Pur operando nell'ipotesi di monodimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Nel caso della simulazione in moto permanente il calcolo dell'andamento dei profili idraulici viene effettuato dal modello utilizzando un metodo numerico chiamato "standard step method", che risolve in modo sequenziale l'equazione monodimensionale dell'energia fra due sezioni adiacenti trasversali al moto.

In corrispondenza ad alcune tipologie di ponte, dove nascono condizioni di flusso complesse, vengono utilizzate invece specifiche equazioni dell'idraulica per determinare le variazioni di livello dovute a queste varie singolarità.

Sinteticamente, il modello funziona calcolando le variazioni di livello idrometrico tra sezioni trasversali adiacenti sulla base del calcolo delle perdite di energia. Il calcolo comincia a un'estremità del tronco d'alveo indagato, procedendo passo-passo sino all'altra estremità, e così sezione dopo sezione, cambiando il verso dell'indagine da valle verso monte per moto subcritico e da monte verso valle per moto supercritico.

Il funzionamento del modello HEC-RAS si basa su alcune semplificazioni nelle ipotesi di partenza:

- moto permanente;
- moto gradualmente vario;
- moto monodimensionale, con correzione della distribuzione orizzontale della

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	RI	CODIFICA DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 59 di 77

velocità;

- perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- arginature fisse.

Come altri programmi di simulazione, HEC-RAS non va considerato come una semplice “black box”, ma è invece molto importante l’accuratezza dei dati forniti come input per ottenere dei risultati di buona qualità; alla base della definizione di tutti i parametri utilizzati dal modello sta infatti un accurato studio del bacino e delle interazioni fra corso d’acqua e ambiente circostante.

A.2 Definizioni

Il modello utilizza, all’interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell’idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.

Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile “tempo”. Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata sezione di un corso d’acqua, il moto è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un’onda di piena lungo un tronco d’alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui HEC-RAS, modello di moto permanente, può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un’onda di piena, sta nella lentezza con cui l’onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d’acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell’onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	REV. ID0002 002	FOGLIO A 60 di 77

Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell'acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l'area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D'altra parte è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell'energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto "gradualmente vario" quando le variazioni nell'altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo "rapidamente vario" se le variazioni sono brusche.

Quest'ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico.

La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell'utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d'alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico.

Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell'indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002 A	FOGLIO 61 di 77

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (A.1)$$

dove:

V = velocità media Q/A [m/s]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

D = raggio idraulico [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente.

Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

Altezza critica

L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato, rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto.

Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello.

L'energia specifica E di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità y e del termine $V^2/2g$:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A 62 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 62 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 62 di 77								

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (A.2)$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore α di Coriolis. Si ha quindi:

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (A.3)$$

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica.

La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo al quale ne consegue un valore di energia specifica dato dalla (A.3), che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H.

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione.

Se si verifica il caso di avere la presenza dei due regimi nel tronco oggetto di studio, diventa necessario suddividere il tronco in tratti in cui si abbia presenza di un solo regime di moto. Nel punto in cui avviene il passaggio tra un regime e l'altro, infatti, HEC-RAS non effettuerà il calcolo attraverso l'altezza critica, ma assumerà al limite un'altezza pari a quella critica.

A.3 Procedure di calcolo per simulazioni in moto permanente

Ricostruzione del campo di moto in una sezione trasversale

Per trovare il valore del coefficiente α relativo a una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_i^{1/2} \quad (A.4)$$

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002	FOGLIO A 63 di 77

$$Q = VA = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_i^{1/2} \quad (A.5)$$

Ponendo quindi:

$$K = \text{trasporto} = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (A.6)$$

si ha che:

$$Q = KS_i^{1/2} \quad (A.7)$$

che viene scritta per ognuna delle i-esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico R di una subarea è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due subaree viene trascurato.

Tramite alcuni passaggi si trova che:

$$\alpha = \frac{(\sum A)^2 (\sum K_i^3 / A^2)}{(\sum K_i)^3} \quad (A.8)$$

Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

Distribuzione delle velocità in senso trasversale alla corrente

La libreria di algoritmi di simulazione idraulica in dotazione al modello HEC-RAS include la possibilità di analizzare la distribuzione delle velocità della corrente all'interno di una stessa sezione trasversale, eliminando la limitazione della teorica del moto unidimensionale che prevede, al contrario, l'imposizione di una unica velocità media caratteristica valida per l'intera sezione di deflusso.

Rispetto ad un vero modello bidimensionale, tale l'algoritmo di calcolo utilizzato da HEC

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002 A	FOGLIO 64 di 77

RAS comporta l'accettazione di una serie di semplificazioni, tra cui:

- la quota idrometrica risulterà comunque orizzontale;
- no n vengono considerati gli effetti della forza centrifuga.

Vengono invece considerati gli effetti della variazione del raggio idraulico locale, e la differente scabrezza del perimetro bagnato.

Questa tecnica consente di ottenere, con una certa attendibilità specie nei tratti rettilinei, l'andamento della velocità al variare della posizione del punto lungo una direttrice trasversale alla corrente che deve essere intesa come velocità media sulla verticale.

A.3 Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

Bilancio dell'energia

La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se θ rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$H = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (A.9)$$

Il termine $\cos \theta$ è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata, $\cos \theta$ è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 65 di 77

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad (\text{A.10})$$

o in altri termini:

$$H_1 = H_2 + h_e \quad (\text{A.11})$$

L'energia totale nella sezione di monte H_1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H_2 più il termine di perdita di energia h_e . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

Perdite di energia

In HEC-RAS la perdita totale di energia h_e è considerata composta da due componenti: una componente di attrito h_f , dovuta alla scabrezza delle superfici e calcolata secondo l'equazione di Manning, e una componente h_o , che rappresenta le altre perdite, soprattutto dovute a contrazioni ed espansioni.

Il programma determina se il flusso è in contrazione o espansione sottraendo il termine cinetico $V_2^2/2g$ alla sezione a valle dal termine cinetico alla sezione a monte. Se la differenza risulta un numero negativo, il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Il programma, sulla base di questo controllo, applica un coefficiente appropriato.

Se consideriamo ora un tratto di canale, la pendenza S_f della linea dell'energia in corrispondenza a una determinata sezione può essere determinata con l'equazione di Manning, inserendo la quota del pelo libero, la portata, il coefficiente di rugosità n e la geometria della sezione. L'energia persa a causa dell'attrito tra le sezioni a monte e a valle è calcolata con il seguente integrale:

$$\int_{x_2}^{x_1} S_f dx = \bar{S}_f L \quad (\text{A.12})$$

dove \bar{S}_f è la perdita specifica per attrito e L è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito h_f può essere ottenuta moltiplicando il termine \bar{S}_f per la lunghezza L del tronco tra le due sezioni.

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. FOGLIO A 66 di 77

Ci sono quattro equazioni in HEC-RAS per l'approssimazione delle perdite tra due sezioni e sono le seguenti:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad \text{trasporto medio} \quad (\text{A.13})$$

$$\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2} \quad \text{attrito specifico medio} \quad (\text{A.14})$$

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}} \quad \text{media geometrica attrito specifico} \quad (\text{A.15})$$

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}} \quad \text{media armonica attrito specifico} \quad (\text{A.16})$$

se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

Perdite di energia per contrazione e espansione

Le perdite di energia per contrazione e espansione della corrente vengono calcolate da HEC RAS mediante la seguente espressione:

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (\text{A.17})$$

dove C è il coefficiente di contrazione o di espansione.

Il modello considera come “contrazione” ogni situazione in cui l'energia cinetica nella sezione di valle sia superiore all'energia cinetica della sezione di monte. Viceversa, quando l'energia cinetica nella sezione di valle sia inferiore all'energia cinetica della sezione di monte, il modello considera un situazione di “espansione”.

Per valutare l'entità delle perdite di energia associate a queste situazioni, l'utente deve assegnare i valori del coefficiente C, che possono variare per ciascun tratto considerato. Valori tipici consigliati, sono C = 0.3 nel caso di espansione e C = 0.1 nel caso di contrazione.

Standard step method

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 67 di 77

Per illustrare il metodo “standard step method” utilizzato da HEC-RAS si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l’equazione dell’energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell’energia fra le sezioni U di monte e D di valle:

$$WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e \quad (A.18)$$

$$WS_u = Z_u + y_u \quad (A.19)$$

$$WS_d = Z_d + y_d \quad (A.20)$$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell’equazione sono WS_u , V_u e h_e . V_u è desumibile direttamente dal valore di WS_u , per cui le incognite possono essere ridotte a due.

Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da $h_e = h_f + h_o$, per poter ottenere una soluzione. L’irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo “trail and error”, per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

1. viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte (in primo tentativo viene imposta la pendenza della linea dell’energia pari alla pendenza del tronco d’alveo, quindi $\Delta W_S = (Q/K)^2 L$, dove ΔW_S rappresenta la variazione nella quota del pelo libero, Q è la portata, K il termine di trasporto e L la distanza dalla sezione a monte);
2. sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
3. con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di h_e ;

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A 68 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 68 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 68 di 77								

4. con il valore calcolato di h_e , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;

5. viene fatto un confronto fra il valore di h_e calcolato al passo 4 e il valore ipotizzato al passo 1 e se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore di tentativo al passo 1.

A.4 Profili idraulici in presenza di ponti

La presenza di un ponte di attraversamento di un corso d'acqua rappresenta un punto di rapida variazione dei parametri idraulici caratteristici della corrente e di insorgenza di dissipazione localizzata di energia. In tali circostanze non è più applicabile l'equazione di Manning ed il modello ricorre ad una delle varie formulazioni presenti nella libreria di calcolo di cui dispone per una valutazione corretta del profilo che si instaura nel tratto adiacente.

Delimitazione dei tratti di contrazione e di espansione

Operazione preliminare che il modellista deve eseguire è quella della delimitazione esatta del tratto per il quale cessano di valere le condizioni di moto gradualmente variato e risulta necessaria l'applicazione di una delle formulazioni specifiche. Tale delimitazione viene eseguita imponendo la posizione planimetrica delle sezioni 1 e 4 indicate nella seguente figura.

A partire da queste il modello definisce automaticamente le sezioni 2 e 3, posizionate immediatamente a monte e a valle del ponte, normalmente in corrispondenza del piede del rilevato, come indicato nella stessa figura. Le 4 sezioni definiscono i tratti in cui avviene la contrazione e l'espansione della vena liquida a causa della presenza del ponte.

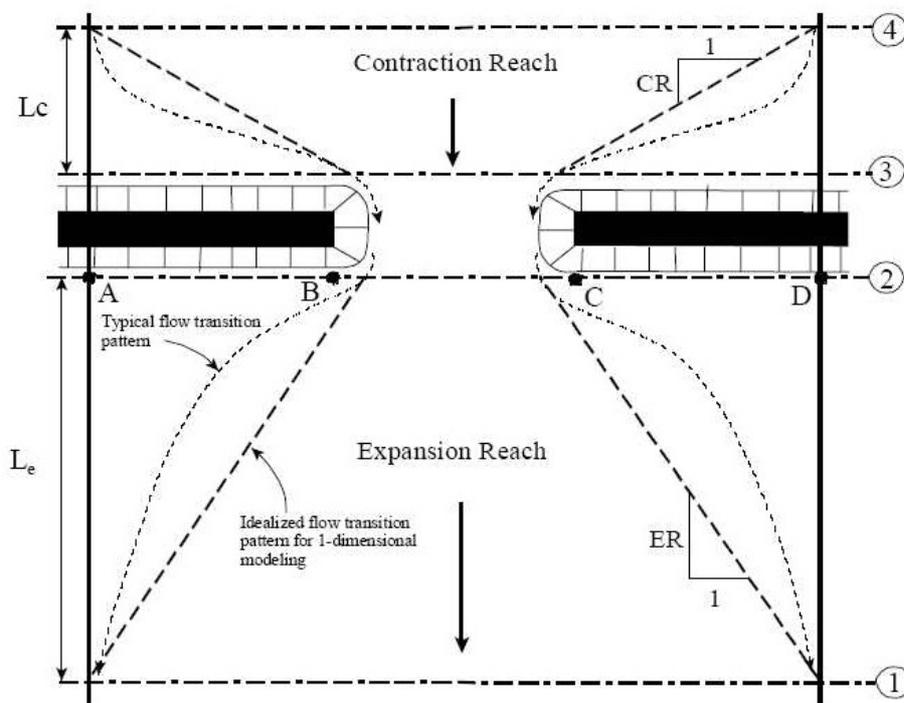


Figura A.2 – Posizionamento delle sezioni idrauliche per il calcolo dei ponti in Hec-Ras.

Il corretto posizionamento delle sezioni 1 e 4 è fondamentale nei casi in cui i rilevati di collegamento al ponte occupino una parte importante della zona di deflusso. La valutazione della posizione di tali sezioni è fatta sulla base dello studio effettuato dall'Hydrologic Engineering Center intitolato "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis" (RD-42, HEC, 1995). Lo scopo dello studio era quello di fornire delle linee guida nel calcolo con l'utilizzo di dati misurati sia con modellazioni di tipo bidimensionale, cercando, mediante regressione statistica, delle formulazioni che fornissero i 4 parametri fondamentali per la rappresentazione in un modello monodimensionale della dinamica legata alla contrazione ed espansione imposta dalla presenza del ponte, questi 4 parametri sono:

L_e lunghezza del tratto di espansione;

C_e coefficiente di espansione;

L_c lunghezza del tratto di contrazione;

C_c coefficiente di contrazione.

Per la lunghezza di espansione sono state determinate 3 formule (in unità Inglesi) in

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 70 di 77

base alla dimensione del corso d'acqua e alla portata transitante.

Per corsi d'acqua di circa 1000 ft (300 m) e portate comprese tra 5000 e 30000 cfs (150-850 m³/s) la formula proposta è:

$$L_e = -298 + 257 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0.918 \bar{L}_{obs} + 0.00479Q$$

dove:

L_e lunghezza del tratto di espansione in piedi (feet);

F_{c2} numero di Froude del canale principale nella sezione 2;

F_{c1} numero di Froude del canale principale nella sezione 1;

\bar{L}_{obs} lunghezza media dell'ostruzione causata dai rilevati;

Q portata in piedi cubi secondo (cfs).

Per corsi d'acqua più piccoli una valutazione migliore si ottiene con la seguente formula:

$$ER = \frac{L_e}{L_{obs}} = 0.421 + 0.485 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0.000018Q$$

Per i corsi d'acqua in cui la portata supera gli 850 m³/s è consigliata la formula:

$$ER = \frac{L_e}{L_{obs}} = 0.489 + 0.608 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right)$$

Il coefficiente di contrazione è definito dalla formula:

$$C_e = -0.09 + 0.570 \left(\frac{D_{ob}}{D_c} \right) + 0.075 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right)$$

dove:

D_{ob} tirante (calcolato come area diviso larghezza in superficie) dell'area golenale nella sezione 1;

D_c tirante del canale principale nella sezione 1.

Per la valutazione delle lunghezza di contrazione sono state ottenute 2 formule, la prima valida nel campo 150-850 m³/s:

$$L_c = 263 + 38.8 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 257 \left(\frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 58.7 \left(\frac{n_{ob}}{n_c} \right)^{0.5} + 0.161 \bar{L}_{obs}$$

Q_{ob} portata convogliata dalle zone golenali nella sezione 4;

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 002 A

n_{ob} coefficiente di Manning per le zone golenali nella sezione 4;

n_c coefficiente di Manning per il canale principale nella sezione 4.

Nei casi in cui la portata non rientri nel range specificato la formula consigliata è:

$$CR = 1.4 - 0.333 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 1.86 \left(\frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 0.19 \left(\frac{n_{ob}}{n_c} \right)^{0.5}$$

Per quanto concerne il coefficiente di contrazione la regressione statistica non ha fornito una formula valida, per cui, in assenza di dati di calibrazione, si suggerisce di assegnare il valore in base al rapporto di contrazione secondo la seguente tabella:

Rapporto di contrazione	Coefficiente di contrazione
0.0 < b/B < 0.25	0.3-0.5
0.25 < b/B < 0.50	0.1-0.3
0.50 < b/B < 1.0	0.1

La definizione dei tratti di contrazione e di espansione, oltre che con il corretto posizionamento delle sezioni 1 e 4, avviene con la corretta impostazione delle aree contribuenti al deflusso nelle sezioni 2 e 3. Ciò avviene mediante l'impostazione all'interno del modello delle "Ineffective flow area", le quali definiscono la parte di sezione contribuente al deflusso e quella in cui si ha solo invaso. Nel caso i tratti di contrazione ed espansione siano troppo lunghi per essere definiti in modo soddisfacente da solo 2 sezioni, si possono usare delle sezioni intermedie, avendo l'accortezza di definire le "Ineffective flow area" in modo da riprodurre la forma della vena liquida in contrazione ed espansione.

La valutazione delle lunghezze dei tratti di contrazione ed espansione ed i loro relativi coefficienti è un processo iterativo, dipendendo questi dalle caratteristiche della corrente nelle sezioni che si vogliono posizionare. Tale processo comunque converge molto rapidamente e difficilmente si effettua più di 1,2 volte il calcolo.

Calcolo del profilo attraverso il ponte

Il calcolo nei tratti di contrazione (sezioni 4-3) e espansione (sezioni 2-1) avviene

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A 72 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 72 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI	ID0002 002	A 72 di 77								

mediante il bilanciamento dell'equazione dell'energia come tra 2 sezioni qualsiasi. Il calcolo tra le sezioni 2 e 3 avviene invece seguendo 4 diverse formulazioni a seconda della richiesta dell'utente:

- equazione dell'energia;
- conservazione della quantità di moto;
- equazione di Yarnell;

Equazione dell'energia

In questo caso il programma inserisce due sezioni aggiuntive immediatamente all'interno del ponte e le tratta come due sezioni naturali, in cui l'area di deflusso è quella definita per il ponte e nel perimetro bagnato vengono aggiunti i tratti delle spalle ed eventualmente delle pile presenti.

Conservazione della quantità di moto

L'applicazione del metodo della conservazione della quantità di moto si basa su tre passaggi fondamentali. Si considerino, oltre alle due sezioni a monte e a valle del ponte (2 e 3), due sezioni immediatamente all'interno del ponte (BU e BD).

Il primo passo consiste nel bilancio della quantità di moto tra la sezione "2" e la sezione "BD". L'equazione del bilancio può essere scritta nella seguente forma:

$$A_{BD} \overline{Y_{BDv}} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \overline{Y_2} - A_{PBD} \overline{Y_{PBD}} + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + F_f - W_x$$

dove:

A_2, A_{BD} area liquida delle sezioni 2 e v;

A_{PBD} area liquida ostruita dalle pile nel lato di valle;

$\overline{Y_2}; \overline{Y_{BD}}$ distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il baricentro delle aree A_2 e A_{BD} ;

$\overline{Y_{PBD}}$ distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il baricentro dell'area A_{PBD} ;

β_2, β_{BD} coefficienti di Coriolis per la media della velocità;

g accelerazione di gravità;

F_f forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua;

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	D 11	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002 A	FOGLIO 73 di 77

W_x forza peso dell'acqua nella direzione della corrente, per unità di volume.

Il secondo passo consiste nel bilancio della quantità di moto tra le sezioni “BD” e “BU”, espressa come:

$$A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_x$$

ed infine il terzo passo è il bilancio della quantità di moto tra le sezioni “BU” e “3”, espressa come:

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{PBU} \bar{Y}_{PBU} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{PBU} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x$$

dove con C_D si indica il coefficiente di trascinamento per il flusso attorno alle pile, che può variare in funzione della forma delle pile.

L'equazione della conservazione della quantità di moto richiede la conoscenza dei coefficienti di scabrezza per la stima della forza di attrito e per la stima del coefficiente di trascinamento. Questi ultimi sono usati per valutare la forza dovuta al moto dell'acqua attorno alle pile, la separazione del flusso e i fronti d'onda della scia che si genera a valle e sono riportati in apposite tabelle sperimentali in base alla forma ed alla posizione delle pile.

L'equazione è valida per deflusso con contrazione della vena liquida, ma non può essere applicata quando si abbiano le condizioni di deflusso a “bocca piena”, cioè quando il pelo libero della corrente, per effetto del sopralzo dovuto all'interazione con la struttura, dovesse toccare l'intradosso del ponte.

Equazione di Yarnell

L'equazione di Yarnell utilizzata per il calcolo del rigurgito è la seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V_2^2}{2g}$$

dove:

H_{3-2} differenza di livello tra le sezioni 3 e 2;

K coefficiente di Yarnell che tiene conto della forma delle pile;

ω rapporto tra il carico cinetico e il tirante nella sezione 2;

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	DOCUMENTO ID0002	REV. 002	A FOGLIO 74 di 77

α rapporto tra l'area occupata dalle pile e l'area non ostruita nella sezione 2;
 V_2 velocità nella sezione 2.

L'equazione è basata su esperienze di laboratorio effettuate su circa 2600 prove nelle quali sono stati valutati diversi parametri: la forma, la larghezza, la lunghezza delle pile, l'angolo di giacitura dell'asse del ponte rispetto alla direzione della corrente e l'entità della corrente.

I limiti della formula di Yarnell sono dovuti al fatto che non vengono considerate nel calcolo né la forma del ponte, né la forma delle spalle, né la larghezza del ponte stesso. A causa di queste limitazioni la formulazione di Yarnell può essere usata solo quando le maggiori perdite di carico sono dovute alla presenza delle pile e non all'ostruzione complessiva causata dal manufatto di attraversamento (rampe di accesso, spalle e pile). Il metodo è valido solamente se il moto è lento.

La formulazione utilizzata differisce di poco da quella indicata nella Direttiva 2/99 (Par. 4.8.5), che è scritta nella forma seguente:

$$\frac{\Delta y}{y} = K_y (K_y - 0.6 + 5 F_2^2) (1 - r + 15 (1 - r)^4) F_2^2$$

dove $(1-r) = (b_0 - b_1)/ b_0$ è il grado di restringimento e F_2 il numero di Froude della sezione 2.

Le due equazioni sono sostanzialmente identiche, solo che la forma qui sopra riportata privilegia il concetto di una sezione rettangolare equivalente (il rapporto di contrazione r è infatti riferito alla larghezza) per cui è possibile esplicitare il numero di Froude come elemento caratteristico del moto, mentre la forma dell'equazione presentata prima fa riferimento, più in generale, ad una sezione di forma qualsiasi (il rapporto di contrazione α è infatti un rapporto di aree).

Tipi di profili idraulici attraverso il ponte

La procedura di calcolo appena illustrata si applica senza limitazioni al caso in cui la corrente si mantiene sempre in condizioni subcritiche durante il passaggio della struttura. Questo tipo di profilo idraulico viene indicato dal modello come profilo di

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002 002	REV. A	FOGLIO 75 di 77

“classe A high flow”. In realtà il passaggio attraverso la struttura può avvenire in condizioni supercritiche o miste.

In particolare si genera un profilo di “classe B low flow” quando la corrente è costretta al passaggio attraverso una condizione critica proprio nel tratto in cui la struttura produce il restringimento. Tale circostanza può avvenire sia in condizioni di moto subcritico che supercritico. In ogni caso il modello calcola il tirante idraulico di monte mediante l’equazione della quantità di moto.

Infine si osserva un profilo di “classe C low flow” quando la corrente si mantiene sempre in condizioni di moto supercritico durante il passaggio della struttura. Il modello può utilizzare sia l’equazione dell’energia sia quella della quantità di moto.

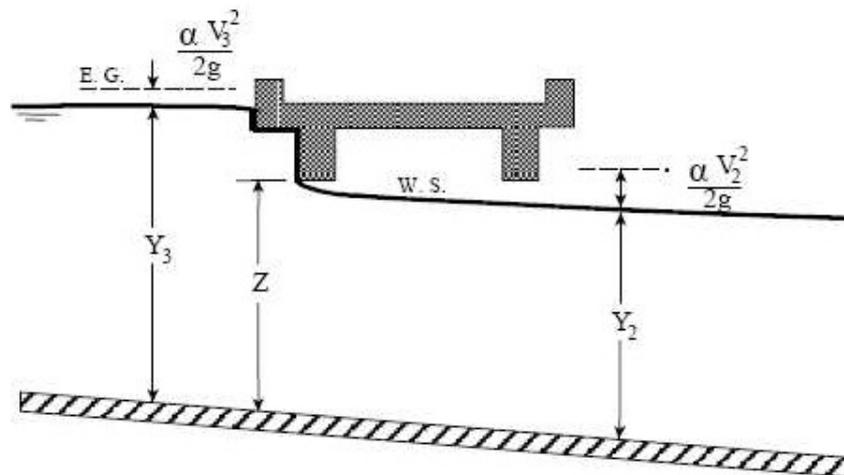
Calcolo del profilo in condizioni di high flow

Le formule descritte al paragrafo precedente sono valide quando il pelo libero non viene a contatto con l’intradosso del ponte, in questo caso infatti solo l’equazione dell’energia può ancora utilizzarsi, aggiungendo al perimetro bagnato della sezione BU, ed eventualmente BD, la lunghezza di intradosso. Nel caso si abbia il raggiungimento dell’intradosso dell’impalcato il deflusso avverrà in condizioni di “pressione” e, in caso di completo sormonto dell’impalcato, alla portata transitata attraverso la struttura dovrà essere aggiunta quella defluita al di sopra dell’impalcato, valutabile in modo simile al passaggio sopra una soglia fissa. In questi casi è possibile però utilizzare le formule della foronomia, variamente sviluppate da diversi autori. Il programma HEC-RAS utilizza le formule di seguito descritte.

Deflusso in pressione libero

Il deflusso in pressione libero si sviluppa quando il pelo libero entra in contatto con l’intradosso del ponte solo nel lato di monte del ponte, mentre a valle si ha il deflusso libero. La formula utilizzata è del tipo deflusso sotto battente ed in particolare è utilizzata la formula sviluppata dalla Federal Highway Administration:

$$Q = C_D A_{BU} \sqrt{2g \left(Y_3 - \frac{Z}{2} + \alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} \right)}$$



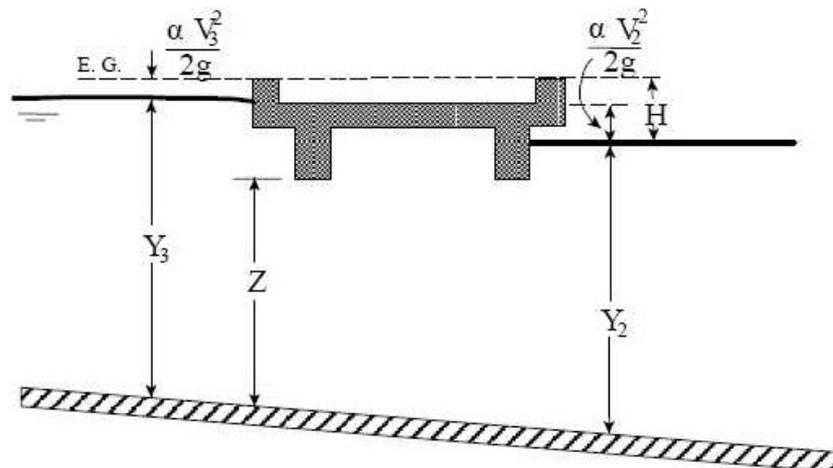
Il coefficiente di deflusso C_D può essere definito dall'utente o automaticamente "scelto" dal programma dato il rapporto Y_3/Z sulla base di dati sperimentali.

Deflusso in pressione rigurgitato

Il deflusso in pressione è rigurgitato quando anche a valle del ponte il pelo libero viene a contatto con l'intradosso, la capacità di deflusso diminuisce e la formula precedente non è più valida e il programma utilizza la seguente:

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

con C coefficiente di deflusso variabile tra 0.7 e 0.9.



Deflusso a stramazzo

Quando il pelo libero supera l'estradosso del ponte si ha deflusso anche al di sopra del

	POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
STUDIO IDRAULICO FIUME OLONA	<table border="0"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>002 A</td> <td>77 di 77</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	002 A	77 di 77
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	002 A	77 di 77									

ponte, tale deflusso viene calcolato con la tipica formula degli stramazzi:

$$Q = CLH^{3/2}$$

con C coefficiente di deflusso compreso tra 1.38 e 1.71.