

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO LINEA RHO - ARONA
TRATTA RHO - GALLARATE

Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica

SCALA

-

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

MDL1 00 D 11 RI ID0002 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
B	Consegna per Cds	A. Torra	Marzo 2013	P. Fabas	Marzo 2013	S. Borelli	Marzo 2013		
						SB			

ITALFERR S.p.A.
U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA
Via. Ing. GERARDO SACCHI
Candele Magli (Mugello) della Ferrovia Roma
N° A23172

File: MDL100D11RIID0002001B.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	6
2	IDROGRAFIA DEL TERRITORIO.....	8
3	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	11
3.1	PIANO DI BACINO E PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO	12
3.2	NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI	17
3.3	DIRETTIVE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO	19
3.4	STUDIO DI FATTIBILITÀ E ASSETTO DI PROGETTO DEL FIUME OLONA.....	21
4	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA.....	23
4.1	REGIONALIZZAZIONE STATISTICA DELLE PORTATE DI PIENA	23
4.2	PARAMETRI MORFOMETRICI	25
4.3	PORTATE IDROLOGICHE	26
4.4	DINAMICHE MORFO-EVOLUTIVE DEL FIUME OLONA	27
4.5	PORTATE MORFOLOGICHE	28
5	VERIFICHE IDRAULICHE.....	31
5.1	ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME OLONA IN LOCALITÀ RHO (SOLUZIONE 2009)	31
5.1.1	<i>Implementazione del modello matematico.....</i>	<i>32</i>
5.1.2	<i>Condizioni al contorno</i>	<i>34</i>
5.1.3	<i>Risultati delle simulazioni.....</i>	<i>35</i>
5.2	ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME OLONA IN LOCALITÀ RHO (SOLUZIONE 2013)	39
5.2.1	<i>Implementazione del modello matematico.....</i>	<i>41</i>
5.2.2	<i>Condizioni al contorno.....</i>	<i>42</i>
5.2.3	<i>Risultati delle simulazioni.....</i>	<i>43</i>
5.3	CONFRONTO VECCHIA E NUOVA SOLUZIONE DELL'ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME OLONA IN LOCALITÀ RHO	47
5.4	ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE VILLORESI, IN LOCALITÀ PARABIAGO.....	48
5.4.1	<i>Implementazione del modello matematico.....</i>	<i>48</i>
5.4.2	<i>Condizioni al contorno.....</i>	<i>49</i>
5.4.3	<i>Risultati delle simulazioni.....</i>	<i>50</i>
5.5	ADEGUAMENTO DEL DERIVATORE DI PARABIAGO (CANALE SECONDARIO VILLORESI).	52

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</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>001 B</td> <td>3 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	3 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	3 di 88								

5.5.1	<i>Implementazione del modello matematico.....</i>	53
5.5.2	<i>Condizioni al contorno.....</i>	54
5.5.3	<i>Risultati delle simulazioni.....</i>	55
5.6	ALTRE INTERFERENZE.....	58
6	CONCLUSIONI.....	60
7	BIBLIOGRAFIA.....	62
APPENDICE A - MODELLO MATEMATICO HEC-RAS 4.0		
APPENDICE B – PONTE SUL FIUME OLONA SOLUZIONE 2009– RISULTATI DELLE SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE E POST OPERAM)		
APPENDICE C - PONTE SUL CANALE VILLORESI – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE E POST OPERAM)		
APPENDICE D – CANALE SECONDARIO VILLORESI – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI E PROFILO IDROMETRICO (ANTE OPERAM)		
APPENDICE B – PONTE SUL FIUME OLONA SOLUZIONE 2013– RISULTATI DELLE SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE E POST OPERAM)		

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>4 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	4 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	4 di 88								

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 - Principali sottobacini idrografici del fiume Po.	11
Figura 3.2 - Schema per la definizione delle fasce fluviali	14
Figura 3.3 - Stralcio della Tavola di Delimitazione delle fasce fluviali (PAI).....	16
Figura 4.1 - Zone omogenee dal punto di vista della curva probabilistica di crescita	24
Figura 5.1 - Sezione del nuovo ponte di attraversamento del fiume Olona	33
Figura 5.2 - Profili idrometrici (ante e post-operam) per $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=32 \text{ m}^3/\text{s}$	38
Figura 5.3 - Profili idrometrici del fiume Olona nei pressi del ponte ferroviario (ante e post-operam) per $Q=38 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ anni).....	38
Figura 5.4 - Planimetria intervento.....	39
Figura 5.5 - Pianta solettone.....	40
Figura 5.6 - Sezione trasversale.....	40
Figura 5.7 - Sezione longitudinale	41
<i>Figura 5.8 - Profili idrometrici (ante e post-operam) per $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q=32 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=38 \text{ m}^3/\text{s}$</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.9 - Profili idrometrici del fiume Olona nei pressi del ponte ferroviario (ante e post-operam) per $Q=48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ anni).....</i>	<i>46</i>
Figura 5.10 - Profili idrometrici ante e post-operam, con $Q=30 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$	51
Figura 5.11 - Capacità di deflusso della condotta DN1800 mm esistente.	56
Figura A.7.1 - Finestra principale del modello HEC-RAS 4.0	65
Figura A.7.2 – Posizionamento delle sezioni idrauliche per il calcolo dei ponti in Hec-Ras.....	76

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>5 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	5 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	5 di 88								

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.I - Portate di piena per il fiume Olona.....	21
Tabella 4.I – Coefficiente probabilistico di crescita KT.....	24
Tabella 4.II - Grandezze morfometriche dei bacini chiusi nelle sezioni idrografiche da Castellanza a Pero.	25
Tabella 4.III - Portate idrologiche di riferimento nelle sezioni di interesse.	26
Tabella 4.IV - Portate di assegnato tempo di ritorno lungo l'Olona proposte nell'ambito del PAI.....	29
Tabella 5.I - Verifiche a moto uniforme del derivatore di Parabiago a valle della sezione R20_V (condizione ante-operam).....	56
Tabella 5.II - Profilo idrometrico del derivatore di Parabiago (tratto IN19) in condizioni post-operam	57
Tabella 5.III - Verifiche a moto uniforme del derivatore di Parabiago a valle della sezione R20_V (condizioni post-operam).....	58

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>6 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	6 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	6 di 88								

1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono riportate le analisi svolte per la verifica del corretto dimensionamento degli interventi necessari per la risoluzione delle interferenze idrauliche incontrate lungo la tratta ferroviaria Rho – Gallarate, facente parte della linea Rho – Arona, oggetto di un intervento di potenziamento.

Il progetto, datato Luglio 2009, prevedeva la costruzione di nuovi binari, in affiancamento a quelli esistenti, e richiedeva l'ampliamento della larghezza dell'attuale sede ferroviaria. Di conseguenza, vi era la necessità di adeguare le strutture di attraversamento dei corsi d'acqua incontrati lungo il percorso e delle eventuali opere idrauliche che, per loro posizione, risultano incompatibili con il futuro assetto della linea ferroviaria.

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

Risulta 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.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>7 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	7 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	7 di 88									

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

Oltre al dimensionamento delle opere, sono state analizzate le norme di attuazione e le direttive tecniche allegate al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico del fiume Po, al fine di valutare la compatibilità idraulica del progetto.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 8 di 88

2 IDROGRAFIA DEL TERRITORIO

Le principali interferenze idrauliche incontrate nella realizzazione delle opere in progetto, sono quelle dovute agli attraversamenti del fiume Olona e del canale Villoresi (sui quali è previsto l'adeguamento delle strutture di attraversamento esistenti) ed all'affiancamento del derivatore di Parabiago, detto anche Canale secondario Villoresi, che prevede lo spostamento della sezione di deflusso esistente, necessario per far posto alla nuova piattaforma ferroviaria.

Di questi corsi d'acqua, solamente il primo rappresenta un corso d'acqua naturale, con regime idrologico dipendente dalle caratteristiche morfologiche e delle condizioni meteorologiche del bacino idrografico, mentre gli altri due costituiscono collettori artificiali utilizzati a scopi irrigui. Il loro regime idrologico dipende pertanto dalle modalità di gestione dei manufatti di regolazione idraulica presenti lungo il tracciato.

Il territorio interessato dal progetto rientra quindi 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 (vedi elaborato "*Corografia del bacino del fiume Olona*"). 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, che si immettono nell'Olona poco a monte della sezione di chiusura del bacino complessivo.

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.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>9 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	9 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	9 di 88								

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.

A valle di Ponte Gurone, il bacino assume una forma molto stretta e allungata in direzione Nord-Sud, alternando zone densamente urbanizzate ad altre in cui permane una considerevole frazione di terreno agricolo e boschivo. 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. Poco 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). A valle dell’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”, la quale è stata progettata per deviare verso il canale scolmatore di Nord-Ovest una portata pari a 25 m³/s mediante il Ramo Olona. Poco 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 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” l’Olona sovrappassa il CSNO con un ponte canale e percorrendo un breve tratto (circa 3 km) raggiunge l’abitato di Pero, da cui prosegue completamente tombinato, fino all’attraversamento del Naviglio Grande oltre il quale continua a cielo aperto con il nome di Lambro Meridionale, fino a giungere

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>10 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	10 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	10 di 88									

al nodo di Conca Fallata. La massima portata compatibile con le canalizzazioni sotterranee risulta essere di 50÷54 m³/s.

Appena 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'Olonza 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.

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 le portate eccedenti dell'Olonza, 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'Olonza, che non possono essere scaricate nel CSNO. Il Deviatore aggira a ovest la città e si collega, presso Gratosoglio, al Lambro meridionale.

Il **canale irriguo Villorosi** rappresenta uno dei principali canali artificiali interferenti con il reticolo idrografico naturale, oltre ai navigli della Martesana, Grande e di Pavia, tutt'oggi utilizzati anche come vie navigabili.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 11 di 88

3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Il sistema idrografico naturale interferente con le opere di adeguamento della tratta ferroviaria Rho - Gallarate, è quello afferente il fiume Olona, a sua volta appartenente al più vasto bacino idrografico del fiume Po, al quale contribuisce con una superficie drenata di 911 km², dei quali 902 km² in territorio italiano ed i rimanenti 9 km² in territorio svizzero (Figura 3.1).

Le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all’Autorità di Bacino del fiume Po.

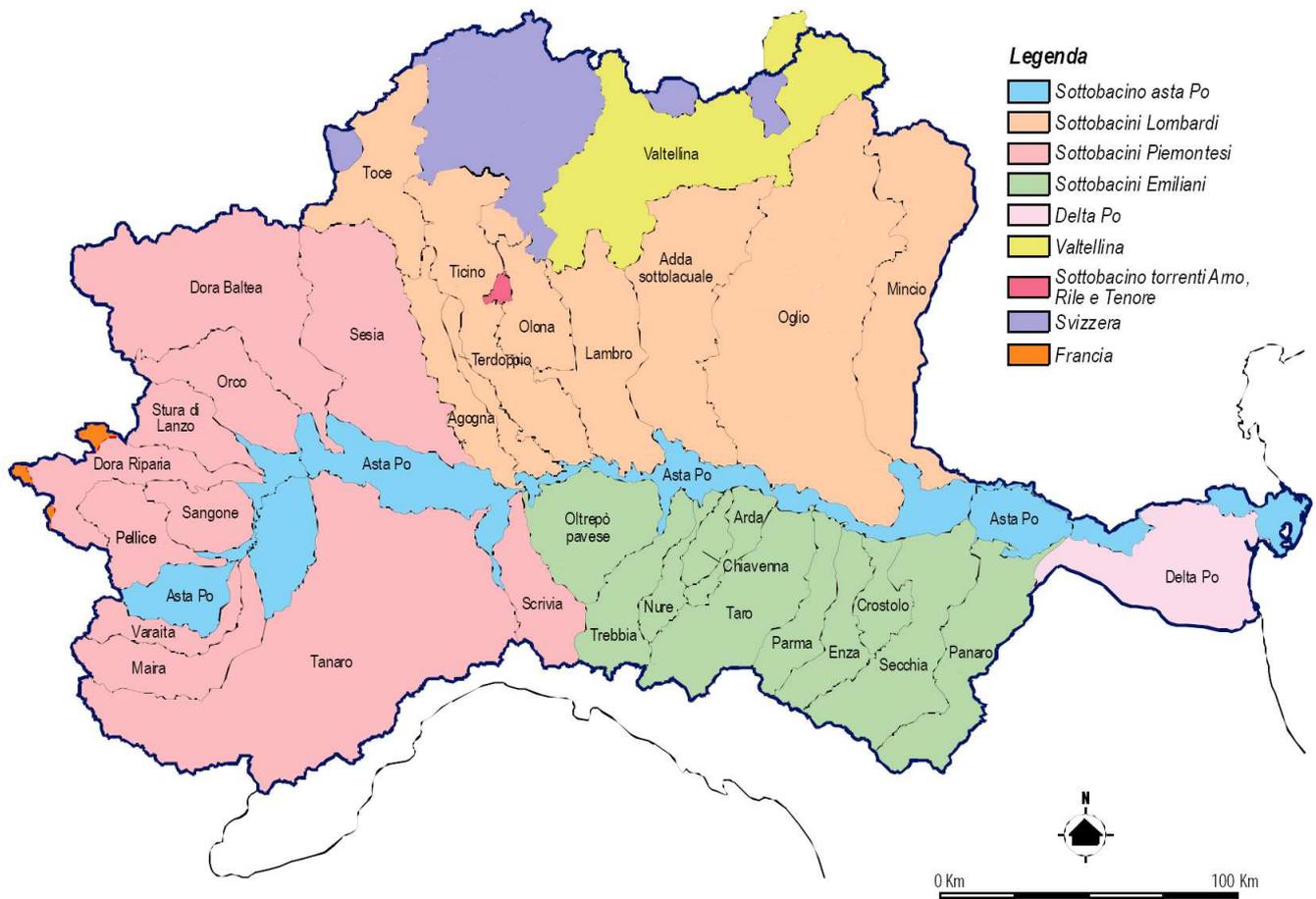


Figura 3.1 - Principali sottobacini idrografici del fiume Po.

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

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 12 di 88

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 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.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>13 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	13 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	13 di 88								

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. 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. A tal fine si vedano le n. 8 tavole planimetriche "*Stralci planimetrici delle fasce fluviali secondo il PAI*" redatte alla scala di 1:5000, allegata al presente progetto.

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.

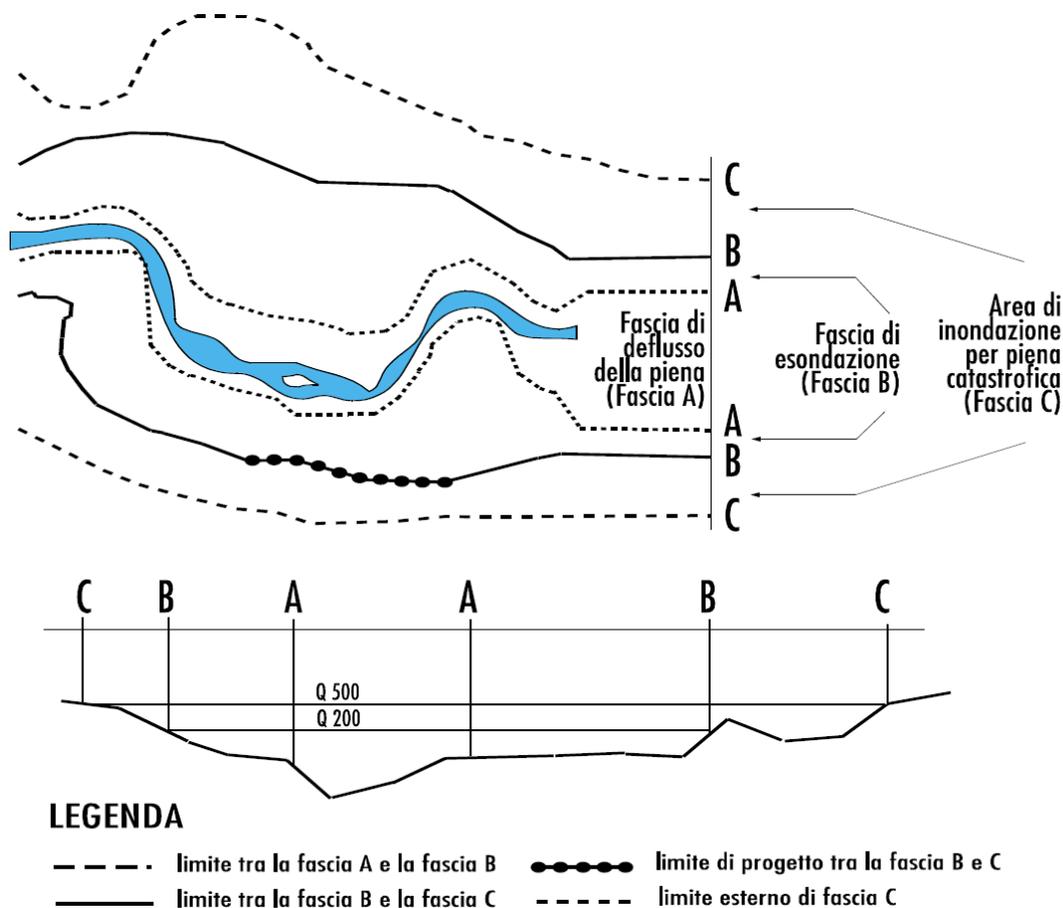


Figura 3.2 - Schema per la definizione delle fasce fluviali

La delimitazione delle fasce fluviali assume un ruolo determinante nella regolamentazione d'uso del territorio in quanto ad essa sono collegate le disposizioni delle norme di attuazione che impongono indirizzi, incentivi e vincoli riconducibili ai seguenti punti.

Nella fascia A di deflusso della piena:

- garantire il deflusso della piena, evitando ostacoli e interferenze negative sulle condizioni di moto;
- consentire la libera divagazione dell'alveo, assecondandone la naturale tendenza evolutiva, ovunque non controllata da opere idrauliche;
- garantire la tutela e il recupero delle componenti naturali dell'alveo, con particolare attenzione a quelle parti funzionali al mantenimento di un buon regime idraulico.

Nella fascia B di esondazione:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</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>001 B</td> <td>15 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	15 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	15 di 88								

- 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.

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 di stanza fra i due orli del terrazzo principale.

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.

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 Villorresi.

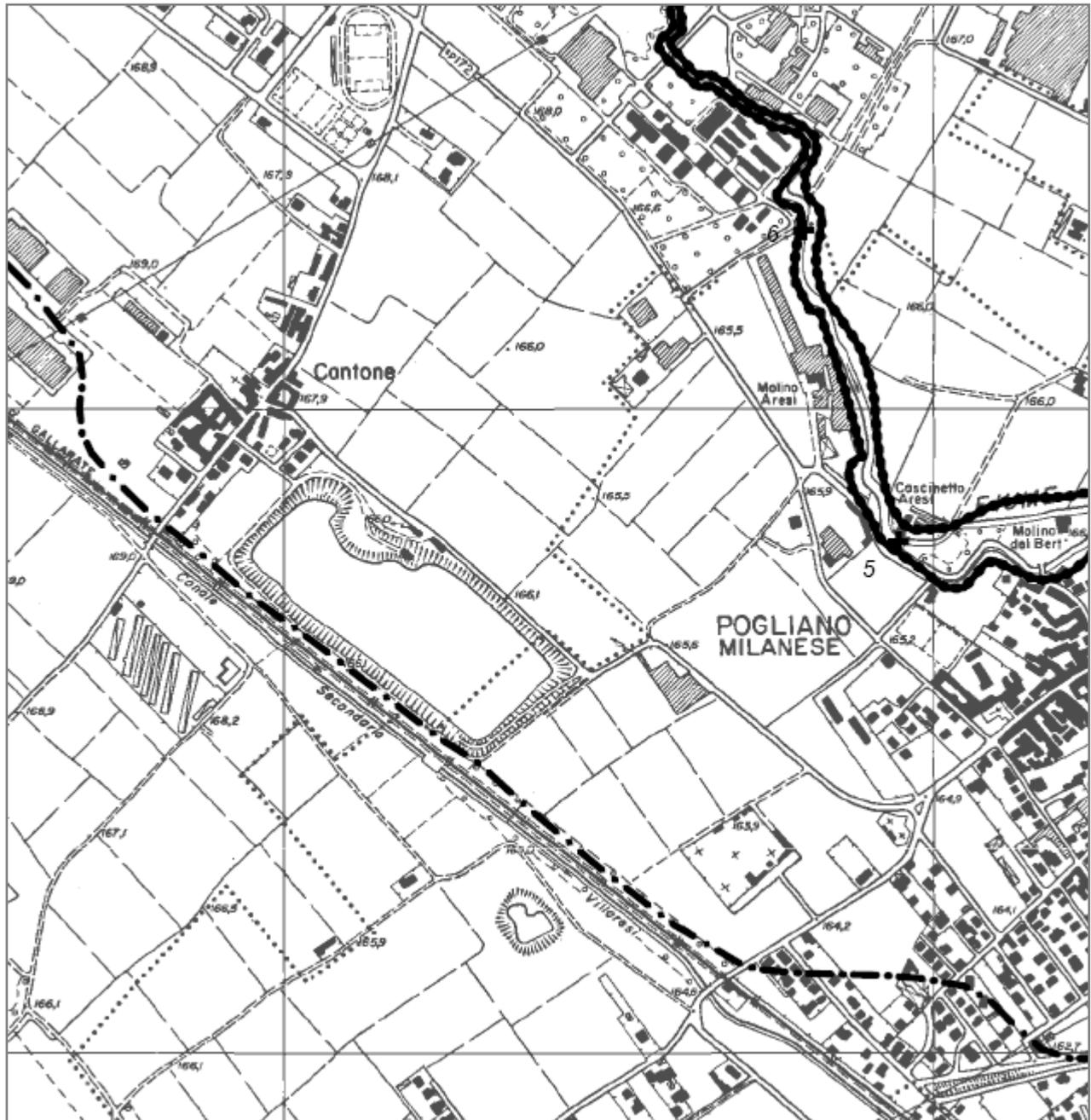


Figura 3.3 - Stralcio della Tavola di Delimitazione delle fasce fluviali (PAI)

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001	FOGLIO B 17 di 88

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 PAI

Le *Norme di attuazione* del Piano individuano specifici strumenti, di immediata validità una volta approvato il piano, ovvero definisce indirizzi o direttive che saranno applicati dai soggetti competenti. 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 due sezioni distinte:

- 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;
- 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;
- 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.

Definiscono, in generale, le finalità e gli effetti del Piano e regolamentano le attività di uso e trasformazione del suolo maggiormente interagenti con lo stato di rischio presente sul territorio del bacino, nonché le modalità di attuazione degli interventi strutturali di difesa.

Esse completano e integrano il quadro normativo di settore definito nei due precedenti

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 18 di 88

Piani stralcio: 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, e 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 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:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE							
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	001	REV. B	FOGLIO 19 di 88

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

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

- 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;
- l'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e impiego di modelli afflussi deflussi per la trasformazione in portate.

I dati di portata disponibili nel tratto del fiume Olona di nostro interesse non hanno

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>20 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	20 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	20 di 88								

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:

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

Come si vedrà, 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 relative e dal corrispondente modello geometrico e idraulico dell'alveo.

Nelle tabella 7 allegata alla suddetta direttiva, riprodotta in parte nella Tabella 3.I, vengono riportati i valori delle portate di piena per una serie di sezioni idrografiche lungo

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

il fiume Olone individuate dalle progressiva chilometrica.

Tabella 3.1 - Portate di piena per il fiume Olona

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.						
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	-	-

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 e assetto di progetto del fiume Olona

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).

Nel corso di redazione dello SDF, si è giunti alla mappatura del territorio a rischio di esondazione, utilizzando una metodologia basata su una fase preliminare di valutazione della probabilità di esondazione ed alla conseguente individuazione delle fasce fluviali mediante simulazione matematica dei fenomeni di propagazione.

L'attività di modellazione matematica ha riguardato inizialmente la condizione attuale dell'alveo con la conseguente delimitazione delle aree di allagamento che lungo il tratto si producono per eventi di differente tempo di ritorno.

Le aree di allagamento di assegnato tempo di ritorno determinate dall'analisi idraulica, costituiscono un utile confronto con le fasce A, B e C determinate nell'ambito del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che resta lo strumento normativo di

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>22 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	22 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	22 di 88								

riferimento.

Ricordando la definizione di portata di riferimento (valore per cui è dimensionato il sistema di opere strutturali di difesa) è importante segnalare che lo SDF individua un piano di interventi di difesa idraulica mirato a conseguire un ben preciso assetto idrologico.

Le simulazioni con modello matematico hanno considerato tale scenari di intervento ed i risultati ottenuti rappresentano un utile riferimento alla progettazione ed alla valutazione della compatibilità idraulica degli interventi, in quanto rispondenti alla stessa definizione di portata di riferimento indicata nella direttiva dell'AdBPO.

Le aree esondabili secondo le simulazioni modellistiche sono riportate nelle n. 6 tavole planimetriche “*Stralci planimetrici delle aree di esondazione secondo la mappatura AIPO*”, allegate al presente progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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 001</td> <td>B 23 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002 001	B 23 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI	ID0002 001	B 23 di 88								

4 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Il bacino del fiume Po è stato oggetto di numerosi studi per la caratterizzazione del regime idrometrico delle numerose aste fluviali di cui è composto. Le principali analisi, alle quali si fa normalmente riferimento, sono basate su elaborazioni statistiche condotte a partire dalle registrazioni idrometriche provenienti dai sensori ubicati lungo l'asta delle principali fiumi che compongono il reticolo idrografico del fiume Po.

Per i corsi d'acqua di maggiore importanza sono state utilizzate analisi dettagliate, basate su metodologie specifiche, che hanno portato alla delimitazione delle fasce fluviali nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) e del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), attraverso la determinazione delle portate di massima piena attese per i tempo di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni nelle sezioni idrologicamente significative. Tra i corsi d'acqua oggetto di questo tipo di studi di dettaglio rientra il fiume Olona nel tratto compreso tra il Ponte SS 342 (Varese) e lo scolmatore di Rho.

I dati di partenza sono quelli che compongono le serie storiche delle portate al colmo riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano.

Un approfondimento delle valutazioni riassunte in tabella è stato condotto nello "*Studio di Fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*" ed in particolare nella "*Relazione descrittiva e di analisi dell'attività "Definizione delle portate di piena di riferimento"*".

4.1 Regionalizzazione statistica delle portate di piena

Per quanto riguarda le portate, elaborazioni statistiche condotte con la tecnica della regionalizzazione dei dati (De Michele e Rosso, 2001) basate sulle serie storiche delle stazioni idrometriche presenti nei reticoli idrografici e sul modello di distribuzione statistica GEV, hanno consentito di individuare una mappatura di zone omogenee dal punto di vista della curva probabilistica di crescita, come riportato in Figura 4.1.

Per la zona A "Alpi e Prealpi Centrali" i parametri del modello di distribuzione GEV possono essere assunti costanti e pari a:

$$\varepsilon = 0.745$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

$$\alpha = 0.365$$

$$k = -0.110$$

Da questi è possibile risalire ai valori, riportati in Tabella 4.I, da assegnare al coefficiente K_T per ciascun tempo di ritorno considerato.

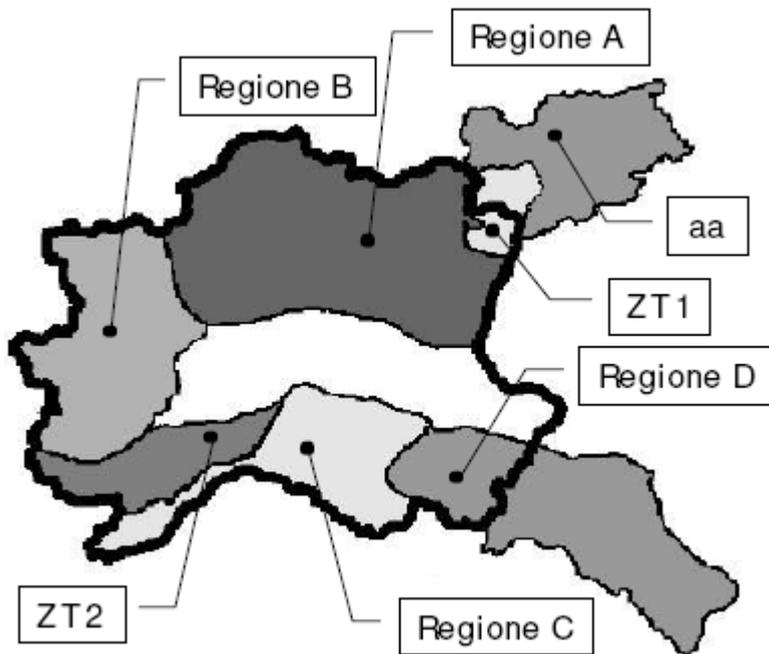


Figura 4.1 - Zone omogenee dal punto di vista della curva probabilistica di crescita

Tabella 4.I – Coefficiente probabilistico di crescita K_T .

T [anni] =	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500
K_T =	0.882	1.340	1.677	2.027	2.144	2.399	2.524	2.931	3.368	3.999

I valori del coefficiente probabilistico di crescita forniscono un quadro del comportamento idrologico dei corsi d'acqua naturali e consentono la valutazione delle portate al colmo per un assegnato tempo di ritorno grazie alla sola conoscenza del valore medio della portata massima annuale, ricavabile attraverso l'analisi della serie storica dei dati forniti da quella sezioni di interesse, anche se di durata relativamente breve.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001	FOGLIO B 25 di 88

I valori ottenuti vanno sempre considerati “idrologici” non potendo considerare gli effetti morfologici come le esondazioni e le tombinature presenti nel corso d’acqua che possono modificare drasticamente i valori della portata.

4.2 Parametri morfometrici

Si riportano le caratteristiche morfometriche del bacino del fiume Olona con riferimento a 29 sezioni idrografiche, indicate con la codifica OL_n (con n = 1÷29), ciascuna delle quali sottende un bacino idrografico di superficie (S_T), altezza sul livello del mare della sezione di chiusura (h_0), altezza media del bacino sul livello del mare (h_m) e presenta una rete idrografica con lunghezza dell’asta principale pari a L_T . In conseguenza alle caratteristiche morfometriche, il tempo di corrivazione ($t_{c,G}$) per ciascun bacino è stato calcolato tramite la formulazione di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (h_{med} - h_{min})}$$

In Tabella 4.II vengono riportati i dati morfometrici con riferimento alle sezioni idrografiche ubicate nella zona di Gallarate-Rho-Pero, dove vengono ad essere ubicati gli interventi di interesse ai fini del presente studio.

Tabella 4.II - Grandezze morfometriche dei bacini chiusi nelle sezioni idrografiche da Castellanza a Pero.

Sez.	Comune	Località	S_T [km ²]	L_T [km]	h_m [m.s.m.]	h_0 [m.s.m.]	$t_{c,G}$ [h]
OL_20	Castellanza	Ferrovia Saronno - Castellanza	177.0	40.0	390	210	10.6
OL_21	Castellanza	-	182.1	41.6	383	202	10.8
OL_22	Legnano	P.te Via Matteotti	185.9	43.1	383	199	11.0
OL_23	Legnano	P.te Via P. Toselli	194.9	44.4	383	195	11.2
OL_24	Parabiago	Molino del Miglio	203.9	47.5	372	184	11.7
OL_25	Nerviano	Canale Villioresi	219.9	49.6	372	180	12.1
OL_26	Pogliano M.	Molino Aresi	229.1	52.8	359	166	12.6
OL_27	Rho	Presa Olona 1	234.8	55.9	345	155	13.2
OL_28	Rho / Pero	Presa Olona 2	236.8	59.5	345	150	13.5
OL_29	Pero	Ingresso tratto tombinato	243.8	62.4	345	142	13.7

Nella relazione descrittiva del lavoro svolto si precisa che per le sezioni OL_28 e

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

OL_29, la superficie totale non comprende quella dei due affluenti Bozzente e Lura, in quanto la portata dei due torrenti che si immette in Olona è indipendente dalla superficie dei loro bacini, ma dipende esclusivamente dai manufatti di regolazione degli scolmatori e dalla dimensione del tombino che attraversa in Comune di Rho.

4.3 Portate idrologiche

In coerenza con le indicazioni della direttiva del PAI sono state calcolate le portate al colmo per eventi meteorici aventi differenti tempi di ritorno sia con il metodo razionale, sia con il metodo del Curve Number (SCS, 1972).

Per la definizione del valore di CN sono state utilizzate le tabelle fornite dal SCS, in funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'evento.

Le precipitazioni sono state ottenute ragguagliando i valori puntuali determinate con l'analisi statistica dei dati per ciascun sottobacino, tenendo conto del ragguaglio areale delle piogge mediante le formule di Marchetti per bacini con estensione inferiore a 50 km² e di Puppini per aree superiori.

L'Autorità di Bacino ha ritenuto ragionevole assumere come portate idrologiche di riferimento la media tra le due valutazioni. I valori sono riportati in Tabella 4.III.

Tabella 4.III - Portate idrologiche di riferimento nelle sezioni di interesse.

Sez.	Portate idrologiche di riferimento		
	Q_{10} [m ³ /s]	Q_{100} [m ³ /s]	Q_{500} [m ³ /s]
OL_20	105	184	244
OL_21	107	186	247
OL_22	108	187	249
OL_23	112	193	257
OL_24	114	195	260
OL_25	118	200	268
OL_26	119	202	268
OL_27	119	201	266
OL_28	118	200	265
OL_29	120	203	268

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>27 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	27 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	27 di 88								

I valori delle portate al colmo ottenute mediante la formula razionale e mediante il metodo SCS-CN hanno dimostrato scostamenti sensibili, compresi in un campo di $\pm 30\%$. Con riferimento alle portate di piena centennali, il metodo razionale ha riportato valori inferiori di circa il $15\div 20\%$ rispetto a quelli ottenuti con il metodo SCS-CN.

4.4 Dinamiche morfo-evolutive del fiume Olona

Le acque del fiume Olona sono da sempre state utilizzate in maniera intensiva per la produzione di energia elettrica, per l'alimentazione di mulini o di derivazioni irrigue, per le necessità derivanti dalle lavorazioni effettuate nelle numerose attività industriali ubicate lungo il suo corso.

Il massiccio sfruttamento delle acque del fiume ha comportato notevoli interventi dell'uomo, che, nel corso degli anni, ha costruito in alveo numerosi manufatti destinati a realizzare le derivazioni e ha costretto il corso d'acqua a scorrere, canalizzato, tra murature d'argine, scogliere o pareti di edifici. Sono infatti presenti innumerevoli restringimenti di sezione, ponti e attraversamenti, traverse e soglie di fondo ed alcuni tratti tombinati, spesso con significativa influenza sul comportamento idraulico delle correnti fluviali, in particolare sulla formazione verso monte di condizioni di rigurgito e di eventuali esondazioni che modificano la forma e la cronologia delle onde di piena oltre che i valori delle portate.

In definitiva si può dunque affermare che l'Olona, dal punto di vista dell'assetto d'alveo, si presenta oggi come un corso d'acqua artificiale, in genere canalizzato e comunque ricco di manufatti che costituiscono notevoli singolarità e grossi ostacoli al deflusso della corrente, specie in condizioni di piena. Sono oramai ridottissimi i tronchi in cui il fiume è libero di divagare, anche perché gli unici tratti privi di qualunque forma di urbanizzazione limitrofa sono quelli in cui la valle si restringe a tal punto da rendere estremamente difficoltoso lo stesso accesso al corso d'acqua. Per quanto riguarda il regime idraulico, in particolare nella parte montana del bacino, il fiume non presenta le caratteristiche tipiche dei canali artificiali: le portate defluenti nell'Olona hanno origine naturale, dalle sorgenti montane o dai contributi che si generano per effetto degli afflussi meteorici sul bacino. Nella parte valliva, nelle aree antropizzate, i reticoli fognari di drenaggio delle acque meteoriche urbane sono spesso gli unici ad assicurare, nei

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>28 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	28 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	28 di 88								

limiti della loro potenzialità, lo smaltimento delle acque di piena verso i ricettori, e le aree agricole e boschive, adibite storicamente alla laminazione delle piene.

4.5 Portate morfologiche

Da quanto emerso dall'analisi delle dinamiche morfo-evolutive del corso d'acqua, si deduce che le portate di massima piena attese in una sezione idrografica ubicata lungo il corso del fiume Olona, non possono essere considerate indipendenti, nemmeno in prima approssimazione, dalla capacità dell'alveo a contenere effettivamente le piene entro le difese arginali. Le esondazioni che si innescano al superamento di una certa portata critica comporta l'impossibilità dell'onda di piena a continuare il processo di formazione ed accrescimento. Dato l'elevato grado di antropizzazione del territorio limitrofo alle sponde del fiume, la propagazione delle piene viene fortemente a dipendere dall'entità delle esondazioni che si manifestano a monte ed alle immissioni concentrate o distribuite presenti lungo il corso d'acqua, per lo più dovute alla presenza dei manufatti di scarico delle acque provenienti da importanti sistemi fognari. In altri termini, le onde di piena che si formano, per i vari tempi di ritorno presi in considerazione, non possono calcolarsi con approcci puramente idrologici, ma devono derivare da una simulazione integrata idrologico – idraulica.

Uno primo studio di questo tipo è stato condotto nell'ambito della redazione del PAI, nel quale sono state individuate le portate attese in un numero consistente di sezioni distribuite lungo l'intero tronco fluviale. Esse rappresentano, per ogni tronco, la massima portata che può transitare in alveo senza esondazioni, in quei tratti di fiume lungo i quali risultano improponibili interventi di ricalibratura della sezione trasversale o di rialzo delle arginature esistenti: sono questi i casi in cui l'Olona scorre all'interno dei nuclei abitati, in particolar modo nei tratti tombinati. Uno stralcio di questi valori, che nel caso del fiume Olona si riferiscono esclusivamente all'evento con tempo di ritorno centenario, sono stati riportati in Tabella 4.IV, dalla quale si può notare come l'andamento della portata al colmo morfologica tenda a diminuire anziché aumentare, procedendo verso valle.

Queste portate rappresentano il comportamento idrometrico del fiume Olona, in modo molto più realistico di quanto si evince dal quadro fornito delle portate idrologiche,

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

calcolato mediante modelli teorici, in quanto considera l'importante parametro dato dalla reale capacità dell'alveo a far defluire verso valle le portate in arrivo.

Tabella 4.IV - Portate di assegnato tempo di ritorno lungo l'Olona proposte nell'ambito del PAI.

Progr. [km]	Cod. sezione	Denominazione	Superficie [km ²]	Q₁₀₀ [m ³ /s]
10.184	50	Ponte Gurone	97	118
16.467	43	Gornate Olona	135	72
24.921	32	Fagnano Olona	156	61
31.710	25	Olgiate Olona	180	53
42.799	10	Nerviano	227	59
49.112	1	Rho	242	59

In un successivo lavoro di approfondimento conoscitivo, finalizzato a rappresentare il reale comportamento idrometrico del fiume mediante un modello matematico, l'Agenzia Interregionale per il fiume PO (AIPO) ha utilizzato il modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute, applicandolo all'intera asta fluviale. Il modello è dotato di moduli di calcolo idonei alla sua applicazione al fiume Olona ed ha potuto sfruttare una buona conoscenza dell'andamento plano-altimetrico dell'alveo, conseguita a seguito delle operazioni topografiche di campo, inclusa la reale geometria dei manufatti presenti. I risultati sono esposti nel già citato Studio di Fattibilità e precisamente nella *“Relazione descrittiva e di analisi dell'attività analisi idraulica”*.

Sono presentati i risultati ottenuti in merito ai fenomeni di propagazione di onde di piena aventi con tempi di ritorno pari a 10, 100 e 500 anni, valutando le corrispondenti delimitazioni delle aree di allagamento. Tali aree sono state riportate negli stralci planimetrici, redatti in scala 1:5000, riportati nelle tavole *“Stralci planimetrici delle aree di esondazione secondo la mappatura AIPO”*.

Al termine delle simulazioni il modello ha restituito il valore della portata massima raggiunta durante la propagazione in ciascuna delle sezioni idrografiche inserite nonché il valore della massima quota idrometrica assoluta. Per quanto riguarda il ponte

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>30 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	30 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	30 di 88								

ferroviario di Rho, sono stati restituiti i seguenti valori:

$$Q_{10} = 48.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 58.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{500} = 67.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Questi valori rappresentano, allo stato conoscitivo attuale, le portate più attendibili da utilizzare come riferimento nella progettazione delle opere.

Lo studio ha altresì evidenziato l'incapacità dell'alveo fluviale nei pressi del ponte ferroviario di contenere le portate anche con riferimento all'evento con tempo di ritorno di 10 anni, indicando una situazione di tracimazione ed il raggiungimento della quota di 154.41 m s.m.m.

Per lo stesso tempo di ritorno presso il ponte stradale sulla SP130, ubicato 262 metri più a valle, il livello idrometrico raggiunge quota 153.88 m s.m.m., anch'esso tracimato dalla piena.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>31 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	31 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	31 di 88								

5 VERIFICHE IDRAULICHE

Le interferenze idrauliche analizzate in dettaglio in questo capitolo, sono le seguenti:

- adeguamento dell'attraversamento del fiume Olona in località Rho (PD 2009), mediante costruzione di un nuovo ponte a monte dell'esistente;
- nuova soluzione attraversamento fiume Olona;
- adeguamento dell'attraversamento del canale Villoresi, in località Parabiago, mediante costruzione di un nuovo ponte a monte dell'esistente;
- adeguamento/spostamento di una canaletta irrigua denominata "derivatore di Parabiago".

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

5.1 Attraversamento del fiume Olona in località Rho (soluzione 2009)

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>32 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	32 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	32 di 88								

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.

5.1.1 Implementazione del modello matematico

Il progetto della nuova struttura di attraversamento è stato analizzato dal punto di vista idraulico mediante l'implementazione del modello matematico HEC RAS, utilizzato ipotizzando che lungo l'alveo fluviale si instauri un regime di moto permanente.

Le verifiche idrauliche condotte hanno avuto l'obiettivo di valutare la capacità di portata sia nelle condizioni attuali che di progetto.

Condizioni ante operam

Il modello è stato implementato grazie alla ricostruzione plano-altimetrica dell'alveo fluviale e della sue zone golenali restituita a seguito di una campagna di misure topografiche, comprensiva delle rilevazioni batimetriche, che hanno riguardato il tratto prossimo all'attraversamento ferroviario. Il rilievo, è stato appositamente realizzato, ad integrazione del rilievo fotogrammetrico, a supporto della progettazione e delle presenti verifiche idrauliche.

Sono state ricostruite 6 sezioni trasversali dell'alveo, 4 a monte del ponte e 2 sezioni a valle di esso. Una ulteriore sezione è stata ricostruita, per interpolazione, a monte del tratto di indagine per estendere la simulazione matematica all'intero tratto interessato dal profilo di rigurgito determinato dalla presenza dell'impalcato ferroviario.

Per una più facile interpretazione dei risultati, le sezioni sono state introdotte nel modello mantenendo la numerazione originale riportata nel rilievo topografico mentre la "river station" di ciascuna, che individua l'ordine di calcolo nello schema modellistico, è stata assunta pari alla progressiva chilometrica misurata a partire dalla sezione di valle e procedendo verso monte.

Il tratto analizzato si estende per un totale di 289 m.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

$K_s = 20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, rispettivamente).

Condizioni post operam

A partire dal modello precedentemente implementato, è stata inserita la nuova struttura di attraversamento, che di fatto costituisce la continuazione, verso monte, dell'impalcato esistente. Tuttavia, tra la vecchia e la nuova struttura, è stato mantenuto a cielo aperto un tratto fluviale lungo il quale esiste la diramazione secondaria di cui si è detto. Lo schema generale di funzionamento del modello non viene pertanto modificato ad eccezione dell'inserimento della nuova struttura che rappresenta una potenziale causa di dissipazione energetica.

La nuova struttura mantiene una quota di impalcato molto simile a quella attuale, in quanto la necessità di garantire la continuità della livelletta del piano ferro impone un preciso vincolo alla quota di estradosso. Tuttavia, la luce di deflusso delimitata dalle due spalle di appoggio della nuova struttura presenta una larghezza di 10 m, superiore a quella attuale, ed una forma rettangolare, al posto della forma ad arco, che consentono di disporre di una luce utile al deflusso molto maggiore di quella attuale.

Il nuovo ponte si estende verso monte, per un tratto di circa 74 m.

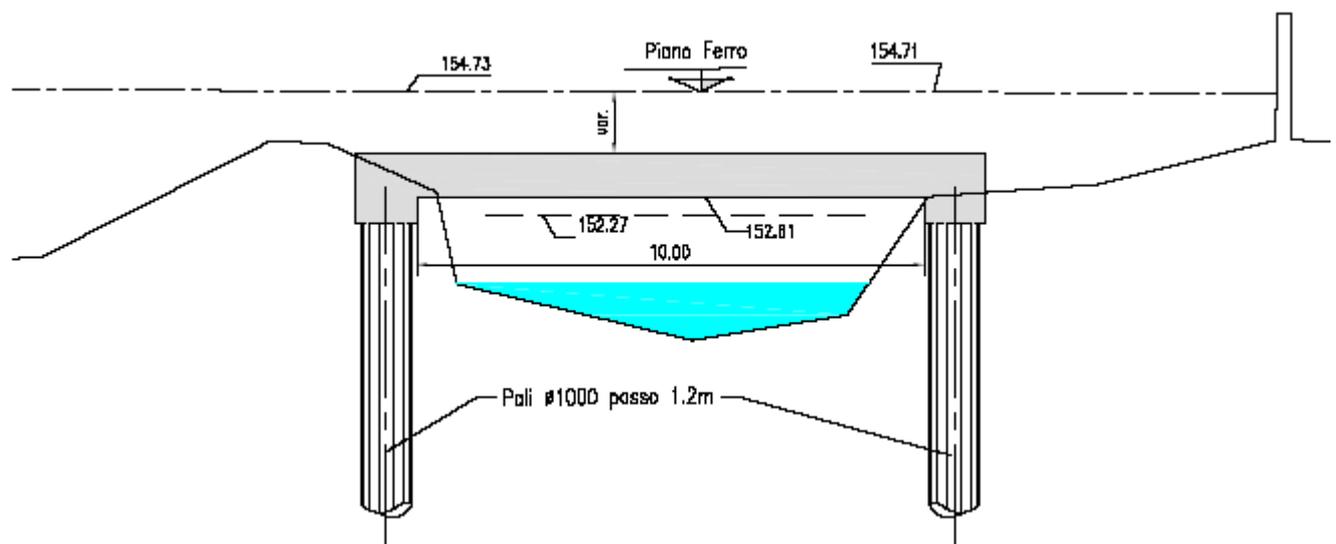


Figura 5.1 - Sezione del nuovo ponte di attraversamento del fiume Olona

Come si può notare dalla sezione trasversale del ponte in progetto, la campata del

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>34 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	34 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	34 di 88								

ponete è sufficientemente estesa per consentire l'inserimento dei pali di fondazione all'esterno dell'alveo principale. La corrente, in condizioni idrologiche ordinarie o di morbida, resta confinata entro le sponde naturali senza che la struttura possa interferire con il regime idrometrico.

Al fine della costruzione del ponte, sarà necessario un intervento di pulizia generale che comporta la diminuzione della scabrezza nelle fasce spondali e nelle aree golenali, condizione simulata nel modello mediante la diminuzione del coefficiente di scabrezza di Manning da $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.032 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

5.1.2 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 dalla 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 di monte, le portate di riferimento sono state quelle indicate da AIPO ($T_r = 10, 100$ e 500 anni), considerate come portate compatibili con l'assetto morfologico fluviale, di cui si è detto nel precedente capitolo. A partire da questi valori, sono stati estrapolati i valori di portata corrispondenti ad ulteriori tempi di ritorno ($T_r = 200$ e 300 anni) mediante una curva approssimante di tipo logaritmico.

Alla luce dei risultati ottenuti, sono stati indagati ulteriori scenari con riferimento a portate di minore entità, come meglio spiegato in seguito, al fine di fornire un quadro più esaustivo del comportamento del fiume.

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 0.1% . Tale pendenza è stata assunta in modo da garantire coerenza con il profilo idrometrico calcolato dal modello matematico implementato da AIPO, con riferimento alla piena con tempo di ritorno di 10 anni. Un'analisi critica e comparativa dei profili idrometrici ottenuti con portate maggiori, ha evidenziato come i livelli restituiti dal modello AIPO risultano maggiori rispetto a quelli

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>35 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	35 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	35 di 88								

ottenuti ipotizzando un comportamento a moto uniforme. L'ulteriore confronto tra i livelli idrometrici e l'andamento piano altimetrico del terreno, ricostruito con dettaglio in questo studio mediante rilievo fotogrammetrico, ha evidenziato una probabile sovrastima dei livelli ottenuti da AIPO per tempi di ritorno di 100 e 500 anni. Tali livelli produrrebbero allagamenti del piano campagna e della viabilità pubblica circostante, accompagnati da tiranti idraulici troppo elevati e probabilmente poco realistici.

E' da osservare la presenza, poco a valle del ponte ferroviario, di un ponte di attraversamento di una strada provinciale, dotato di modesta luce, che costituisce una evidente strozzatura al passaggio della corrente. Il modello AIPO schematizza tale attraversamento come una tombinatura "chiusa", trascurando il comportamento a stramazzo della vena liquida al di sopra del piano stradale. Una volta in pressione, la tombinatura schematizzata nel modello restituisce valore idrometrici molto elevati rispetto la quota di estradosso.

Per tale motivo si è preferito assumere valido un comportamento a moto uniforme di questo tratto fluviale.

5.1.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni condotte con riferimento ad una conformazione fluviale ante-operam ed agli scenari di piena corrispondenti ai tempi di ritorno di 10, 100 e 500 anni, hanno confermato i risultati ottenuti nello studio condotto da AIPO, evidenziando una situazione di tracimazione del ponte ferroviario esistente anche in occasione del passaggio della piena decennale.

La situazione evidenziata dal modello presenta un elevato grado di criticità, principalmente dovuto alla quota molto bassa dell'impalcato ferroviario esistente che presenta un franco di sicurezza non molto superiore a 1 metro, anche in condizioni idrologiche ordinarie. Al fine di individuare i valori di portata significativi per la sicurezza, sono state eseguite ulteriori simulazioni, assumendo portate di minore entità rispetto a quella decennale. In particolare, si è tentato di individuare le portate alle quali consegue il raggiungimento di un livello idrometrico tale da:

- mantenere un franco di sicurezza di 1 metro rispetto alla quota dell'intradosso;
- mantenere un franco di sicurezza > 0 rispetto alla quota dell'intradosso (portata

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001	FOGLIO B 36 di 88

limite per il comportamento a pelo libero);

- comportare il funzionamento in pressione del ponte, ma non la sua tracimazione.

Si osservi che la quota di intradosso del ponte ferroviario esistente non è costante in quanto, come evidenziato dalle sezioni di rilievo, la struttura presenta, a monte, una sezione trasversale ad arco e, a valle, una sezione rettangolare. Dal punto di vista del funzionamento idraulico, la quota da considerare è quella di monte, che rappresenta il punto di passaggio di funzionamento a pelo libero e in pressione.

L'obiettivo è stato raggiunto per tentativi ed ha portato alle seguenti valori di portata:

$Q = 15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (rispetto del franco di sicurezza di 1 m);

$Q = 32.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (rispetto del franco di sicurezza > 0);

$Q = 38.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (profilo limite per la non tracimazione);

$Q_{10} = 48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 10 anni);

$Q_{100} = 58.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{200} = 62.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{300} = 64.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{500} = 67.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 500 anni).

In Figura 5.2 vengono riportati i profili idrometrici relativi ai primi due scenari, sia nella situazione ante-operam che nella situazione post-operam. Il profilo evidenzia la posizione di entrambe le strutture di attraversamento ovvero quella esistente, a valle, e quella in progetto, a monte. I profili non presentano scostamenti rilevanti, denotando una tendenza alla riduzione dei livelli idrometrici nella situazione post-operam rispetto a quella ante-operam, conseguente alla riduzione della scabrezza delle sponde nel tratto coperto dal nuovo impalcato. Fino a che non viene raggiunto l'impalcato, la presenza del nuova ponte può essere considerata del tutto trasparente al regime idrometrico.

In particolare, è utile sottolineare che la portata limite alla quale corrisponde un comportamento "a pelo libero" della corrente nella situazione ante-operam, non viene alterato dalla costruzione del nuovo impalcato. Un aumento anche minimo della portata, comporta il funzionamento in pressione del manufatto esistente (a valle) e, di conseguenza, anche del nuovo impalcato (a monte).

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>37 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	37 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	37 di 88								

In Figura 5.3 viene riportato il confronto tra i profili idrometrici nelle condizioni ante-operam e post-operam, corrispondenti al terzo e quarto scenario ovvero al comportamento in pressione del ponte ed al passaggio dell'onda di piena con tempo di ritorno di 10 anni, che comporta la tracimazione.

In questo caso la presenza del nuovo ponte comporta l'aumento del sovrizzo idraulico in conseguenza alla dissipazione energetica dovuta all'immersione del nuovo impalcato. L'entità di questo sovrizzo non risulta tuttavia eccessiva, dell'ordine di 30 cm per entrambi i profili, in quanto, l'ampiezza della sezione di progetto comporta una velocità molto bassa della corrente all'interno del nuovo ponte.

In allegato B alla presente relazione viene riportato, in forma tabellare, il dettaglio dei risultati di tutte le simulazioni.

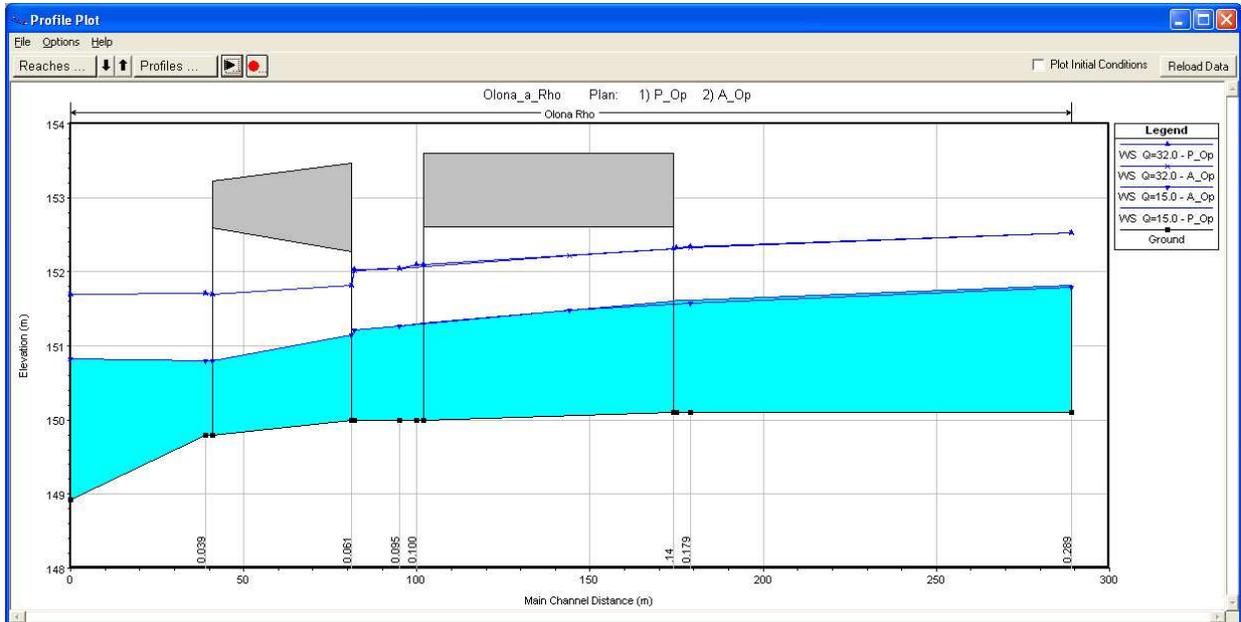


Figura 5.2 - Profili idrometrici (ante e post-operam) per $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=32 \text{ m}^3/\text{s}$.

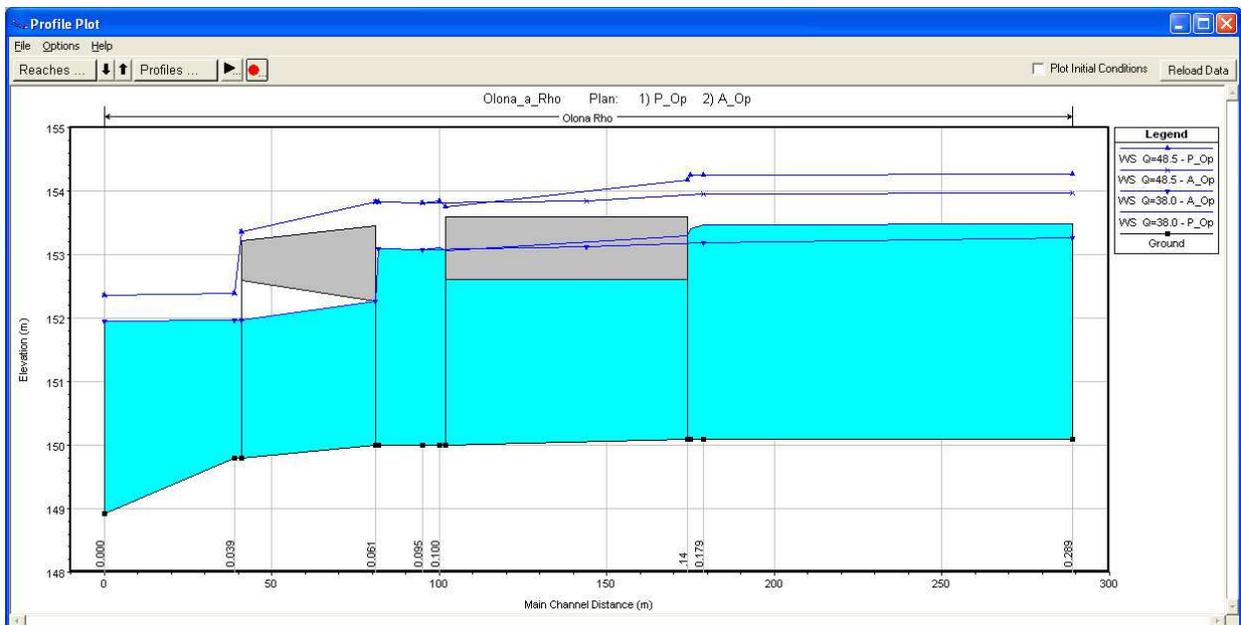


Figura 5.3 - Profili idrometrici del fiume Olona nei pressi del ponte ferroviario (ante e post-operam) per $Q=38 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ anni).

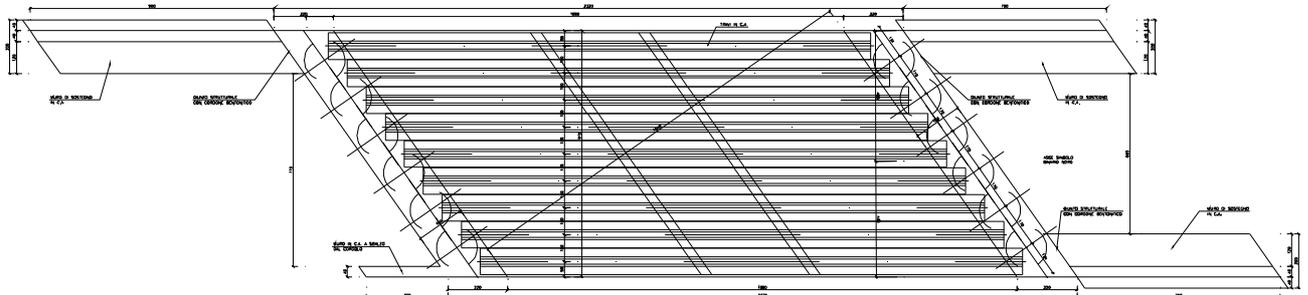


Figura 5.5 - Pianta solettone

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.

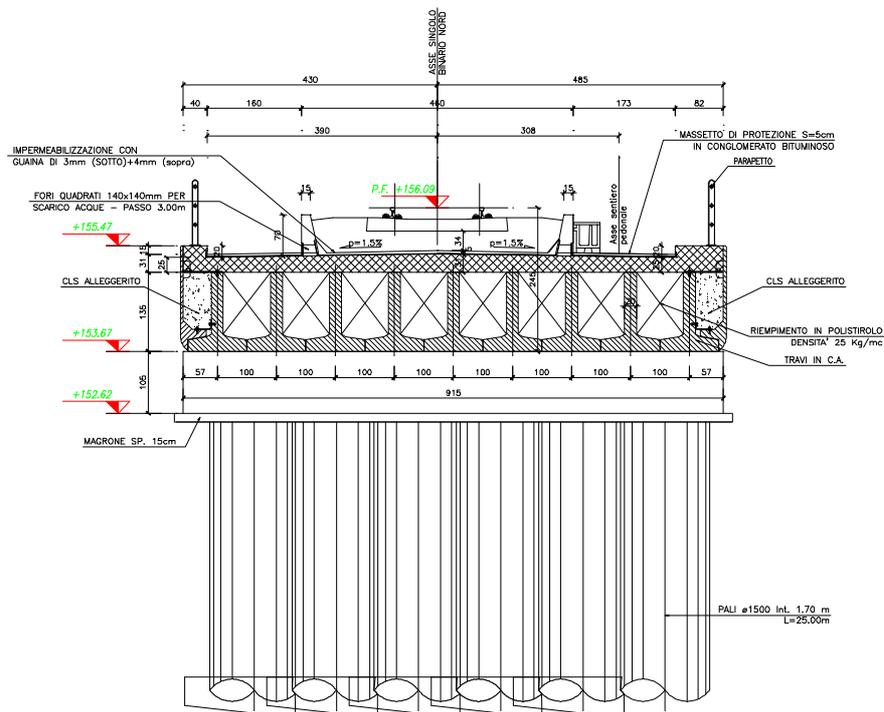


Figura 5.6 - Sezione trasversale

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. da 25 cm a 31 cm.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 42 di 88

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.

Al fine della costruzione del ponte, sarà necessario un intervento di pulizia generale che comporta la diminuzione della scabrezza nelle fasce spondali e nelle aree golenali, condizione simulata nel modello mediante la diminuzione del coefficiente di scabrezza di Manning da $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.032 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

5.2.2 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 dalla 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 di monte, le portate di riferimento sono state quelle indicate da AIPO ($T_r = 10, 100$ e 500 anni), considerate come portate compatibili con l'assetto morfologico fluviale, di cui si è detto nel precedente capitolo. A partire da questi valori, sono stati estrapolati i valori di portata corrispondenti ad ulteriori tempi di ritorno ($T_r = 200$ e 300 anni) mediante una curva approssimante di tipo logaritmico.

Alla luce dei risultati ottenuti, sono stati indagati ulteriori scenari con riferimento a portate di minore entità, come meglio spiegato in seguito, al fine di fornire un quadro più esaustivo del comportamento del fiume.

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 0.1 %. Tale pendenza è stata assunta in modo da garantire coerenza con il profilo idrometrico calcolato dal modello matematico implementato da AIPO, con riferimento alla piena con tempo di ritorno di 10 anni. Un'analisi critica e comparativa dei profili idrometrici ottenuti con portate maggiori, ha evidenziato come i livelli restituiti dal modello AIPO risultano maggiori rispetto a quelli

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>43 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	43 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	43 di 88								

ottenuti ipotizzando un comportamento a moto uniforme. L'ulteriore confronto tra i livelli idrometrici e l'andamento piano altimetrico del terreno, ricostruito con dettaglio in questo studio mediante rilievo fotogrammetrico, ha evidenziato una probabile sovrastima dei livelli ottenuti da AIPO per tempi di ritorno di 100 e 500 anni. Tali livelli produrrebbero allagamenti del piano campagna e della viabilità pubblica circostante, accompagnati da tiranti idraulici troppo elevati e probabilmente poco realistici.

E' da osservare la presenza, poco a valle del ponte ferroviario, di un ponte di attraversamento di una strada provinciale, dotato di modesta luce, che costituisce una evidente strozzatura al passaggio della corrente. Il modello AIPO schematizza tale attraversamento come una tombinatura "chiusa", trascurando il comportamento a stramazzo della vena liquida al di sopra del piano stradale. Una volta in pressione, la tombinatura schematizzata nel modello restituisce valore idrometrici molto elevati rispetto la quota di estradosso.

Per tale motivo si è preferito assumere valido un comportamento a moto uniforme di questo tratto fluviale.

5.2.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni condotte con riferimento ad una conformazione fluviale ante-operam ed agli scenari di piena corrispondenti ai tempi di ritorno di 10, 100 e 500 anni, hanno confermato i risultati ottenuti nello studio condotto da AIPO, evidenziando una situazione di tracimazione del ponte ferroviario esistente anche in occasione del passaggio della piena decennale.

La situazione evidenziata dal modello presenta un elevato grado di criticità, principalmente dovuto alla quota molto bassa dell'impalcato ferroviario esistente che presenta un franco di sicurezza non molto superiore a 1 metro, anche in condizioni idrologiche ordinarie. Al fine di individuare i valori di portata significativi per la sicurezza, sono state eseguite ulteriori simulazioni, assumendo portate di minore entità rispetto a quella decennale. In particolare, si è tentato di individuare le portate alle quali consegue il raggiungimento di un livello idrometrico tale da:

- mantenere un franco di sicurezza di 1 metro rispetto alla quota dell'intradosso;
- mantenere un franco di sicurezza > 0 rispetto alla quota dell'intradosso (portata

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001	FOGLIO B 44 di 88

limite per il comportamento a pelo libero);

- comportare il funzionamento in pressione del ponte, ma non la sua tracimazione.

Si osservi che la quota di intradosso del ponte ferroviario esistente non è costante in quanto, come evidenziato dalle sezioni di rilievo, la struttura presenta, a monte, una sezione trasversale ad arco e, a valle, una sezione rettangolare. Dal punto di vista del funzionamento idraulico, la quota da considerare è quella di monte, che rappresenta il punto di passaggio di funzionamento a pelo libero e in pressione.

L'obiettivo è stato raggiunto per tentativi ed ha portato alle seguenti valori di portata:

$Q = 15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (franco di sicurezza di 2.23 m);

$Q = 32.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (franco di sicurezza di 1.44 m);

$Q = 38.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (franco di sicurezza di 0.47 m);

$Q_{10} = 48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 10 anni – tracimazione ponte di progetto);

$Q_{100} = 58.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{200} = 62.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{300} = 64.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 100 anni);

$Q_{500} = 67.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno di 500 anni).

In Figura 5.8 vengono riportati i profili idrometrici relativi ai primi tre scenari, sia nella situazione ante-operam che nella situazione post-operam. Il profilo evidenzia la posizione di entrambe le strutture di attraversamento ovvero quella esistente, a valle, e quella in progetto, a monte. I profili non presentano scostamenti rilevanti, denotando una tendenza alla riduzione dei livelli idrometrici nella situazione post-operam rispetto a quella ante-operam, conseguente alla riduzione della scabrezza delle sponde nel tratto coperto dal nuovo impalcato. Fino a che non viene raggiunto l'impalcato, la presenza del nuova ponte può essere considerata del tutto trasparente al regime idrometrico.

In particolare, è utile sottolineare che la portata limite alla quale corrisponde un comportamento "a pelo libero" della corrente nella situazione ante-operam, non viene alterato dalla costruzione del nuovo impalcato. Un aumento anche minimo della portata, comporta il funzionamento in pressione del manufatto esistente (a valle) e, di conseguenza, anche del nuovo impalcato (a monte).

In Figura 5.9 viene riportato il confronto tra i profili idrometrici nelle condizioni ante-operam e post-operam, corrispondenti al quarto scenario ovvero al comportamento in

pressione del ponte ed al passaggio dell'onda di piena con tempo di ritorno di 10 anni, che comporta la tracimazione.

In questo caso la presenza del nuovo ponte comporta l'aumento del sovrizzo idraulico in conseguenza alla dissipazione energetica dovuta all'immersione del nuovo impalcato. L'entità di questo sovrizzo non risulta tuttavia eccessiva, dell'ordine di 20 cm per entrambi i profili, in quanto, l'ampiezza della sezione di progetto comporta una velocità molto bassa della corrente all'interno del nuovo ponte.

In allegato E alla presente relazione viene riportato, in forma tabellare, il dettaglio dei risultati di tutte le simulazioni.

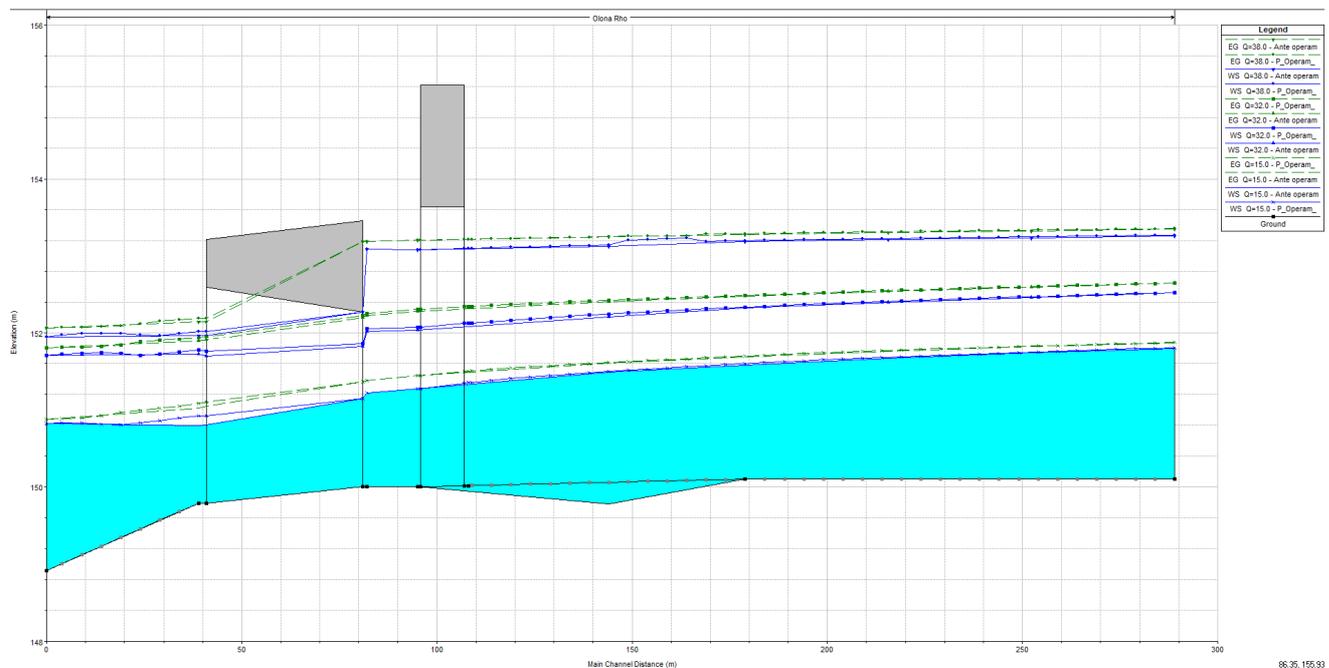


Figura 5.8 - Profili idrometrici (ante e post-operam) per $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q=32 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=38 \text{ m}^3/\text{s}$

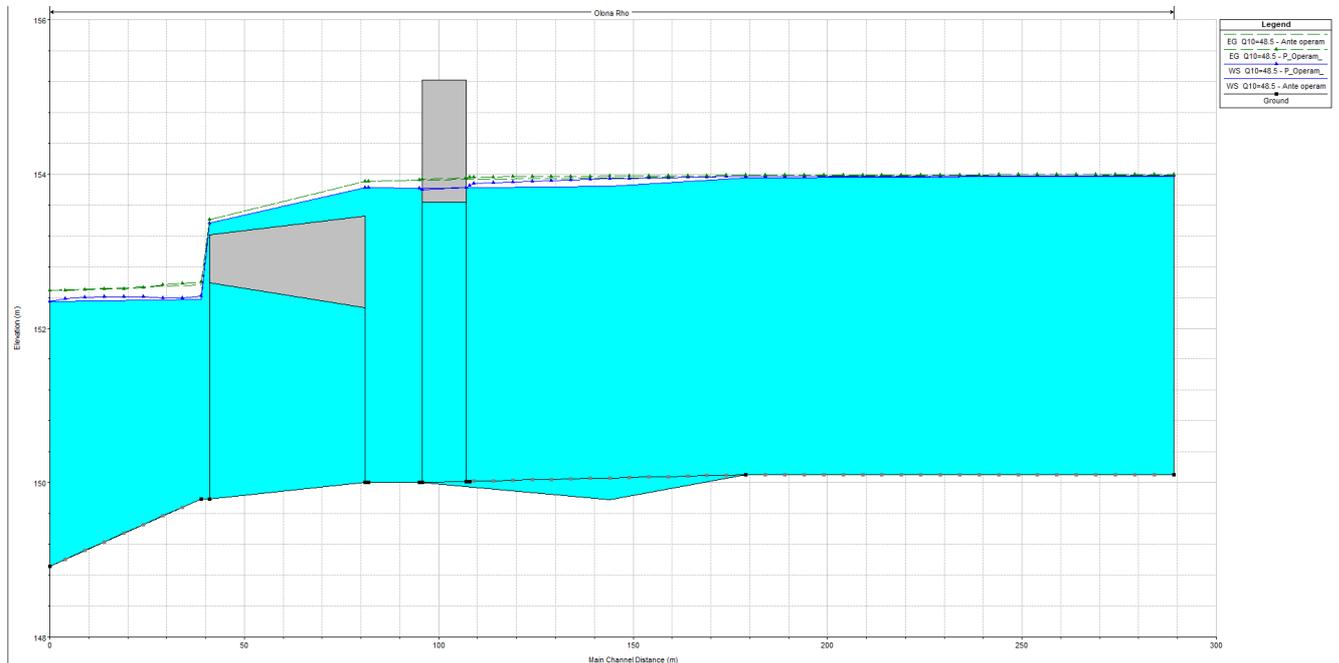


Figura 5.9 - Profili idrometrici del fiume Olona nei pressi del ponte ferroviario (ante e post-operam) per $Q=48.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ anni).

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>47 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	47 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	47 di 88								

5.3 Confronto vecchia e nuova soluzione dell'attraversamento del fiume Olona in località Rho

Dal confronto tra la vecchia soluzione proposta nel 2009 e la nuova, è evidente che il nuovo attraversamento, più alto e meno esteso, presenta dei franchi idraulici sui livelli idrici corrispondenti alle portate di progetto sensibilmente più alti rispetto alla soluzione precedente.

Permangono le condizioni di insufficienza idraulica per portate con Tr maggiori di 10 anni dovute alla presenza del ponte ferroviario esistente che risulta inadeguato già per la portata di 38 mc/s.

La tabella seguente riporta il confronto tra i franchi idraulici della vecchia e della nuova soluzione:

Q [mc/s]	Soluzione 2009	Soluzione 2013
15	1	2.23
32	0.3	1.44
38	-0.69	0.47
48.5	-1.57	-0.26
58.1	-1.75	-0.41
62.1	-1.81	-0.55
64.4	-1.87	-0.62
67.3	-1.85	-0.71

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>48 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	48 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	48 di 88									

5.4 Attraversamento del canale Villorosi, in località Parabiago

La linea ferroviaria oggetto di intervento, giunta nel territorio comunale di Parabiago, attraversa il canale irriguo Villorosi, circa 450 m a valle del manufatto di derivazione che alimenta il derivatore di Parabiago (canale secondario Villorosi). La direzione della corrente procede da Sud – Ovest verso Nord - Est. Il canale Villorosi è un collettore gestito dal Consorzio Est Ticino – Villorosi.

Allo stato attuale la linea ferroviaria supera il canale Villorosi mediante una struttura a tre campate, ad arco, che produce il restringimento della vena liquida.

L'intervento prevede l'ampliamento della sede ferroviaria affiancando, sul lato di monte, un ulteriore impalcato. La nuova struttura presenta un'unica campata di ampiezza tale da realizzare una luce libera al deflusso pari alla distanza tra le pile esistenti.

Rispetto alla struttura esistente, il nuovo manufatto non comporta un ulteriore restringimento della vena liquida ed è pertanto possibile escludere fin d'ora che l'intervento in progetto possa produrre la perdita di efficienza nella capacità di deflusso del canale irriguo. Tuttavia, in questo capitolo, verrà analizzato il regime idrometrico del canale nel tratto prossimità all'attraversamento ferroviario.

5.4.1 Implementazione del modello matematico

L'analisi idraulica del canale Villorosi è stato analizzato mediante l'implementazione del modello matematico HEC RAS, utilizzato ipotizzando che lungo l'alveo fluviale si instauri un regime di moto permanente.

Condizioni ante operam

Il canale Villorosi è un collettore artificiale, costruito con una sezione a forma trapezoidale, che presenta alcuni allargamenti in prossimità degli attraversamenti stradali o ferroviari.

La sua conformazione geometrica, nel tratto di interesse, è stata ricostruita mediante l'esecuzione di un rilievo plano-altimetrico, comprensivo della parte batimetrica. Il rilievo, è stato appositamente realizzato, ad integrazione del rilievo fotogrammetrico, a supporto della progettazione e delle presenti verifiche idrauliche. Sono state ricostruite

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>49 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	49 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	49 di 88								

6 sezioni trasversali dell'alveo a monte dell'attraversamento ed 1 sezione a valle di esso, alla quale è stata aggiunta una ulteriore sezione a 140 metri più a valle, per consentire al modello di valutare correttamente la condizioni al contorno.

Le sezioni sono state introdotte nel modello mantenendo la numerazione riportata nel rilievo topografico mentre la "river station" di ciascuna, che individua l'ordine di calcolo nello schema modellistico, è stata assunta pari alla progressiva chilometrica misurata a partire dalla sezione di valle e procedendo verso monte. Il tratto analizzato si estende per un totale di 237 m.

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 $0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^1$ per le sponde inclinate, in quanto rivestite in calcestruzzo (corrispondenti ai coefficienti di Strickler pari a $K_s = 28.5 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e a $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, rispettivamente).

Condizioni post operam

A partire dal modello precedentemente implementato, è stata inserita la nuova struttura di attraversamento, che di fatto costituisce la continuazione, verso monte, dell'impalcato esistente. La struttura è stata schematizzata nel modello come una seconda struttura per consentire il calcolo delle dissipazioni energetiche aggiuntive oltre a quelle dovute alla presenza del ponte esistente.

5.4.2 Condizioni al contorno

La ricostruzione di un profilo idrometrico richiede l'inserimento di opportune condizioni al contorno. Nel caso di simulazioni condotte in regime di moto permanente, e considerando che nel canale Villoresi il moto della corrente avviene in condizioni di moto subcritico, le condizioni da specificare sono:

- condizione al contorno di monte, rappresentata dalla 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 di monte, trattandosi di un collettore artificiale, non esistono scenari di piena al quale fare riferimento. Le analisi hanno pertanto fatto riferimento a due scenari rappresentativi di:

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <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>001 B</td> <td>50 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	50 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	50 di 88									

- instaurare un profilo idrometrico tale da garantire un adeguato franco di sicurezza (pari a 1 m) rispetto alla sommità delle difese spondali in calcestruzzo;
- instaurare un profilo idrometrico contenuto entro le difese spondali, ma in condizioni limite, ovvero senza margine di sicurezza.

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 0.1 %.

5.4.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni condotte nelle condizioni di ante-operam, hanno consentito di ottenere i due scenari precedentemente descritti con portate rispettivamente pari a:

- $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Una volta determinate le due portate di riferimento, le stesse condizioni al contorno sono state utilizzate per effettuare le analisi nelle condizioni post-operam, ottenendo i profili idrometrici riportati in Figura 5.10. Nella figura i profili idrometrici sono stati riportati sia nelle condizioni ante-operam sia nelle condizioni post-operam.

I profili dimostrano che, data l'esigua velocità della corrente, gli effetti dell'ostruzione del ponte esistente, sebbene costituito da due pile in alveo, non produce effetti apprezzabili in termini di sovrizzo idraulico. Si nota un leggero abbassamento della vena liquida nel passaggio entro le pile ed un sovrizzo totale tra monte e valle dell'ordine di 2 cm.

Come facilmente prevedibile, la presenza del nuovo ponte da realizzare a monte dell'esistente, non induce ad uno scostamento apprezzabile dei profili idrometrici.

Se ne conclude l'assoluta non interferenza dell'opera in progetto sul regime idrometrico del canale.

Il dettaglio dei risultati viene riportato, in forma tabellare, in appendice C.

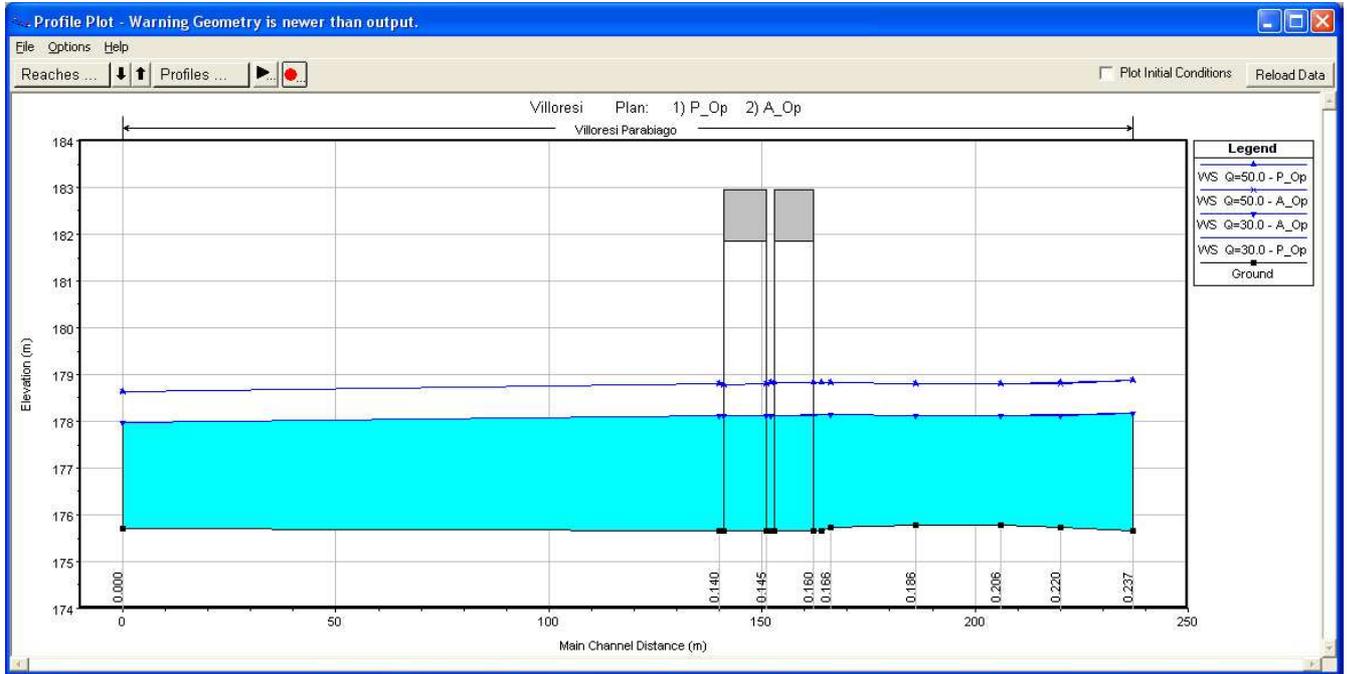


Figura 5.10 - Profili idrometrici ante e post-operam, con $Q=30 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>52 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	52 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	52 di 88								

5.5 Adeguamento del derivatore di Parabiago (canale secondario Villorosi)

Il derivatore di Parabiago, detto anche canale secondario Villorosi, affianca la linea ferroviaria nel tratto che dal territorio comunale di Parabiago giunge fino a Rho. L'ampliamento della larghezza della sede ferroviaria implica la riduzione degli spazi esistenti lungo la sponda sinistra del derivatore, ponendo un problema di interferenza idraulica.

Il derivatore di Parabiago ha origine, in comune di Parabiago, dal canale Villorosi, presso lo sfioratore di presa che lo alimenta, posto sulla sponda destra dello stesso Villorosi. Il canale assume inizialmente una sezione di deflusso rettangolare in calcestruzzo. In questo primo tratto è stato anche realizzato un misuratore di portata a risalto. Subito a valle la sezione assume una conformazione in terreno naturale mantenendo una forma trapezoidale larga di larghezza pari a circa $7.00 \div 7.50$ m.

Dopo circa 500 m dalla sua origine, il derivatore affianca la linea ferroviaria e si mantiene ad essa adiacente, quasi costantemente, fino a Rho.

In questo primo tratto, gli spazi disponibili sono risultati sufficienti per l'ampliamento della sede ferroviaria e non è stato necessario prevedere alcun intervento. Nelle verifiche che seguono questo tratto è stato analizzato, per completezza del quadro conoscitivo, solo in condizione ante-operam.

Proseguendo verso valle il derivatore di Parabiago incontra una serie di sfioratori laterali che alimentando altrettanti canali secondari, distribuendo le sue acque al territorio limitrofo. La sottrazione di portata nel canale produce anche il restringimento della sua sezione che viene ben presto ad assumere una forma trapezoidale, con rivestimento in calcestruzzo e larghezza alla base di 3.00 m o anche inferiore.

Il primo punto di derivazione viene incontrato a circa 1300 m dalla sua origine, ovvero dopo 800 m di affiancamento alla linea ferroviaria, dove il canale incontra un manufatto partitore, costituito da un doppio sostegno, che preleva una parte della portata facendola defluire lungo una diramazione laterale, ortogonale all'asse del derivatore. A valle del partitore, la sezione del canale presenta un restringimento segno di una diminuzione della sua capacità di portata, conformazione giustificata con la sottrazione localizzata proprio in questo punto.

Al fine di risolvere l'interferenza tra il derivatore di Parabiago e la linea ferroviaria, è

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 53 di 88

stata adotta una soluzione che prevede lo spostamento del canale irriguo, in coerenza con gli spazi richiesti per la costruzione del nuovo rilevato, ed i suo rifacimento in sezione in calcestruzzo rettangolare.

5.5.1 Implementazione del modello matematico

Condizione ante operam

Il progetto del nuovo derivatore di Parabiago si propone di garantire il rispetto dell'attuale capacità di portata. Le verifiche idrauliche condotte hanno avuto quindi l'obiettivo di valutare la capacità di portata attuale e di confrontarla con quella di progetto.

Allo scopo è stato implementato il modello matematico HEC RAS, a partire dalle informazioni plano altimetriche disponibili. Queste sono state ottenute dal rilievo fotogrammetrico realizzato lungo l'intera tratta ferroviaria, e che ha permesso di ricavare una totale di 40 sezioni trasversali del collettore irriguo.

Le sezioni sono state introdotte nel modello mantenendo la loro numerazione riportata nel rilievo, dopo aver separato il tratto analizzato in due parti. Come ulteriore indicazione, la river station è stata posta pari alla progressiva chilometrica, misurata a partire dalla sezione ultima di valle e proseguendo verso monte.

Il tratto di monte, che dal punto in cui il derivatore affianca la linea ferroviaria giunge fino al partitore, è stato schematizzato nel modello a partire dalle sezioni del rilievo ubicate lungo il profilo avente codice R22. A valle del partitore, il secondo tratto è stato schematizzato a partire dalle sezioni del rilievo ubicate lungo il profilo avente codice R20.

Una volta inserita la geometria nel modello matematico, è stato assunto un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

L'implementazione del modello matematico, funzionante a moto permanente, è stato utilizzato fino alla sezione R20_V. Dopo di questa sezione il canale prosegue intubato entro una condotta circolare di diametro 1800 mm per un tratto di circa 520 m.

A monte dell'imbocco nella condotta, il canale presenta un salto di fondo ed una derivazione, sempre in condotta, che sottrae una ulteriore porzione di portata al collettore irriguo, per dirigerla verso Nord, sottopassando la linea ferroviaria.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <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>001 B</td> <td>54 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	54 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	54 di 88									

Oltre tale tratto, risulta difficile stimare l'esatta portata transitabile lungo il canale utilizzando il modello matematico HEC RAS, dato il notevole grado di dettaglio richiesto nella ricostruzione della geometria del collettore. Il calcolo della portata, e quindi il dimensionamento del nuovo collettore, è stato eseguito assumendo valido un regime di moto uniforme. A tale scopo sono stati individuati tratti con sezione sufficientemente costante per il quale è stata valutata, a partire dal rilievo plano-altimetrico, una pendenza media.

Condizione post operam

Il progetto prevede il completo rifacimento del collettore irriguo per più della metà dell'intero suo percorso. Per il nuovo canale, è stata adottata una sezione rettangolare, in calcestruzzo, il cui dimensionamento è stato verificato implementando un nuovo modello matematico (post-operam). Allo scopo sono state utilizzate le sezioni di progetto ottenute dal rilievo fotogrammetrico alle quali è stato inserito il nuovo collettore. L'ubicazione delle sezioni di progetto risulta differente rispetto a quella delle sezioni relative alla condizione ante-operam, e la loro esatta posizione è stata riportata in tavole separate dalle precedenti.

5.5.2 Condizioni al contorno

Il modello matematico è stato utilizzato in regime di moto permanente e pertanto le condizioni al contorno richieste per il suo funzionamento si riducono all'introduzione della portata entrante nel collettore e nell'imposizione delle condizioni idrauliche della corrente nella sezione di valle.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, nella sezione terminale del tratto analizzato è stato imposto un regime di moto uniforme secondo la pendenza desunta dal profilo longitudinale del collettore.

La condizione di monte viene introdotta indicando la portata all'ingresso del collettore. Trattandosi di un collettore artificiale, viene a mancare una portata di massima piena alla quale fare riferimento per la verifica. Come detto, l'obiettivo del progetto è quello di garantire la non riduzione della capacità di portata dell'attuale configurazione. Sono state pertanto realizzate alcune simulazioni con differenti valori di portata, utilizzando il

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>55 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	55 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	55 di 88								

modello nella conformazione ante-operam, fino a stabilire le portate compatibili con l'attuale conformazione geometrica, distinguendo tra diversi tratti omogenei.

Successivamente la stessa distribuzione di portata è stata introdotta nella versione del modello post-operam, per la verifica del profilo idrometrico che si instaura nel collettore.

5.5.3 Risultati delle simulazioni

Condizione ante operam

I risultati delle simulazioni hanno evidenziato una netta diminuzione della capacità di portata del collettore in corrispondenza del sopracitato partitore. A monte del partitore, la capacità di portata è stata stimata pari a 10 m³/s. A valle del partitore, la capacità di portata risulta abbastanza stabile sul valore di 3.80 m³/s. Assumendo questo andamento della portata, è stato ricostruito il profilo idrometrico riportato in appendice D, nel quale sono state evidenziate le quote della sommità sinistra e destra della canaletta in calcestruzzo. Il manufatto partitore è ubicato in prossimità della sezione R22_S12. Si può notare come, in alcuni punti, il livello idrometrico non presenta franco di sicurezza.

Proseguendo verso valle, la canaletta irrigua incontra una seconda derivazione, costituita da una condotta circolare che sottopassa il rilevato ferroviario, innescata da un profilo di rigurgito imposto da un salto di fondo. L'esatta ripartizione della portata in questo punto non è valutabile con precisione mancando la conformazione geometrica della condotta posta in derivazione, tuttavia è possibile stimare la massima portata transitata lungo il ramo principale della canaletta in quanto, poco a valle, questo si immette entro una condotta circolare in calcestruzzo di diametro utile pari a 1800 mm e dipendenza desumibile dal rilievo topografico. Al fine di valutare l'entità massima del deflusso che può transitare entro questa condotta è stato svolto un calcolo a moto uniforme, avendo cura di considerare le perdite di energia che avvengono all'imbocco ed allo sbocco della condotta. Facendo variare il grado di riempimento della condotta si ottiene l'andamento della velocità e della portata come riportato in Figura 5.11.

Se ne deduce la possibilità di far defluire a valle una portata di circa 2.9 m³/s, con un grado di riempimento pari a 0.90. Nel seguito la portata di riferimento per le verifiche in condizione post operam è stata assunta, cautelativamente, pari a 3.0 m³/s.

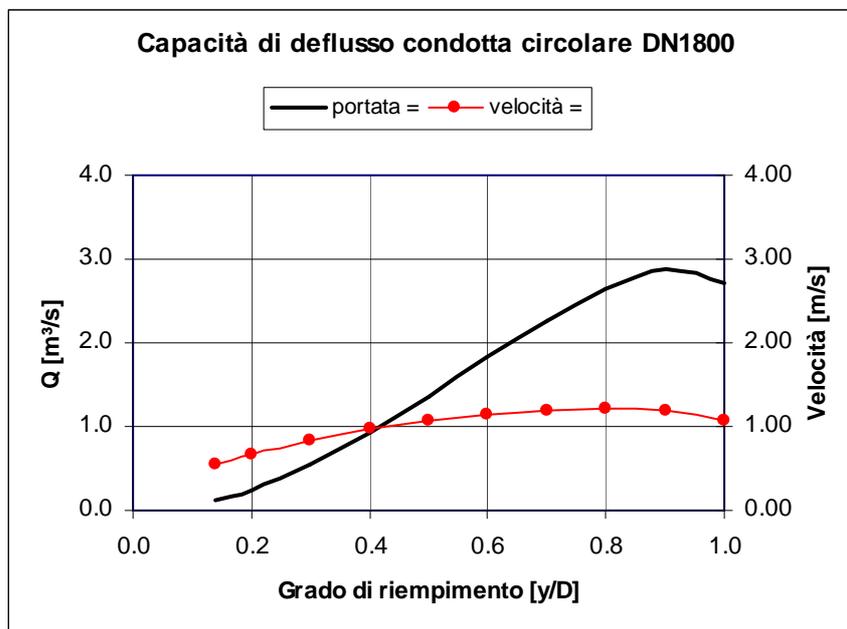


Figura 5.11 - Capacità di deflusso della condotta DN1800 mm esistente.

La verifica della capacità di deflusso del collettore a contenere la portata in uscita dalla condotta circolare, è stata condotta a moto uniforme, come precedentemente spiegato. I risultati per ciascun tratto omogeneo sono riportati in Tabella 5.II.

Tabella 5.I - Verifiche a moto uniforme del derivatore di Parabiago a valle della sezione R20_V (condizione ante-operam)

Tratto	forma	base inf [m]	H [m]	Pend. media	v [m/s]	Q [m³/s]	Tirante [m]	Grado di riemp.
Condotta	DN1800	-	-	0.138%	1.20	2.88	1.62	0.90
R11	Trapezia	2.35	1.65	0.730%	0.82	3.00	1.07	0.65
R15 (non tombinato)	Trapezia	2.40	1.30	0.044%	0.73	3.00	1.16	0.89
R15 (tombinato)	Rett.	4.00	1.50	0.060%	0.80	3.00	0.95	0.63
S12	Trapezia	2.00	1.20	0.050%	0.78	3.00	1.2	1.00
IN10	Trapezia	2.00	1.30	0.210%	1.76	3.00	0.85	0.65
S10	Trapezia	2.00	1.30	0.102%	0.95	3.00	1.04	0.80

Riassumendo, i valori della portata defluibile all'interno del collettore irriguo sono i seguenti:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

- dalla sezione R22_18 alla sezione R22_S12 10 m³/s
- dalla sezione R22_S12 alla sezione R20_V 3.8 m³/s
- a valle della sezione R20_V 3.0 m³/s

Si precisa che tali valori di portata sono stati stimati senza considerare alcun grado di sicurezza (franco idraulico nullo) rispetto al bordo in calcestruzzo della canaletta.

Condizione post operam

Facendo riferimento alle portate precedentemente valutate come compatibili con l'attuale assetto della canaletta irrigua, la verifica del dimensionamento della nuova sezione di deflusso è stata condotta ricostruendo il profilo idrometrico che si instaura lungo il collettore nel tratto oggetto di intervento.

Il metodo di calcolo è stato il medesimo ovvero:

- nel tratto di monte del collettore fino alla condotta circolare: mediante modello matematico Hec RAS utilizzato a moto permanente;
- dallo sbocco della condotta circolare fino al termine del collettore: mediante schematizzazione a moto uniforme, per tratti omogenei.

Il profilo idrometrico relativo al primo tratto, coincidente con il profilo IN19 del rilievo, è stato riportato in Tabella 5.II e, in forma grafica, nella tavola “*Derivatore di Parabiago: profilo idrometrico post-operam*” mentre i livelli idrometrici sono stati riportati nelle tavole “*Derivatore di Parabiago: sezioni trasversali con livelli idrometrici (ante e post-operam)*”.

Tabella 5.II - Profilo idrometrico del derivatore di Parabiago (tratto IN19) in condizioni post-operam

Sezione	Portata	Qt fondo	W.S. Elev	Tirante	V media	Froude
	(m ³ /s)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m)	(m/s)	(-)
56	3.8	166.88	168.18	1.30	1.17	0.33
55	3.8	166.81	168.07	1.26	1.21	0.34
54	3.8	166.75	167.94	1.19	1.28	0.37
53	3.8	166.69	167.78	1.09	1.40	0.43
52	3.8	166.62	167.53	0.91	1.67	0.56
51	3.8	166.31	167.32	1.01	1.50	0.48
50	3.8	166.10	167.13	1.03	1.47	0.46
49	3.8	165.92	166.94	1.02	1.49	0.47

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001	FOGLIO B 58 di 88

I risultati hanno evidenziato la capacità del collettore di contenere la corrente entro la sezione in calcestruzzo della nuova canaletta, mantenendo un certo franco idraulico, segno di un comportamento corretto e migliorativo rispetto alla situazione attuale.

Per quanto riguarda il secondo tratto, le verifiche sono state condotte ipotizzando un comportamento a moto uniforme. Avendo previsto una sezione a forma costante, il comportamento idraulico della canaletta si differenzia in conseguenza della pendenza longitudinale. I risultati delle elaborazioni sono riportati in Tabella 5.III. Per ciascun tratto omogeneo è stata assunta la portata pari a 3.0 m³/s.

Anche per questi tratti il livello idrometrico viene sempre mantenuto entro le pareti in calcestruzzo.

Tabella 5.III - Verifiche a moto uniforme del derivatore di Parabiago a valle della sezione R20_V (condizioni post-operam)

Tratto	forma	base inf [m]	H [m]	Pend. media	v [m/s]	Q [m ³ /s]	Tirante [m]	Grado di riemp.
Condotta	DN1800	-	-	0.138%	1.2	2.88	1.62	0.90
IN18	rett.	2.50	1.50	0.100%	1.10	3.00	1.09	0.73
IN17 monte	rett.	2.50	1.50	0.060%	0.91	3.00	1.32	0.88
IN17 valle	rett.	2.50	1.50	0.060%	0.91	3.00	1.32	0.88
IN11	rett.	2.50	1.50	0.050%	0.86	3.00	1.4	0.93
IN10 valle	rett.	2.50	1.50	0.139%	1.24	3.00	0.97	0.65
IN09	rett.	2.50	1.50	0.100%	1.10	3.00	1.09	0.73
IN08	rett.	2.50	1.50	0.240%	1.52	3.00	0.79	0.53
IN07	rett.	1.50	1.00	0.045%	0.59	0.8	0.9	0.9
IN04 monte	rett.	2.50	1.50	0.130%	1.20	3.00	1	0.67
IN04 valle	rett.	2.50	1.50	0.160%	1.30	3.00	0.92	0.61

5.6 Altre interferenze

Le altre interferenze idrauliche incontrate nella realizzazione del progetto di ampliamento della sede ferroviaria sono costituite dall'attraversamento di collettori di

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001 B	FOGLIO 59 di 88

drenaggio appartenenti al reticolo secondario, sui quali già esistono strutture di attraversamento mediante tombinatura e che il progetto prevede di adeguare mantenendo la stessa sezione di deflusso.

L'attraversamento di maggiore importanza è rappresentato dal canale artificiale denominato "Ramo Olona 1", realizzato come scolmatore di piena al fine di sottrarre una parte della portata in arrivo lungo il fiume Olona, riducendone le portate al colmo. Si tratta pertanto di un'opera di difesa idraulica realizzata per la difesa dei territori limitrofi al fiume Olona.

Il canale scolmatore viene attraversato due volte dalla linea ferroviaria oggetto di intervento. Il primo punto di attraversamento interessa la tratta ferroviaria Rho – Gallarate mentre il secondo (a valle del precedente) interessa la diramazione della ferrovia che da Rho prosegue verso Ovest, in direzione Novara. I due attraversamenti si trovano a circa 200 m tra loro.

L'attraversamento della linea ferroviaria Rho – Gallarate avviene con struttura dotata di una campata molto più ampia della sezione del canale e si può escludere a priori la possibilità di una interferenza con il regime idrometrico dello scolmatore.

Il secondo attraversamento, viene realizzato mediante un impalcato a travi incorporate, e di fatto rappresenta il prolungamento verso valle di un attraversamento esistente. La nuova struttura presenta una sezione di deflusso identica alla precedente e pertanto non costituisce una restrizione della luce libera al deflusso. Anche in questo caso si può escludere una interferenza con il regime idrometrico del canale scolmatore.

Per quanto detto, in entrambi i casi una specifica valutazione idraulica è stata ritenuta non necessaria.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE						
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI	ID0002	REV. 001	FOGLIO B 60 di 88

6 CONCLUSIONI

In questa relazione sono state esaminate le problematiche di carattere idraulico incontrate nel progetto del potenziamento della tratta ferroviaria Rho – Gallarate, localizzata a Nord – Ovest del territorio comunale milanese.

Dopo aver analizzato i caratteri idrografici del territorio attraversato dalla linea ferroviaria, sono state individuate le interferenze tra le opere in progetto con i corsi d'acqua esistenti, considerando sia quelli di origine naturale che artificiale.

L'analisi ha consentito di individuare n.3 interferenze di maggiore interesse. Due di esse sono costituite da altrettanti interventi di adeguamento di ponti di attraversamento esistenti: il primo riguarda un corso d'acqua naturale (il fiume Olona incontrato all'altezza di Rho) ed il secondo un canale artificiale di notevole capacità (il canale irriguo Villorosi). La terza interferenza è costituita dalla presenza di un secondo canale irriguo (derivatore di Parabiago) in posizione non coerente con l'assetto futuro della linea ferroviaria.

Per lo studio di tutti i collettori si è fatto ricorso al modello matematico HEC RAS, implementando tre modelli geometrici nelle condizioni ante-operam, a partire dalle informazioni plano-altimetriche provenienti da un rilievo fotogrammetrico e da un rilievo topografico integrativo per quanto riguarda la parte batimetrica, e di altrettanti modelli geometrici rappresentativi dello stato post-operam. Le condizioni al contorno sono state imposte sulla base delle portate dettate dal PAI o, per quanto riguarda i collettori artificiali, su assunzioni coerenti con il loro stato di funzionamento.

Particolare attenzione è stata rivolta all'analisi dei vincoli e delle disposizioni riportate nelle direttive e nelle norme di attuazione del PAI, al fine di giungere ad un giudizio sulla compatibilità idraulica delle opere.

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 quanto riguarda l'attraversamento del fiume Olona, dovuta alla livelletta di progetto della linea ferroviaria esistente che non consente un dimensionamento del nuovo manufatto rispettoso dei franchi di sicurezza dettati dalla normativa statale e dalla direttiva dell'Autorità di Bacino. Si tratta di un intervento di adeguamento di un ponte esistente il quale costituisce una situazione di

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>61 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	61 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	61 di 88								

criticità già nota ed evidenziata nello stesso Studio di Fattibilità redatto da parte dell'Agazia Interregionale del fiume PO.

Tuttavia, lo studio del comportamento idrometrico fluviale svolta in questo lavoro, ha evidenziato che la situazione di criticità è da imputare alla presenza del ponte ferroviario esistente, che produce un notevole restringimento della sezione di deflusso, mentre le simulazioni relative allo stato post-operam non hanno evidenziato un peggioramento significativo della situazione a seguito della costruzione del nuovo ponte.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>62 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	62 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	62 di 88								

7 BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino del fiume Po (2001): *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*
 Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter, Adottato con Deliberazione del
 Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

Autorità di Bacino del fiume Po (2003): *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica
 dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura
 Lambro – Olona. Relazione descrittiva e di analisi dell'attività "Definizione delle
 portate di piena di riferimento".*

Brath A., Rosso R., (1994), Valutazione delle piene nel bacino padano e nella Liguria
 tirrenica, La valutazione delle piene in Italia, Rapporto nazionale di sintesi CNR-
 GNDCI, Dicembre 1994.

Burlando, P. & R. Rosso, Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency
 curves of storm precipitation, Journal of Hydrology, Vol. 187, p.45-64, 1996.

De Michele C. e Rosso R. (2001): *Rapporto sulla valutazione delle piene per l'Italia nord
 occidentale.* CNR – GNDCI.

Gumbel E.J. (1941): *The return period of flood flows.* Ann. Math. Stat. 12, 2,163.

Hosking J.R.M. (1990). L-moments: analysis and estimation of distributions using linear
 combinations of order statistics. J. R. Stat. Soc., Ser. B., 52(2), 105-124.

Jenkinson A.F. (1955). *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum)
 values of meteorological elements.* Quarterly J. Royal Met. Soc., 87-158.

Maione U., Romiti R., Tomirotti M. (2000): *Modello regionale per la stima delle piogge di
 breve durata ed elevato tempo di ritorno.* CI.PA – Milano.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>63 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	63 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	63 di 88								

Maione U., Pessarelli N., Tomirotti M. (1999). *Un modello per la stima indiretta delle portate di piena dei corsi d'acqua italiani*. Parte I: Aspetti metodologici, *L'Acqua*, n.4, 19-36.

Maione U., Pessarelli N., Tomirotti M. (1999). *Un modello per la stima indiretta delle portate di piena dei corsi d'acqua italiani*. Parte II: Analisi dei risultati e confronti con altri modelli regionali, *L'Acqua*, n.5, 37-54.

Moisello U. (1976): *Il regime delle piogge intense a Milano*.

Rosso, R., De Michele, C. & Montanari (1997): *La previsione statistica delle piogge di forte intensità e breve durata. Applicazione alla Liguria tirrenica e al bacino del Po*. La difesa idraulica del territorio, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, pp. 1-30, Cosenza.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>64 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	64 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	64 di 88								

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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>65 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	65 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	65 di 88								

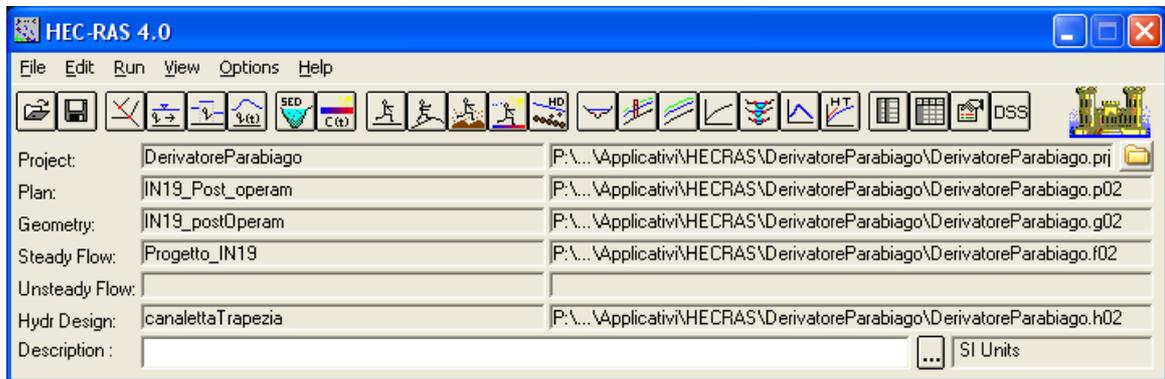


Figura A.7.1 - Finestra principale del modello HEC-RAS 4.0

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

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>66 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	66 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	66 di 88								

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>67 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	67 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	67 di 88								

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:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>68 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	68 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	68 di 88									

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

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>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>69 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	69 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	69 di 88								

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

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:

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>70 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	70 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	70 di 88								

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

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>71 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	71 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	71 di 88									

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

- la quota idrometrica risulterà comunque orizzontale;
- non 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:

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

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:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>72 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	72 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	72 di 88								

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

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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>73 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	73 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	73 di 88								

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

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>74 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	74 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	74 di 88								

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 W_{Su} , V_u e h_e . V_u è desumibile direttamente dal valore di W_{Su} , 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 ;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<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>001 B</td> <td>75 di 88</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	75 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	75 di 88								

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.

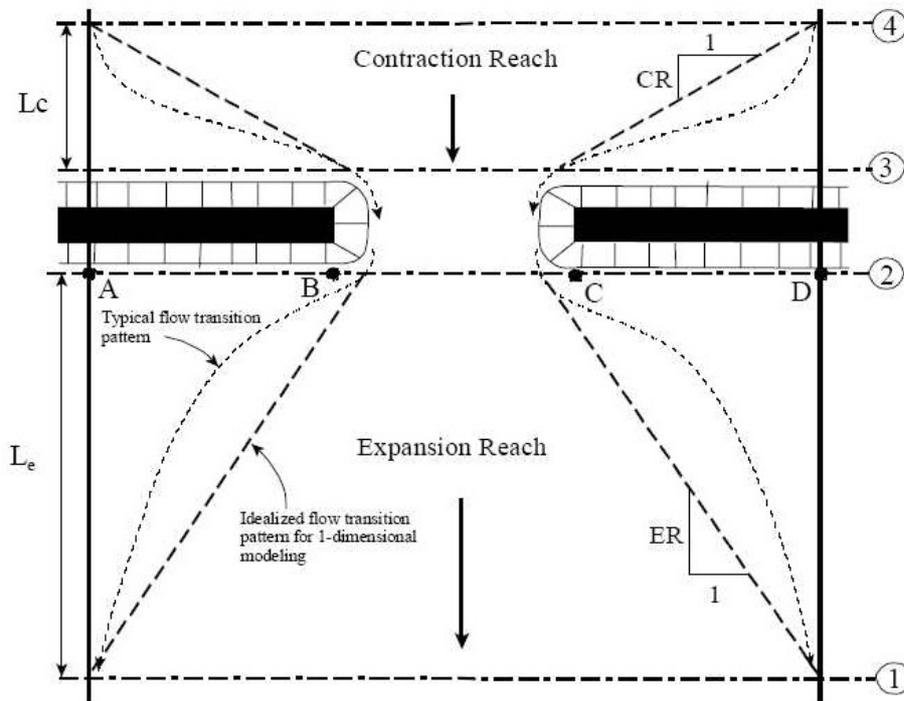


Figura A.7.2 – Posizionamento delle sezioni idrauliche per il calcolo dei ponti in Hec-Ras.

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>77 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	77 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	77 di 88								

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;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	PROGETTO MDL1	LOTTO 00	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002	REV. 001 B

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

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>79 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	79 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	79 di 88								

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:

$$A_{BD} \overline{Y_{BD}}_v + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \overline{Y}_2 - A_{PBD} \overline{Y}_{PBD} + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + F_f - W_x$$

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;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>80 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	80 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	80 di 88								

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;

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>81 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	81 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	81 di 88								

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI ID0002</td> <td>001 B</td> <td>82 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	82 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
MDL1	00	D 11	RI ID0002	001 B	82 di 88								

“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.

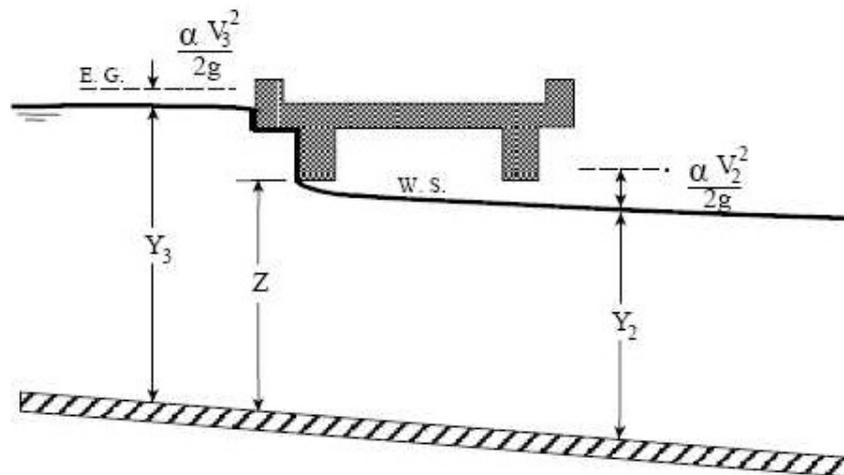
Calcolo del profilo in condizioni di high flow

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:

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



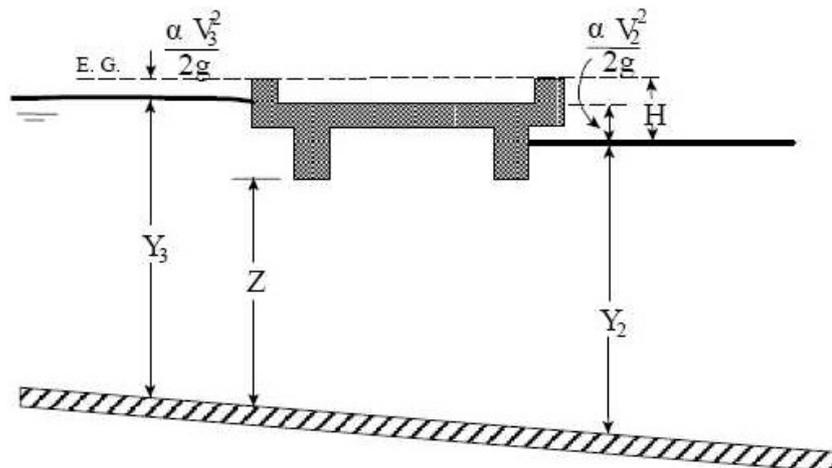
Il coefficiente di deflusso C_D può essere definito dall'utente o automaticamente "scelto" dal programma dato il rapporto Y_3/Z sulla base di dati sperimentali.

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.



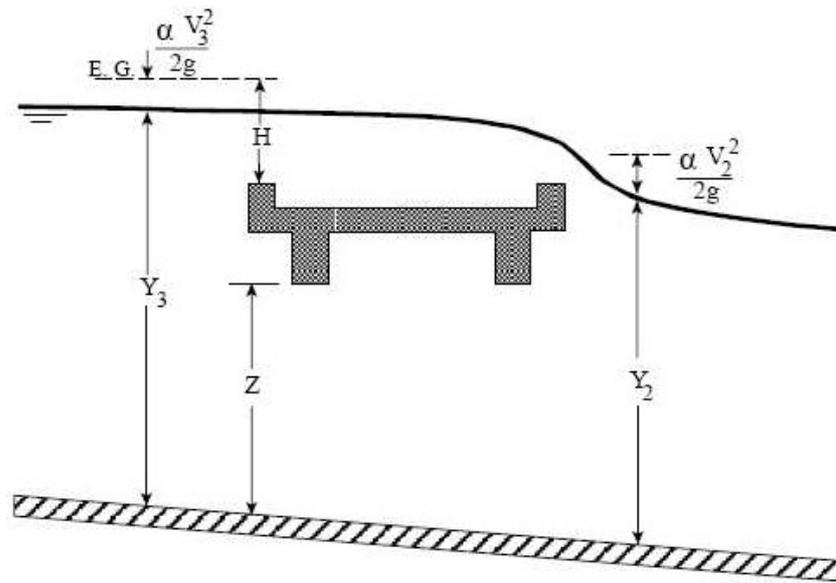
Deflusso a stramazzo

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

ponete, 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.



	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>85 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	85 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	85 di 88									

**ALLEGATO B. PONTE SUL FIUME OLONA SOLUZIONE 2009: RISULTATI DELLE
 SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE e POST
 OPERAM)**

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>86 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	86 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	86 di 88									

**ALLEGATO C. PONTE SUL CANALE VILLORESI: RISULTATI DELLE
 SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE e POST
 OPERAM)**

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>87 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	87 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	87 di 88									

**ALLEGATO D. DERIVATORE DI PARABIAGO: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI –
 TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI E PROFILO IDROMETRICO (ANTE
 OPERAM)**

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO LINEA RHO – ARONA TRATTA RHO - GALLARATE														
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td colspan="2">CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>MDL1</td> <td>00</td> <td>D 11</td> <td>RI</td> <td>ID0002</td> <td>001 B</td> <td>88 di 88</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	88 di 88
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
MDL1	00	D 11	RI	ID0002	001 B	88 di 88									

**ALLEGATO E. PONTE SUL FIUME OLONA SOLUZIONE 2013: RISULTATI DELLE
 SIMULAZIONI – TABELLE DEI PARAMETRI IDRAULICI (ANTE e POST
 OPERAM)**