

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA

QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 2 – QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

IDRAULICA – ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI

Relazione idraulica attraversamenti ferroviari – Compatibilità idraulica

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA / DISCIPLINA	PROGR.	REV.
N M 0 Z	2 0	D	2 6	R I	I D 0 0 0 2	0 0 2	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	novembre 2018	M. Ventura	novembre 2018	S. Borelli	novembre 2018	F. Sacchi novembre 2018
File: NM0Z20D26RIID0002002_A.docx								n. Elab.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA’ IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	1 di 41

SOMMARIO

1	Premessa	3
2	Riferimenti normativi	4
3	Inquadramento fisico ed idrografico	6
3.1	Idrografia.....	8
4	Interferenze reticolo idrografico superficiale	15
4.1	Aspetti morfologici della rete idrica di superficie.....	16
5	Tombini.....	18
6	Metodologia di verifica di tombini.....	19
6.1	Descrizione della metodologia utilizzata	21
7	Verifica dei tombini.....	25
7.1	Verifica moto uniforme.....	26
7.2	Verifica moto permanente: tombini	29
7.3	Verifica moto permanente: ponti	31
8	Naviglio Pavese	32
9	Analisi di compatibilità idraulica.....	36
9.1	Norme di Attuazione – PAI Fiume PO	36
9.2	Manuale di Progettazione Ferroviaria.....	37
9.3	Le Norme Tecniche Costruttive 2008 (NTC)	38
9.4	Verifiche prescrizioni AdB PO, Manuale di Progettazione Ferroviaria e NTC 2018	39
9.5	La compatibilità idraulica delle infrastrutture.....	40

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	2 di 41

INDICE FIGURE

<i>Figura 1 – Localizzazione intervento</i>	6
<i>Figura 2 – Principali sottobacini idrografici del fiume Po.....</i>	7
<i>Figura 3 – Suddivisione territoriale in distretti</i>	7
<i>Figura 4 – Attuale reticolo idrografico a Nord di Milano.....</i>	9
<i>Figura 5 - Bacino del Fiume Lambro – Ambito Fisiografico</i>	10
<i>Figura 6 - Bacino del Fiume Ticino - Ambito Fisiografico</i>	11
<i>Figura 7 - Rete gestita dal Consorzio Est Ticino - Villorese</i>	14
<i>Figura 8 - Esempio di schema irriguo per un campo di riso.</i>	17
<i>Figura 9 - Sezione tipo di canale irriguo arginato, la linea gialla rappresenta.....</i>	17
<i>Figura 10 –Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso.....</i>	21
<i>Figura 11–Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino</i>	22
<i>Figura 12– Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da monte (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA).....</i>	23
<i>Figura 13 - Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da valle (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA).....</i>	24
<i>Figura 14 – Localizzazione modello Hec Ras Naviglio Pavese.....</i>	33
<i>Figura 15 – Profilo ante operam.....</i>	33
<i>Figura 16 – Profilo post operam</i>	34
<i>Figura 17 – Sezione in corrispondenza del ponte di progetto ante operam.....</i>	34
<i>Figura 18 – Sezione in corrispondenza del ponte di progetto post operam</i>	35

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	3 di 41

1 PREMESSA

Il progetto prevede il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Milano-Genova nella tratta tra la stazione di Milano Rogoredo e la stazione di Pavia; in particolare in questa fase denominata Fase 2 il quadruplicamento della tratta avviene dalla stazione di Pieve Emanuele dal km 11+310 circa fino alla stazione di Parma al km 28+030 circa.

Dal punto di vista idraulico la tratta ferroviaria attraversa un territorio pressoché pianeggiante caratterizzato dalla presenza di una fitta rete di canali di bonifica ed irrigui. L'opera d'arte più significativa è rappresentata dall'impalcato necessario all'attraversamento, da parte della nuova linea, del Naviglio di Pavia.

In corrispondenza della progressiva 14+663 circa è presente l'attraversamento della Roggia Olona facente parte del sistema di canali irrigui e, in corrispondenza della progressiva 26+426, l'attraversamento del Naviglio Pavese, facente parte della rete di canali gestita dal Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi insieme al Cavo Carona e al Cavo Barona.

Lo studio idrologico è finalizzato alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno, che verranno assunte nelle successive verifiche idrauliche. La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle costruzioni.

Le curve di probabilità pluviometrica sono state stimate per periodi di ritorno pari a 20, 25, 100, 200 e 500 anni.

Relativamente alla stima delle portate di piena dei canali costituenti la fitta rete irrigua è di difficile se non impossibile determinazione una classificazione idrologica; non si tratta di bacini imbriferi la cui portata è dipendente dagli eventi meteorici ma di fossi ad uso irriguo regolati artificialmente dall'uomo; pertanto nella relazione idraulica si procederà al loro dimensionamento in equivalenza idraulica agli attuali canali e tombini esistenti.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- Dm Ambiente 16 giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici.
- Dm Ambiente 12 giugno 2003, n. 185. Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue.
- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132. Protezione delle acque sotterranee.
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato.
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016).
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016).
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016.
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”.
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.2 - Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.3 - Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 e relative "Norme

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RIID0002002	REV. A	PAG. 5 di 41

tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell'articolo 3, comma 1 del Regolamento reg. 2006, n.3".

- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 “Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. “Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione rischi alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7/12/2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po”.
- Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7. “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	6 di 41

3 INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO

Il progetto prevede il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Milano Genova nella tratta tra la stazione di Milano Rogoredo e la stazione di Pavia; in particolare in questa fase denominata Fase 2 il quadruplicamento della tratta avviene dalla stazione di Pieve Emanuele dal km 11+310 circa fino alla stazione di Parma al km 28+030 circa.

In Figura 1 si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di intervento (Google Heart).

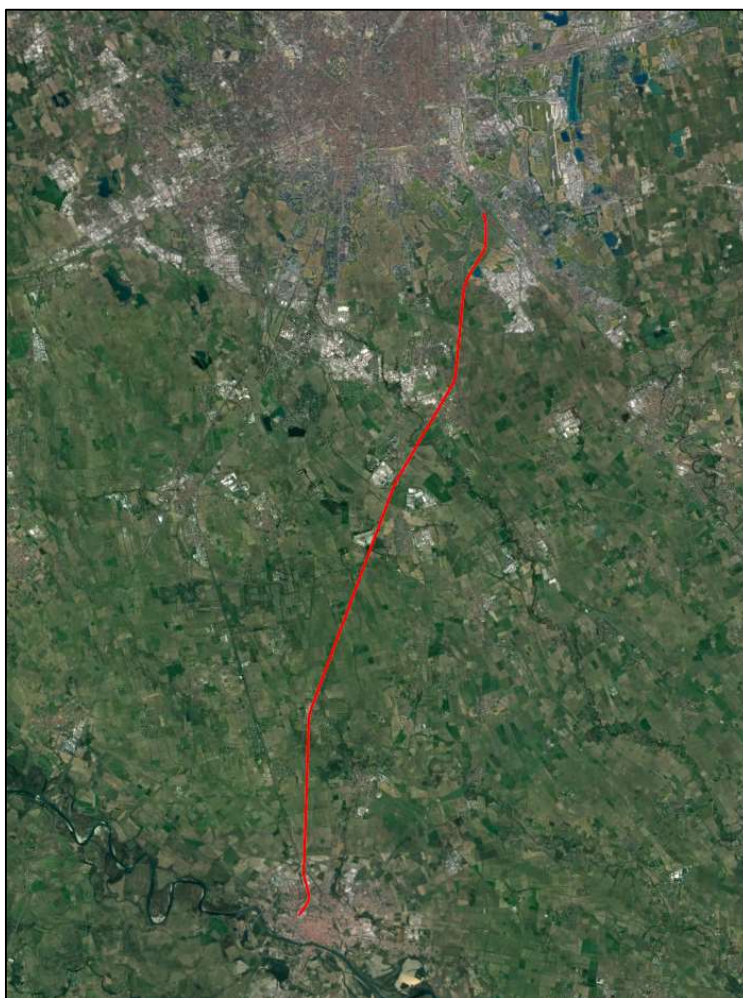


Figura 1 – Localizzazione intervento

Il tracciato in progetto si sviluppa nel tratto iniziale nel sottobacino idrografico Basso Lambro e Olona Meridionale, facenti parte del bacino Lambro-Olona Meridionale, e nel resto del tracciato nel sottobacino idrografico Ticino sublacuale, facente parte del bacino Ticino; tutti i sottobacini ricadono all'interno del bacino idrografico del fiume Po, pertanto le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino del fiume Po e al PAI in vigore.

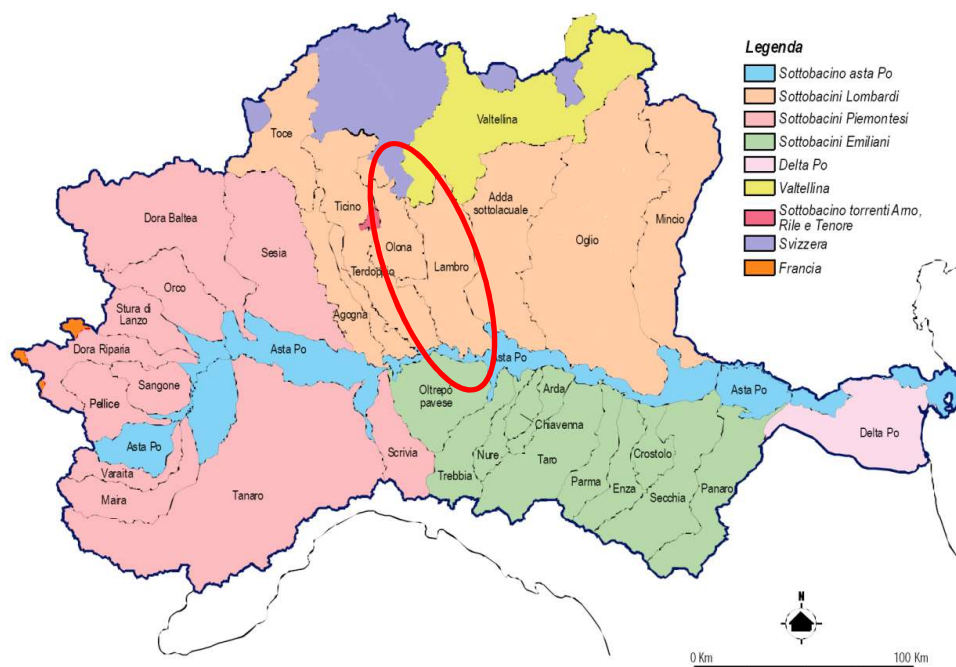


Figura 2 – Principali sottobacini idrografici del fiume Po

Il 22 dicembre 2000 è stata adottata la Direttiva 2000/60/CE per la tutela delle acque, recepita in Italia attraverso il d.lgs. n.152 del 3 aprile 2006. L'articolo n. 64 prevede la ripartizione del territorio nazionale in 8 distretti idrografici e non più in Bacini Idrografici. Ciascun distretto deve dotarsi di piano di gestione, la cui competenza spetta alla corrispondente Autorità di distretto idrografico.



Figura 3 – Suddivisione territoriale in distretti

	PROGETTO DEFINITIVO					
	POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	8 di 41

L'intervento, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, ricade nel Distretto idrografico Padano le cui competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po con il PGRA in vigore.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi da analizzare sono:

- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI);
- Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA).

3.1 Idrografia

Il tracciato in progetto si sviluppa nel bacino idrografico del Lambro Meridionale facente parte del bacino del Fiume Lambro.

Lambro Meridionale

Originariamente il Lambro Meridionale costituiva semplicemente il ricettore delle portate di piena del Naviglio Grande mediante le paratoie di S. Cristoforo, mentre l'Olona, dopo aver attraversato il tratto cittadino di Milano terminava in Darsena. Successivamente, nel 1926, si è collegato l'Olona al Lambro Meridionale, tramite un canale sotterraneo e un sifone sotto il Naviglio Grande.

Più a valle, a Conca Fallata, il Lambro Meridionale, in passato, attraversava il Naviglio Pavese per mezzo di un ponte (naviglio sopra), e riceveva poco più a valle il Lambretto che a sua volta aveva attraversato il Naviglio Pavese poco più a sud con un sifone.

Dopo il 1952 il Lambro Meridionale venne deviato nel Lambretto prima dell'attraversamento del Naviglio potenziando la botte a sifone che originariamente serviva solo il Lambretto, e il vecchio ramo che attraversava a nord venne trasformato in uno scaricatore di piena. Infine venne realizzato il Deviatore Olona che si innesta poco prima che il Lambro Meridionale, nel suo nuovo corso, attraversi con il sifone il Naviglio Pavese.

Ad ovest di Milano si dipartono il naviglio Grande diretto alla volta di Abbiategrasso e il naviglio di Pavia, mentre escono a sud della città il Lambro meridionale, il cavo Redefossi e la roggia Vettabbia.

Per alleggerire i carichi idraulici dei corsi d'acqua diretti alla volta di Milano, all'inizio degli anni '80 fu realizzato il canale scolmatore di nord-ovest, che deriva le acque del Seveso per sversarle nel Ticino all'altezza di Abbiategrasso. Nel suo percorso intercetta le portate eccedenti dell'Olona derivate alle prese

denominate Olona 1 e Olona 2. Le portate provenienti da quest'ultima sversano nel canale scolmatore al nodo ubicato presso Cornaredo, da dove si diparte un ennesimo canale, denominato "Deviatore Olona".

Questo è stato recentemente realizzato per alleggerire le portate dell'Olona in ingresso a Milano, che non possono essere deviate al canale scolmatore. Il Deviatore Olona riceve i contributi dei depuratori di Pero, di Corsico e dalle reti fognarie di Milano, compie l'aggiramento della città a ovest e si ricongiunge con il percorso originario in un nodo ubicato presso Gratosoglio, proseguendo quindi con il nome di Lambro meridionale.

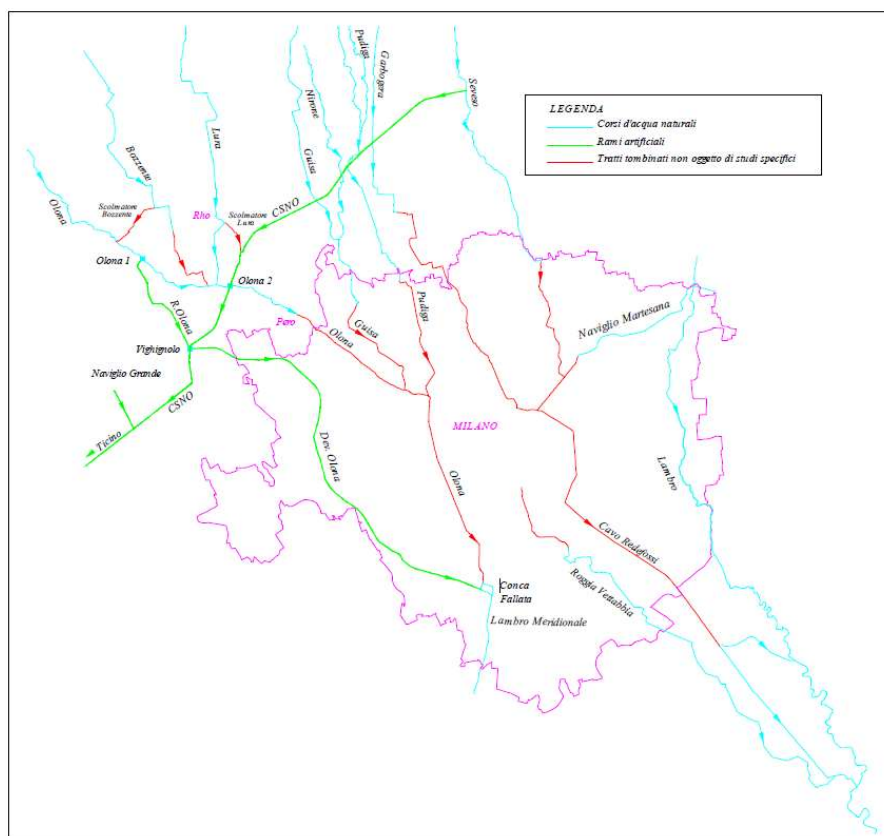


Figura 4 – Attuale reticolo idrografico a Nord di Milano

Dal punto di vista generale il bacino del Lambro ha una superficie complessiva di circa 1.980 km² (3% della superficie complessiva del bacino del Po) di cui solo il 5% in ambito montano. Il bacino è caratterizzato da un reticolo idrografico complesso e articolato. I numerosi corsi d'acqua naturali che gravitano a nord di Milano scorrono con direzione nord-sud e risultano interconnessi tramite una fitta rete di canali artificiali, realizzati sia a fini irrigui sia per la protezione dalle piene dei centri abitati.

Il principale corso d'acqua è il Lambro settentrionale, che scorre a est di Milano. Le portate provenienti dal bacino di monte sono laminate dai laghi di Alserio e Pusiano che, a causa della loro non trascurabile

superficie (circa 8 km²) rispetto a quella del bacino sotteso, esercitano una forte azione moderatrice sui fenomeni di piena. Le piene del Lambro a Lambrugo sono pertanto originate dai deflussi provenienti dal bacino della Bevera, pari a 43,2 km².

Proseguendo verso valle, si riconoscono tre tratti caratterizzati dalla prevalenza di rilevanti apporti idrici rispetto ai fenomeni di trasporto. Nel primo tratto, compreso tra Peregallo e Sesto S. Giovanni, gli apporti provengono essenzialmente dai centri abitati di Monza e Sesto S. Giovanni.

Nel secondo tratto, compreso tra S. Donato Milanese e Melegnano, confluiscono in Lambro gli apporti del settore orientale di Milano e i contributi di due corsi d'acqua minori che provengono dall'interno di Milano, il cavo Redefossi e la roggia Vettabbia. A Melegnano confluisce in sinistra anche il canale Muzza.

Il terzo tratto, a valle di S. Angelo Lodigiano, in cui il Lambro meridionale (nome preso dall'Olona dopo l'attraversamento di Milano) confluisce nel Lambro settentrionale.

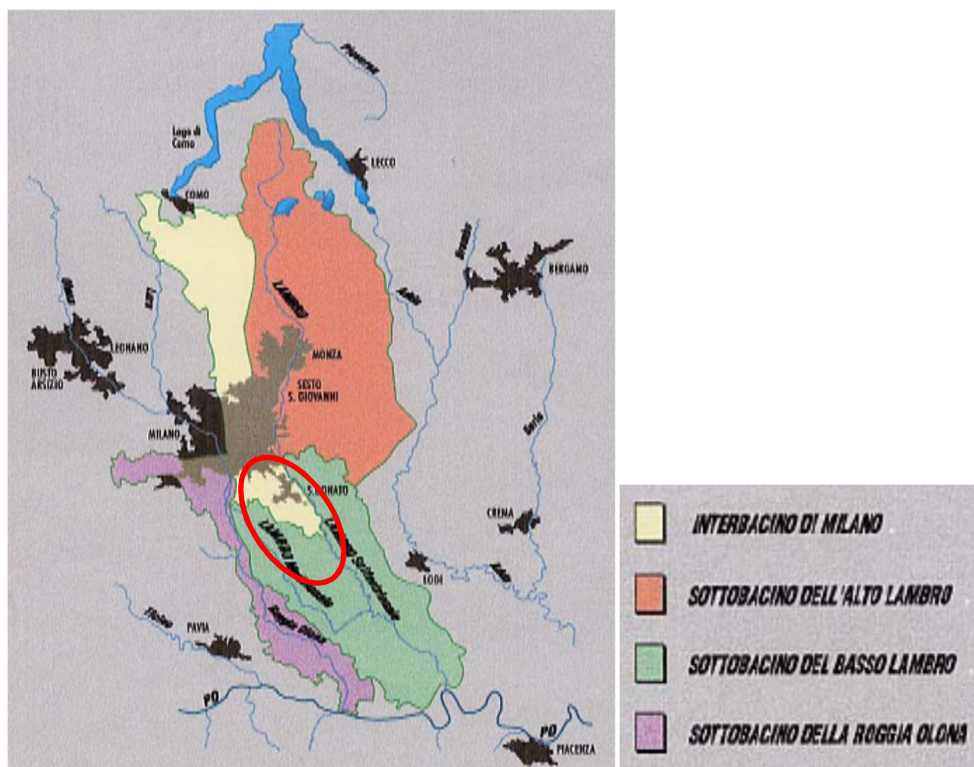


Figura 5 - Bacino del Fiume Lambro – Ambito Fisiografico

I principali canali artificiali sono rappresentati dal canale irriguo Villoresi e dai navigli della Martesana, Grande e di Pavia, tutt'oggi utilizzati come vie di trasporto.

Il primo attraversa trasversalmente tutto il bacino e adduce le acque del Ticino, prelevate all'altezza di Somma Lombardo, in Adda all'altezza di Fara Gera d'Adda. Preleva le acque dell'Adda poco più a monte,

presso Canonica, il canale della Martesana che scorre verso Milano parallelo al Villoresi. A Crescenzago viene sottopassato dal Lambro e prosegue all'interno dell'urbanizzato dove, analogamente agli altri corsi d'acqua provenienti da monte (Seveso, Olona, Garbogera, Merlata, Pudiga) attraversa intubato il territorio cittadino.

Ticino

Il bacino idrografico del Ticino ha una superficie complessiva di circa 6.033 km². Una parte significativa del suo territorio (circa il 53%) si trova in territorio svizzero, sicché solo 2.822 km² appartengono al territorio italiano (4% della superficie complessiva del bacino del Po). Complessivamente il bacino si trova per il 79% in ambito montano e per il 21% in pianura. La parte italiana del bacino si trova in ambito montano per il 49%.

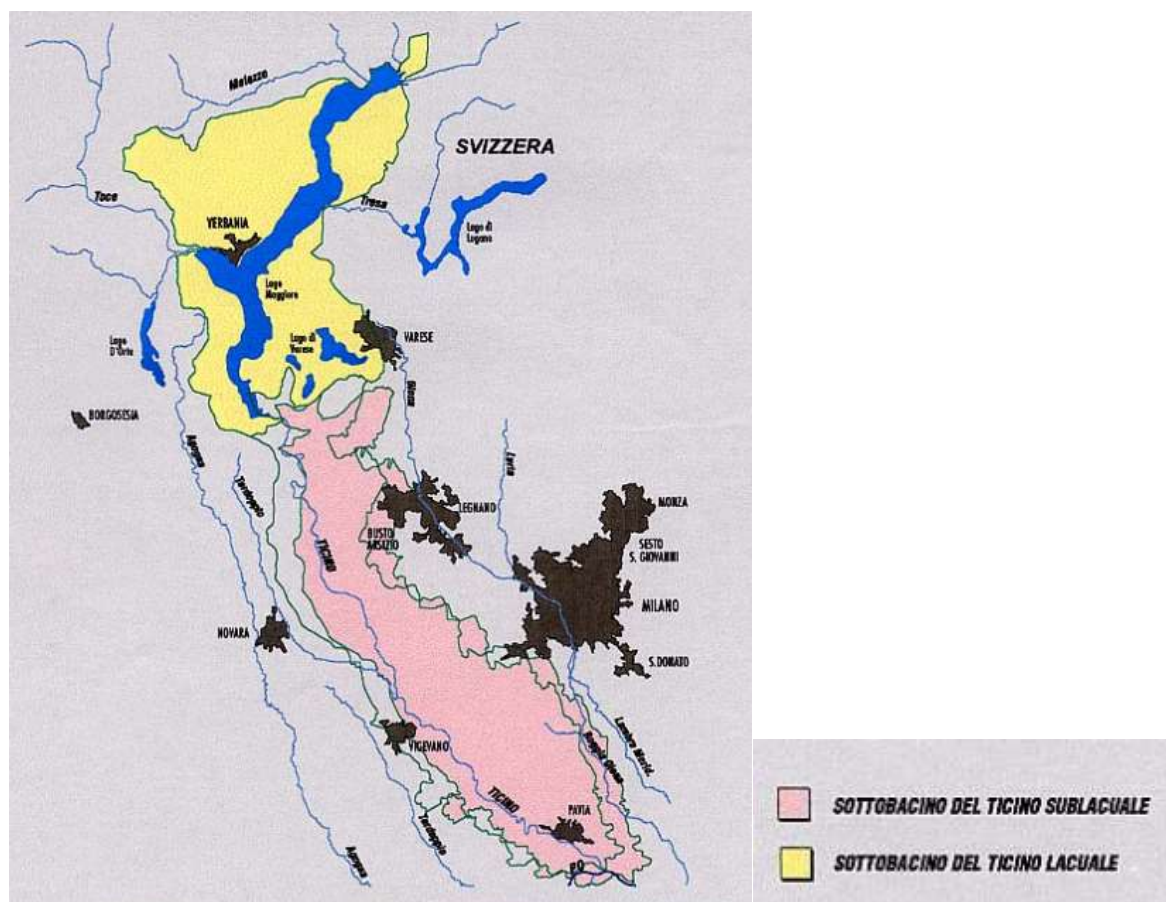


Figura 6 - Bacino del Fiume Ticino - Ambito Fisiografico

Il corso d'acqua ha origine in territorio svizzero, in prossimità del passo del S. Gottardo, ed ha una lunghezza complessiva di 284 km. Costituisce con il fiume Toce il principale affluente del lago Maggiore

o di Verbano; a monte della sua immissione in lago, in località Locarno, riceve in sinistra torrenti Brenno e Moesa.

Il lago di Verbano ha una superficie media di 212 km², sul livello idrico medio a quota 193,87 m s.m.; l'invaso del lago raccoglie le acque provenienti dal versante meridionale delle Alpi Lepontine.

Il fiume riprende il suo corso quale emissario del lago, dallo sbarramento della Miorina (Sesto Calende) e prosegue fino alla confluenza con il Po, al ponte della Becca. In questo tratto non riceve tributari naturali ma le acque del Terdoppio novarese che si immette a valle di Cerano; esso scorre in una valle a fondo circa piatto, incisa nella superficie fondamentale della circostante pianura e a essa raccordata per mezzo di un terrazzo principale, la cui altezza decresce da 40 a 15 m circa; l'alveo è dapprima monocursale, per poi divagare formando meandri con alveo pluricursale ramificato.

Il corso d'acqua è caratterizzato da un assetto idraulico di tipo naturale in quanto sede del Parco Regionale. Per la parte sublacuale può essere suddiviso in due diverse tipologie fluviali:

- la prima, tra Sesto Calende e Oleggio è caratterizzata da un alveo molto inciso in cordoni morenici e in terrazzi fluviali, incanalato in un unico filone di corrente con velocità discreta, sezione media di larghezza pari a 50-80 m, sponde ripide e vegetate. Nella parte alta del tratto il deflusso risente della regolazione del lago effettuata dalla traversa della Miorina; i livelli hanno mediamente escursioni poco rilevanti e permettono una stabilizzazione delle sponde e dell'interfaccia sponda-alveo;
- la seconda fino alla confluenza in Po, di gran lunga più estesa, ha una tipologia fluviale costituita da un alveo molto ampio (larghezza massima sui 400 m), a filone divagante in diversi rami, sponde basse, vegetazione molto consistente sia di sponda che in alveo, con notevole presenza di isole, sabbioni, terre nude.

I corsi d'acqua naturali compresi nel bacino sono prevalentemente tributari dei laghi di Lugano e Maggiore; solo il torrente Strona è affluente diretto del fiume.

Il regime idrologico del Ticino sublacuale è condizionato da alcuni fattori principali:

- la regolazione del deflusso dal lago Maggiore allo sbarramento della Miorina;
- lo scambio di portate con la fitta e complessa rete dei canali artificiali derivatori e tributari;
- l'alimentazione da parte del bacino imbrifero superficiale sotteso.

Di fondamentale importanza per il regime idrologico del Ticino è la regolazione del lago, che è legata prevalentemente alle esigenze delle utenze idroelettriche e irrigue di valle. La regolazione opera in modo tale da ritenere i deflussi nei periodi invernali e primaverili, per distribuirli nei mesi estivi; l'intervallo di

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	13 di 41

regolazione è fissato tra i livelli idrometrici -0.50 m e +1.50 m nel periodo tra il 15 novembre e il 31 marzo. Il regime delle portate di regolazione del Ticino è caratterizzato da massimi deflussi nel periodo maggio-luglio e minimi deflussi nella stagione invernale. Le portate di massima piena si registrano prevalentemente nel periodo autunnale.

Le acque del Ticino vengono derivate a Somma Lombardo allo sbarramento di Panperduto ed immesse nel Canale Adduttore Principale (C.A.P.) Villoresi che, dopo aver percorso 87 chilometri in direzione ovest a nord di Milano, si immette nel Fiume Adda.

Il Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, un tempo chiamato Consorzio di Bonifica Eugenio Villoresi, è nato nel 1918 con lo scopo di distribuire alle utenze agricole a nord di Milano le acque del Fiume Ticino.

Storicamente il Consorzio si è sempre occupato della distribuzione delle acque del Villoresi gestendo sia la linea principale che quella di distribuzione. Dall'inizio degli anni '80 il Consorzio si occupa anche di gestire il Naviglio Martesana e dal 1990 anche il Naviglio Grande, il Naviglio Pavese e il Naviglio di Bereguardo.

Attualmente, considerando la sola rete primaria dei navigli, il Consorzio gestisce complessivamente circa 220 chilometri di canali. Attualmente, non tutta la rete irrigua all'interno dell'area di studio è gestita dal Consorzio di Bonifica Est Ticino –Villoresi: il Consorzio gestisce direttamente i seguenti canali:

- Canale Villoresi (canale principale e rete di adduzione e distribuzione)
- Naviglio Grande (solo canale principale)
- Naviglio Pavese (solo canale principale)
- Naviglio di Bereguardo (solo canale principale)
- Naviglio Martesana (solo canale principale)

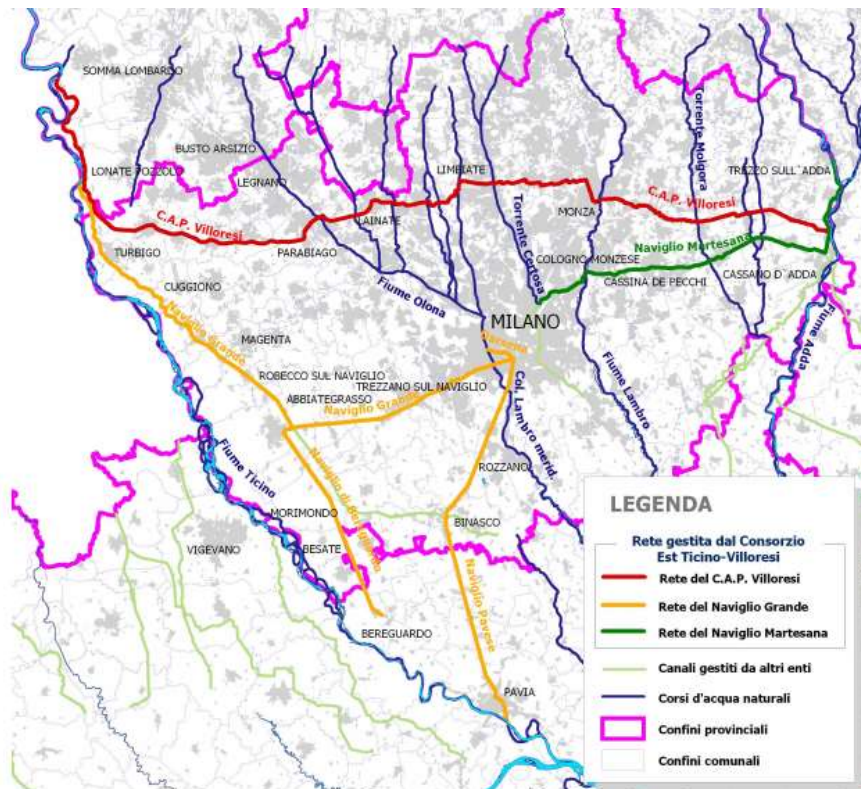


Figura 7 - Rete gestita dal Consorzio Est Ticino - Villoresi

Il Naviglio Pavese ha origine a Milano (darsena di Porta Ticinese) e termina a Pavia. Attualmente l'acqua che viene immessa nel naviglio è solo quella del Naviglio Grande; la portata massima convogliata nel Naviglio Pavese è pari a 12,6 m³ /s in regime estivo e a 9 m³ /s in regime invernale.

Il Naviglio Pavese ha una lunghezza di 34 chilometri, di cui 18 in Provincia di Milano. A causa della morfologia della pianura lungo il tracciato del canale, sono state realizzate delle conche di navigazione, per poter mantenere un invaso nel canale tale da garantire l'alimentazione della rete secondaria.

Le conche di navigazione sono complessivamente 12, di cui 5 in Provincia di Milano. Di queste la "conchetta" è stata completamente restaurata, mentre la "Conca Fallata" è attualmente in restauro. Le altre tre conche (Conca di Rozzano, Conca di Moirago e Conca di Casarile) non sono invece in grado da consentire il passaggio delle imbarcazioni.

Il Naviglio Pavese ha una pendenza media relativamente elevata (0, 17%), ma la perdita di carico è quasi tutta concentrata in corrispondenza delle conche di navigazione: su un dislivello complessivo di 56,6 metri, oltre 52 sono concentrati sulle conche.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	15 di 41

La pendenza reale del fondo, nel tratto in Provincia di Milano, è dell'ordine dello 0,02%.

Il fondo del canale è prevalentemente naturale ed è composto da un sedimento di natura limo-argillosa depositato su di un substrato argilloso impermeabile. Il fondo in cemento lo si trova solo in corrispondenza dei manufatti. Le sponde sono invece rivestite su tutto il tratto di interesse: le tipologie dominanti sono la copertura in mattoni e quella in ciottoli. Alcuni tratti sporadici sono invece rivestiti in calcestruzzo.

Per quanto concerne infine la sezione del canale, essa è di forma rettangolare, caratterizzata da un'altezza di circa 2 metri e da una larghezza variabile tra 11 e 12 metri.

4 INTERFERENZE RETICOLO IDROGRAFICO SUPERFICIALE

La tratta ferroviaria interferisce con il reticolo idrografico superficiale costituito da canali irrigui tra i quali si evidenziano la Roggia Speziana, la Roggia Colombana, la Roggia Carlesca, il Cavo Borromeo e il Naviglio Pavese, il maggiore tra i precedenti.

L'ambito Lambro-Olona presenta notevoli specificità che ne fanno un caso unico nel bacino del Po. In estrema sintesi le maggiori peculiarità possono essere così riassunte:

- i corsi d'acqua oggetto di studio, a nord di Milano, presentano tutti indistintamente una conformazione consolidata con capacità di deflusso progressivamente inferiore da monte verso valle. Come evidenziato dalle modellazioni eseguite (Seveso, Lambro, Lura, Groane, Bozzente, Olona) e come storicamente noto, tutti i corsi d'acqua dell'ambito, convergendo sulla zona urbana di Milano e dell'hinterland, trovano alvei che per diversi chilometri (10÷15) hanno capacità di smaltimento inadeguata alle esigenze con tempo di ritorno modesto. Tali limitazioni al deflusso derivano da una consolidata conformazione d'alveo che si è venuta sviluppando nei secoli fino ad oggi e che è l'insieme di vincoli posti dalla ridotta dimensione dell'alveo, dalla successione ininterrotta di ponti e della discontinuità del sistema difensivo nell'attraversamento delle zone urbanizzate. Su normali corsi d'acqua infatti è possibile trovare sezioni puntuali (es. ponti) che inducono limitazioni anche pesanti al deflusso. Tali sezioni tuttavia sono appunto puntuali e a valle delle stesse gli alvei riprendono caratteristiche di naturalità e di capacità di convogliamento simili e/o superiori a quelle di monte;
- l'urbanizzazione del territorio di fatto ha confinato i tratti terminali dei corsi d'acqua in ambiti o in sezioni chiuse il cui ampliamento non risulta proponibile e già era escluso nei lavori del Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano del 1937;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	16 di 41

- le sezioni di deflusso sono caratterizzate da numerosi manufatti di attraversamento e da un sistema difensivo spondale discontinuo e cresciuto, senza un criterio guida omogeneo, come conseguenza dei limiti imposti dalle urbanizzazioni;
- i contributi dei sistemi di allontanamento delle acque meteoriche provenienti dai centri urbani risultano in grado di saturare il sistema “naturale” per eventi che non superano in genere i 2 anni di tempo di ritorno
- i corsi d’acqua, nel percorso in Milano, non presentano sezioni a cielo aperto.

Le caratteristiche sopra elencate determinano di fatto anche una netta distinzione tra corsi d’acqua della zona a nord di Milano e corsi d’acqua della zona a sud. Mentre a nord infatti le problematiche risultano peculiari rispetto ad ogni altra zona del bacino padano, a sud i corsi d’acqua (Lambro, Lambro Meridionale e Roggia Olona Inferiore) assumono comportamenti assimilabili ai corsi d’acqua naturali del bacino con l’unica caratteristica di portate defluenti limitate rispetto alla capacità idrologica del bacino e dettata dai limiti prima citati nell’attraversamento di Milano. In altri termini la ristrettezza delle sezioni a nord e la diffusione di tale limite su tutte le aste determina un deflusso a valle assai contenuto rispetto alle potenzialità dei bacini e quindi paradossalmente una salvaguardia delle zone attraversate dal reticolo.

4.1 Aspetti morfologici della rete idrica di superficie

Il territorio in esame è caratterizzato da una maglia molto fitta ed estesa di canali irrigui e di scolo. Data la funzione agricola, in tali canali vengono immesse, con manovre su organi meccanici, portate di diversa entità in funzione del periodo dell’anno e della necessità produttiva. In generale, la manovra consiste nel chiudere i canali (adacquatrici di testata) per settori determinandone il riempimento fino ad una quota di sfioro laterale nel campo adiacente. Per le risaie ad esempio, l’irrigazione prevede un totale ricoprimento del campo con un battente idrico di qualche centimetro, l’acqua in eccesso viene raccolta dai canali di scolo posti sul lato opposto (scolina). Tale funzionamento presuppone che tali canali (rogge o cavi) abbiano, in certi periodi dell’anno, un franco idraulico sul piano campagna molto ridotto, talvolta nullo (vedi fig.7).

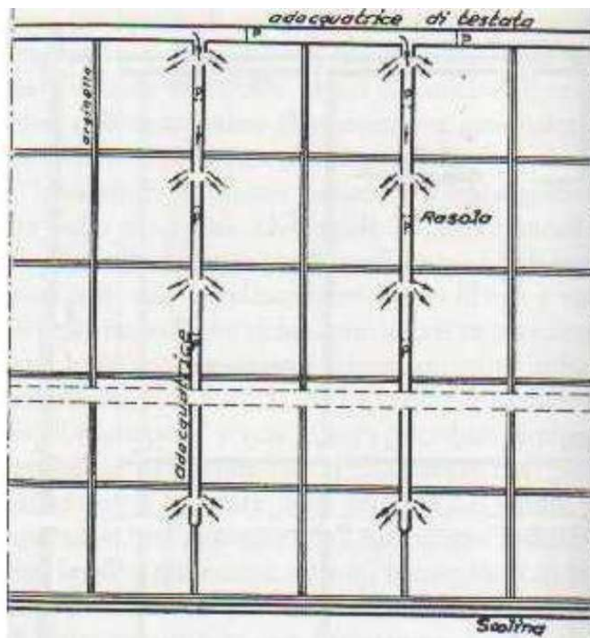


Figura 8 - Esempio di schema irriguo per un campo di riso.

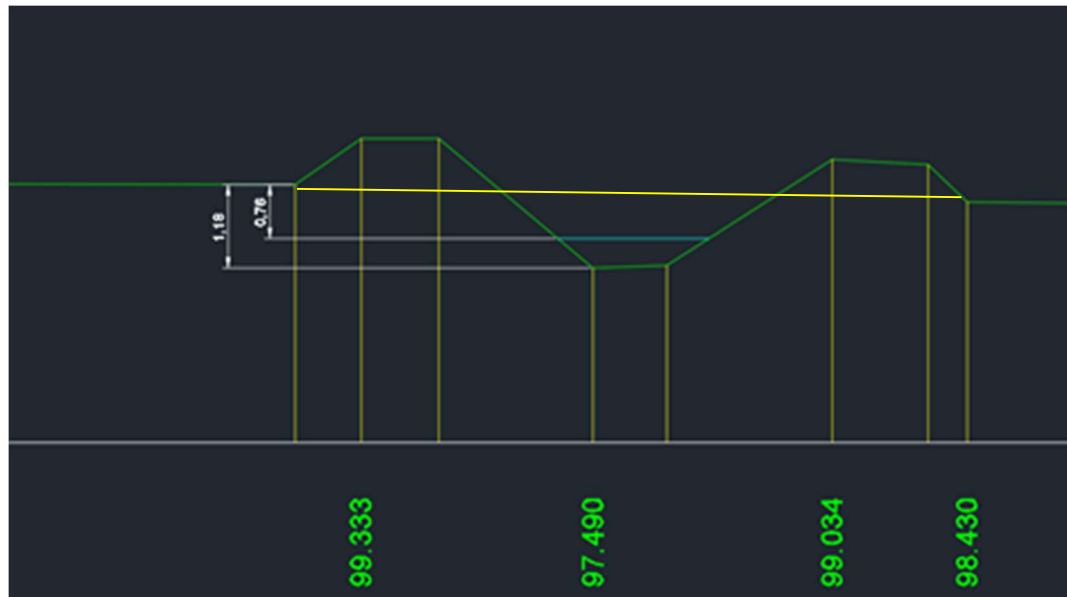


Figura 9 - Sezione tipo di canale irriguo arginato, la linea gialla rappresenta il livello massimo del canale durante le fasi di irrigazione

Nel caso specifico per la rete dei canali irrigui risulta di difficile determinazione una classificazione idrologica e pertanto non sono applicabili i classici metodi riportati in letteratura idraulica per la stima delle portate; poiché la rete irrigua comprende tutto il territorio in cui si sviluppa il progetto ed essendo essa regolata artificialmente dall'uomo è praticamente impossibile determinare un valore di portata in

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RIID0002002	REV. A	PAG. 18 di 41

funzione dell'analisi idrologica e allo stesso tempo non è fattibile perimetrare un bacino imbrifero definendo le sue grandezze caratteristiche (altezza massima, altezza minima, altezza media, area, lunghezza asta fluviale, pendenza media).

Si è proceduto alla stima delle portate con il principio di equivalenza idraulica agli attuali canali e tombini esistenti.

Le opere di attraversamento minore (tombini) sono state pertanto progettate nel rispetto del concetto di equivalenza idraulica con le attuali opere di attraversamento e delle sezioni dei canali esistenti.

Le condizioni alla base del dimensionamento sono:

- Canali con larghezza uguale o superiore alla larghezza del canale esistente;
- Opere di attraversamento con dimensioni uguali o maggiori degli attuali tombini fermo restando il rispetto del p.to 1;
- Dimensione sufficiente al convogliamento della portata massima defluibile nel canale al massimo grado di riempimento in condizione di moto uniforme laddove è stato possibile isolare un'asta sufficientemente lunga priva di immissioni.

Per la stima della portata defluente in un tombino si fa riferimento al canale irriguo di sua competenza adottando il valore della portata associato al massimo grado di riempimento inteso come:

1. Tirante idraulico con franco di 10cm sulla sponda più bassa;
2. Nel caso in cui vi siano "arginelli" sulle sponde tirante idraulico pari al piano campagna più basso oltre l'arginello.

Il tutto sotto l'ipotesi è quella di moto uniforme con pendenza rilevata, ove possibile, dai rilievi celerimetrico aerofotogrammetrici altrimenti, data la conformazione territoriale dell'area di progetto situata in una zona pianeggiante, con pendenza circa pari $p=0.10\%$.

5 TOMBINI

Il progetto prevede un allargamento della piattaforma esistente che implica il più delle volte un prolungamento dell'opera di attraversamento idraulico esistente; in alcuni casi la disposizione del tombino

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	19 di 41

storico richiede il rifacimento completo dell'opera che viene riproposto in prossimità dell'attraversamento esistente.

In ottemperanza con quanto specificato nel precedente capitolo le dimensioni delle nuove opere (prolungamenti e tombini ex-novo) avranno dimensioni pari o maggiori degli esistenti; tuttavia si adottano delle dimensioni minime quali un'altezza libera $h=1.50\text{m}$ e larghezza $B=2.00\text{m}$.

Per tale motivo, a meno dei tombini di trasparenza o di piccole dimensioni (larghezza e altezza inferiore a 1.50m) per i quali si utilizzano dei circolari $\varnothing 1500$, si impiegano al minimo tombini scatolari $2.00 \times 1.50\text{m}$.

Le opere in prolungamento all'esistente saranno posizionate allineando i fondi a meno delle situazioni in cui la necessità di avere un ricoprimento minimo sopra all'estradosso del tombino imponga un posizionamento differente; in ogni caso le nuove opere non presentano mai situazioni in cui l'intradosso della soletta superiore sia a quota inferiore all'intradosso dell'attraversamento storico.

Per gli attraversamenti per i quali non è possibile deviare il canale irriguo in altri cavi, solitamente per le opere con luce superiore ai 3m , si inserisce un portale invece di uno scatolare per poter inserire la nuova opera in continuità dell'esercizio irriguo.

6 METODOLOGIA DI VERIFICA DI TOMBINI

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante. Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che il deflusso relativo agli eventi di piena di riferimento siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura stradale.

Il metodo adottato dal software HY-8 che costituisce uno standard ormai consolidato in questo tipo di progettazione, è fondato - da un lato - su un rigoroso approccio teorico e - dall'altro - su una ricca casistica sperimentale. Esso consente pertanto di trattare in modo semplice ma aderente al fenomeno fisico la relativa complessità del sistema costituito da canali di monte e di valle, imbocchi e canna del tombino.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

- la pendenza;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RIID0002002	REV. A	PAG. 20 di 41

- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza ;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

Il software HY-8 automatizza la procedura di calcolo, tradizionalmente basata sull'impiego di abachi e nomogrammi. In linea generale le condizioni idrauliche del deflusso attraverso il tombino possono essere governate sia dalla sezione d'imbocco (inlet control), sia dalle condizioni allo sbocco (outlet control).

La procedura si svolge secondo i passi di seguito schematicamente indicati, in cui l'obiettivo è la determinazione della quota di carico idraulico totale (o della quota di pelo libero) necessaria a far defluire la portata di progetto attraverso il tombino:

- viene eseguito il calcolo relativo alla condizione di inlet control, in cui i dati sono costituiti (oltre che dalla portata) dalla forma e dalle dimensioni dell'imbocco;
- viene eseguito il calcolo relativo alla condizione di outlet control, in cui i dati sono costituiti dalla forma, dalle dimensioni e dal materiale (scabrezza) della canna e dall'altezza d'acqua a valle dello sbocco;
- il maggiore dei due valori calcolati per le due condizioni viene assunto come quota che governa il deflusso.

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration) ossia l'Agenzia del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti che detta i criteri e gli standard di progettazione delle strade, intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

Il “controllo da monte” si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico. Il programma HY-8 ha lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "Hydraulic Design of Highway Culverts," e HEC-14, "Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels".

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo programma sono:

- determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire una portata di progetto;
- definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;
- calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco.
- determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per determinare il livello di rischio della struttura.
- determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

6.1 Descrizione della metodologia utilizzata

Si illustra di seguito il modulo relativo alla verifica delle opere d'arte di attraversamento dei corsi d'acqua minori.

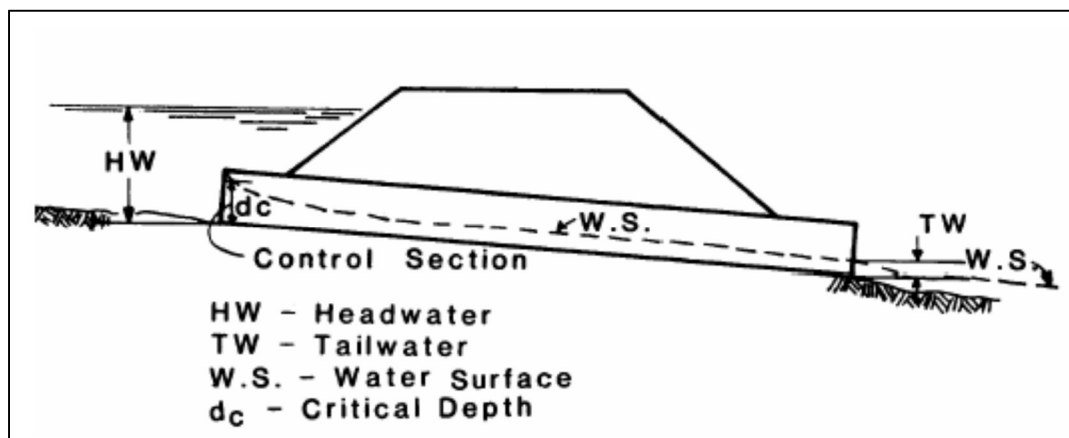


Figura 10 – Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

Il livello idrico a monte è stato valutato sulla base dei diagrammi sperimentali (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA). I diagrammi nelle figure delle pagine seguenti forniscono tale livello in condizioni di “controllo da monte” rispettivamente per tombini scatolari e circolari, prendendo in considerazione la portata di progetto e la geometria dell'ingresso (forma e area della sezione);

Il “controllo da valle” si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l’ingresso. La sezione di controllo si localizza all’uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

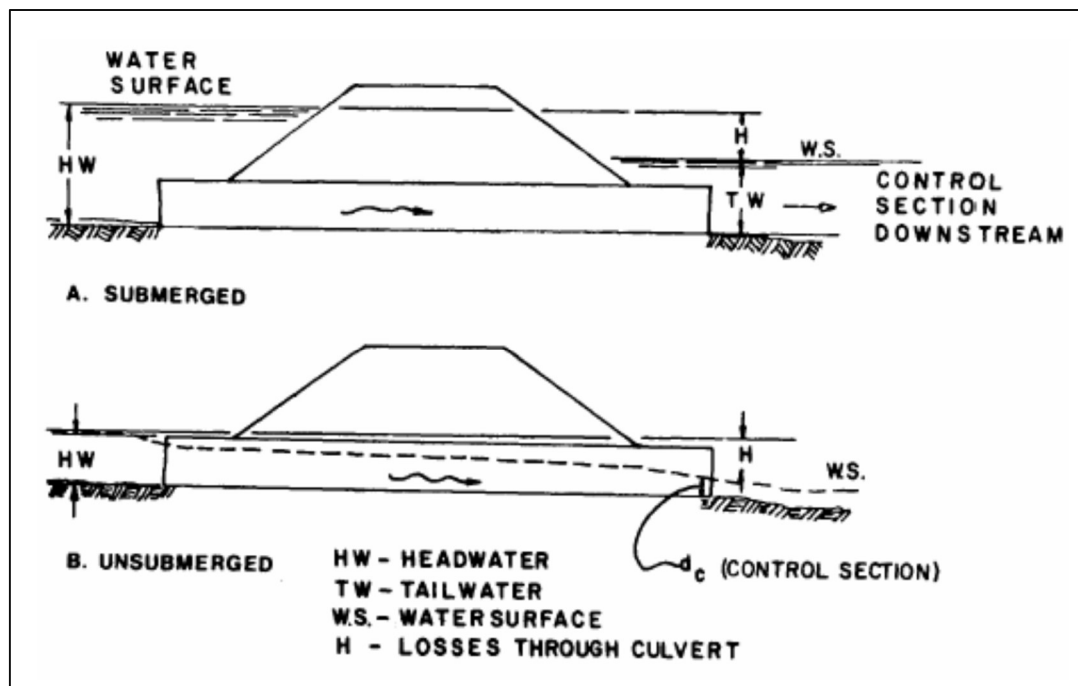


Figura 11–Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino

I diagrammi nelle figure successive, nel caso di funzionamento per “controllo da valle”, consentono di valutare il livello idrico tenendo conto della scabrezza, della lunghezza della canna e di eventuali livelli idrici a valle.

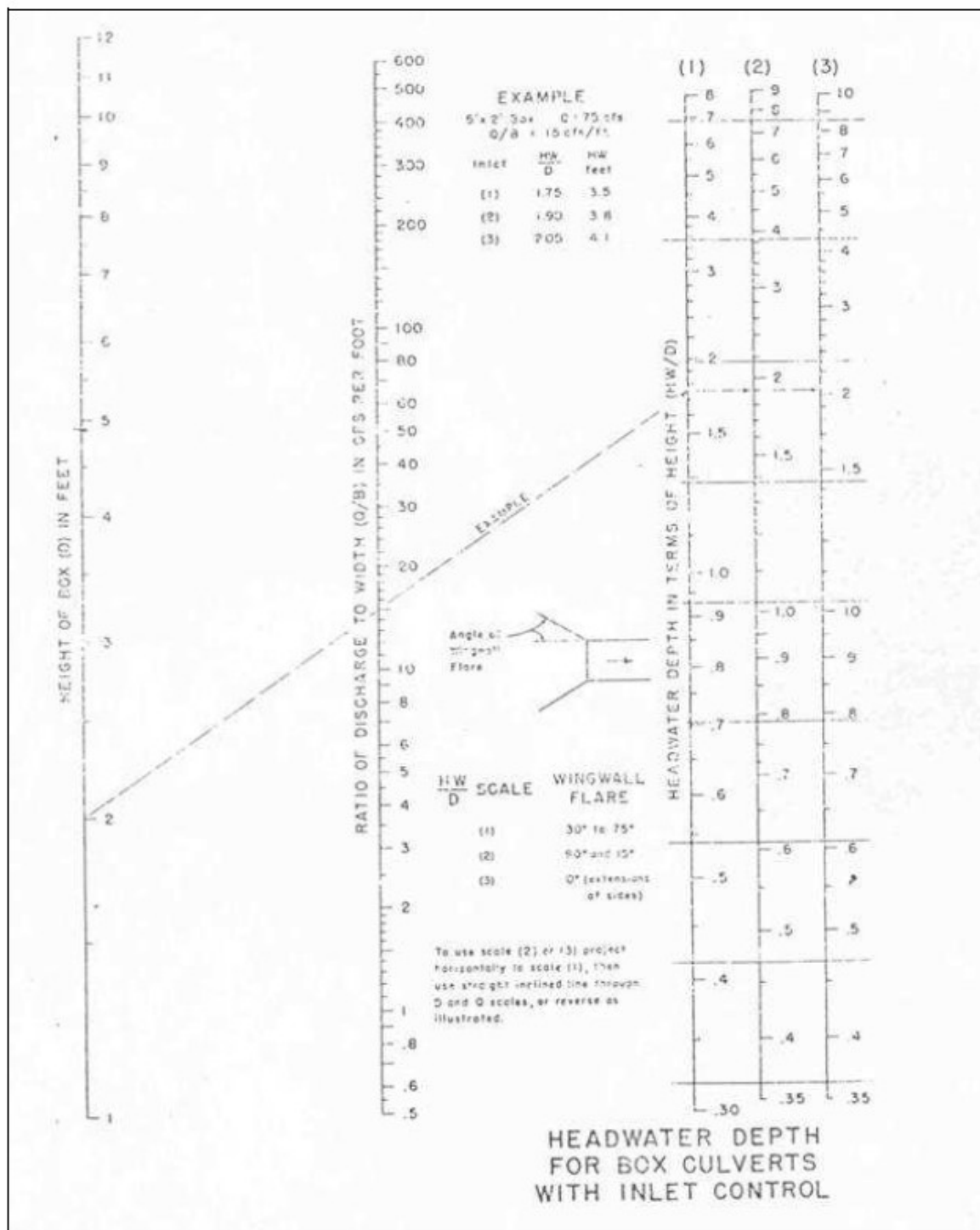


Figura 12– Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da monte (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)

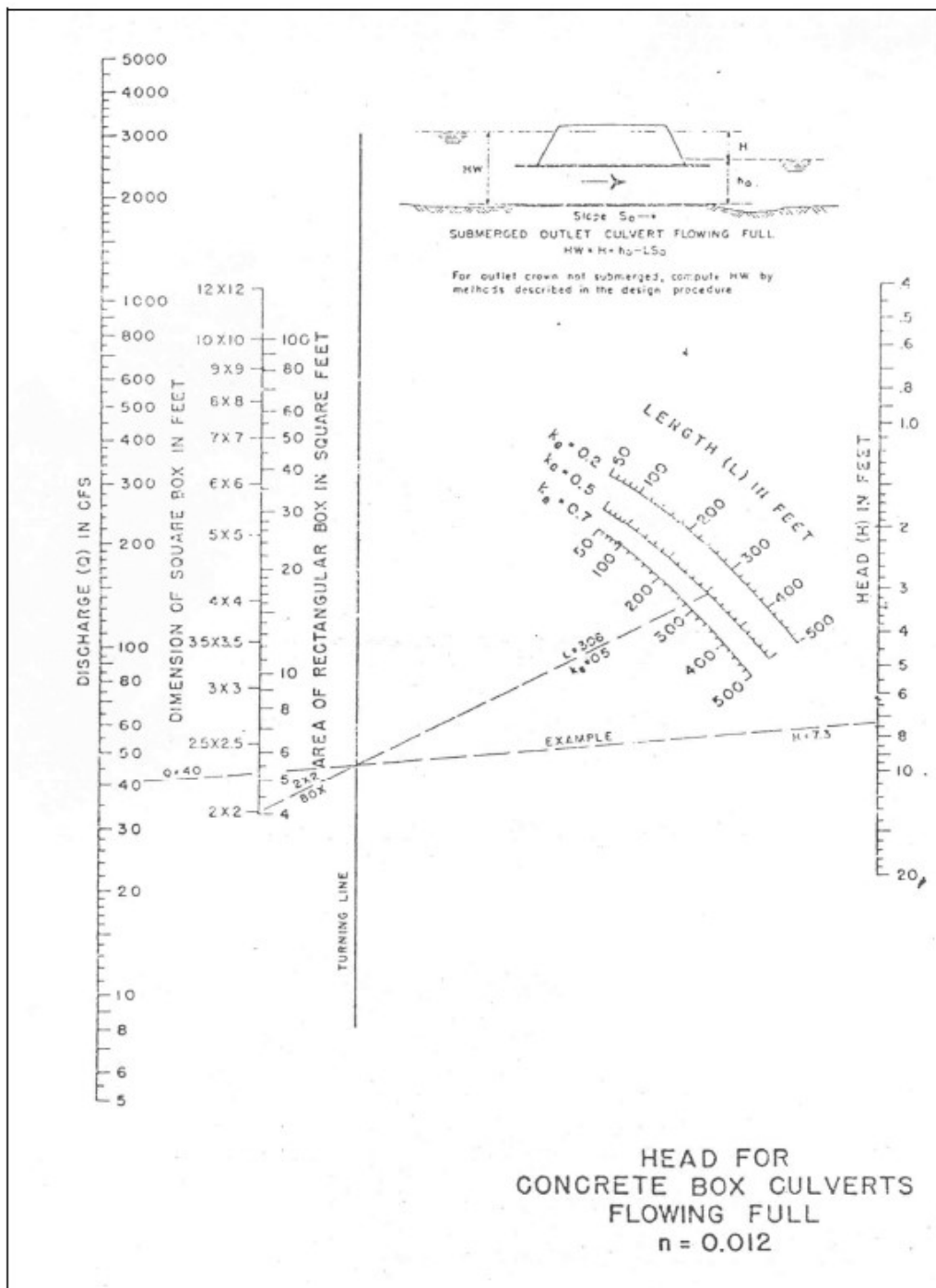


Figura 13 - Verifica del riempimento di tombini scatolari con controllo da valle (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	25 di 41

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna e il tirante all'imbocco e allo sbocco. Nell'analisi delle strutture di progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell'immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla.) o l'altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle. A questo scopo è stata definita la sezione del canale con sezione geometrica trapezia ricavata ove possibile dal rilievo celerimetrico e aerofotogrammetrico.

Il calcolo del moto uniforme si basa sulla formula di Manning:

$$v = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

dove

- v (m/s) è la velocità media della corrente;
- R (m) è il raggio idraulico;
- S è la pendenza della linea dell'energia
- n ($m^{-1/3}s$), è il coefficiente di scabrezza dipendente dalle caratteristiche dell'alveo: nel caso in questione di canali in terra o rivestiti in materassi tipo Reno si adotta un valore pari a 0.030. Per i tombini che presentano un fondo interrato si prende per precauzione un $n=0.030$.

7 VERIFICA DEI TOMBINI

A seguito dell'analisi dei rilievi dei tombini storici non risultano opere di attraversamento con funzionamento a sifone per cui tutte le opere, hanno l'estradosso a quota ragionevolmente superiore al piano campagna; tale disposizione implica che, in questa zona a debolissima pendenza, il deflusso delle acque avvenga all'interno delle opere esistenti in condizioni di pelo libero.

Si effettuano due tipi di verifiche:

- moto uniforme: si verifica che la sezione della nuova opera sia compatibile con quella esistente. Si stima la portata defluente nella sezione esistente al suo massimo riempimento pari al 70% in condizioni di moto uniforme in ottemperanza al manuale di progettazione ferroviaria; tale portata dovrà essere smaltita dalla nuova opera in stesse condizioni di moto anch'essa soddisfacendo le prescrizioni ferroviarie.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RIID0002002	REV. A PAG. 26 di 41

- moto permanente: a seguito della verifica in moto uniforme si effettua la verifica in moto permanente per i prolungamenti a monte dell'opera e per i nuovi tombini; si verifica che con il valore di portata stimato sul canale in ingresso non generi fenomeni di rigurgito a monte provocati dall'opera esistente tali da mandare in pressione la nuova opera. Non sono soggetti a verifica i tombini di trasparenza e i tombini di modeste dimensioni (base e altezza inferiori a 1.50m) risolti con attraversamenti circolari con $DN \leq 1500$ a meno di diverse indicazioni. Per ragioni strutturali (minimo ricoprimento sull'estradosso del tombino) non è stato possibile inserire i tombini in maniera tale che siano allineati i fondi dell'opera esistente con quella di progetto; questa necessità è tale che non sempre si riesce a soddisfare la prescrizione di massimo riempimento pari al 70%. Per tale motivo la verifica in modo permanente è mirata al controllo che il deflusso avvenga sempre a pelo libero e mai in pressione.

7.1 Verifica moto uniforme

Progressiva (Km)	Tipologia Tombino Esistente	Larghezza (m)	Altezza (m)	Pendenza (%)	Portata max esistente (m³/s)	Lato Intervento	Tipo Opera	Base (m)	Altezza (m) DN (mm)	Portata max nuova opera (m³/s)
11+842.50*	ARCO	1.00	1.40	0.10%	0.49	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
11+903.13*	ARCO	1.50	1.30	0.10%	0.79	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
11+917.68	PORTALE	4.00	1.00	0.10%	1.89	SX	PORTALE	6.00	2.00	8.50
12+127.99*	ARCO	1.26	0.86	0.10%	0.36	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+169.57*	ARCO	0.98	0.66	0.10%	0.18	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+285.20*	ARCO	1.20	0.70	0.10%	0.26	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+502.66*	ARCO	1.10	1.00	0.10%	0.37	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+508.17	ARCO	1.76	1.63	0.10%	1.31	SX	SCATOLARE	2.00	2.00	2.04
12+530.40	SCATOLARE	2.60	1.50	0.10%	1.98	SX	SCATOLARE	3.00	2.00	3.53
12+538.02*	ARCO	1.00	1.50	0.10%	0.53	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+933.08*	ARCO	1.00	1.85	0.10%	0.68	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
12+967.97*	ARCO	1.20	0.85	0.10%	0.33	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
13+572.26	ARCO	1.80	2.15	0.10%	1.93	SX	SCATOLARE	2.00	2.50	2.70
13+698.14	ARCO	1.60	1.00	0.10%	0.61	SX	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
13+705.72	SCATOLARE	3.00	3.00	0.10%	6.01	SX	SCATOLARE	3.00	3.00	6.01
14+107.23	ARCO	4.30	1.50	0.10%	3.73	SX	SCATOLARE	4.50	1.50	3.95
14+237.87	SCATOLARE	2.60	2.00	0.10%	2.92	SX	SCATOLARE	3.00	2.00	3.53
14+481.25*	ARCO	0.83	1.00	0.10%	0.25	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
14+563.13*	ARCO	1.49	1.10	0.10%	0.63	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
14+639.56	SCATOLARE	3.00	1.10	0.10%	1.54	SX	SCATOLARE	3.00	1.50	2.38
14+667.95	PORTALE	3.40	1.20	0.10%	2.03	SX	PORTALE	6.00	2.00	8.50

Progressiva (Km)	Tipologia Tombino Esistente	Larghezza (m)	Altezza (m)	Pendenza (%)	Portata max esistente (m³/s)	Lato Intervento	Tipo Opera	Base (m)	Altezza (m) DN (mm)	Portata max nuova opera (m³/s)
14+682.40*	SCATOLARE	0.70	0.90	0.10%	0.17	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
15+192.34*	ARCO	1.50	0.90	0.10%	0.48	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
15+423.83	ARCO	2.60	0.80	0.10%	0.81	sx	SCATOLARE	2.50	1.50	1.88
15+487.23	ARCO	2.80	1.90	0.10%	3.01	sx	PORTALE	6.00	2.50	11.71
15+710.39*	ARCO	0.93	1.50	0.10%	0.48	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
15+716.90*	ARCO	1.50	1.30	0.10%	0.79	sx	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
15+778.76*	CIRCOLARE	Ø500	-	0.10%	0.06	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
15+816.81	PORTALE	3.30	1.40	0.10%	2.44	sx	PORTALE	6.00	2.00	8.50
16+376.96*	ARCO	1.36	1.16	0.10%	0.59	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
16+384.21*	ARCO	1.35	1.43	0.10%	0.77	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
16+394.20*	SCATOLARE	0.90	0.92	0.10%	0.25	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
16+695.97*	ARCO	0.95	1.30	0.10%	0.42	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
16+795.71*	ARCO	0.99	0.75	0.10%	0.22	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
16+850.93	SCATOLARE	3.00	1.00	0.10%	1.34	sx	SCATOLARE	3.00	1.50	2.38
17+145.17*	ARCO	1.20	1.05	0.10%	0.44	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
17+157.87	SCATOLARE	1.20	1.5	0.10%	0.69	sx	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
19+792.45	ARCO	2.25	1.98	0.10%	2.37	sx	SCATOLARE	2.50	2.00	2.77
19+985.00	ARCO	1.45	1.60	0.10%	0.98	nuovo	SCATOLARE	3.00	2.00	3.53
20+358.65	SCATOLARE	3.00	1.70	0.10%	2.83	dx	PORTALE	6.00	2.00	8.50
21+466.27*	SCATOLARE	1.00	1.50	0.10%	0.53	sx e dx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
21+782.70	SCATOLARE	2.00	1.40	0.10%	1.28	sx	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
21+800.67*	SCATOLARE	1.00	0.70	0.10%	0.20	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
22+040.60	SCATOLARE	3.00	1.50	0.10%	2.38	sx	PORTALE	6.00	2.00	8.50
22+158.19*	SCATOLARE	0.80	1.15	0.10%	0.28	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
22+460.00	SCATOLARE	0.80	0.80	0.10%	0.18	nuovo	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
22+545.00	SCATOLARE	1.00	0.60	0.10%	0.16	nuovo	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
22+791.50	SCATOLARE	2.20	1.27	0.10%	1.27	sx	SCATOLARE	2.50	1.50	1.88
22+808.96*	SCATOLARE	0.80	1.15	0.10%	0.28	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
23+210.36*	ARCO	0.55	0.85	0.10%	0.11	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
23+313.48	SCATOLARE	1.90	2.30	0.10%	2.26	sx	SCATOLARE	2.00	2.50	2.70
23+521.24*	SCATOLARE	0.60	1.00	0.10%	0.15	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
23+716.66	ARCO	1.20	1.80	0.10%	0.87	sx	SCATOLARE**	4.00	2.00	5.13
23+718.66	ARCO	0.50	0.75	0.10%	0.08	sx	SCATOLARE***	4.00	2.00	1.90
23+759.70	ARCO	1.50	1.70	0.10%	1.11	sx	SCATOLARE	2.00	2.00	1.90
23+830.46*	SCATOLARE	0.60	1.10	0.10%	0.17	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
23+989.16*	SCATOLARE	0.60	1.20	0.10%	0.19	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
24+122.75	SCATOLARE	2.00	1.00	0.10%	0.81	sx	SCATOLARE	2.00	1.50	1.40
24+308.67*	SCATOLARE	1.20	0.67	0.10%	0.24	sx	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
24+311.62	SCATOLARE	2.60	1.40	0.10%	1.80	sx	SCATOLARE	3.00	2.00	3.53

PROGETTO DEFINITIVO

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA
QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA
FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI
FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	28 di 41

Progressiva (Km)	Tipologia Tombino Esistente	Larghezza (m)	Altezza (m)	Pendenza (%)	Portata max esistente (m³/s)	Lato Intervento	Tipo Opera	Base (m)	Altezza (m) DN (mm)	Portata max nuova opera (m³/s)
25+139.82*	SCATOLARE	0.70	0.90	0.10%	0.17	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
25+197.17	SCATOLARE	2.50	1.20	0.10%	1.38	SX	SCATOLARE	2.50	1.50	1.88
25+279.90*	SCATOLARE	0.60	0.80	0.10%	0.12	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
25+577.19*	SCATOLARE	1.00	1.50	0.10%	0.53	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
25+779.89*	SCATOLARE	1.50	1.00	0.10%	0.56	SX	CIRCOLARE	DN	1500	1.14
26+239.85*	ARCO	1.65	2.00	0.10%	1.56	SX	SCATOLARE	2.00	2.00	2.04

*tombini di trasparenza e/o di modeste dimensioni

**la sezione utile al deflusso è pari a 1.90x2.00 (canna del tombino 4.00x2.00 con setto centrale con spessore 10cm)

	PROGETTO DEFINITIVO					
	POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	29 di 41

7.2 Verifica moto permanente: tombini

POSIZIONE		OPERA DI PROGETTO					OPERA ESISTENTE			GRANDEZZE IDRAULICHE										
Progressiva (Km)	Lato intervento	Tipo	Base (m)	Altezza (m)	Δ fondo opera di progetto e esistente (m)	Riempimento (%)	Tipo	Base (m)	Altezza (m)	Portata (m³/s)	Quota di monte (m)	Tirante in ingresso (m)	Riempimento (%)	Altezza moto uniforme (m)	Altezza critica (m)	Tirante in uscita (m)	Velocità in uscita (m/s)	Tirante di valle (m)	Velocità di valle (m/s)	Quota di valle (m/s)
11+917.68	SX	PORTALE	6.00	2.00	1.00	87%	PORTALE	4.00	1.00	3.40	93.18	0.98	98%	0.80	0.42	0.87	1.08	0.87	0.80	93.05
12+508.17	SX	SCATOLARE	2.00	2.00	0.47	61%	ARCO	1.76	1.63	4.18	93.13	1.44	88%	1.64	0.76	0.94	2.23	0.94	1.13	92.61
12+530.40	SX	SCATOLARE	3.00	2.00	0.50	63%	SCATOLARE	2.60	1.50	5.45	93.07	1.26	84%	1.33	0.70	0.94	1.93	0.94	1.17	92.72
13+572.26	SX	SCATOLARE	2.00	2.50	0.00	40%	ARCO	1.80	2.15	4.90	89.86	1.73	80%	1.80	0.91	1.01	2.69	1.01	0.88	89.12
13+698.14	SX	SCATOLARE	2.00	1.50	0.00	44%	ARCO	1.60	1.00	1.61	89.24	0.90	90%	0.76	0.47	0.66	1.52	0.66	0.66	88.97
13+705.72	SX	SCATOLARE	3.00	3.00	0.00	28%	SCATOLARE	3.00	3.00	4.05	89.41	1.03	34%	0.53	0.57	0.85	1.58	0.85	0.81	89.20
14+107.23	SX	SCATOLARE	4.50	1.50	0.00	66%	ARCO	4.30	1.50	5.25	90.29	1.14	76%	0.55	0.54	0.99	1.28	0.99	0.88	90.12
14+237.87	SX	SCATOLARE	3.00	2.00	0.00	69%	SCATOLARE	2.60	2.00	7.10	90.01	1.76	88%	1.02	0.91	1.38	2.00	1.38	1.18	89.61
14+639.56	SX	SCATOLARE	3.00	1.50	0.40	82%	SCATOLARE	3.00	1.10	3.35	89.53	1.09	99%	1.10	0.50	0.90	1.36	0.90	0.95	89.32
14+667.95	SX	PORTALE	6.00	2.00	0.80	87%	PORTALE	3.40	1.20	4.35	89.76	1.17	98%	1.20	0.55	1.04	1.23	1.03	1.02	89.62
15+423.83	SX	SCATOLARE	2.50	1.50	0.73	87%	ARCO	2.50	0.80	0.76	90.78	0.67	84%	0.42	0.21	0.67	0.46	0.67	0.68	90.76
15+487.23	SX	PORTALE	6.00	2.50	0.59	85%	ARCO	2.50	1.90	4.60	89.76	1.75	92%	1.25	0.70	1.63	1.19	1.63	1.08	89.62
15+816.81	SX	PORTALE	6.00	2.00	0.00	46%	PORTALE	3.30	1.40	3.50	90.32	1.05	75%	0.84	0.49	0.92	1.15	0.92	0.96	90.17
16+850.93	SX	SCATOLARE	3.00	1.50	0.50	71%	SCATOLARE	3.00	1.00	1.52	89.18	0.77	77%	0.59	0.30	0.71	0.81	0.71	0.67	89.10
19+792.45	SX	SCATOLARE	2.50	2.00	0.00	67%	ARCO	2.25	1.98	6.61	88.22	1.83	92%	2.00	0.96	1.33	2.24	1.33	1.30	87.70
19+985.00	NUOVO	SCATOLARE	3.00	2.00	0.00	50%	ARCO	1.45	1.60	3.24	88.21	1.01	65%	39%	0.49	0.94	1.14	0.94	1.00	88.10
20+358.65	DX	PORTALE	6.00	2.00	0.30	83%	SCATOLARE	3.00	1.70	5.78	88.31	1.41	83%	1.70	0.72	0.99	1.98	0.99	1.11	87.86
21+782.70	SX	SCATOLARE	2.00	1.50	0.00	57%	SCATOLARE	2.00	1.40	2.44	85.81	1.01	72%	0.88	0.49	0.85	1.27	0.85	1.00	85.63
22+040.60	SX	PORTALE	6.00	2.00	0.50	70%	SCATOLARE	3.00	1.50	4.10	85.60	1.23	82%	1.08	0.58	1.05	1.37	1.05	0.86	85.40

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA
 QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA
 FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI
 FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	30 di 41

POSIZIONE		OPERA DI PROGETTO					OPERA ESISTENTE			GRANDEZZE IDRAULICHE										
Progressiva (Km)	Lato intervento	Tipo	Base (m)	Altezza (m)	Δ fondo opera di progetto e esistente (m)	Riempimento (%)	Tipo	Base (m)	Altezza (m)	Portata (m³/s)	Quota di monte (m)	Tirante in ingresso (m)	Riempimento (%)	Altezza moto uniforme (m)	Altezza critica (m)	Tirante in uscita (m)	Velocità in uscita (m/s)	Tirante di valle (m)	Velocità di valle (m/s)	Quota di valle (m/s)
22+460.00	NUOVO	SCATOLARE	2.00	1.50	0.00	53%	SCATOLARE	0.80	0.80	1.10	85.98	0.79	99%	0.26	0.31	0.80	0.69	0.80	0.60	85.94
22+545.00	NUOVO	SCATOLARE	2.00	1.50	0.00	54%	SCATOLARE	1.00	0.60	0.87	86.10	0.81	135%	0.22	0.27	0.84	0.52	0.84	0.57	86.08
22+791.50	SX	SCATOLARE	2.50	1.50	0.23	52%	Scatolare	2.20	1.27	1.21	86.18	0.73	57%	0.58	0.32	0.66	0.85	0.66	0.84	86.09
23+313.48	SX	SCATOLARE	2.00	2.50	0.20	66%	Scatolare	1.90	2.30	4.71	86.86	1.69	73%	0.98	0.83	1.52	1.55	1.52	0.93	86.67
23+716.66	SX	SCATOLARE	1.90	2.00	0.20	37%	Arco	1.20	1.80	0.86	84.60	0.78	43%	0.62	0.38	0.67	1.08	0.67	0.60	84.46
23+718.66	SX	SCATOLARE	1.90	2.00	0.39	35%	Arco	0.50	0.75	0.31	84.70	0.70	93%	0.75	0.34	0.56	1.11	0.56	0.47	84.54
24+122.75	SX	SCATOLARE	2.00	1.50	0.00	31%	Scatolare	2.00	1.00	0.67	84.16	0.52	52%	0.40	0.23	0.47	0.78	0.47	0.53	84.08
24+311.62	SX	SCATOLARE	3.00	2.00	0.15	64%	Scatolare	2.60	1.40	4.11	85.57	1.37	98%	1.13	0.64	1.19	1.37	1.19	0.88	85.37
25+197.17	SX	SCATOLARE	2.50	1.50	0.40	95%	Scatolare	2.50	1.20	2.74	84.60	1.17	97%	0.99	0.50	1.04	1.13	1.04	0.74	84.45

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLCAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	31 di 41

7.3 Verifica moto permanente: ponti

			OPERA DI PROGETTO				OPERA ESISTENTE				
Progressiva (Km)	Canale	Lato intervento	Tipo	Lunghezza campata (m)	Quota intradosso (m)	Franco (m)	Tipo	Base (m)	Altezza (m)	Quota intradosso (m)	Franco (m)
11+817.66 11+831.66	VI03 - ROGGIA SPEZIANA	VALLE	PONTE	14.00	93.77	1.65	Ponte ad arco	5.00	2.55	93.05	0.55
14+251.00 14+263.00	VI04 - ROGGIA COLOMBANA	VALLE	PONTE	14.00	92.01	2.13	Ponte ad arco	6.00	1.75	90.31	0.25
14+851.88 14+861.88	VI05 - ROGGIA CARLESCA	VALLE	PONTE	20.00	90.30	2.30	Ponte ad arco	4.70	1.79	89.39	0.08
15+734.03 15+764.89	VI06 - CAVO BORROMEO 1°	VALLE	PONTE	16.00	3.00	92.46	Ponte ad arco	5.80	2.50	90.07	-0.14
15+734.03 15+764.89	VI37 - CAVO BORROMEO 2°	VALLE	PONTE	14.00	3.00	92.46	Ponte ad arco	5.80	2.50	90.14	-0.04
GRANDEZZE IDRAULICHE											
Canale	Portata (m³/s)	Quota pelo libero di monte (m)	Quota livello energetico di monte (m)	Tirante in ingresso (m)	Altezza moto uniforme (m)	Tirante in uscita (m)	Velocità in uscita (m/s)	Tirante di valle (m)	Velocità di valle (m/s)	Quota pelo libero di valle (m/s)	
PONTE ROGGIA SPEZIANA	11.0	92.50	92.69	2.35	1.76	1.15	1.91	1.15	1.24	92.12	
PONTE ROGGIA COLOMBANA	9.57	90.06	90.14	1.48	1.75	1.30	1.29	1.29	0.93	89.88	
PONTE ROGGIA CARLESCO	11.03	89.31	89.46	1.71	1.79	1.40	1.71	1.40	0.97	89.00	
PONTE CAVO BORROMEO 1°	6.62	90.21	90.32	1.30	1.15	1.05	1.47	1.05	0.83	89.96	
PONTE CAVO BORROMEO 2°	6.62	90.18	90.28	1.27	1.22	1.05	1.41	1.05	0.83	89.96	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	32 di 41

8 NAVIGLIO PAVESE

Per il Naviglio Pavese è stato sviluppato un modello in moto permanente tramite il software Hec Ras.

L'andamento planimetrico del Naviglio Pavese, il suo profilo d'asta e le sezioni trasversali necessarie alla definizione del modello matematico di simulazione idraulica sono stati ricavati dalla cartografia disponibile aggiornata ed integrata con rilievi di campagna.

Il modello matematico è stato costruito a partire dal rilievo di 2 sezioni trasversali, che hanno interessato complessivamente un tratto di canale di circa 100m.

Tale delimitazione dell'area oggetto della simulazione trova giustificazione nella presenza, di un tratto di canale dall'andamento plano-altimetrico piuttosto regolare e di lunghezza tale che sia lecito ritenere che vi si possano instaurare condizioni di moto uniforme. Le pendenze di questi due tratti di monte e valle, rispettivamente, sono pari a circa 0.0002m/m.

Pertanto, le condizioni al contorno utilizzate per le simulazioni sono appunto quelle corrispondenti alle condizioni di moto uniforme sia a monte sia a valle del tratto studiato.

Per quanto riguarda il calcolo delle resistenze al moto sono stati adottati come coefficienti di scabrezza di Manning i valori $n_{ai} = 0.014 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ per l'alveo inciso e $n_g = 0.040 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ per le golene, che peraltro, nella simulazione svolta non sono mai state interessate da deflusso idrico.

La scelta del valore sopra indicato per il coefficiente di Manning è dovuta alla natura artificiale dell'alveo costituito da un canale in cemento armato largo circa 12m e alto circa 2m.

Da queste 2 sezioni rilevate sono state interpolate altre 4 sezioni ogni 20m circa e sono stati inseriti il ponte esistente e di progetto; infine sono state effettuate le simulazioni ante e post operam e confrontate.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico ove si evidenziano le sezioni utilizzate per lo studio idraulico.

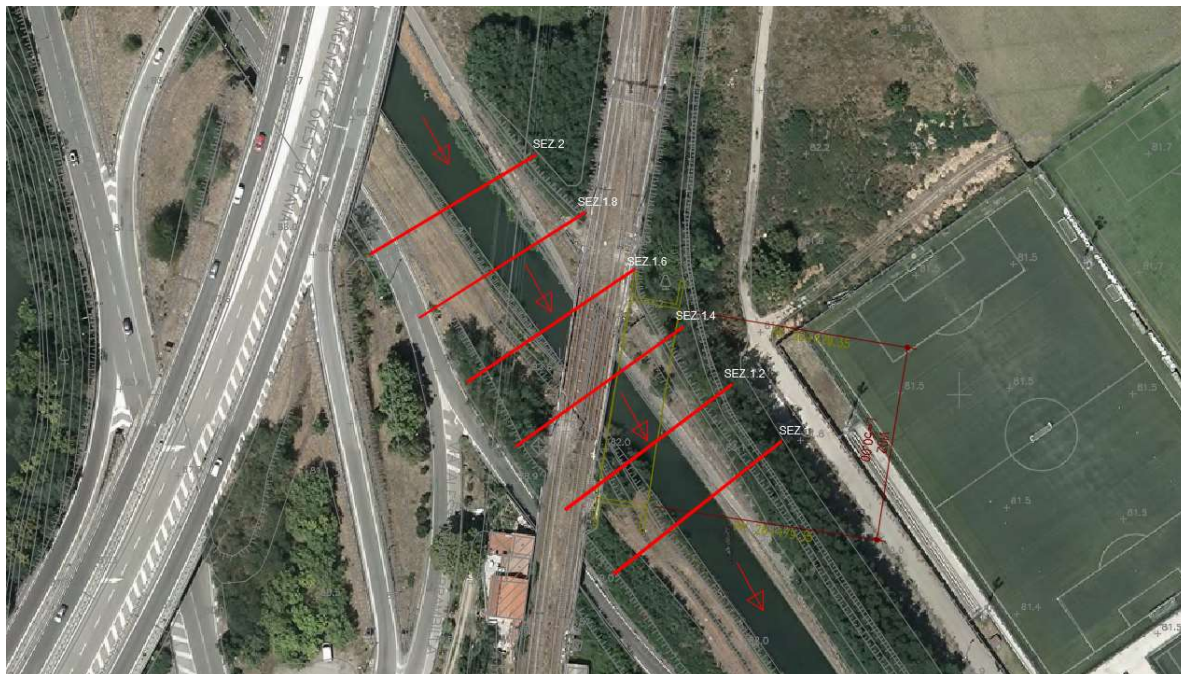


Figura 14 – Localizzazione modello Hec Ras Naviglio Pavese

Effettuate simulazioni ante operam e post operam si confrontano i due profili che risultano identici; poiché l'attraversamento di progetto non interessa minimamente il deflusso dell'acqua esso rimane indisturbato a seguito dell'inserimento dell'opera di progetto.

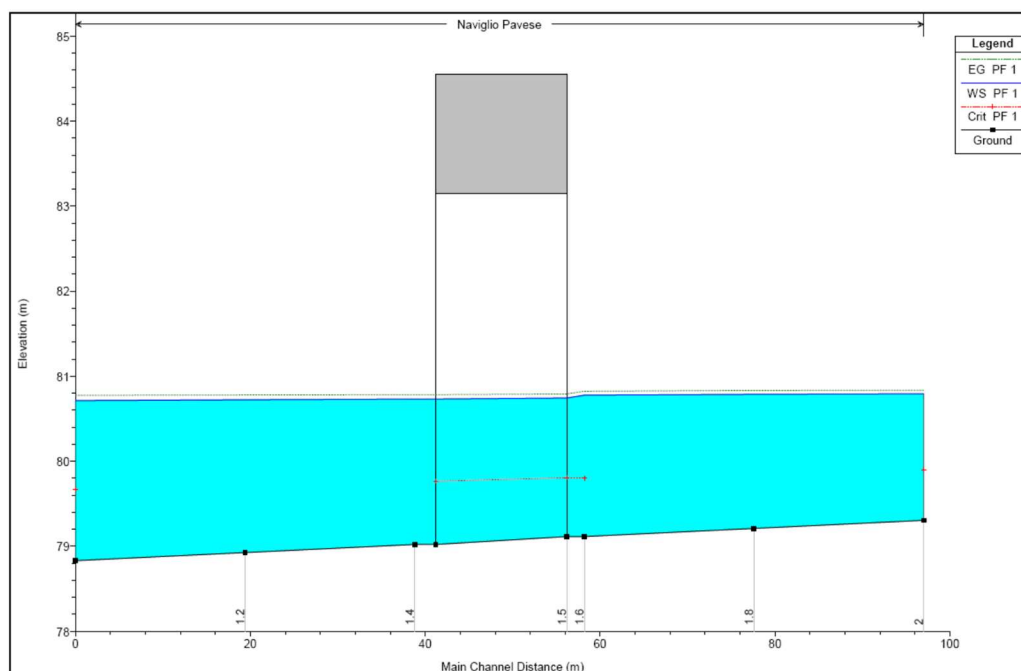


Figura 15 – Profilo ante operam

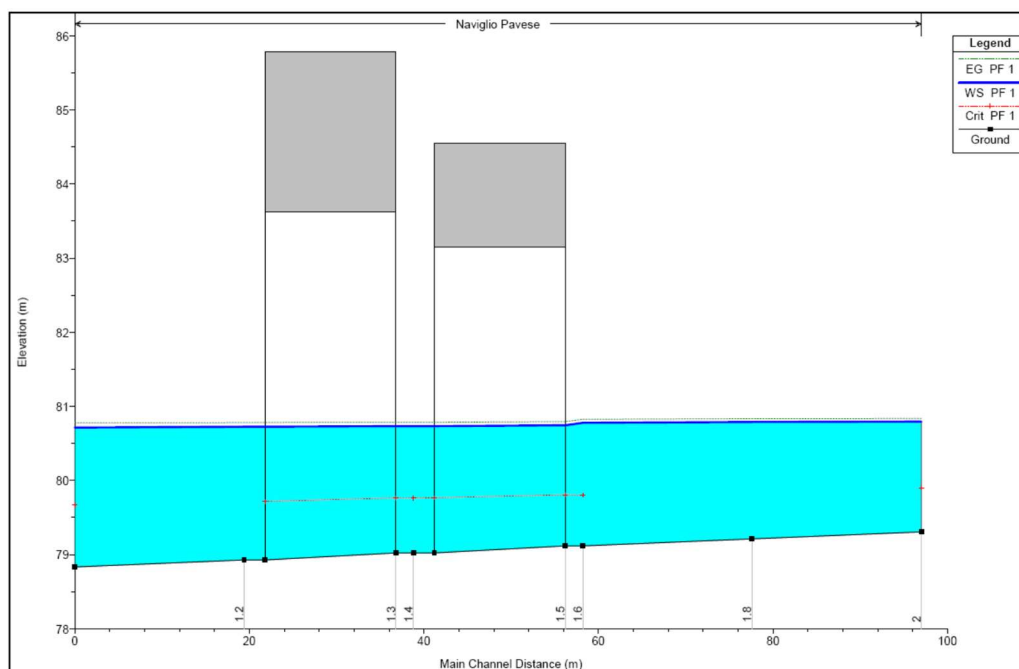


Figura 16 – Profilo post operam

Si confrontano di seguito la sezione del ponte di progetto ante post operam:

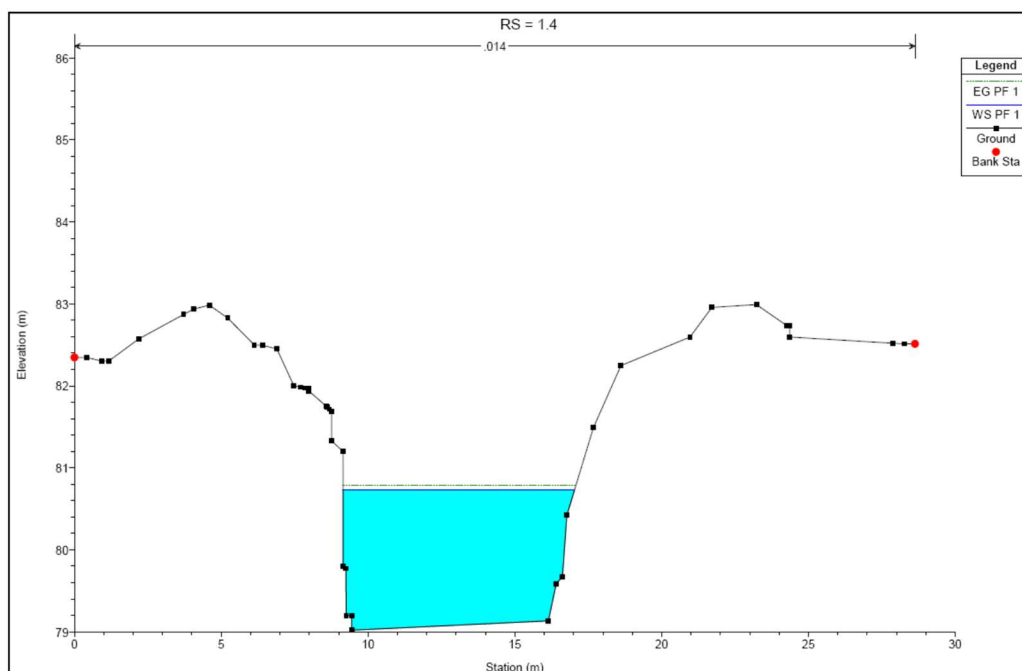


Figura 17 – Sezione in corrispondenza del ponte di progetto ante operam

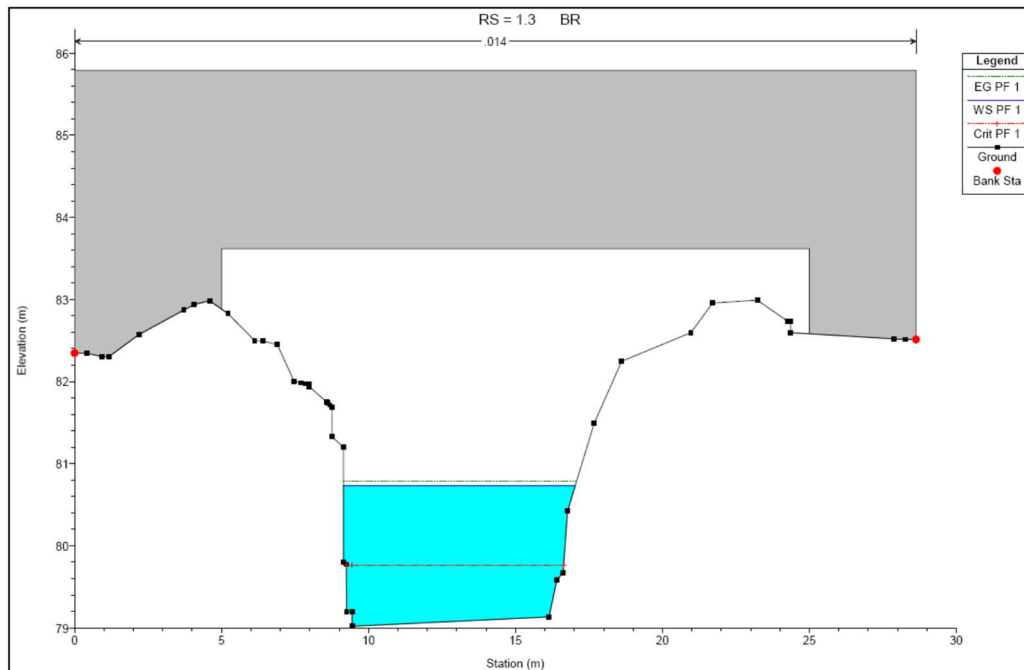


Figura 18 – Sezione in corrispondenza del ponte di progetto post operam

Infine si riportano le tabelle con le grandezze idrauliche delle due simulazioni che risultano perfettamente uguali.

Naviglio Pavese Ante Operam

Reach	River	Q Total	Max Chl Depth	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
Naviglio	station	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	-
Pavese	2	12.30	1.49	79.31	80.79	80.84	0.00017	0.91	13.46	11.43	0.27
Pavese	1.8	12.30	1.58	79.21	80.79	80.83	0.00014	0.93	13.21	9.15	0.25
Pavese	1.6	12.30	1.66	79.12	80.78	80.82	0.01466	0.95	12.90	8.54	0.25
Pavese	-	12.30	Ponte esistente								
Pavese	1.4	12.30	1.71	79.02	80.73	80.78	0.00016	1.01	12.22	7.88	0.26
Pavese	1.2	12.30	1.80	78.92	80.72	80.78	0.00018	1.05	11.76	7.23	0.26
Pavese	1	12.30	1.88	78.83	80.71	80.78	0.00020	1.10	11.16	6.56	0.27

Naviglio Pavese Post Operam

Reach	River	Q Total	Max Chl Depth	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
Naviglio	station	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	-
Pavese	2	12.30	1.49	79.31	80.79	80.84	0.00017	0.91	13.46	11.43	0.27
Pavese	1.8	12.30	1.58	79.21	80.79	80.83	0.00014	0.93	13.21	9.15	0.25
Pavese	1.6	12.30	1.66	79.12	80.78	80.82	0.01466	0.95	12.90	8.54	0.25
Pavese	-	12.30	Ponte esistente								
Pavese	1.4	12.30	1.71	79.02	80.73	80.78	0.00016	1.01	12.22	7.88	0.26
Pavese	-	12.30	Ponte di progetto								
Pavese	1.2	12.30	1.80	78.92	80.72	80.78	0.00018	1.05	11.76	7.23	0.26
Pavese	1	12.30	1.88	78.83	80.71	80.78	0.00020	1.10	11.16	6.56	0.27

9 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Di seguito viene analizzata sia la compatibilità idraulica dell'opera di attraversamento in progetto con il territorio che la sicurezza del corpo ferroviario identificando in termini di funzionalità e sicurezza.

Le nuove infrastrutture che interferiscono con il reticolo irriguo devono soddisfare le prescrizioni previste dalle diverse normative vigenti; in particolare gli strumenti normativi a cui si fa riferimento sono:

- *Norme di Attuazione – Direttive di Piano PAI Fiume Po (NTA)*
- *Manuale di Progettazione Ferroviaria 2018 (MdP)*
- *Norme Tecniche Costruttive 2008 (NTC)*

9.1 Norme di Attuazione – PAI Fiume PO

La normativa fluviale che va adottata per la verifica dei cavi irrigui interessati è contenuta nelle Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Bacino del Fiume Po ed in particolare nella direttiva n°4, *'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 deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999 - aggiornata con deliberazione con delibera dell'Autorità di Bacino n.10 del 5 aprile 2006 già n.2/99).

La Direttiva n°4 allegata alle Norme di Attuazione del PAI, in merito al tempo di ritorno della piena di progetto per le verifiche idrauliche del viadotto impone una portata corrispondente ad un $Tr=200$ anni (corrispondente con quello assunto per la delimitazione della fascia B).

Si fa riferimento in particolare al paragrafo 3.2. *"Criteri di compatibilità idraulica per i ponti e i rilevati di accesso in progetto"* prevedono in particolare per il franco idraulico al punto 3.2.2 che *"...Il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve*

essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m. Il valore del franco deve essere assicurato per almeno i 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia rettilineo e comunque per almeno 40m, nel caso di luci superiori a tale valore. Nel caso di corsi d'acqua arginati, la quota del ponte deve essere superiore a quella della sommità arginale... ”.

Al punto 3.2.3 *Posizionamento del ponte rispetto all'alveo* si precisa che:

“L'insieme delle opere costituenti l'attraversamento non deve comportare condizionamenti al deflusso della piena e indurre modificazioni all'assetto morfologico dell'alveo. L'orientamento delle pile (ed eventualmente delle spalle) deve essere parallelo al filone principale della corrente.

In particolare devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- *per i corsi d'acqua arginati la spalla del ponte deve essere sul lato campagna, a una distanza minima di 10 m dal piede dell'argine maestro; lo stesso limite vale per il caso siano presenti pile sul lato campagna; sul lato fiume la posizione delle pile deve essere al di fuori del petto dell'argine; in via eccezionale la pila può interessare il corpo arginale, purché non intacchi il nucleo centrale dell'argine stesso e sia integrata con opportuni accorgimenti di difesa e di rivestimento;*
- *per i corsi d'acqua non arginati le pile e le spalle devono essere poste al di fuori delle sponde incise dell'alveo; in via eccezionale la pila può interessare la sponda, purché sia integrata con opportuni accorgimenti di difesa e di rivestimento;*
- *nei casi in cui il ponte sia inserito in un tratto di corso d'acqua interessato da altre opere di attraversamento poste in adiacenza, a monte o a valle, è necessario che le pile in alveo (ed eventualmente le spalle) siano allineate con quelle esistenti in modo che le pile presenti, considerate congiuntamente, non riducano la luce effettiva disponibile, anche ai fini del rischio di ostruzione da parte del materiale trasportato in piena;*
- *la struttura deve consentire il mantenimento della continuità della pista di servizio in fregio al corso d'acqua ovvero sul rilevato arginale.”*

9.2 Manuale di Progettazione Ferroviaria

Il Manuale di Progettazione Ferroviaria distingue tra attraversamenti di corsi d'acqua principali e secondari a seconda che il bacino afferente agli attraversamenti sia superiore o inferiore ai 10 km². Per i suddetti attraversamenti nella *Parte II – Sezione 3* al punto 3.7.2.1.4 a) si prevede che:

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	38 di 41

“Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno Tr :

[...]

Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $Tr = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$.*
 - linea ferroviaria $Tr = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$.*
- (essendo S la superficie del bacino)”*

Per gli attraversamenti principali, il MdP al punto 3.7.2.2.1 prevede che:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.50 m sul livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento*
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;*
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*
- Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.*

Il MdP in materia di attraversamenti dei corsi d'acqua prescrive che per i canali irrigui risolti con un ponte si faccia riferimento ad un tempo di ritorno non inferiore a 200 anni.

9.3 Le Norme Tecniche Costruttive 2008 (NTC)

Le norme Tecniche Costruttive 2008 al punto 5.1.2.4 prescrivono che la nuova struttura di attraversamento deve essere rapportata ad un evento di progetto con $Tr=200$ anni.

“...La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI – COMPATIBILITA' IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	NM0Z	20	D26	RIID0002002	A	39 di 41

referita ad un periodo di ritorno non inferiore a 200 anni...”

In particolare la distanza tra la quota idrometrica relativa alla piena in esame e la quota di intradosso del ponte in progetto deve essere superiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore ad 1.50 m.

9.4 Verifiche prescrizioni AdB PO, Manuale di Progettazione Ferroviaria e NTC 2018

L'analisi idraulica svolta ha permesso di individuare le condizioni di deflusso ed i livelli idrici in corrispondenza delle opere maggiori di attraversamento ferroviari di progetto, nell'ambito della progettazione del quadruplicamento della linea MI-GE tratta Milano Rogoredo – Pieve Emanuele.

In particolare è stato verificato che i deflussi di progetto verifichino rispettivamente le norme del PAI, le prescrizioni ferroviarie del MdP e le NTC. Come già precedentemente illustrato, non potendo definire delle portate relative ad eventi meteorici con un determinato tempo di ritorno si farà riferimento alla massima portata transitabile secondo i criteri stabiliti

- **PAI - portata di piena con 200 anni di tempo di ritorno:** si verifica che la distanza tra la quota idrometrica relativa alla piena in esame e la quota di intradosso del ponte in progetto sia superiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore ad 1.00 m.
- **Manuale di Progettazione Ferroviaria - portata di piena con 300 anni di tempo di ritorno:** si verifica che la distanza tra la quota del carico idraulico totale e l'intradosso dell'impalcato del nuovo ponte sia superiore a 0.50 m. e non inferiore a 1.00m dal livello idrico per l'evento di piena con $T_r=300$ anni.
- **NTC 2008 - portata di piena con 200 anni di tempo di ritorno:** si verifica che la distanza tra la quota idrometrica relativa alla piena in esame e la quota di intradosso del ponte in progetto sia superiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore ad 1.50 m.

La tabella seguente mostra il livello idrico in corrispondenza del ponte di progetto considerando il rigurgito generato dall'opera esistente tramite verifica in moto permanente con il software HY-8 :

Opera	Canale irriguo	Portata massima	Quota livello idrico	Quota carico totale	Quota intradosso impalcato	Franco rispetto al pelo libero	Franco rispetto al carico totale
-------	----------------	-----------------	----------------------	---------------------	----------------------------	--------------------------------	----------------------------------

		(m ³ /s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
inizio km 11+817.66 fine km 11+831.66	VI03 - ROGGIA SPEZIANA	11.00	92.12	92.20	93.77	1.65	1.57
inizio km 14+251.00 fine km 14+263.00	VI04 - ROGGIA COLOMBANA	9.57	89.88	89.92	92.01	2.13	2.09
inizio km 14+851.88 fine km 14+861.88	VI05 - ROGGIA CARLESCA	11.03	89.00	89.05	91.30	2.30	2.25
inizio km 15+734.03 fine km 15+750.03	VI06 - CAVO BORROMEO 1°	6.62	89.96	90.00	92.46	2.50	2.46
inizio km 15+750.89 fine km 15+764.89	VI37 - CAVO BORROMEO 2°	6.62	89.96	90.00	92.46	2.50	2.46
inizio km 26+429.35 fine km 26+479.35	VI02 - NAVIGLIO PAVESE	12.3	80.73	80.78	83.62	2.89	2.84

La collocazione del nuovo ponte ferroviario rispetta le prescrizioni indicata dalle norme di attuazione previste dalla ADBPO in merito al franco idraulico; anche le norme progettuali indicate nel manuale di progettazione ferroviaria e nelle NTC sono verificate in ogni situazione attesa.

Risulta più che garantito anche un franco adeguato tra l'intradosso dell'opera di attraversamento e i limiti richiesti.

Le analisi svolte, pur con le cautele legate alle approssimazioni che è stato necessario introdurre nei calcoli, evidenziano le seguenti indicazioni per quanto riguarda il tratto indagato:

- l'attuale sezione d'alveo in corrispondenza dei ponti è adeguata a contenere il deflusso della portata massima defluibile. In ogni caso non si inseriscono elementi di disturbo in alveo rispetto alla situazione attuale.
- l'inserimento dei previsti ponti ferroviari non determina a monte delle strutture alcun mutamento dei livelli idrometrici né a valle dell'attraversamento; le spalle delle nuove opere non sono interessate dal deflusso che avviene indisturbato ricalcando perfettamente la situazione ante operam.

9.5 La compatibilità idraulica delle infrastrutture

I corsi d'acqua nei tratti in esame attraversano aree localmente poco urbanizzate con edifici e fabbricati non a ridosso all'alveo di piena.

Le opere di progetto non creano innalzamenti e non producono scostamenti tra i livelli relativi monte/valle degli attraversamenti esistenti; in pratica non si va ad incrementare l'attuale rischio idraulico in quanto non si rilevano cambiamenti alcuno negli scenari di piena ante opera e post opera.

Alla luce di quanto sopra esposto, le condizioni di rischio idraulico relative sia alla configurazione finale di progetto, sia in relazione all'attuale assetto idraulico del corso d'acqua risultano ammissibili.

Il progetto in esame si ritiene dunque compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la configurazione attuale dei luoghi.

Coerentemente a quanto espresso in merito di compatibilità idraulica dell'opera, l'inserimento della nuova infrastruttura non genera variazioni di rischio idraulico in quanto i due scenari ante e post opera sono essenzialmente sovrapponibili.