

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34H16000620009

U.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE NORD

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE

Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione di compatibilità idraulica e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

SCALA:



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

I Z 0 4 3 0 R 2 6 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Coppa	Giugno 2021	C. Cappellini	Giugno 2021	S. Lo Presti	Giugno 2021	A. Perego Giugno 2021

File: IZ0430R26RIID0002001A

n. Elab.:

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	ELENCO DELLE OPERE MINORI DI PROGETTO	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3	DISPOSIZIONI NORMATIVE.....	7
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	8
4.1	IL BACINO DEL FIUME LEMENE	9
5	ANALISI IDROLOGICA	11
5.1	CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE LSPP.....	11
5.2	RIEPILOGO DEI VALORI ADOTTATI	14
6	CRITERI DI PROGETTO E METODI DI VERIFICA	15
6.1	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA.....	15
6.2	METODI DI VERIFICA DEI TOMBINI IDRAULICI.....	17
6.2.1	HEC-RAS.....	17
6.2.2	HY8.....	21
6.3	VERIFICHE IDRAULICHE	25
6.3.1	TOMBINO IN02 – Risultati HEC-RAS	26
6.3.2	TOMBINI IN01, IN03, IN04, IN05 – Risultati HY8.....	30
7	INVARIANZA IDRAULICA.....	34
7.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	34
7.2	DIMENSIONAMENTO	36
8	DRENAGGIO DI PIATTAFORMA	46
8.1	PORTATE DI PROGETTO.....	46
8.2	DIMENSIONAMENTO IDRAULICO	50

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	2 di 61

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1 INQUADRAMENTO AREA D'INTERVENTO.....	4
FIGURA 1-2 COROGRAFIA DEI BACINI.....	5
FIGURA 3-1 SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI	7
FIGURA 4-1 INQUADRAMENTO VARIANTE PORTOGRUARO.....	8
FIGURA 4-2 DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI	9
FIGURA 4-3 BACINO DEL FIUME LEMENE.....	10
FIGURA 5-1 CONFRONTO LSPP < 1 ORA, TR 200 ANNI.....	12
FIGURA 5-2 CONFRONTO LSPP > 1 ORA, TR 200 ANNI.....	13
FIGURA 6-1 EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA.....	18
FIGURA 6-2 EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO	19
FIGURA 6-3 ESEMPIO DI MOTO CONTROLLATO DALLA SEZIONE DI INGRESSO.....	24
FIGURA 6.4 – ESEMPI DI MOTO CONTROLLATO DA SEZIONI A VALLE DEL TOMBINO.....	24
FIGURA 6-5 PLANIMETRIA STATO ATTUALE	26
FIGURA 6-6 PROFILO STATO ATTUALE.....	27
FIGURA 6-7 PLANIMETRIA DI PROGETTO	28
FIGURA 6-8 PROFILO STATO PROGETTO	29
FIGURA 7-1 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO - VASCA01.....	38
FIGURA 7-2 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO NEI CONFRONTI DELLA VERIFICA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI - VASCA 01.....	39
FIGURA 7-3 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO – VASCA 02.....	40
FIGURA 7-4 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO NEI CONFRONTI DELLA VERIFICA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI - VASCA 02.....	41
FIGURA 7-5 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO – VASCA 03.....	42
FIGURA 7-6 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO NEI CONFRONTI DELLA VERIFICA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI - VASCA 03.....	43
FIGURA 7-7 ANDAMENTO DEI VOLUMI VASCA04	44
FIGURA 7-8 ANDAMENTO DEI VOLUMI D'INVASO NEI CONFRONTI DELLA VERIFICA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI - VASCA 04.....	45
FIGURA 8-1 SEZIONE TIPO.....	46

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1-1 TABELLA OPERE IN PROGETTO	5
TABELLA 3-1 SINTESI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	7
TABELLA 5-1 PARAMETRI IDROLOGICI PER VARIANTE DI PORTOGRUARO.....	14
TABELLA 5-2 VARIAZIONI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE NELL'AREA DI INTERVENTO (ISPRA, 2015)	14
TABELLA 6-1 PORTATE IDROLOGICHE – METODO RAZIONALE	16
TABELLA 6-2 PORTATE IDROLOGICHE INCREMENTATE IN VIRTÙ DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI	16
TABELLA 6-3 VALORI DEL COEFFICIENTE DI MANNING NELLA MODELLAZIONE 1D.....	21
TABELLA 6-4 TABULATI DI CALCOLO - STATO ATTUALE.....	27
TABELLA 6-5 TABULATI DI CALCOLO – STATO DI PROGETTO	29
TABELLA 6-6 VERIFICHE TOMBINI IDRAULICI HY8.....	30
TABELLA 7-1 INPUT VASCA01.....	38
TABELLA 7-2 VERIFICA VASCA 01	38
TABELLA 7-3 VERIFICA VASCA01 CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	39
TABELLA 7-4 INPUT VASCA 02.....	40

Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	3 di 61

TABELLA 7-5 VERIFICA VASCA 02	40
TABELLA 7-6 VERIFICA VASCA02 CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	41
TABELLA 7-7 INPUT VASCA 03.....	42
TABELLA 7-8 VERIFICA VASCA 03	42
TABELLA 7-9 VERIFICA VASCA03 CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	43
TABELLA 7-10 INPUT VASCA04	44
TABELLA 7-11 VERIFICA VASCA04	44
TABELLA 7-12 VERIFICA VASCA04 CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	45
TABELLA 8-1 GEOMETRIA CANALETTE.....	51
TABELLA 8-2 VERIFICA CANALETTE SOLE PIOGGE	51
TABELLA 8-3 VERIFICA CANALETTE CAMBIAMENTI CLIMATICI	52

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Venezia-Trieste ed è riferita al progetto della variante di tracciato di Portogruaro, in particolare si descrivono gli attraversamenti minori della linea e il sistema di smaltimento delle acque meteoriche di piattaforma ferroviaria.

L'inquadramento delle aree in esame dal punto di vista normativo e territoriale consente l'individuazione delle interferenze con i corsi d'acqua maggiori e minori e i relativi strumenti di pianificazione che governano queste aree.

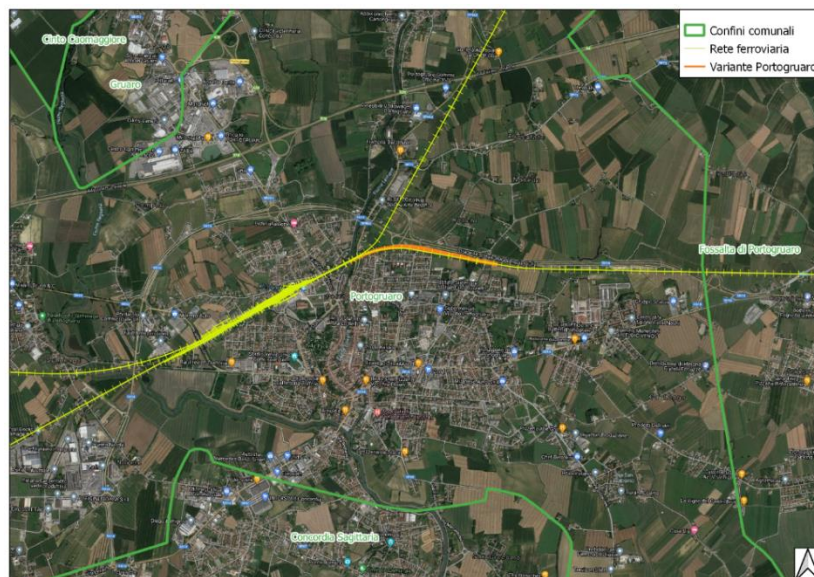


Figura 1-1 Inquadramento area d'intervento

Per i dimensionamenti delle opere idrauliche in progetto sono stati adottati i parametri idrologici riportati nella relazione idrologica a cui si rimanda per i dettagli specifici. 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 del 2018.

Si rimanda agli elaborati di dettaglio per l'analisi di compatibilità idraulica dell'area.

1.1 ELENCO DELLE OPERE MINORI DI PROGETTO

Gli attraversamenti idraulici individuati per la tratta in progetto sono riportati nella tabella 1.1, in cui risultano indicati WBS, progressiva e dimensione interna dell'opera:

Opera	PK	Tipologia
IN01	60+220	2,00X2,00
IN02	60+521	4,00X2,50
IN03	60+769	DN1500
IN04	60+970	DN1500

Tabella 1-1 Tabella opere in progetto

L'ubicazione delle opere è riportata nelle planimetrie di progetto.

Le piogge sono state studiate nell'elaborato IZ0430R26RHID0001001, al quale si rimanda per ogni ulteriore approfondimento mentre la morfometria dei bacini è mappata nell'elaborato IZ0430R26C5ID0001001.

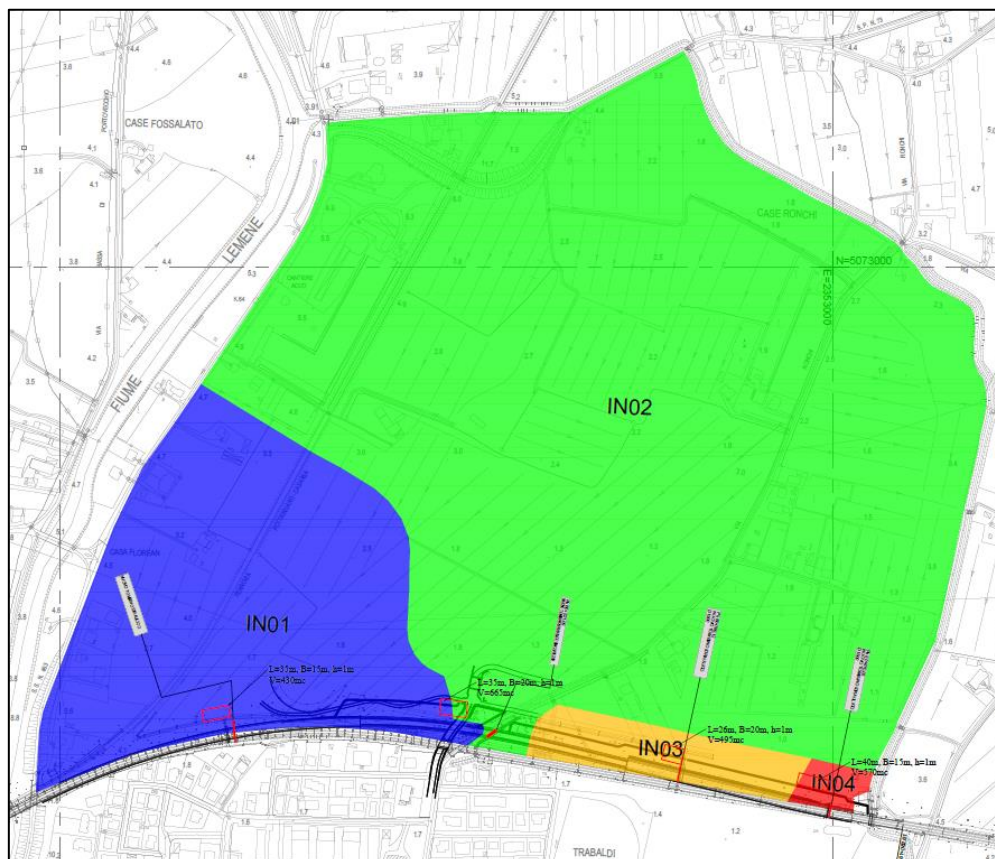



Figura 1-2 Corografia dei bacini

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- R.D. 25/07/1904, n. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D. Lgs. 27 gennaio 1992, n. 132. "Attuazione della direttiva n. 80/68/CEE concernente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose".
- D.M. 14 Febbraio 1997 "Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico".
- Direttiva 2000/60/CE, cosiddetta "Direttiva Acque".
- D. Lgs. n. 152/2006 – "Norme in materia ambientale".
- Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta "Direttiva Alluvioni".
- L. 27 Febbraio 2009, n. 13 "Misure straordinarie in materia di risorse idriche e protezione dell'ambiente".
- D. Lgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- D. Lgs 23 Febbraio 2010, n. 49 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi di alluvioni".
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa circolare (Circolare n. 7/2019).
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato al 2021.

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello regionale e/o a scala di distretto idrografico:

- Autorità di bacino interregionale fiume Lemene, 2002.
- Analisi idrologica e definizione delle curve di possibilità pluviometrica del comprensorio, 2008.
- Analisi idrologiche-idrauliche per l'applicazione dei criteri dell'invarianza idraulica nel comprensorio del veneto orientale, 2012.
- Criteri e procedure per il rilascio di concessioni, autorizzazioni, pareri, relativi ad interventi interferenti con le opere consorziali, trasformazioni urbanistiche, e sistemazioni idraulico-agrarie, 2016.
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali – I CICLO 2015-2021.

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	7 di 61

3 DISPOSIZIONI NORMATIVE

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 7 distretti idrografici, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di Bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 3-1 Suddivisione territoriale in distretti

Analizzando le opere in progetto secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, gli interventi nel bacino idrografico del fiume Lemene, di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali. Di conseguenza, l'analisi idraulica dovrà considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore nella zona in esame; in particolare, gli strumenti legislativi analizzati sono:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino idrografico del fiume Lemene;
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali – I CICLO 2015-2021.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle condizioni di pericolosità in cui si trovano attualmente gli interventi in progetto; per maggiori dettagli, si rimanda alle relazioni di compatibilità.

Tabella 3-1 Sintesi delle condizioni di pericolosità degli interventi in progetto

INTERVENTO	PAI Lemene	PGRA – I Ciclo
Variante Portogruaro	P1 – Scolo meccanico	P1 – Scolo meccanico

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come anticipato nell'introduzione, nell'ambito della progettazione del potenziamento della linea Venezia - Trieste, è prevista la realizzazione di una variante di tracciato denominata "Variante di Portogruaro", la cui estensione va dalla progr. 59+621.60 Km alla progr. 61+203.49 Km.

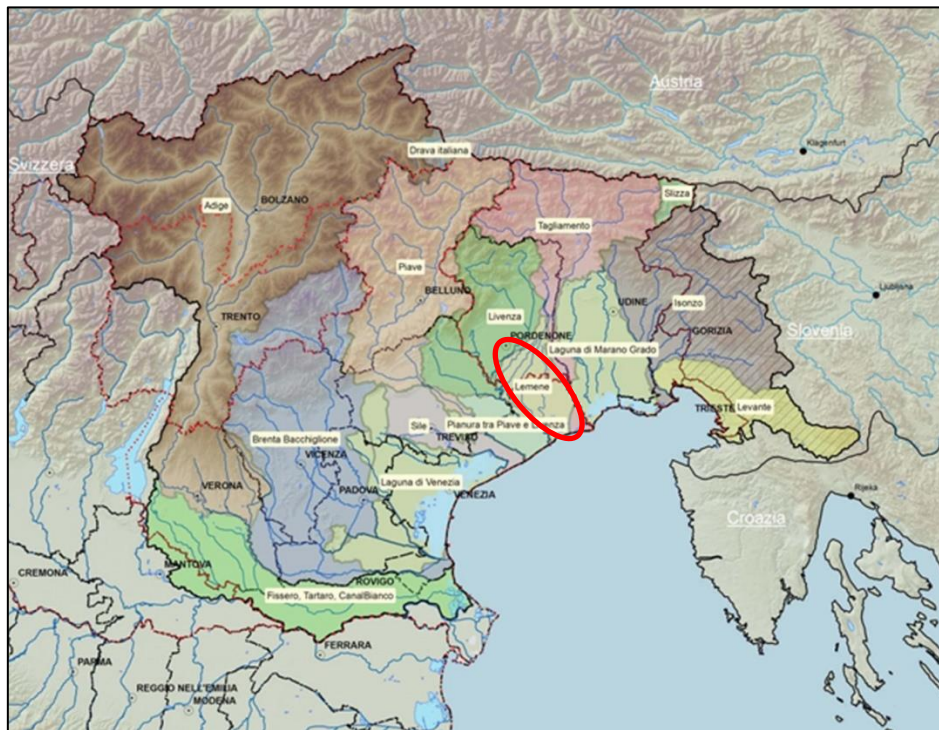


Figura 4-1 Inquadramento Variante Portogruaro

Dal punto di vista dell'idrografia, la Variante di Portogruaro ricade nel bacino idrografico del fiume Lemene, di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali.

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	9 di 61


Figura 4-2 Distretto idrografico Alpi orientali

4.1 IL BACINO DEL FIUME LEMENE

Il bacino del fiume Lemene si estende nel territorio compreso tra la parte sud-occidentale della Regione Friuli-Venezia Giulia e la parte nord-orientale della Regione Veneto e copre una superficie complessiva di circa 860 km² di cui circa 350 km² in territorio friulano e circa 510 km² in territorio veneto. Il bacino confina ad ovest con il bacino del Livenza, seguendo per lo più l'argine sinistro del fiume Meduna, ad est con il bacino del Tagliamento in coincidenza con il suo argine destro ed a sud con il mare Adriatico.

La bassa pianura veneto - friulana è caratterizzata da un sistema idraulico fortemente antropizzato ove le opere irrigue nella zona pedemontana e quelle di bonifica nei territori più bassi regolano il decorso delle acque. Le opere di bonifica assumono notevole importanza per garantire le condizioni di sicurezza al territorio, garantendo, dove le pendenze naturali non lo consentirebbero, l'allontanamento delle acque meteoriche dalle campagne; questo aspetto che assume particolare rilevanza in quei territori che hanno quote prossime, se non inferiori, al medio mare.

I fenomeni idraulici che si sviluppano nei territori di pianura sono generalmente lenti e consentono di prevedere con sufficiente anticipo l'arrivo dell'onda di piena in una determinata sezione di controllo del corso d'acqua. Il carattere impulsivo si manifesta solo in occasione di fenomeni di crollo arginale che tuttavia possono in qualche modo essere previsti in relazione alla ripetitività storica dell'evento, all'insorgenza di

Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	10 di 61

fontanazzi o all'approssimarsi del sormonto arginale. Solitamente infatti le rotture del rilevato arginale possono manifestarsi in prossimità di sezioni ristrette del corso d'acqua, a seguito di sormonto arginale e quando all'interno dell'alveo i livelli si siano mantenuti sostenuti per tempi relativamente lunghi.

Inoltre, nel bacino del fiume Lemene risulta presente la fascia delle risorgive che si trova in destra del fiume Tagliamento. Le acque di tali risorgive fuoriescono in sorgenti piccole e disseminate, vengono quindi raccolte in una rete di canali, rii e confluiscono in collettori di dimensioni più consistenti. In alcune zone, situate però a monte, propriamente all'interno del bacino del fiume Livenza, una concentrazione maggiore di queste sorgenti ha dato origine a parecchi laghetti sorgentizi, quali quello di Burida a Pordenone e quelli di Guarnirei a Fontanafredda.



Figura 4-3 Bacino del fiume Lemene

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

5 ANALISI IDROLOGICA

In generale, per la stima delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica, è preferibile utilizzare analisi già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle LSPP dell'area in esame; nel presente progetto sono state confrontate:

1. le Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate (su committenza del Dipartimento della Protezione Civile) da NordEst Ingegneria S.r.l. all'interno del progetto "*Analisi Regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*", con particolare riferimento ad i valori validi per il Consorzio di Bonifica Veneto Orientale, all'interno del quale ricadono le nostre opere;
2. le Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica che si ottengono eseguendo un'opportuna analisi statistica (con distribuzione di Gumbel) sui massimi di precipitazione, per diverse durate di pioggia, su una stazione pluviometrica ARPAV localizzata nelle vicinanze delle opere in progetto.

Per le elaborazioni di dettaglio si rimanda alla relazione idrologica (cod. elaborato IZ0430R26RHID0001001).

5.1 CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE LSPP

Al fine di individuare il metodo di analisi più affidabile per la definizione delle curve di pioggia di progetto da utilizzare nei calcoli per il dimensionamento delle opere idrauliche è stato effettuato il confronto tra le altezze di pioggia calcolate con i due metodi precedentemente descritti.

Si riporta il confronto, a titolo esemplificativo, del solo tempo di ritorno 200 anni.

LSPP < 1 ORA

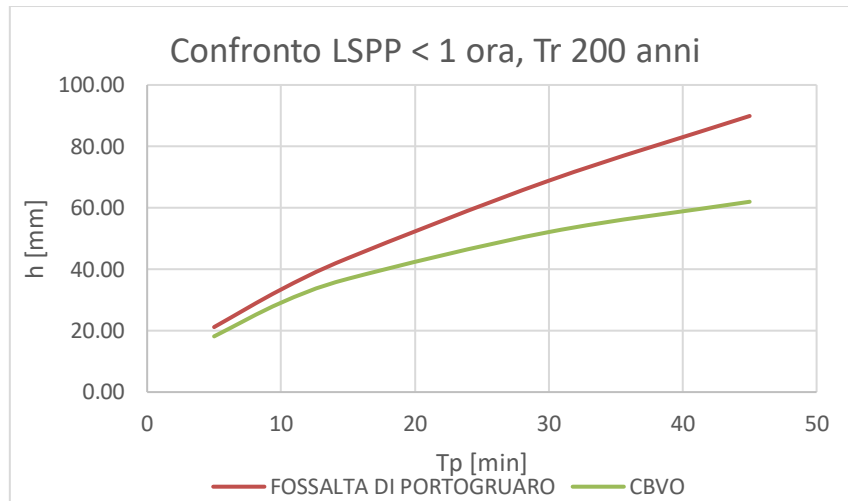


Figura 5-1 Confronto LSPP < 1 ora, Tr 200 anni

Come si vede dall'immagine precedente, le altezze di pioggia che scaturiscono dall'analisi statistica con il metodo di Gumbel applicati ai valori di precipitazione forniti da ARPAV risultano superiori a quelle che si ottengono con la formula trinomia derivante dall'analisi regionalizzata.

Di conseguenza, per le durate di pioggia inferiori all'ora, si impiegherà, per il dimensionamento delle opere in progetto, la formula bi-parametrica con i valori dei parametri a , n derivanti dai massimi valori di precipitazione forniti da ARPAV.

LSPP > 1 ORA

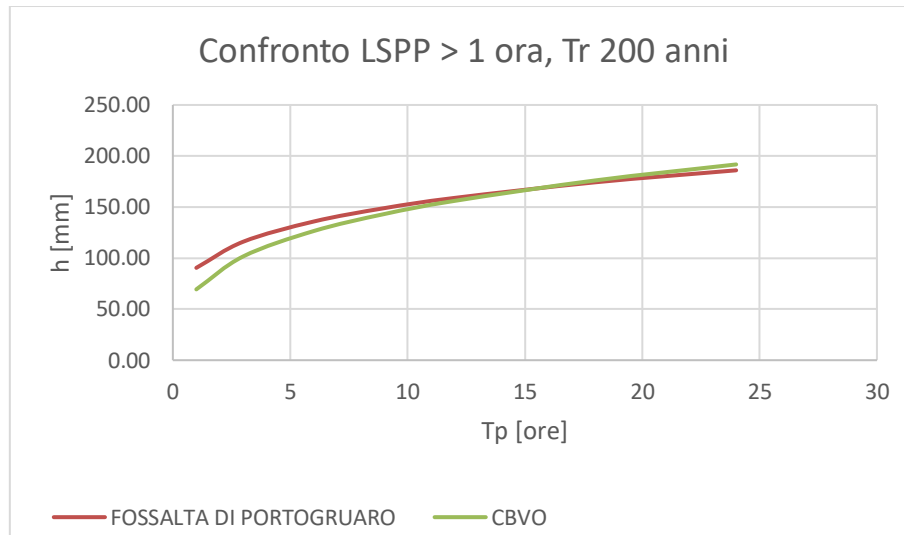



Figura 5-2 Confronto LSPP > 1 ora, Tr 200 anni

Come si vede dall'immagine precedente, nel caso di durate di precipitazione superiori all'ora, la situazione è più incerta: per durate maggiori di 18 ore, la curva dell'analisi regionalizzata è sempre più alta di quella ottenuta elaborando i dati forniti da ARPAV, mentre finché la durata di pioggia è inferiore a 18 ore, è la curva di ARPAV ad essere predominante.

Nella pratica progettuale il dimensionamento delle vasche di laminazione/dispersione e dei bacini si riferisce in genere a durate di precipitazione di molto superiori all'ora; di conseguenza, per tali durate di pioggia superiori, si impiegheranno le curve valide per il Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) essendo queste più gravose.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

5.2 RIEPILOGO DEI VALORI ADOTTATI

Di seguito, sinteticamente, i valori dei parametri idrologici da impiegare per il dimensionamento delle opere in progetto, distinti in base alla durata di pioggia (minore/maggiore di un'ora).

Tabella 5-1 Parametri idrologici per Variante di Portogruaro

Durata di pioggia < 1 ora			Durata di pioggia > 1 ora			
TR [anni]	a [mm/h]	n [-]	TR [anni]	a [mm · min ⁻¹]	b [min]	c [-]
25	79.40	0.629	50	25.4	10.4	0.754
50	89.20	0.641	100	24.5	9.6	0.732
100	98.93	0.650	200	23.2	8.7	0.709
200	108.63	0.658				

$$h_{TOT} [mm] = a \cdot t^n$$

$$h_{TOT} [mm] = \frac{a}{(t + b)^c} t$$

La durata di pioggia va inserita in ore.

La durata di pioggia va inserita in minuti.

Il tema dei cambiamenti climatici è stato tenuto in conto incrementando i valori di precipitazione attesi in maniera proporzionale rispetto a quanto desumibile dalle mappe messe a disposizione da ISPRA. In particolare, nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione “*media di insieme*” (*ENSEMBLE MEAN*) di precipitazione massima giornaliera (h_{24}) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento allo scenario “massimo” di emissione RCP8.5 da utilizzare per la verifica degli elementi idraulici.

Tabella 5-2 Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)

INTERVENTO	Variazione media h_{24} (RCP8.5) [mm]		
	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Variante Portogruaro	+ 5-10	+10-15	+15-20

6 CRITERI DI PROGETTO E METODI DI VERIFICA

Lo studio idraulico è finalizzato al dimensionamento della sezione interna degli attraversamenti non trascurando gli eventuali accorgimenti per la risoluzione delle problematiche che potrebbero instaurarsi in seguito alla realizzazione del rilevato ferroviario in progetto.

I criteri di progetto utilizzati nel presente studio sono suddivisi a seconda della tipologia di opera cioè tombini e ponti. I criteri si riferiscono alle opere in progetto e non a quelle esistenti, per le quali, in alcuni casi si è deciso di non intervenire in considerazione del fatto che la sede ferroviaria non prevede allargamenti o altro.

	Tempo di ritorno [anni]	Limiti
TOMBINI	200	- G.d.r. 66.7% - Velocità ammissibile = 5 m/s
PONTI	200	- Franco intradosso 1.50 m

Nel dimensionamento delle opere si è cercato di evitare restringimenti delle sezioni dei corsi d'acqua intercettati dalla linea.

6.1 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

Le portate afferenti agli attraversamenti ferroviari sono state valutate con il metodo razionale, che tiene conto dei fattori morfologici, pluviometrici e del tempo di corrivazione del bacino (t_c), tramite la formula:

$$Q_c = \frac{\Psi \cdot h \cdot A}{t_c}$$

dove:

Q_c è la portata da smaltire calcolata per una durata di pioggia pari a t_c , in m^3/s ;

h è l'altezza di precipitazione, individuata a partire dalle curve di probabilità pluviometrica, calcolata per una durata di pioggia pari a t_c , in mm;

A è la superficie dell'area afferente, in m^2 ;

Ψ è il coefficiente di deflusso.

Di seguito, si riportano i valori di portata idrologica per ciascun tombino; per le verifiche dei tombini idraulici per Tr 200 anni, si sono prese in considerazione le portate idrologiche stimate mediante il metodo razionale e quelle derivanti dall'incremento di precipitazione dovuto ai cambiamenti climatici. Tale incremento è stato determinato come indicato al cap. 7 della relazione idrologica (cod. elaborato IZ0430R26RHID0001001), alla quale si rimanda per maggiori dettagli.

Tabella 6-1 Portate idrologiche – metodo razionale

	<i>Var. Portogruaro - IN01</i>	<i>Var. Portogruaro - IN02</i>	<i>Var. Portogruaro - IN03</i>	<i>Var. Portogruaro - IN04</i>
Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]	75.87	73.93	42.40	15.58
Coeff. Deflusso [-]	0.45	0.40	0.27	0.02
Area bacino [Km²]	0.167	0.612	0.023	0.005
Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]	0.58	1.18	0.24	0.05
Portata idrologica [m³/s]	2.71	4.26	0.30	0.01

Tabella 6-2 Portate idrologiche incrementate in virtù dei cambiamenti climatici

	<i>Var. Portogruaro - IN01</i>	<i>Var. Portogruaro - IN02</i>	<i>Var. Portogruaro - IN03</i>	<i>Var. Portogruaro - IN04</i>
Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]	95.87	93.93	62.40	35.58
Coeff. Deflusso [-]	0.52	0.48	0.40	0.21
Area bacino [Km²]	0.167	0.612	0.023	0.005
Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]	0.58	1.18	0.24	0.05
Portata idrologica [m³/s]	4.00	6.48	0.65	0.19

Di seguito, si riportano i metodi di verifica adottati per ciascun tombino; per maggiori informazioni su come sono stati calcolati i parametri necessari alla determinazione della portata col metodo della corrivazione, si rimanda alla relazione idrologica (cod. elaborato IZ0430R26RHID0001001).

6.2 METODI DI VERIFICA DEI TOMBINI IDRAULICI

I tombini di attraversamento idraulico sono stati verificati utilizzando il moto permanente mediante l'utilizzo di modelli numerici quali HEC-RAS per il tombino IN02 ed HY8 per i tombini IN01, IN03, IN04. Le dimensioni delle opere esistenti, le pendenze dei canali e delle opere stesse, le quote e le attuali condizioni sono state ricavate dalla cartografia disponibile e dai rilievi LiDAR e topografici lungo la tratta in progetto.

6.2.1 HEC-RAS

La verifica in moto permanente mediante l'utilizzo del modello numerico HEC-RAS ha riguardato il tombino IN04, rappresentativo dell'attraversamento sul fosso che si sviluppa in adiacenza a Via Ronchi, da cui prende il nome.

Nel seguito, dopo una succinta esposizione delle caratteristiche dei modelli matematici adottati da HEC-RAS, si procede con la descrizione della geometria e dei parametri di modellazione adottati per il corso d'acqua indagato.

MODELLO MATEMATICO A MOTO PERMANENTE

Per il tracciamento dei profili liquidi a moto permanente, HEC-RAS risolve l'equazione di conservazione dell'energia:

Equazione di conservazione dell'energia:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} + h_e$$

La perdita di carico totale tra due sezioni successive del corso d'acqua h_e viene calcolata come somma delle perdite di carico per attrito lungo il contorno bagnato e delle perdite di carico per espansione o contrazione della corrente, secondo l'equazione:

$$h_e = S_f \cdot L + C \left| \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} - \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} \right|$$

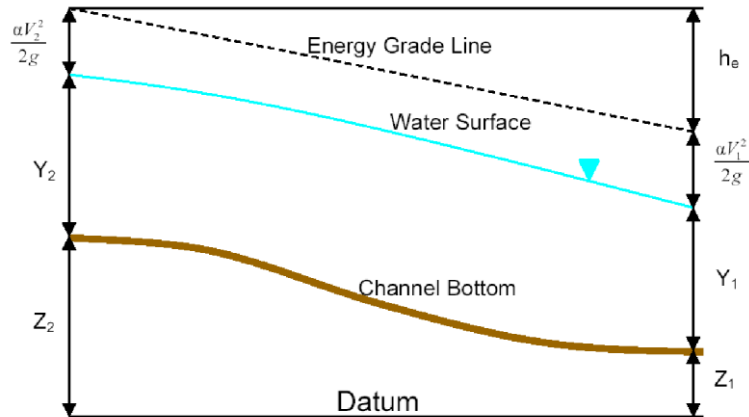


Figura 6-1 Equazione di conservazione dell'energia

Il significato dei vari termini presenti nelle equazioni precedenti è: z rappresenta la quota di fondo, y l'altezza liquida, U la velocità della corrente, g l'accelerazione di gravità, α il coefficiente correttivo dell'energia cinetica, S_f la pendenza della linea dell'energia, L lunghezza del tronco d'alveo tra le sezioni 1 e 2, C il coefficiente di perdita per contrazione/espansione della sezione liquida.

La lunghezza del tronco d'alveo tra le due sezioni, pesata rispetto alla portata, è espressa dalla formula:

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

dove:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} sono le lunghezze del tronco d'alveo rappresentative del canale e delle golene sinistra e destra;

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} sono le portate medie transitanti nel canale e nelle golene sinistra e destra.

Il metodo di soluzione adottato da HEC-RAS per l'equazione di continuità dell'energia applicata al moto permanente gradualmente vario richiede l'assunzione che la perdita di carico in una sezione sia la stessa che si avrebbe in moto uniforme a parità di sezione e velocità dell'acqua. HEC-RAS usa la formula del moto uniforme di Manning per valutare le perdite di carico distribuite, ossia la pendenza della linea piezometrica in alveo:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

dove K , fattore di trasporto, viene calcolato come:

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

in cui:

n è il coefficiente di scabrezza di Manning

A è l'area della sezione

R è il raggio idraulico della sezione bagnata.

Il sistema delle due equazioni consente la determinazione del profilo idrico della corrente una volta note la geometria e la scabrezza dell'alveo e le condizioni del moto alla sezione dalla quale deve iniziare il calcolo del profilo.

Nel caso di passaggio della corrente per lo stato critico o attraverso confluente, diversivi fluviali e deflusso in corrispondenza di ponti, il flusso perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, si ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto:

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = \rho Q (\beta_1 \cdot U_1 - \beta_2 \cdot U_2)$$

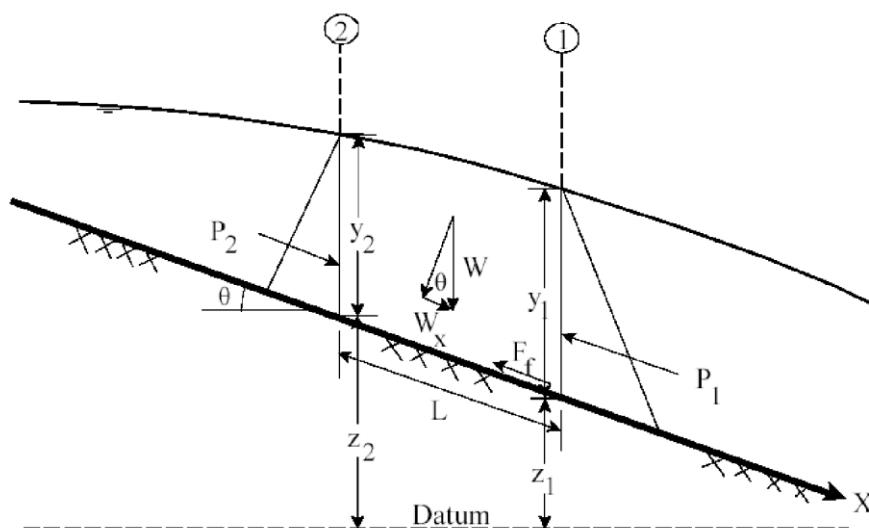



Figura 6-2 Equazione di conservazione della quantità di moto

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A


Il significato dei vari termini presenti nelle equazioni precedenti è: z rappresenta la quota di fondo, y l'altezza liquida, U la velocità della corrente, g l'accelerazione di gravità, α e β i coefficienti correttivi rispettivamente dell'energia cinetica e della quantità di moto, P la risultante delle forze di pressione, W la risultante della forza peso, F_f la risultante delle forze di attrito, S_f la pendenza della linea dell'energia, L lunghezza del tronco d'alveo tra le sezioni 1 e 2, C il coefficiente di perdita per contrazione/espansione della sezione liquida, ρ la densità dell'acqua e Q la portata volumetrica.

Per la risoluzione dell'equazione di conservazione dell'energia (o in alternativa, dell'equazione della quantità di moto) in alvei a sezione variabile, HEC-RAS impiega un metodo noto come "*standard step method*". Secondo tale metodo, una volta specificate le condizioni al contorno, il programma procede nel calcolo iterativamente, determinando per approssimazioni l'altezza dell'acqua alla successiva sezione di calcolo, sulla base dell'altezza già calcolata alla sezione corrente.

APPROSSIMAZIONI DEL CALCOLO

Le principali ipotesi su cui si basa il modello matematico utilizzato si possono così sintetizzare:

1. Assimilazione dell'onda di piena ad una corrente a pelo libero di tipo unidimensionale. Questa assunzione non si discosta molto dalla realtà se l'alveo ha un andamento regolare, con curve non troppo brusche e con le sezioni trasversali che variano gradualmente nel senso della corrente. Infatti, la presenza di una singolarità produce variazioni delle caratteristiche della corrente, quali velocità e livello del pelo libero, non solo nella direzione longitudinale dell'asse, ma anche nella direzione ad esso perpendicolare.
2. Calcolo delle perdite distribuite secondo la formula di Manning e caratterizzazione del coefficiente di scabrezza n . Quando sia possibile una buona stima di questo coefficiente, il modello matematico è in grado di calcolare la propagazione di un'onda di piena con una approssimazione accettabile ai fini pratici. In assenza di conoscenze dettagliate delle caratteristiche fisiche delle sezioni ed in considerazioni del basso valore di portata esaminato, risulta opportuna l'adozione di valori comunque cautelativi.
3. Alveo a fondo fisso durante la propagazione della piena, senza risentire dell'azione modellatrice della corrente. Nella realtà, il passaggio di una piena sia naturale che artificiale altera inevitabilmente la morfologia della valle producendo dei mutamenti del tutto imprevedibili.

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO

Sono state analizzate sia la condizione *ante-operam* che *post-operam*.

La condizione ante-operam, riprodotta sulla base del rilievo LiDAR disponibile e della cartografia, presenta un'opera ad arco di dimensioni $B = 1.0$ m e $H = 1.20$ m a servizio di un canale trapezoidale in terra.

La verifica post-operam prevede un tombino rettangolare in CLS di dimensioni 4.0 m x 2.50 m che consenta di scavalcare il fosso intersecante la linea in progetto e, allo stesso tempo, garantisca il rispetto dei limiti imposti dalle NTC 2018 (altezza utile al deflusso = $2/3$ altezza totale tombino idraulico). Le dimensioni del canale risultano inalterate tra lo stato ante-operam e lo stato post-operam, in maniera da non modificare le pendenze dell'area circostante quella in progetto, al fine di evitare l'alterazione delle attuali direzioni di deflusso del reticolo presente.

Per la stima dei coefficienti di scabrezza n di Manning, si è proceduto al confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame e quelle di altri corsi d'acqua di scabrezza simile, per i quali si hanno a disposizione misure di taratura di n ; in generale nel tratto a monte di interesse, il corso d'acqua è caratterizzato da vegetazione erbacea più scarsa dentro l'alveo e leggermente più fitta lungo le golene.

In definitiva, i valori adottati nella modellazione 1D sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 6-3 valori del coefficiente di Manning nella modellazione 1D


	COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING [s/m^{1/3}]
Alveo inciso naturale	0.03
Aree golenali naturali	0.04
Tombino idraulico esistente	0.02
Tombino idraulico in progetto	0.018

In aggiunta, sono stati assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione rispettivamente pari a $0.1/0.3$ per ogni sezione corrente di calcolo, ad eccezione di quelle in prossimità degli attraversamenti, per i quali i coefficienti sono rispettivamente pari a $0.5/0.7$.

Le condizioni al contorno per entrambe le verifiche (ante e post operam) sono state poste uguali a condizioni di moto uniforme, con pendenza pari allo 0.1% a monte e 1% a valle.

6.2.2 HY8

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

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

riferimento siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura ferroviaria.

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;
- 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.

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration) ossia l'Agenda 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 scotolari) 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.

Descrizione della metodologia utilizzata

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

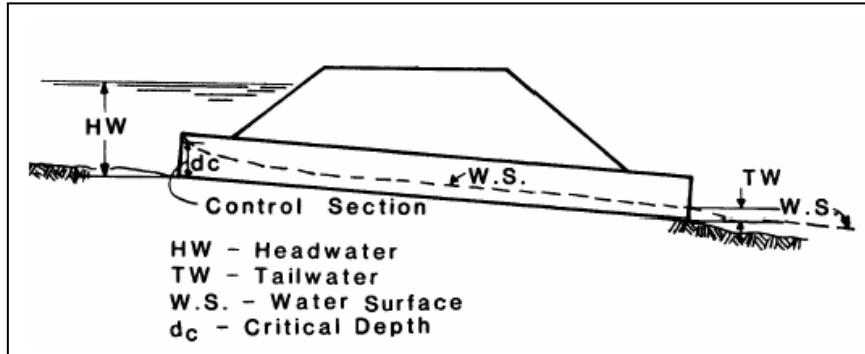


Figura 6-3 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

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.

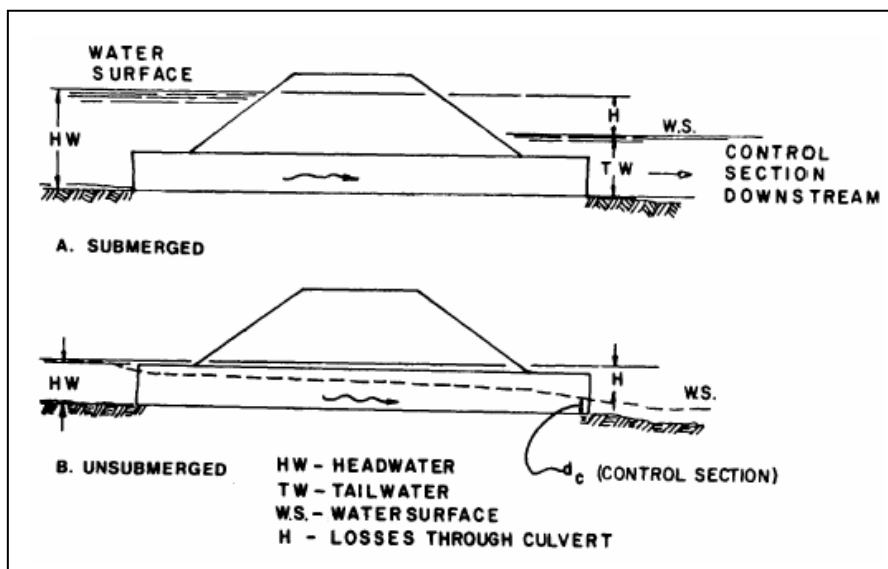



Figura 6.4 – Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino

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

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

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, $K_s = 45 [m^{1/3}s^{-1}]$ per gli attraversamenti secondari per lo stato ante operam, mentre $K_s = 60 [m^{1/3}s^{-1}]$ per lo stato post operam.

Di seguito sono presentate le tabelle relative alle verifiche idrauliche svolte nelle configurazioni ante e post operam.

6.3 VERIFICHE IDRAULICHE

In questo capitolo si riportano le tabelle contenenti le verifiche ante e post operam per i singoli attraversamenti idraulici.

L'adeguamento degli attraversamenti esistenti è reso necessario, nei soli tratti di raddoppio in stretto affiancamento, sia al fine di garantire il funzionamento idraulico dell'attraversamento secondo i criteri imposti dalle NTC 2018, sia al fine di rendere possibili e agevoli le operazioni di ispezione e manutenzione dei manufatti.

In accordo a quanto previsto dal manuale di progettazione ferroviaria, le dimensioni minime per gli attraversamenti idraulici sono pari a $\varnothing 1500$ per gli attraversamenti circolari e 2.0 m x 2.0 m per gli attraversamenti scatolari.

Un'altra tipologia di soluzione adottata, in casi singolari, è stata quella di abbandonare l'opera esistente e deviare le portate afferenti su opere adiacenti, dimensionate per la portata generata dalla somma delle aree

Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	26 di 61

dei bacini afferenti al nuovo attraversamento. Il tempo di corrivazione considerato è quello relativo all'asta più lunga tra quelle dei bacini sommati. La deviazione degli attraversamenti prevede l'inserimento di fossi di guardia paralleli alla ferrovia.

6.3.1 TOMBINO IN02 – Risultati HEC-RAS

A seguire, la planimetria, il profilo ed i tabulati di calcolo per il tombino in questione, sia in riferimento alla portata idrologica scaturita dalle piogge "attuali" sia quella scaturita dai cambiamenti climatici.

Si precisa che l'opera esistente non è stata adeguata in quanto non direttamente interessata dagli interventi in progetto.

Stato attuale

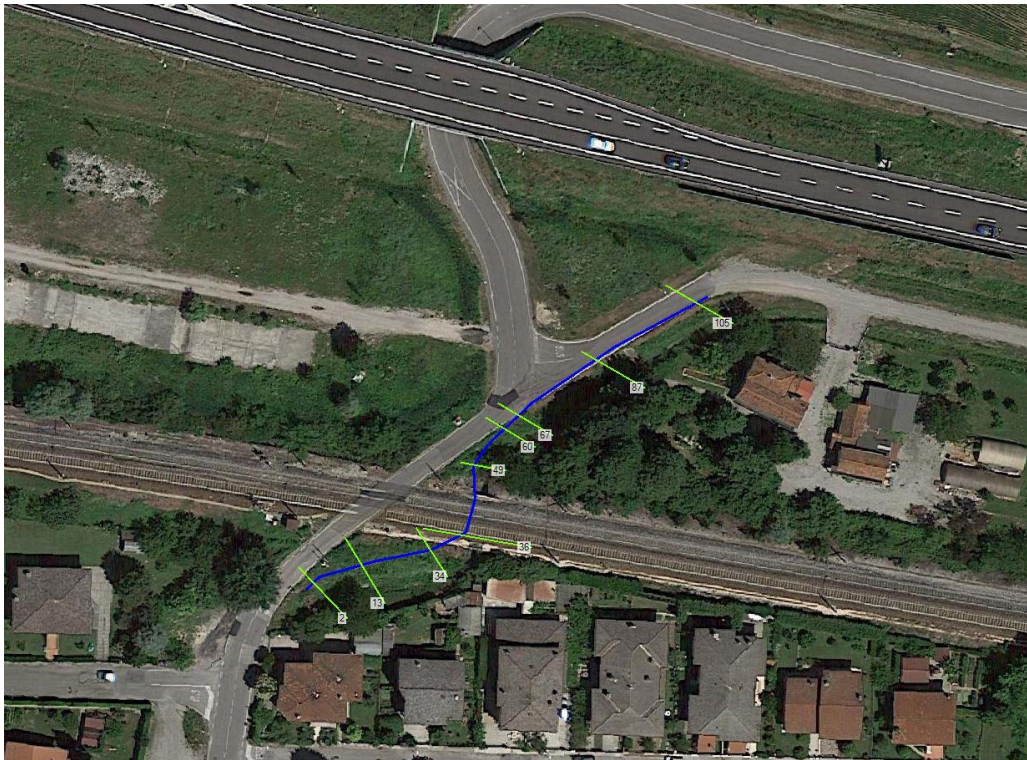


Figura 6-5 Planimetria stato attuale

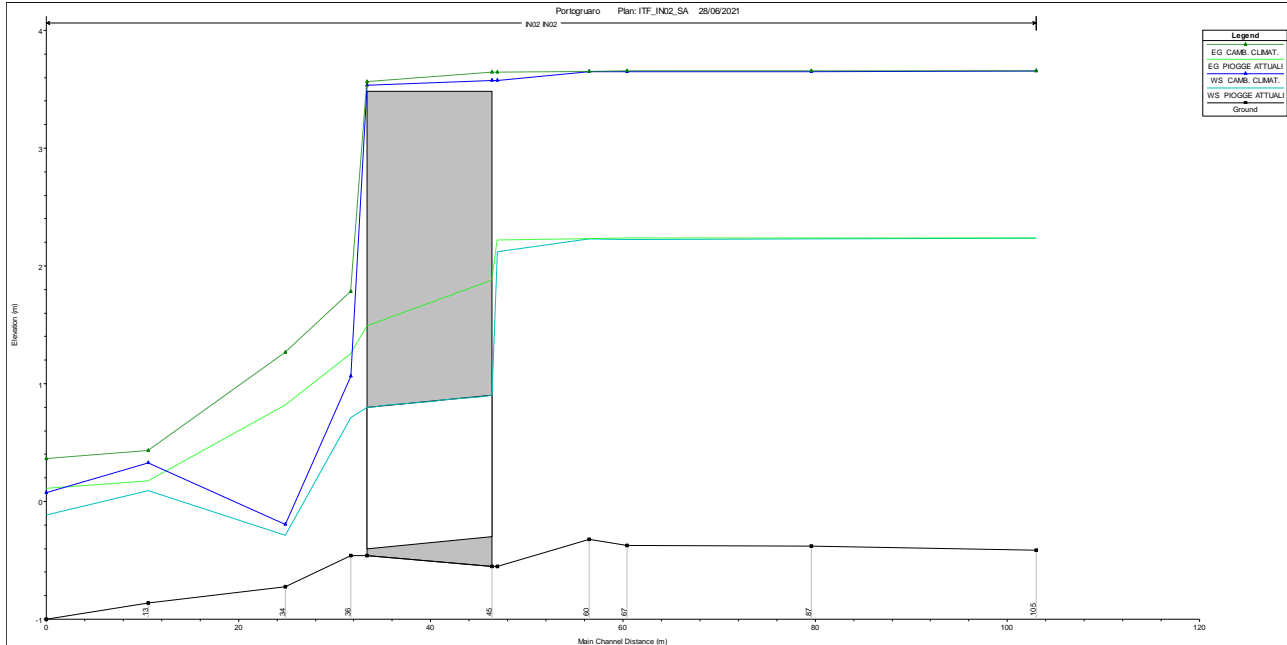


Figura 6-6 Profilo stato attuale

Tabella 6-4 Tabulati di calcolo - Stato attuale

HEC-RAS Plan: ITF_IN02_SA River: IN02 Reach: IN02

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
IN02	105	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.41	2.24	0.26	2.24	0.000027	0.22	21.22	15.67	0.06
IN02	105	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.41	3.66	0.44	3.66	0.000007	0.17	43.46	15.67	0.03
IN02	87	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.38	2.23	0.30	2.24	0.000055	0.42	10.07	14.83	0.09
IN02	87	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.38	3.65	0.45	3.66	0.000027	0.40	16.04	14.83	0.07
IN02	67	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.37	2.23	0.29	2.24	0.000056	0.43	9.99	12.85	0.09
IN02	67	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.37	3.65	0.47	3.66	0.000027	0.41	15.96	12.85	0.07
IN02	60	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.32	2.23	0.31	2.23	0.000031	0.25	18.30	11.77	0.06
IN02	60	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.32	3.65	0.47	3.65	0.000010	0.21	35.03	11.78	0.04
IN02	49	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.55	2.12	0.66	2.22	0.000547	1.39	3.06	6.61	0.28
IN02	49	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.55	3.58	1.01	3.64	0.004033	1.16	5.61	9.50	0.48
IN02	45			Culvert								
IN02	36	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.46	0.71	0.71	1.25	0.009797	3.26	1.31	3.31	1.00
IN02	36	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.46	1.06	1.06	1.78	0.008950	3.75	1.73	4.09	1.00
IN02	34	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.73	-0.29	0.01	0.82	0.102504	4.66	0.91	2.97	2.68
IN02	34	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.73	-0.19	0.18	1.26	0.107300	5.35	1.21	3.28	2.81
IN02	13	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.86	0.09	-0.21	0.17	0.002790	1.27	3.35	4.90	0.49
IN02	13	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.86	0.33	-0.05	0.43	0.002712	1.41	4.58	5.50	0.49
IN02	2	PIOGGE ATTUALI	4.26	-1.00	-0.12	-0.17	0.11	0.010010	2.10	2.03	3.51	0.88
IN02	2	CAMB. CLIMAT.	6.48	-1.00	0.08	0.02	0.36	0.010003	2.37	2.74	3.86	0.90

Stato di progetto

Come anticipato, lo stato di progetto prevede la sostituzione del tombino esistente sotto la linea storica con uno scatolare di dimensioni 4.0 m x 2.0 m, e l'inserimento di un tombino di dimensioni 4.0 m x 2.50 m sotto la variante in progetto.

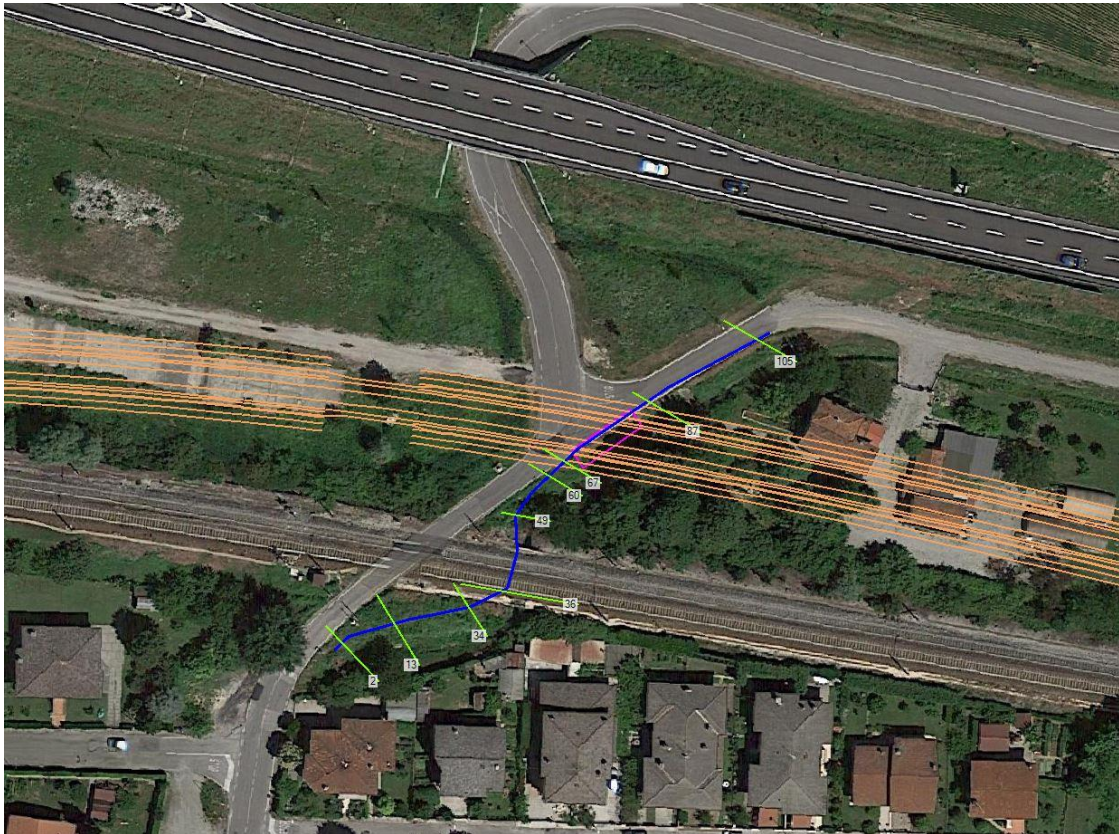


Figura 6-7 Planimetria di progetto

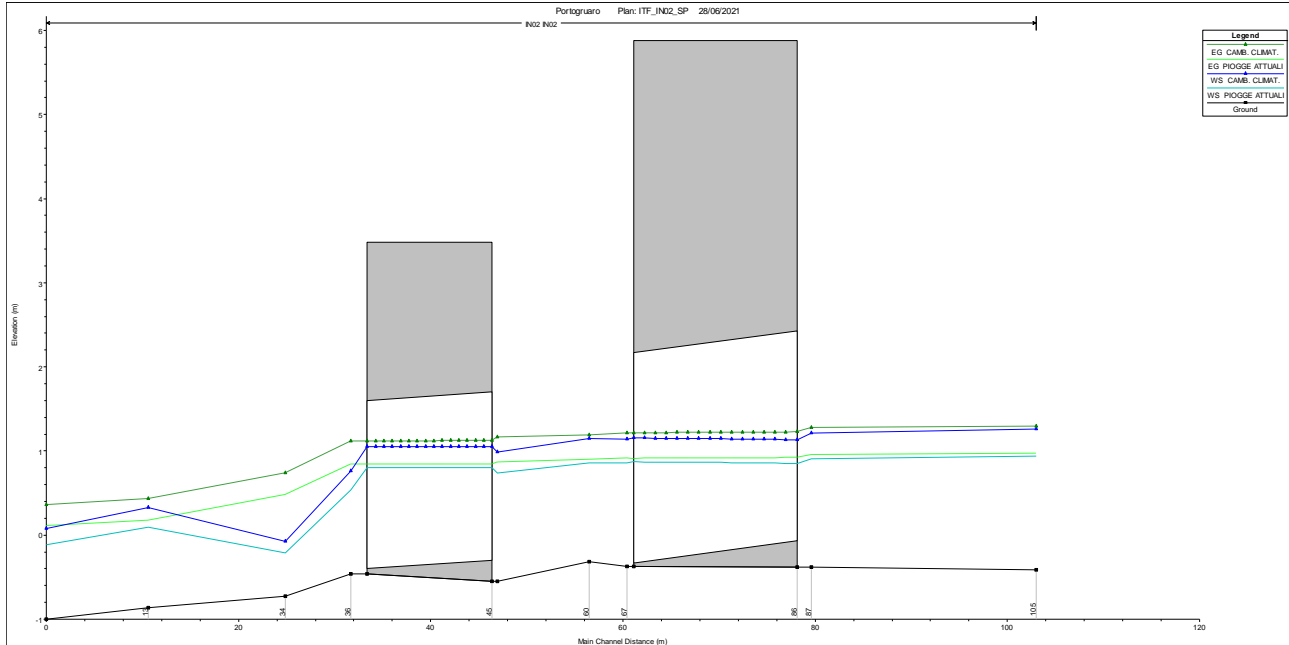


Figura 6-8 Profilo stato progetto

Tabella 6-5 Tabulati di calcolo – Stato di progetto

HEC-RAS Plan: ITF_IN02_SP River: IN02 Reach: IN02

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
IN02	105	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.41	0.94	0.26	0.97	0.000823	0.79	5.39	6.46	0.28
IN02	105	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.41	1.26	0.44	1.29	0.000764	0.83	7.93	11.11	0.27
IN02	87	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.38	0.91	0.30	0.95	0.000788	0.94	4.53	6.47	0.29
IN02	87	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.38	1.21	0.45	1.27	0.000801	1.12	5.80	12.42	0.30
IN02	86		Culvert									
IN02	67	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.37	0.86	0.29	0.91	0.000964	1.00	4.25	6.85	0.32
IN02	67	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.37	1.14	0.47	1.21	0.000983	1.19	5.44	9.63	0.33
IN02	60	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.32	0.86	0.31	0.90	0.000983	0.84	5.07	7.03	0.30
IN02	60	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.32	1.15	0.47	1.19	0.000830	0.91	7.47	8.87	0.29
IN02	49	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.55	0.74	0.42	0.87	0.004296	1.59	2.68	3.26	0.56
IN02	49	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.55	0.99	0.65	1.16	0.004724	1.83	3.53	3.62	0.59
IN02	45		Culvert									
IN02	36	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.46	0.54	0.54	0.84	0.014124	2.43	1.75	2.91	1.00
IN02	36	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.46	0.76	0.76	1.12	0.013425	2.65	2.45	3.41	1.00
IN02	34	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.73	-0.21	0.01	0.48	0.052609	3.68	1.16	3.23	1.96
IN02	34	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.73	-0.07	0.18	0.73	0.047237	3.98	1.63	3.67	1.91
IN02	13	PIOGGE ATTUALI	4.26	-0.86	0.09	-0.21	0.17	0.002790	1.27	3.35	4.90	0.49
IN02	13	CAMB. CLIMAT.	6.48	-0.86	0.33	-0.05	0.43	0.002715	1.42	4.58	5.50	0.50
IN02	2	PIOGGE ATTUALI	4.26	-1.00	-0.12	-0.17	0.11	0.010010	2.10	2.03	3.51	0.88
IN02	2	CAMB. CLIMAT.	6.48	-1.00	0.08	0.02	0.36	0.010003	2.37	2.74	3.86	0.90

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	30 di 61

Confrontando i profili ed i tabulati sopra, si evince come la sostituzione del tombino esistente con quello in progetto garantisca il soddisfacimento della condizione imposta dalle NTC 2018 sui tombini idraulici (tirante massimo = 2/3 altezza del tombino idraulico) e comporti una riduzione del pelo libero al di sotto dell'opera stessa.

6.3.2 TOMBINI IN01, IN03, IN04, IN05 – Risultati HY8

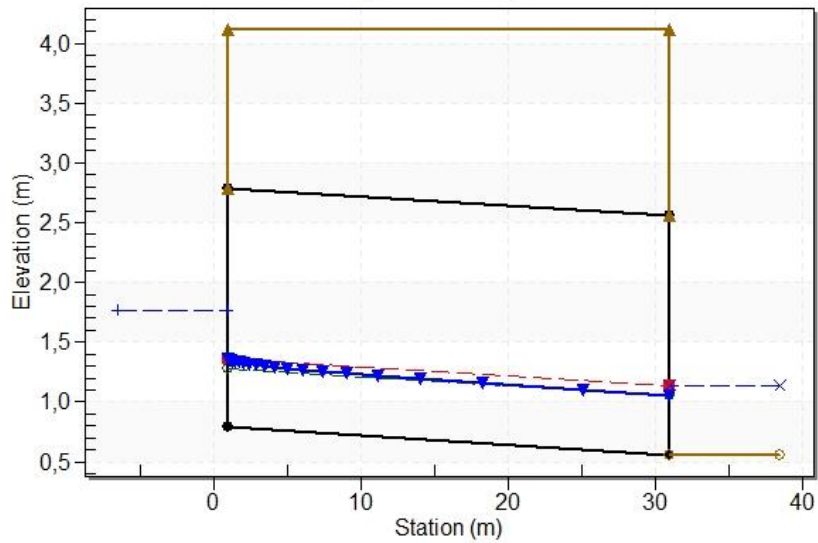
Si riporta in tabella la sintesi dei risultati di ciascuna opera:

VARIANTE PORTOGRUARO									
ID Opera	Q [m ₃ /s]	Qmonte [s.l.m.]	Qvalle [s.l.m.]	L [m]	i [%]	h/f [m]	r [m]	R [%]	Manning
METODO DELLE SOLE PIOGGE									
IN01	2.71	0.79	0.56	30.00	0.8%	2.00	0.97	49%	0.015
IN03	0.30	0.79	0.42	9.00	4.1%	1.50	0.36	24%	0.015
IN04	0.01	1.80	1.32	17.00	2.8%	1.50	0.06	4%	0.015
CAMBIAMENTI CLIMATICI									
IN01	4.00	0.79	0.56	30.00	0.8%	2.00	1.26	63%	0.015
IN03	0.65	0.79	0.42	9.00	4.1%	1.50	0.54	36%	0.015
IN04	0.19	1.80	1.32	17.00	2.8%	1.50	0.29	19%	0.015

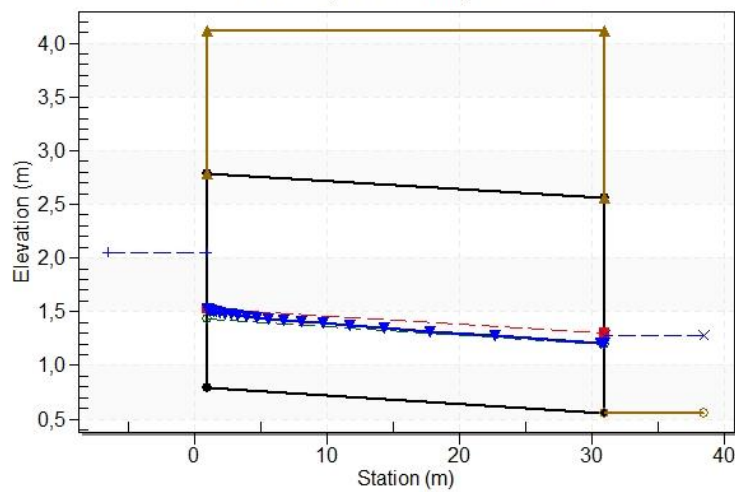
Tabella 6-6 Verifiche tombini idraulici HY8

Di seguito gli output del modello per ciascuna opera e ciascuna configurazione:

Crossing - IN01 PIOGGE, Design Discharge - 2.71 cms
Culvert - IN01, Culvert Discharge - 2.71 cms



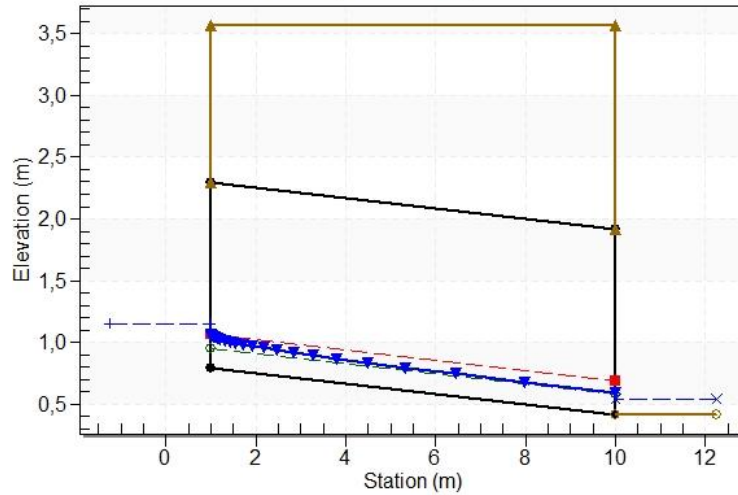
Crossing - IN01 CAMB.CLIM., Design Discharge - 4.00 cms
Culvert - IN01, Culvert Discharge - 4.00 cms



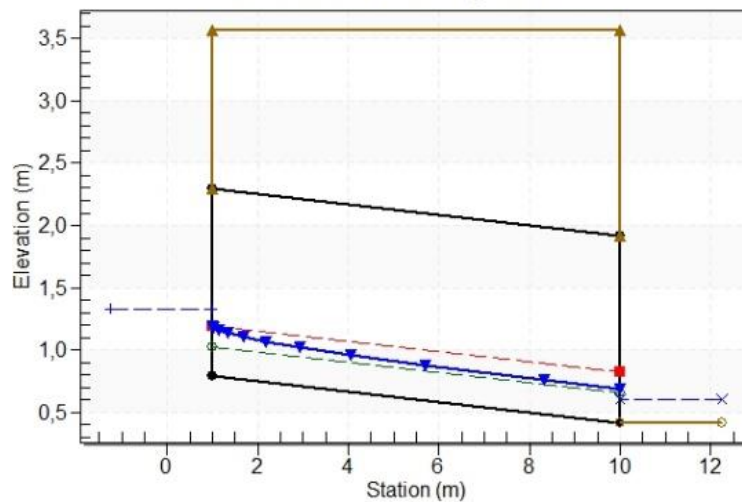
Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	32 di 61

Crossing - IN03 PIOGGE, Design Discharge - 0.30 cms
Culvert - IN03, Culvert Discharge - 0.30 cms



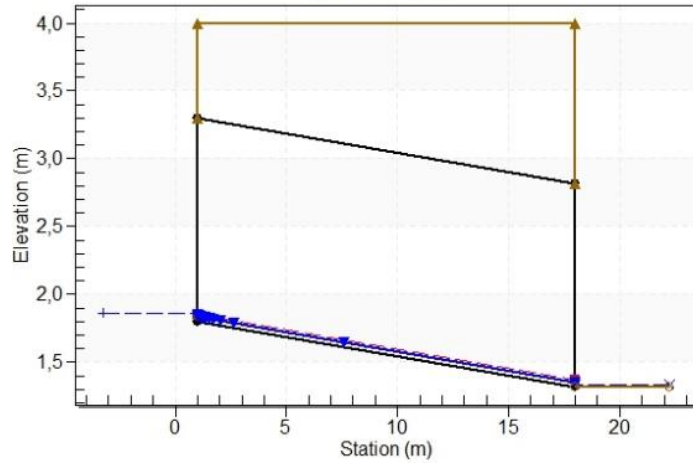
Crossing - IN03 CAMB.CLIM., Design Discharge - 0.65 cms
Culvert - IN03, Culvert Discharge - 0.65 cms



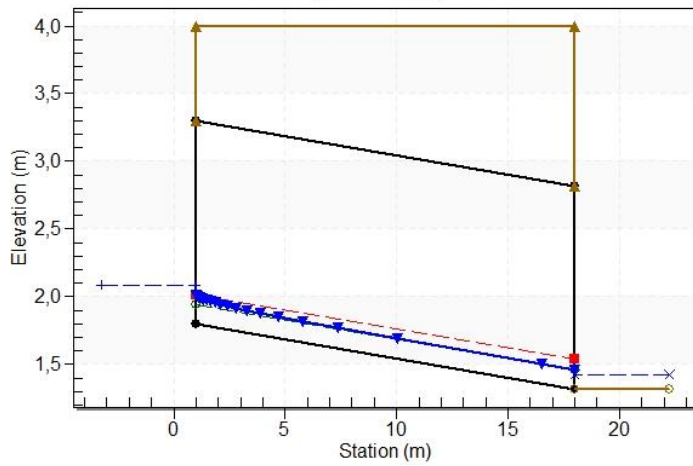
Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	33 di 61

Crossing - IN04 PIOGGE, Design Discharge - 0.01 cms
Culvert - IN04, Culvert Discharge - 0.01 cms



Crossing - IN04 CAMB.CLIM., Design Discharge - 0.19 cms
Culvert - IN04, Culvert Discharge - 0.19 cms



	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

7 INVARIANZA IDRAULICA

Il calcolo dei volumi necessari all'applicazione del principio dell'invarianza idraulica è richiesto nel momento in cui avviene una trasformazione del territorio che possa comportare l'incremento delle portate di piena scaricata sul recettore finale della rete (corpo idrico o rete di drenaggio): infatti, così facendo, i volumi d'acqua che vengono scaricati nei recapiti finali risultano pari a quelli presenti prima della trasformazione del territorio.

Il fine ultimo della procedura è quello di stimare la differenza di volumi d'acqua in gioco tra la situazione post-operam e quella ante-operam, in maniera da prevedere delle opere di invaso che consentano di mantenere inalterati i volumi d'acqua destinati al recapito finale, sia che si tratti di recettori naturali, terreni o fognature.

Le diverse regioni o enti competenti hanno legiferato in materia, di seguito una sintesi di quanto esiste e di come è stato applicato nell'ambito del presente progetto.

Nel progetto in oggetto le acque meteoriche che interessano la piattaforma vengono raccolte e convogliate all'interno di quattro vasche di laminazione che, rispettando il criterio di invarianza idraulica imposto, restituiscono al ricettore finale la portata laminata.

7.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Il modello di calcolo dei volumi d'invaso necessari al rispetto del principio dell'invarianza idraulica si basa sul confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante. In genere, questo approccio tende a produrre valori cautelativi. Nelle condizioni sopra descritte, applicando un ietogramma netto di pioggia ad intensità costante, il volume entrante prodotto dal bacino scolante risulta pari a:

$$W_e = S \cdot \Psi \cdot a \cdot \theta^n$$

S = superficie di riferimento

Ψ = coeff. di afflusso POST OPERAM

a, n = coeff. della curva di possibilità pluviometrica

θ = durata critica della pioggia

Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	35 di 61

mentre il volume uscente considerando una laminazione ottimale $Q_u=Q_{u, \max}$ risulta:

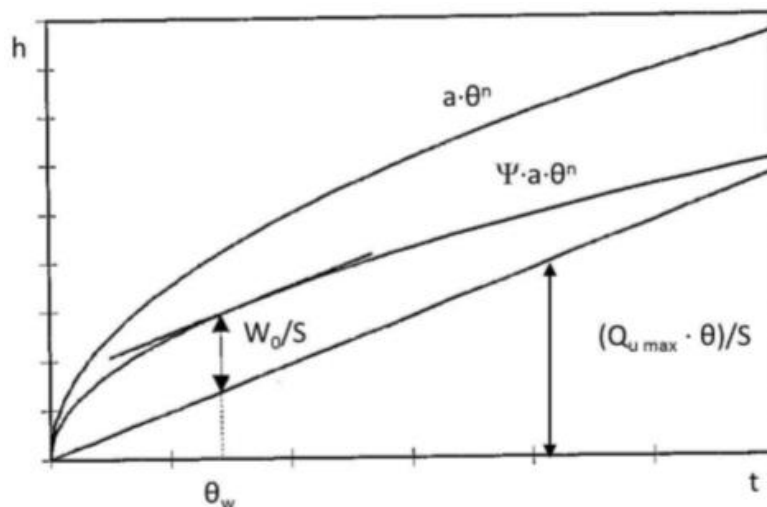
$$W_u = Q_{u, \max} \cdot \theta$$

Il volume massimo da invasare a questo punto è dato dalla massima differenza tra le due curve descritte dalle precedenti due relazioni e può essere individuato graficamente riportando sul piano (h, θ) la curva di possibilità pluviometrica netta:

$$h_{\text{netta}} = \Psi a \theta^n$$

mentre la retta rappresentante il volume, riferito all'unità di area del bacino a monte, uscente dalla vasca è espressa dalla formula:

$$h_u = (Q_{u, \max} \theta)/S$$



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto al tempo l'espressione per il calcolo del volume da invasare nella vasca:

$$\Delta W = h_{\text{netta}} - h_u$$

si ricava la durata critica θ_w che massimizza il volume invasato W_0 :

$$\theta_w = \left(\frac{Q_{u, \max}}{S \cdot \Psi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	36 di 61

Il volume da assegnare al sistema di invaso sarà dunque:

$$W_0 = S \cdot \Psi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_{u,max}}{S \cdot \Psi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{u,max} \cdot \left(\frac{Q_{u,max}}{S \cdot \Psi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

con:

S [ha]
 W [m³]
 a [mm/oraⁿ]
 θ [ore]
 Q [l/s]

Per l'applicazione del metodo è necessario stabilire il valore della massima portata ammissibile allo scarico ovvero la massima portata che può essere scaricata a valle nello stato di progetto, espressa in l/s/ha.

7.2 DIMENSIONAMENTO

Il Consorzio Veneto Orientale Analisi Idrologico-idrauliche per l'applicazione dei criteri di invarianza idraulica del 27/8/2012 ha stimato, tramite il metodo delle sole piogge e dell'invaso, i volumi di compensazione per mantenere l'invarianza ai sensi delle delibere regionali.

Di seguito, si riportano alcune indicazioni fornite dal Consorzio Veneto Orientale valide a livello generale, inerenti il coefficiente udometrico ed il contributo dei piccoli invasi:

A questo scopo, nonostante il valore di *u* sia variabile caso per caso a seconda delle condizioni geomorfologiche, pedologiche ed idrauliche del sito specifico, ricordando che condizioni particolari possono richiedere l'assunzione di valori cautelativamente più bassi, si assume per il Comprensorio consortile, con riferimento a terreni non urbanizzati, un coefficiente udometrico di 10 l/(s*ha).

Il contributo dei "piccoli invasi" può variare tra i 35 ed i 45 mc/ha, in dipendenza dalla morfologia e dalla destinazione d'uso della superficie afferente. In questa sede la variabilità di tale apporto è stata schematizzata come funzione del livello di impermeabilizzazione del suolo secondo la seguente tabella di riferimento:

Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	37 di 61

TIPOLOGIA SUPERFICIE AFFERENTE	VOLUME PER VELO IDRICO SUPERFICIALE	VOLUME PER INVASO IN POZZETTI / CADITOIE	SOMMA VOLUME PICCOLI INVASI [mc/ha]
Superfici a verde	25	10	35
Superfici parzialmente drenanti, semi-permeabili, ghiaia, terra battuta	17	24	41
Superfici asfaltate, edificate o comunque fortemente impermeabilizzate	10	35	45

Tabella 3.3: Contributo specifico dei "piccoli invasi" per diverse tipologie di superficie

Le opere di drenaggio ferroviario nella variante di Portogruaro consistono nel convogliare le acque di piattaforma dovute alla trasformazione dell'area oggetto di intervento all'interno di quattro vasche di laminazione che, rispettando il criterio di invarianza idraulica imposto, restituisce al ricevitore finale la portata laminata.

Come precedentemente scritto, si sono verificati i volumi dei fossi di guardia di laminazione applicando il metodo delle sole piogge, imponendo un grado di riempimento pari al 70% del volume disponibile; inoltre, considerando l'incremento di pioggia dovuta ai cambiamenti climatici, si sono ulteriormente verificati i fossi di guardia con un grado di riempimento del 95%. Di seguito si riportano le verifiche dei fossi, in cui:

- S_1 è la porzione di intervento "impermeabile" (piattaforma ferroviaria);
- S_2 è la porzione di intervento "permeabile" (scarpate del rilevato, eventuali fossi di guardia, ecc.);
- S_{TOT} è la superficie totale (permeabile + impermeabile);
- Ψ_1 è il coeff. di deflusso per la parte di intervento "impermeabile";
- Ψ_2 è il coeff. di deflusso per la parte di intervento "permeabile";
- Ψ_{equiv} è il coeff. di deflusso equivalente, arrotondato per eccesso a favore di sicurezza.

Vasca 1

Input

S_1 [m ²]	Ψ_1 [-]	S_2 [m ²]	Ψ_2 [-]	S_{tot} [m ²]	Ψ_{equiv} [-]
4003.5	0.9	2040	0.65	4929.15	0.775

S_{tot} [m ²]	S_{tot} [ha]	Tr [anni]	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]
4929.15	0.492915	100	0.800	10

Tabella 7-1 Input Vasca01

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
4929.15	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	14.20	388.53	10.60

Verifica:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	Vutile [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
36.00	16.00	1.00	16.00	0.70	576.00	403.20	40.57	16.00

Tabella 7-2 Verifica vasca 01

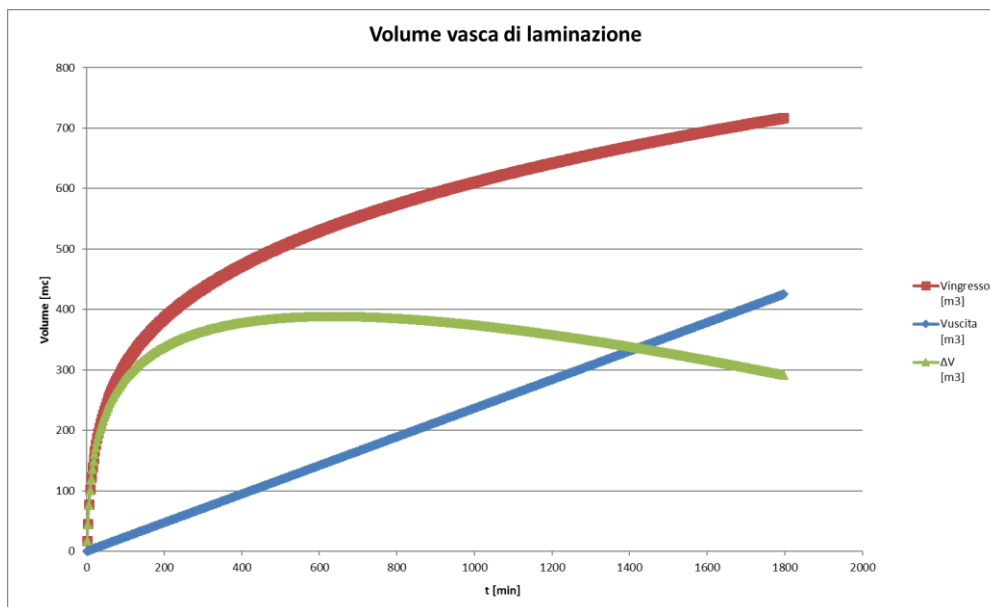


Figura 7-1 Andamento dei volumi d'invaso - Vasca01

Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	39 di 61

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
4929.15	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	14.20	467.39	10.60

Verifica ai cambiamenti climatici:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	V_{utile} [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
36.00	16.00	1.00	16.00	0.95	576.00	547.20	40.57	16.00

Tabella 7-3 Verifica vasca01 cambiamenti climatici

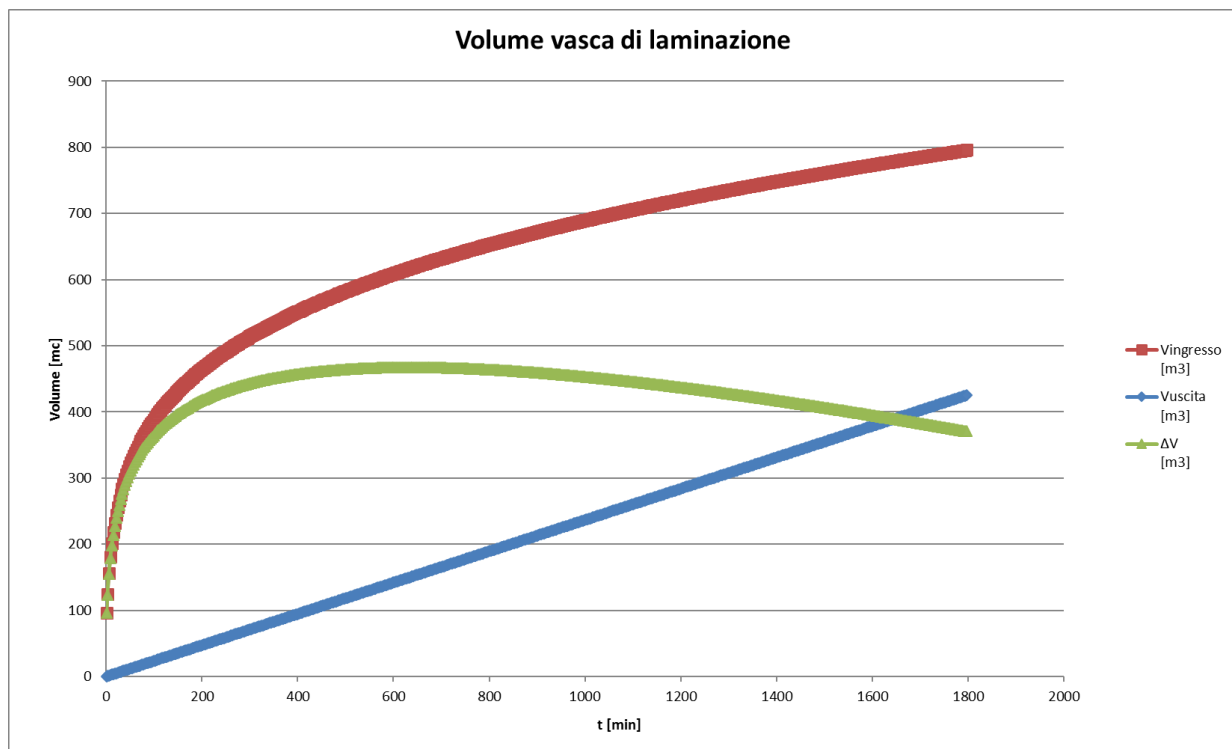


Figura 7-2 Andamento dei volumi d'invaso nei confronti della verifica ai cambiamenti climatici - vasca 01

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	40 di 61

Vasca 2
Input

S_1 [m ²]	Ψ_1 [-]	S_2 [m ²]	Ψ_2 [-]	S_{tot} [m ²]	Ψ_{equiv} [-]
4710	0.9	2400	0.65	5799	0.775

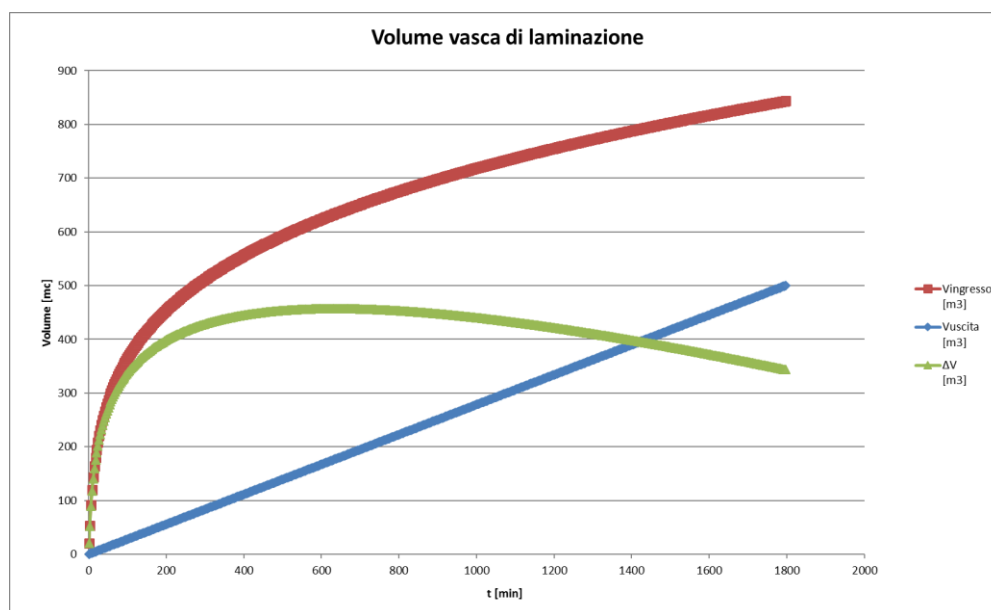
S_{tot} [m ²]	S_{tot} [ha]	Tr [anni]	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]
5799	0.5799	100	0.800	10

Tabella 7-4 Input Vasca 02
Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
5799	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	16.70	457.09	10.60

Verifica:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	Vutile [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
35.00	20.00	1.00	20.00	0.70	700.00	490.00	41.91	20.00

Tabella 7-5 Verifica vasca 02

Figura 7-3 Andamento dei volumi d'invaso – vasca 02

Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	41 di 61

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
5799	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	16.70	549.87	10.60

Verifica ai cambiamenti climatici:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	V_{utile} [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
35.00	20.00	1.00	20.00	0.95	700.00	665.00	41.91	20.00

Tabella 7-6 Verifica vasca02 cambiamenti climatici

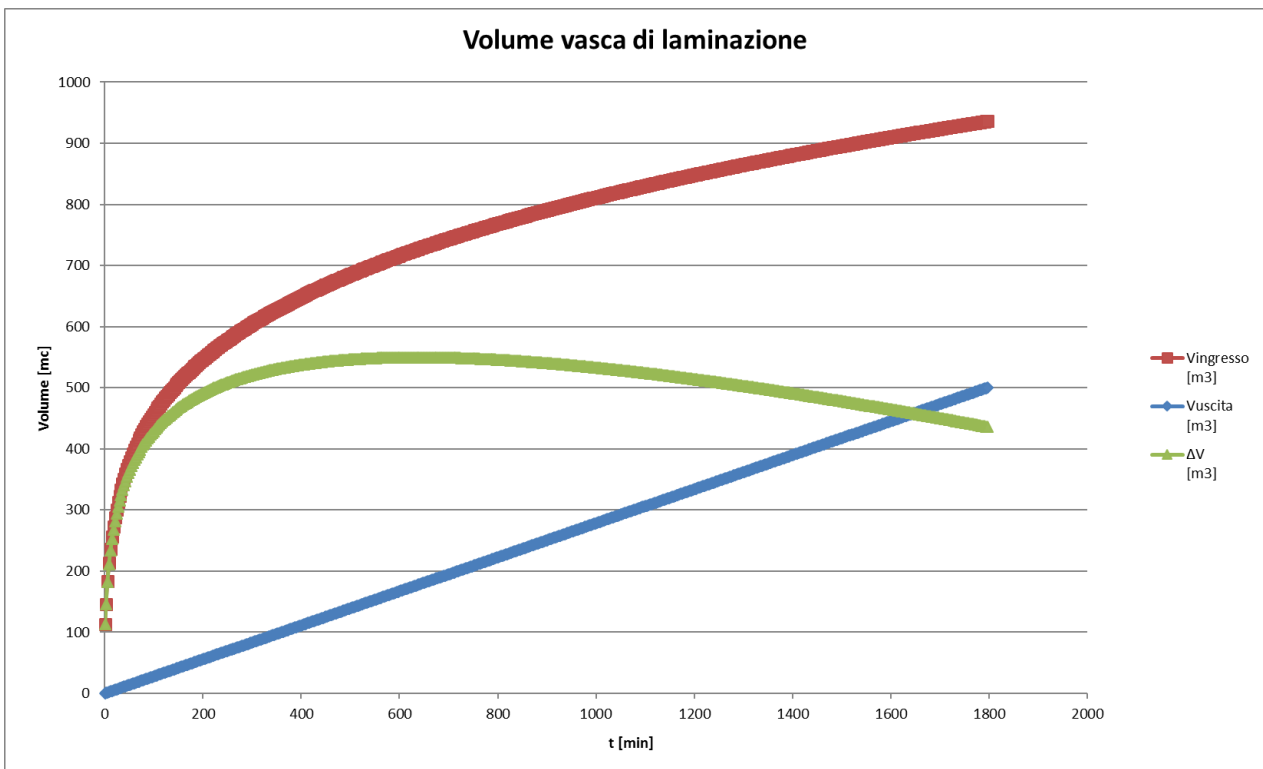


Figura 7-4 Andamento dei volumi d'invaso nei confronti della verifica ai cambiamenti climatici - vasca 02

Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	42 di 61

Vasca 3

Input

S_1 [m ²]	Ψ_1 [-]	S_2 [m ²]	Ψ_2 [-]	S_{tot} [m ²]	Ψ_{equiv} [-]
3925	0.9	2000	0.65	4832.5	0.775

S_{tot} [m ²]	S_{tot} [ha]	Tr [anni]	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]
4832.5	0.48325	100	0.800	10

Tabella 7-7 Input Vasca 03

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
4832.5	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	13.92	380.91	10.60

Verifica:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	Vutile [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
26.00	22.00	1.00	22.00	0.70	572.00	400.40	41.10	22.00

Tabella 7-8 Verifica vasca 03

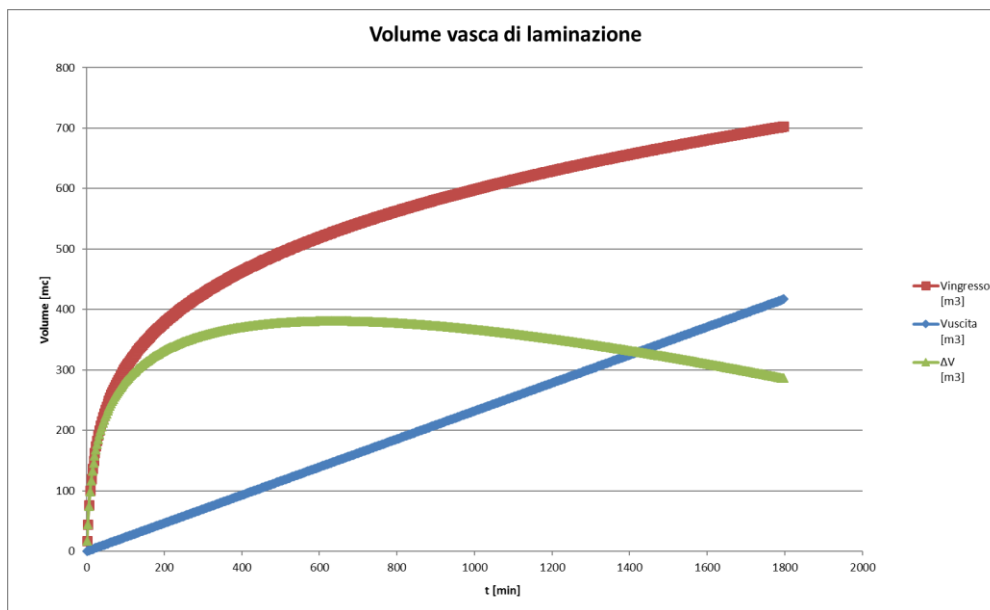


Figura 7-5 Andamento dei volumi d'invaso – vasca 03

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	43 di 61

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
4832.5	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	13.92	458.23	10.60

Verifica ai cambiamenti climatici:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	Vutile [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
26.00	22.00	1.00	22.00	0.95	572.00	543.40	41.10	22.00

Tabella 7-9 Verifica vasca03 cambiamenti climatici

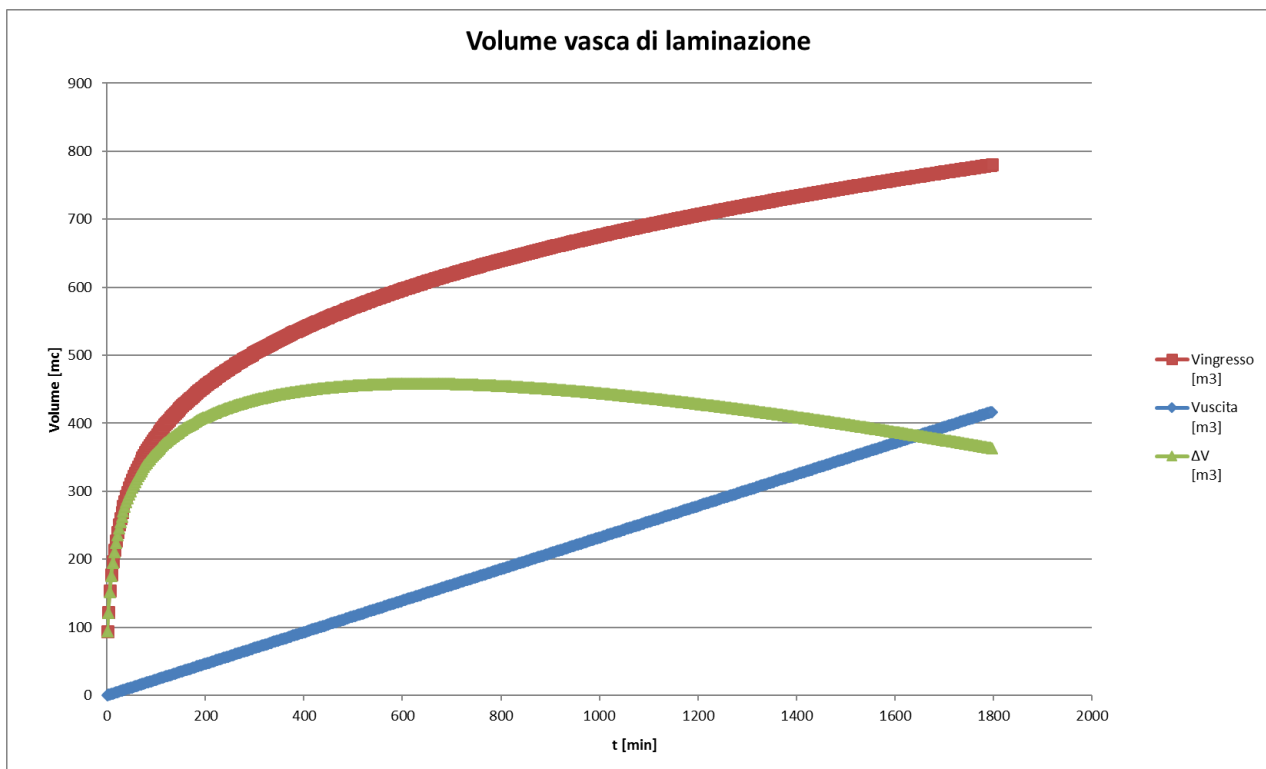


Figura 7-6 Andamento dei volumi d'invaso nei confronti della verifica ai cambiamenti climatici - vasca 03

Vasca 4

Input

S_1 [m ²]	Ψ_1 [-]	S_2 [m ²]	Ψ_2 [-]	S_{tot} [m ²]	Ψ_{equiv} [-]
4239	0.9	2160	0.65	5219.1	0.775

S_{tot} [m ²]	S_{tot} [ha]	Tr [anni]	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]
5219.1	0.52191	100	0.800	10

Tabella 7-10 Input vasca04

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
5219.1	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	15.03	411.38	10.60

Verifica:

L [m]	b [m]	H	B [m]	h _{utile} [m]	V_{vasca} [m ³]	V_{utile} [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
40.00	15.00	1.00	15.00	0.70	600.00	420.00	39.92	15.00

Tabella 7-11 Verifica vasca04

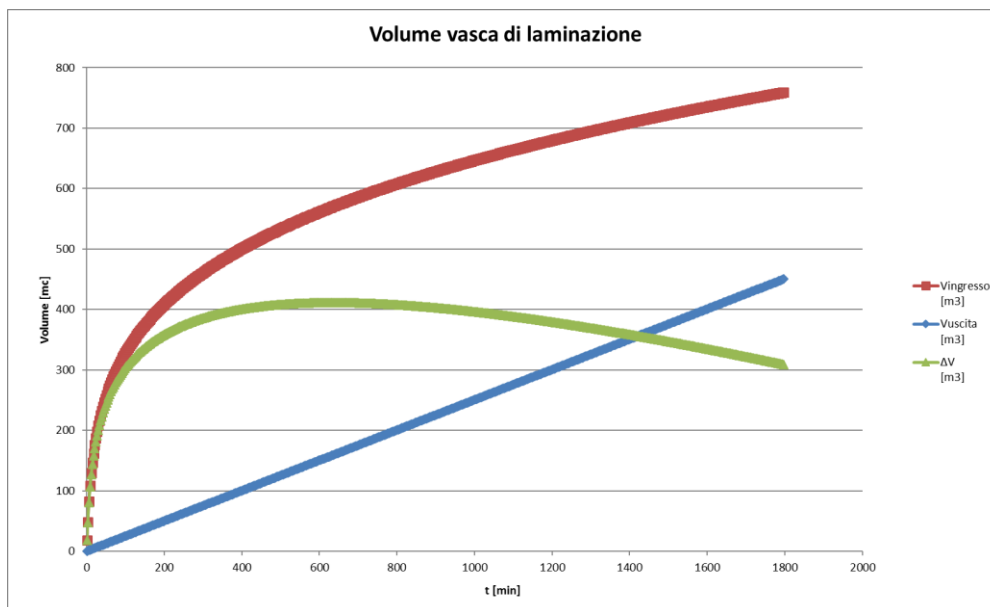


Figura 7-7 Andamento dei volumi vasca04

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

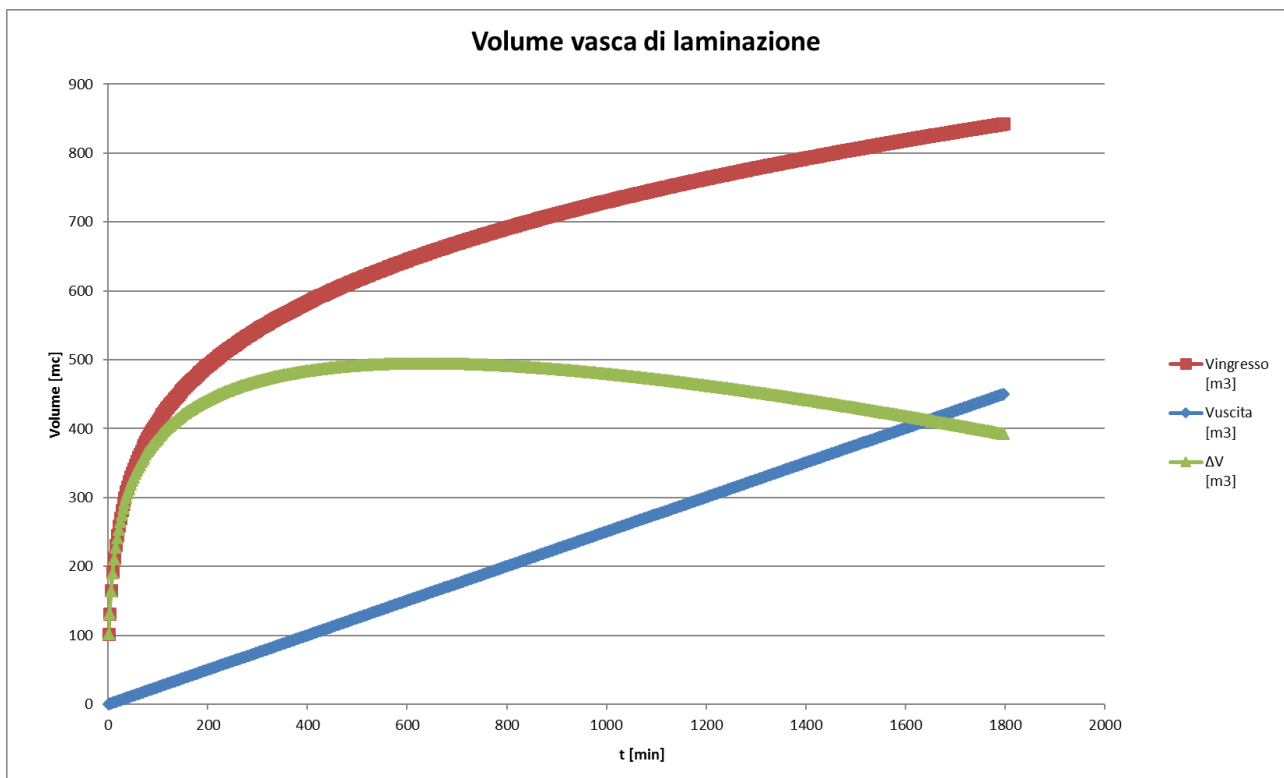
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	45 di 61

Dimensionamento:

S_{tot} [m ²]	Tr [anni]	a	b	c	Ψ_{equiv} [-]	u [l/s, ha]	Q_{out} [m ³ /h]	V [m ³]	t_{cr} [h]
5219.1	100	24.5000	9.6000	0.7320	0.8	10	15.03	494.89	10.60

Verifica ai cambiamenti climatici:

L [m]	b [m]	H	B [m]	hutile [m]	V_{vasca} [m ³]	Vutile [m ³]	t_{cr} [h]	A_{sez} [m ²]
40.00	15.00	1.00	15.00	0.95	600.00	570.00	39.92	15.00

Tabella 7-12 Verifica vasca04 cambiamenti climatici

Figura 7-8 Andamento dei volumi d'invaso nei confronti della verifica ai cambiamenti climatici - vasca 04

8 DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

Il sistema di drenaggio previsto è costituito da un sistema di raccolta, collettamento e smaltimento delle acque meteoriche afferenti la piattaforma ferroviaria composto da una canaletta in cls rettangolare di dimensioni minime 70x50 cm e collettori di attraversamento che convogliano le acque di piattaforma all'interno delle vasche di laminazione previste in progetto

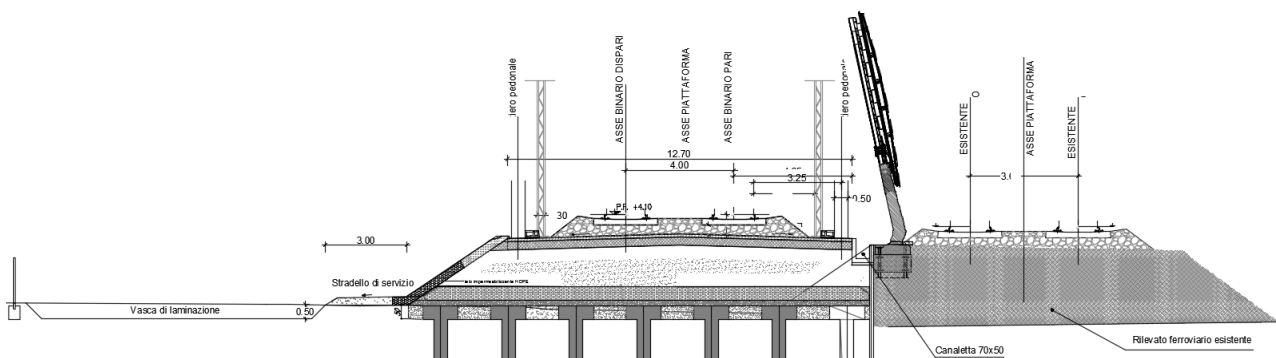


Figura 8-1 Sezione tipo

8.1 PORTATE DI PROGETTO

L'impostazione idrologica ed i metodi di dimensionamento delle opere tengono conto delle impostazioni date dal "Metodo italiano", nel quale si fa l'ipotesi che il funzionamento dei collettori sia autonomo e sincrono:

autonomo significa che ogni condotto si riempie e si svuota per effetto delle caratteristiche idrologiche del bacino drenato trascurando quindi eventuali rigurgiti indotti dai rami che seguono a valle,

sincrono significa che tutti i condotti si riempiono e si svuotano contemporaneamente.

Tali ipotesi di funzionamento non sono pienamente aderenti alla realtà nella quale invece si ha una propagazione dell'onda di piena da monte verso valle e quindi il volume W effettivamente invasato è minore di quello intero complessivo della rete.

METODO DELL'INVASO

La portata fluviale della rete è calcolata con il metodo empirico dell'invaso che tiene conto della diminuzione di portata per il velo (sottilissimo) che rimane sul terreno e per il volume immagazzinato in rete. In zone completamente pianeggianti, come quelle di progetto, il metodo empirico dell'invaso risulta il più adatto.

Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	47 di 61

L'acqua di pioggia proveniente dall'atmosfera avrà una portata che indicheremo con "p", mentre "I" indicheremo l'intensità di pioggia, cioè l'altezza d'acqua che cade nell'unità di tempo.

Dell'acqua piovana una parte viene assorbita dal terreno, una porzione evapora ed il resto defluisce; la porzione che evapora è molto piccola e quindi trascurabile.

Indicando con " φ " l'aliquota che defluisce sul terreno bisogna tenere conto che tale valore dipenderà dalla natura del terreno, dalla durata dell'evento di pioggia, dal grado di umidità dell'atmosfera e dalla stagione, φ prende il nome di coefficiente di afflusso e moltiplicato per l'area del bacino (A) e per l'intensità di pioggia (I) ci fornirà una stima della portata che affluisce nel bacino nell'unità di tempo.

$$p = \varphi \cdot I \cdot A$$

nel tempo dt il volume d'acqua affluito sarà $p \cdot dt$, mentre nell'istante t nella rete di drenaggio defluirà, una portata q, inizialmente nulla e man mano crescente.

Se il volume che affluisce nel tempo dt è pari a $p \cdot dt$ e quello che defluisce è $q \cdot dt$, la differenza, che indicheremo con dw, rappresenterà il volume d'acqua che si invasa nel tempo.

Pertanto, l'equazione di continuità in forma differenziale sarà:

$$p \cdot dt = q \cdot dt + dw$$

Il metodo dell'invaso utilizzato per lo studio idraulico e la verifica dei collettori di smaltimento delle acque delle aree esterne si basa proprio sull'equazione di continuità.

Considerando che la portata q può essere considerata costante, le variabili da determinare sono q(t), w(t), e t, per cui l'equazione a seguire non sarebbe integrabile se non fissando q o w:

$$w/\omega = W/\omega = \text{cost}$$

in cui ω è l'area della sezione, w è il volume invasato totale, W è il volume immagazzinato nella rete posta a monte della sezione in questione.

Tuttavia, valutando che il valore massimo di portata verrà raggiunto alla fine dell'evento di pioggia di durata t, il problema di progetto si riduce ad individuare la durata di pioggia che massimizzi la portata, tenuto conto che al diminuire di questa aumenta l'intensità di pioggia I.

Tale problema è stato risolto, nell'ipotesi di intensità di pioggia (I) costante e di rete di drenaggio inizialmente vuota ($q = 0$ per $t = 0$) considerando:

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	48 di 61

- Una relazione lineare tra il volume w immagazzinato nella rete a monte e l'area della sezione idrica ω :

$$w/\omega = W/\Omega = \text{cost}$$

Questa condizione, nel caso di un singolo tratto, corrisponde all'ipotesi di moto uniforme, mentre nel caso di reti, si basa su due ulteriori ipotesi: che i vari elementi si riempiono contemporaneamente senza che mai il deflusso affluente sia ostacolato (funzionamento autonomo) e che il grado di riempimento di ogni elemento sia coincidente con quello degli altri (funzionamento sincrono);

- Una relazione lineare tra la portata defluente e l'area della sezione a monte:

$$q/\omega = Q/\Omega = \text{cost}$$

(Q portata a monte della sezione, Ω area della sezione a monte)

Tale relazione corrisponde all'ipotesi di velocità costante in condotta, ipotesi abbastanza prossima alla realtà nella fascia dei tiranti idrici che in genere si considerano.

Con queste ipotesi semplificative si ottiene:

$$\frac{dw}{W} = \frac{dq}{Q}$$

$$dw = \frac{dq}{Q} \cdot W$$

L'equazione di continuità diviene quindi:

$$(p - q)dt = \frac{W}{Q} \cdot dq$$

Ovvero:

$$p - q = \frac{dw}{dt}$$

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di ottenere una relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, ovvero consente la stima dell'intervallo temporale tra un valore nullo di portata ed un valore massimo. Definendo T il tempo necessario per passare da $q=0$ a $q=q_{\max}$, e t_r il tempo di riempimento, si avrà:

- un canale adeguato se $T \leq t_r$,

Relazione di compatibilità e di
smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	49 di 61

- un canale insufficiente se $T > t_r$.

Il corretto dimensionamento del canale di drenaggio delle acque piovane si ottiene ponendo $T = t_r$, ovvero nel caso in cui la durata dell'evento piovoso eguagli il tempo di riempimento del canale. In quest'ottica nasce il metodo dell'invaso non come metodo di verifica, ma come strumento progettazione, imponendo la relazione $T = t_r$ si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

$$u = k \cdot \frac{(\varphi \cdot a)^{1/n}}{w^{\frac{1}{n}-1}}$$

In cui:

u , coefficiente udometrico, rappresenta la portata per unità di superficie del bacino (l/s/ha);

φ , coefficiente di deflusso;

W , il volume w rappresenta il volume specifico di invaso totale pari al rapporto tra il volume di invaso totale W_{tot} e la superficie drenata, è valutato secondo la seguente espressione:

$$W = \frac{0.005(A_p + A_s) + 0.003A_e + \sigma L}{A_p + A_r + A_e}$$

- A_p denota l'area della piattaforma ferroviaria di progetto (m^2);
- A_s denota l'area della scarpata dell'eventuale trincea e della piattaforma ferroviaria esistente (m^2);
- A_e denota l'area esterna (m^2);
- L (m) e σ (m^2), rispettivamente, rappresentano la lunghezza e la sezione idrica nel fosso per il grado di riempimento effettivo.
- In particolare, W è dato dalla somma del volume proprio di invaso W_1 , del volume di invaso dei tratti confluenti depurato del termine dei piccoli invasi W_2 , del volume dei piccoli invasi considerando l'intera superficie del bacino drenata W_3 .
- a, n coefficienti della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora vista l'estensione dei bacini e per tempo di ritorno pari a 100 anni (con a espresso il mm/h);
- k , coefficiente che assume il valore "2168 n" [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni Idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore].

L'espressione del coefficiente udometrico utilizzata nel nostro studio è dunque:

$$u = 2168 \cdot n \cdot \frac{(\varphi \cdot a)^{1/n}}{w^{n-1}}$$

Per quanto attiene il coefficiente di deflusso esso è stato assunto:

- $\varphi = 0.90$ per la piattaforma viaria di progetto;

Ricavato il coefficiente udometrico, la portata si ottiene come

$$Q = u(A_p + A_r + A_e)$$

Dove la superficie totale drenata $A = A_p + A_r + A_e$ è espressa in ettari e la portata Q in l/s.

8.2 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

Definiti i parametri pluviometrici, il metodo di trasformazione afflussi/deflussi si effettua il dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. La verifica idraulica degli elementi in progetto viene effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

$$V = k \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V$$

dove K , il coefficiente di scabrezza, è stato valutato secondo la formula di Gaukler-Strickler:

$$K = K_s R^{1/6}$$

ottenendo:

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2}$$

dove:

- Q , portata (m^3/s);
- i , pendenza media del fosso (m/m);
- A , sezione idrica (m^2);
- K_s , il coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strickler, pari a $67 - 35 \text{ mm}^{1/3} \cdot s^{-1}$;
- R , raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	51 di 61

Di seguito un pre-dimensionamento di massima:

DATI RETE				COLLETTORE					
N _i	N _{i+1}	L	i _{med}	Tipologico	K _s	D _{int}	Diam/H	Tirante	Q
ID _N	ID _N	[m]	[m/m]		[mm ^{1/3} s ⁻¹]	[m]	[m]	[m]	[l/s]
59+950.00	60+000.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.063	12.943
60+000.00	60+050.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.096	24.371
60+050.00	60+100.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.123	34.886
60+100.00	60+150.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.146	44.754
60+150.00	60+200.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.167	54.125
60+200.00	60.250.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.063	12.943
60.250.00	60+300.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.096	24.371
60+750.00	60+800.00	50.00	0.56%	R_70	67	0.500	0.700	0.047	13.903
60+800.00	60+850.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.099	25.243
60+850.00	60+900.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.125	35.698
60+900.00	60+950.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.148	45.521
60+950.00	61+000.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.169	54.857
61+000.00	61+050.00	50.00	0.20%	R_70	67	0.500	0.700	0.063	12.943
61+050.00	61+066.33	16.33	0.61%	R_70	67	0.500	0.700	0.053	17.363

Tabella 8-1 Geometria canalette

DATI RETE				SUPERFICI DRENATE			INVASO		VERIFICHE		
N _i	N _{i+1}	L	i _{med}	L _p	S _p	Φ	W _p	Q _p	G.R.	V	Fr
ID _N	ID _N	[m]	[m/m]	[m]	[m ²]		[m ³]	[l/s]	[%]	[m/s]	
59+950.00	60+000.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	12.943	12.7%	0.409	0.520
60+000.00	60+050.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	24.371	19.2%	0.506	0.521
60+050.00	60+100.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	34.886	24.6%	0.567	0.517
60+100.00	60+150.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	44.754	29.3%	0.612	0.511
60+150.00	60+200.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	54.125	33.5%	0.647	0.505
60+200.00	60.250.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	12.943	12.7%	0.409	0.520
60.250.00	60+300.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	24.371	19.2%	0.506	0.521
60+750.00	60+800.00	50.00	0.56%	6.350	317.500	0.900	1.588	13.903	9.5%	0.586	0.858
60+800.00	60+850.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	25.242	19.7%	0.512	0.521
60+850.00	60+900.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	35.698	25.0%	0.572	0.516
60+900.00	60+950.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	45.521	29.6%	0.615	0.510
60+950.00	61+000.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	54.858	33.8%	0.649	0.504
61+000.00	61+050.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	12.943	12.7%	0.409	0.520
61+050.00	61+066.33	16.33	0.61%	6.350	103.696	0.900	0.518	17.362	10.6%	0.652	0.903

Tabella 8-2 Verifica canalette sole piogge

Relazione di compatibilità e di
 smaltimento idraulico – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RI	ID0002 001	A	52 di 61

DATI RETE				SUPERFICI DRENATE			INVASO		VERIFICHE		
N _i	N _{i+1}	L	i _{med}	L _p	S _p	Φ	W _p	Q _p	G.R.	V	Fr
ID _N	ID _N	[m]	[m/m]	[m]	[m ²]		[m ³]	[l/s]	[%]	[m/s]	
59+950.00	60+000.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	15.527	14.3%	0.436	0.521
60+000.00	60+050.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	29.137	21.7%	0.536	0.520
60+050.00	60+100.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	41.608	27.8%	0.599	0.513
60+100.00	60+150.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	53.278	33.1%	0.644	0.505
60+150.00	60+200.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	64.338	37.9%	0.679	0.498
60+200.00	60.250.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	15.527	14.3%	0.436	0.521
60.250.00	60+300.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	29.137	21.7%	0.536	0.520
60+750.00	60+800.00	50.00	0.56%	6.350	317.500	0.900	1.588	16.752	10.7%	0.626	0.864
60+800.00	60+850.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	30.244	22.3%	0.543	0.519
60+850.00	60+900.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	42.636	28.3%	0.603	0.512
60+900.00	60+950.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	54.248	33.5%	0.647	0.505
60+950.00	61+000.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	65.261	38.3%	0.681	0.497
61+000.00	61+050.00	50.00	0.20%	6.350	317.500	0.900	1.588	15.527	14.3%	0.436	0.521
61+050.00	61+066.33	16.33	0.61%	6.350	103.696	0.900	0.518	20.844	12.0%	0.696	0.907

Tabella 8-3 Verifica canalette cambiamenti climatici

Si rimanda alla successiva fase progettuale per un dimensionamento puntuale di ciascun elemento idraulico e per lo studio di dettaglio delle interferenze.