

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34H16000620009

**U.O. Coordinamento Territoriale Nord**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE**

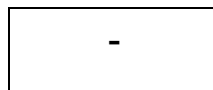
**Posti di Movimento e Varianti di Tracciato**

**LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo**

**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    4 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: IZ0440R26RIID0002001A

n. Elab.:

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>ELENCO DELLE OPERE MINORI DI PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DISPOSIZIONI NORMATIVE .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>IL BACINO DEL FIUME ISONZO .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>IL BACINO DEL LEVANTE .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1</b>	<b>CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE LSPP.....</b>	<b>15</b>
<b>5.2</b>	<b>RIEPILOGO DEI VALORI ADOTTATI .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>CRITERI DI PROGETTO E METODI DI VERIFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>6.1</b>	<b>STIMA DELLE PORTATE DI PIENA.....</b>	<b>18</b>
<b>6.2</b>	<b>METODI DI VERIFICA DEI TOMBINI IDRAULICI.....</b>	<b>20</b>
6.2.1	HEC-RAS .....	20
6.2.2	HY8.....	25
<b>6.3</b>	<b>VERIFICHE IDRAULICHE .....</b>	<b>28</b>
6.3.1	TOMBINO IN04 – Risultati HEC-RAS .....	29
6.3.2	TOMBINI IN01, IN02, IN03, IN05 – Risultati HY8.....	33
<b>7</b>	<b>INVARIANZA IDRAULICA .....</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>METODOLOGIA DI CALCOLO .....</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>DRENAGGIO DI PIATTAFORMA .....</b>	<b>43</b>
<b>8.1</b>	<b>PORTATE DI PROGETTO.....</b>	<b>44</b>
<b>8.2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO IDRAULICO .....</b>	<b>48</b>

**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 .....	9
FIGURA 4-2 ESTENSIONE DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI .....	10
FIGURA 4-3 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI DI COMPETENZA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI .....	10
FIGURA 4-4 BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ISONZO .....	11
FIGURA 4-5 BACINO IDROGRAFICO DEL LEVANTE .....	14
FIGURA 5-1 CONFRONTO LSPP < 1 ORA, TR 200 ANNI .....	16
FIGURA 5-2 CONFRONTO LSPP > 1 ORA, TR 200 ANNI .....	16
FIGURA 6-1 EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA .....	21
FIGURA 6-2 EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO .....	22
FIGURA 6-3 ESEMPIO DI MOTO CONTROLLATO DALLA SEZIONE DI INGRESSO .....	27
FIGURA 6.4 ESEMPI DI MOTO CONTROLLATO DA SEZIONI A VALLE DEL TOMBINO .....	27
FIGURA 6-5 PLANIMETRIA STATO ATTUALE .....	29
FIGURA 6-6 PROFILO STATO ATTUALE .....	30
FIGURA 6-7 PLANIMETRIA DI PROGETTO .....	31
FIGURA 6-8 PROFILO STATO PROGETTO .....	32
FIGURA 7-1 ANDAMENTO DEI VOLUMI .....	41
FIGURA 7-2 ANDAMENTO DIE VOLUMI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	42
FIGURA 8-1 SEZIONE TIPO 40M .....	43
FIGURA 8-2 SEZIONE TIPO IMPALCATO 68M .....	43

**INDICE DELLE TABELLE**

TABELLA 1-1 TABELLA OPERE IN PROGETTO .....	5
TABELLA 3-1 SINTESI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....	8
TABELLA 5-1 PARAMETRI IDROLOGICI PER VARIANTE DI PORTOGRUARO .....	17
TABELLA 5-2 VARIAZIONI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE NELL'AREA DI INTERVENTO (ISPRA, 2015) ...	17
TABELLA 6-1 PORTATE IDROLOGICHE – METODO RAZIONALE .....	19
TABELLA 6-2 PORTATE IDROLOGICHE INCREMENTATE IN VIRTÙ DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	19
TABELLA 6-3 VALORI DEL COEFFICIENTE DI MANNING NELLA MODELLAZIONE 1D. ....	24
TABELLA 6-4 TABULATI DI CALCOLO - STATO ATTUALE .....	30
TABELLA 6-5 TABULATI DI CALCOLO – STATO DI PROGETTO .....	32
TABELLA 6-6 VERIFICHE TOMBINI IDRAULICI HY8 .....	33
TABELLA 7-1 DATI DI PROGETTO .....	40
TABELLA 7-2 GEOMETRIA FOSSO DRENANTE .....	40
TABELLA 7-3 VERIFICA VOLUMI DI INVASO .....	41
TABELLA 7-4 VERIFICA ALLO SVUOTAMENTO .....	41
TABELLA 7-5 DURATA CRITICA .....	41
TABELLA 7-6 VERIFICA VOLUMI DI INVASO CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	42
TABELLA 7-7 VERIFICA SVUOTAMENTO CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	42

TABELLA 7-8 DURATA CRITICA CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	42
TABELLA 8-1 GEOMETRIA COLLETTORI .....	48
TABELLA 8-2 VERIFICA COLLETTORI SOLE PIOGGE .....	49
TABELLA 8-3 VERIFICA COLLETTORI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	49

## 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 Isonzo, in particolare si descrivono gli attraversamenti minori della linea e il sistema di smaltimento delle acque meteoriche di piattaforma ferroviaria.

In dettaglio sono state verificate le interferenze del tracciato con il reticolo idrografico, valutando caso per caso la compatibilità con la portata di progetto e di definire i necessari adeguamenti alle opere idrauliche esistenti al fine di garantire la sicurezza idraulica della linea. Infine, è stato analizzato il sistema di raccolta e laminazione delle opere di drenaggio ferroviario.



**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	Progr.	Tipologia	Dimensioni [m]
IN01	0+310.00	Scatolare	4.00x2.50
IN02	0+865.38	Circolare	1.50
IN03	0+969.00	Circolare	1.50
IN04	3+525.00	Scatolare	2.00x1.80
IN05	3+713.41	Circolare	1.50

Tabella 1-1 Tabella opere in progetto

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

Le piogge sono state studiate nell'elaborato IZ0440R26RHID0001001A, al quale si rimanda per ogni ulteriore approfondimento mentre la morfometria dei bacini è mappata nell'elaborato IZ0440R26C5ID0001001A.

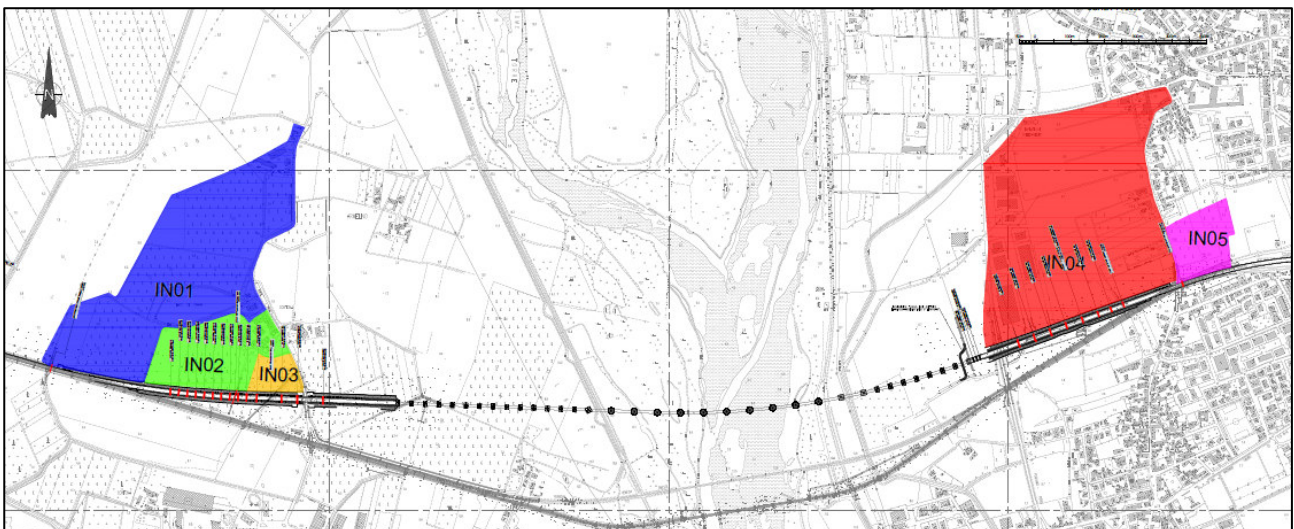



Figura 1-2 Corografia dei bacini

	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA – TRIESTE</b> <b>Posti di Movimento e Varianti di Tracciato</b>					
	<b>LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo</b>					
<b>Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R26RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 6 di 61

## 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:

- L.R. 29 aprile 2015, n. 11 Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque.
- Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque).
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione.
- Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante).
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali – I CICLO 2015-2021.

### 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 ricadono principalmente nel bacino idrografico del fiume Isonzo, ma in parte anche nel bacino idrografico del Levante, entrambi 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 dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione.
- Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante).
- 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 idraulica di ciascun intervento.



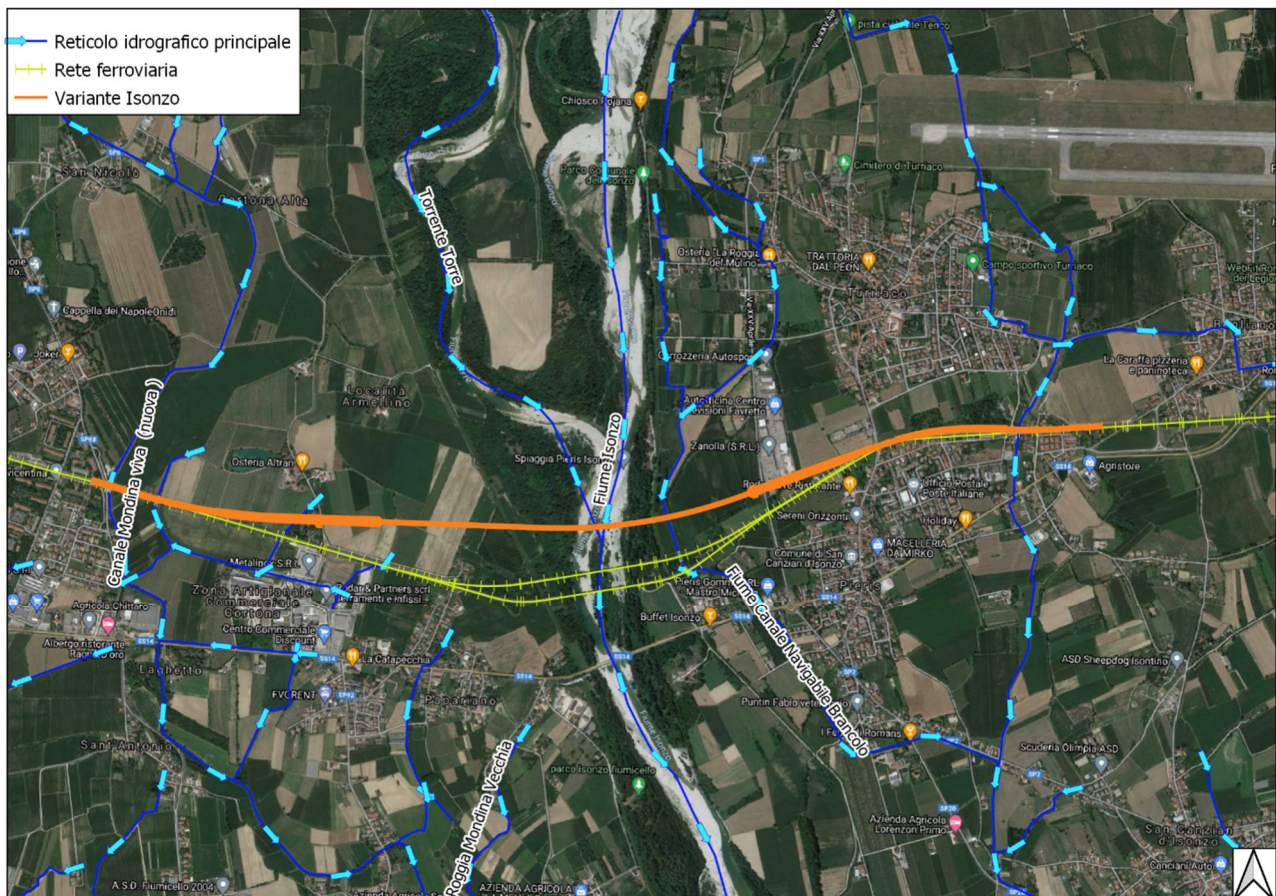
**Tabella 3-1 Sintesi delle condizioni di pericolosità degli interventi in progetto**

<b>INTERVENTO</b>	<b>PAI - ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE E BRENTA-BACCHIGLIONE</b>	<b>PAIR - Bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, del torrente Slizza e del levante</b>	<b>PGRA – I Ciclo</b>
Variante Isonzo	P3 dentro l'alveo del fiume Isonzo; P2 esternamente.	P2 ad est Isonzo	P2 ad ovest Isonzo; P1 ad est Isonzo.

Si rimanda agli elaborati di dettaglio per lo studio di compatibilità idraulica dell'intervento.

## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

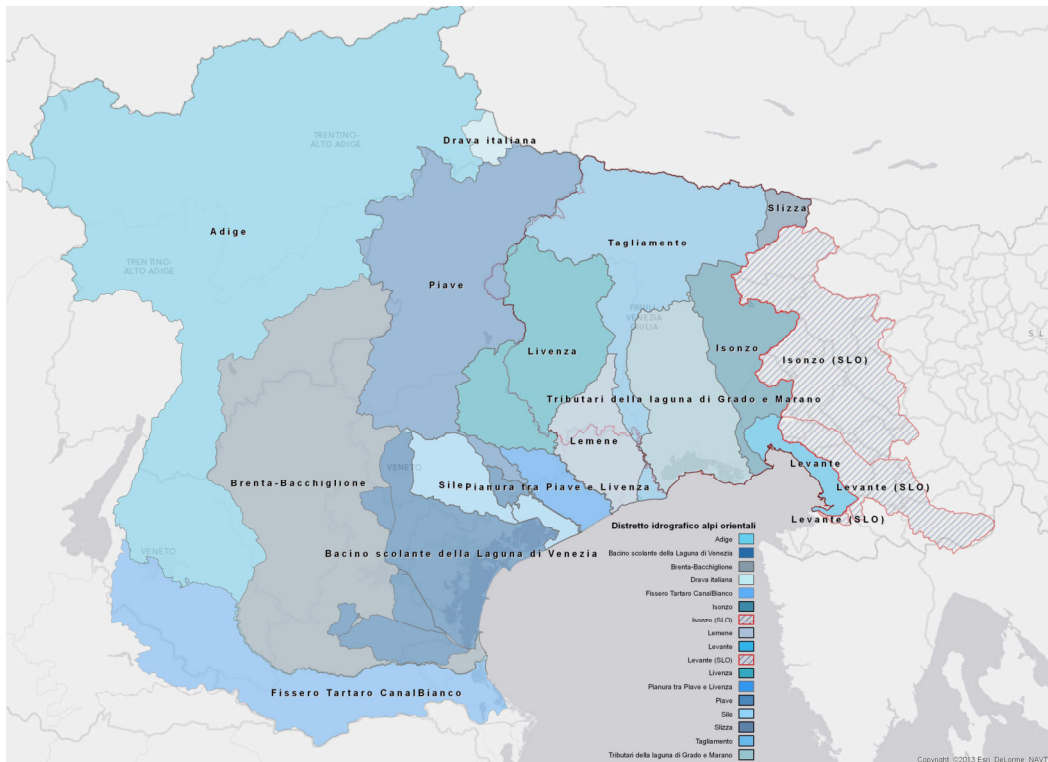
Come anticipato nell'introduzione, nell'ambito della progettazione del potenziamento della linea Venezia - Trieste, è prevista la realizzazione della variante di tracciato denominata "Variante Isonzo", la cui estensione va dalla progr. 0+000 Km alla progr. 4+745.16 Km.



**Figura 4-1 Inquadramento Variante Portogruaro**

Dal punto di vista dell'idrografia, la "Variante Isonzo" ricade principalmente nel bacino idrografico del fiume Isonzo, ma in parte anche nel bacino idrografico del Levante, entrambi di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R26RI	ID0002 001	A	10 di 61



**Figura 4-2 Estensione Distretto idrografico Alpi orientali**



**Figura 4-3 Corsi d'acqua principali di competenza del distretto idrografico alpi orientali**

#### 4.1 IL BACINO DEL FIUME ISONZO


Il fiume Isonzo nasce in Val di Trenta con sorgenti a quota 935 msm e sfocia nell'Adriatico, presso Monfalcone, ove forma un delta che tende, nel tempo, a spostarsi da occidente verso oriente.

Il bacino imbrifero dell'Isonzo sottende complessivamente una superficie di circa 3400 Km<sup>2</sup> dei quali circa 1150 Km<sup>2</sup>, cioè circa un terzo, in territorio italiano; di carattere prettamente torrentizio, il fiume Isonzo raccoglie e scarica le acque del versante meridionale delle Alpi Giulie, che separano questo bacino da quello della Sava. Gli affluenti principali di destra sono il Coritenza, in territorio sloveno, ed il Torre, che invece, scorre quasi totalmente in territorio italiano; a sinistra l'Isonzo è alimentato dall'Idria e dal Vipacco, con i rispettivi bacini compresi totalmente e quasi totalmente in territorio sloveno.

Per quanto riguarda le criticità idrauliche rilevate, il Fiume Isonzo, nel primo tratto in territorio italiano, fra il confine e la località di Straccia in comune di Gorizia, dove il fiume scorre incassato tra pareti rocciose, il fondo dell'alveo è costituito a tratti da materiali ghiaiosi mobili. Rilievi compiuti alla fine degli anni 60 indicavano un abbassamento dell'alveo presso il confine dell'ordine di 35 cm circa, rispetto alle quote rilevate nel 1960.



**Figura 4-4 Bacino idrografico del fiume Isonzo**

	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA – TRIESTE</b> <b>Posti di Movimento e Varianti di Tracciato</b>					
	<b>LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo</b>					
<b>Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R26RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 12 di 61

#### 4.1 IL BACINO DEL LEVANTE

Il bacino del Levante ha un'estensione complessiva di circa 1.280 km<sup>2</sup> dei quali 950 ricadenti in territorio sloveno; è formato da due zone geomorfologicamente molto diverse: l'estremo lembo orientale della pianura friulana ad est dell'Isonzo, dove scorrono una serie di canali artificiali, e la zona del Carso.

La zona del Carso è attraversata da tre corsi d'acqua principali: il fiume Timavo, il rio Ospso ed il torrente Rosandra.

Si tratta di un sistema idrografico ed idrogeologico composito che raccoglie una serie di bacini di rilievo regionale con caratteristiche molto diverse tra loro, che ricadono nel territorio compreso tra il corso dell'Isonzo, il confine italo-sloveno ed il Mare Adriatico.

Questi bacini, pur avendo estensione limitata, sono molto importanti per la delicatezza degli ambienti idrogeologici ma anche perché su di essi insistono i principali porti della Regione dei grossi centri urbani ed industriali di Trieste e Monfalcone. Il territorio tra il fiume Isonzo ed il Carso goriziano è la cosiddetta pianura alluvionale isontina, mentre la restante parte dei bacini a scolo superficiale ricade nel complesso arenaceo-marnoso del Flysch in provincia di Trieste. L'area del Carso goriziano e triestino, pur essendo caratterizzata da un deflusso superficiale nullo o estremamente limitato, è invece interessata da una ricca, complessa e solo parzialmente conosciuta circolazione idrica sotterranea.

Nel bacino regionale del Levante, i fenomeni di dissesto idrogeologico si concentrano in quei territori costituiti da litologie marnoso-arenacee, che imprimono al paesaggio una morfologia di tipo erosivo e presentano caratteristiche molto diverse dall'adiacente territorio carsico, più stabile e compatto. In questi territori, che comprendono la fascia costiera di Trieste e Muggia ed in parte i solchi vallivi del Torrente Rosandra e del Rio Ospso, l'abbandono dei coltivi e la conseguente assenza di manutenzione delle zone terrazzate costituisce un'ulteriore aggravante a suddetti fenomeni di instabilità. Numerosi sono i solchi di ruscellamento che tagliano i pendii e che durante gli episodi piovosi più intensi presentano portate notevoli; le pendenze maggiori si riscontrano sotto il "ciglione carsico", il cui innalzamento contrasta nettamente con le quote e le pendenze delle aree a substrato marnoso-arenaceo e con le alluvioni della pianura isontina.

Nel tratto costiero le precipitazioni annue presentano valori compresi tra 850 e 1100 mm con un andamento crescente da sud a nord; mentre sull'altopiano carsico tali quantità salgono a 1400 mm nel settore più settentrionale, seguendo un gradiente da SE a NO.

L'elevato grado di urbanizzazione del territorio, che comprende il grande conurbamento di Trieste, costituisce fattore predisponente ai fenomeni di dissesto.

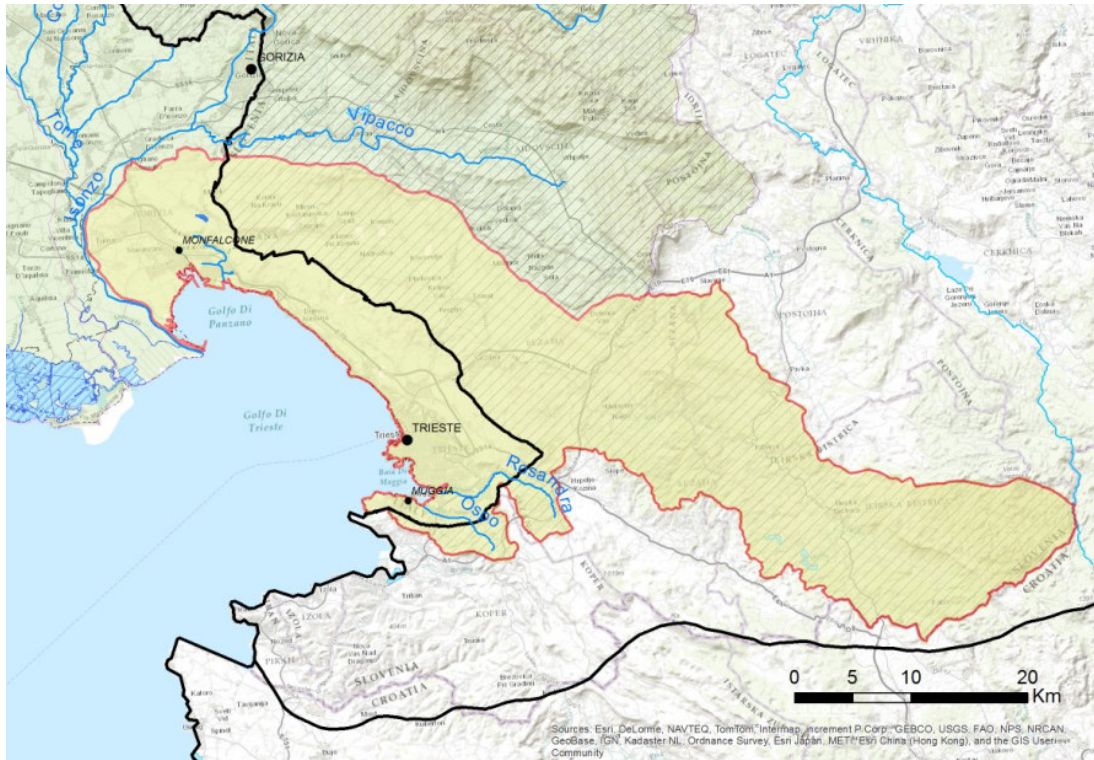
Considerate le specificità dell'idrografia superficiale, il bacino regionale del Levante da un punto di vista strettamente idraulico non presenta complessivamente (a scala di bacino) situazioni di grave pericolosità: infatti, l'elevata permeabilità della compagine carbonatica del territorio carsico determina l'assenza di corsi d'acqua superficiali, con l'eccezione dei torrenti Rosandra e Ospio e di una serie di rii minori. In particolare, i torrenti Rosandra ed Ospio evidenziano alcuni tratti che sono in stato di sofferenza idraulica per la scarsa manutenzione e per il notevole incremento degli afflussi meteorici dovuti all'elevato grado di urbanizzazione.

Tuttavia, una particolare attenzione deve essere posta a quella miriade di piccoli bacini idrografici che interessano localmente soprattutto il territorio triestino e muggesano e che, estendendosi sui ripidi versanti costieri, a bassa permeabilità causata dai litotipi presenti, scaricano repentinamente le loro acque direttamente verso il mare.

Un'altra importante porzione del bacino di Levante è quella ubicata ad est del fiume Isonzo, in particolare nei comuni di Monfalcone, Staranzano, Ronchi dei Legionari e S. Canzian d'Isonzo.

Si tratta di territori prevalentemente di bonifica il cui carattere umido (paludoso) è da sempre noto. In particolare, si vuole citare il canale Brancolo ed il reticolo idrografico afferente che entra in grande sofferenza nel caso di piene concomitanti con l'alta marea. Alcuni dei territori citati si trovano al di sotto del livello medio del mare. Inoltre, il medesimo territorio è interessato da un importante reticolo idrografico sotterraneo che emerge in superficie (ad esempio il fiume Timavo ed il sistema dei laghetti Sablici). Anche in questi territori l'alta marea può provocare esondazioni (es. presso Villaggio del Pescatore), sia per quanto riguarda una effettiva insufficienza delle arginature a mare, sia per quanto riguarda fenomeni di rigurgito della rete di scolo e drenaggio in concomitanza con la stessa.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R26RI	ID0002 001	A	14 di 61



**Figura 4-5 Bacino idrografico del Levante**

## 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 e fornite dalla Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia che ha effettuato una *“Analisi statistica su scala regionale per la progettazione di interventi di difesa e la zonizzazione del rischio”*.
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 ARPA-FVG localizzata nelle vicinanze delle opere in progetto.

Per le elaborazioni di dettaglio si rimanda all'elaborato specifico.

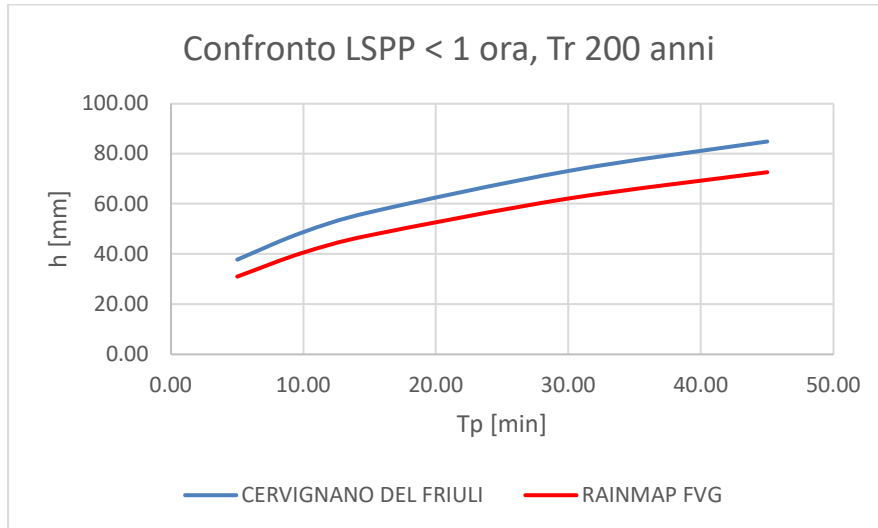
### 5.1 CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE LSPP

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.

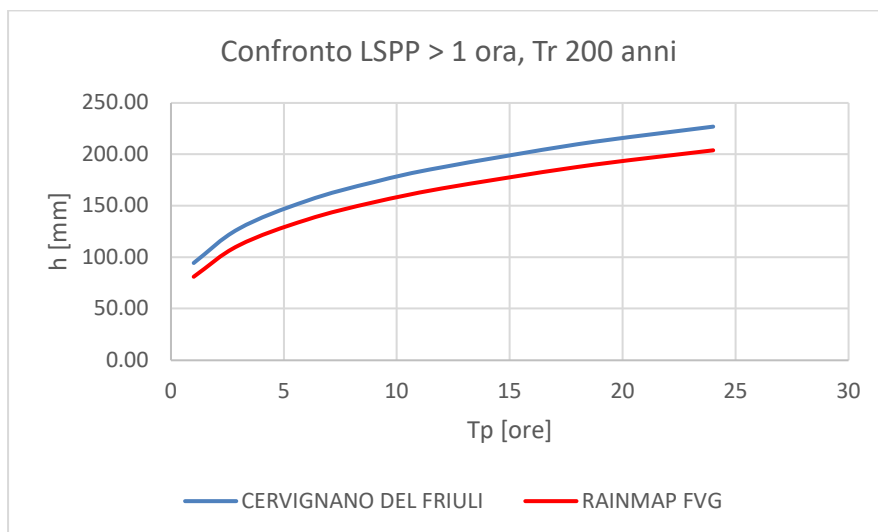
#### LSPP < 1 ORA






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

**LSPP > 1 ORA**



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

Come si vede dalle immagini precedenti, le altezze di pioggia che scaturiscono dall'analisi statistica con il metodo di Gumbel applicato ad i valori di precipitazione forniti da ARPA-FVG risultano superiori a quelle che si ottengono dall'analisi regionalizzata. Di conseguenza, sia per le durate di pioggia inferiori all'ora che superiori, 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 ARPA-FVG.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA – TRIESTE</b> <b>Posti di Movimento e Varianti di Tracciato</b>  <b>LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo</b>					
	<b>Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R26RI	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). Le durate di precipitazione vanno inserite in ore.

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/h]	n [-]
25	69.07	0.386	25	69.07	0.290
50	77.57	0.379	50	77.57	0.284
100	86.01	0.373	100	86.01	0.280
200	94.42	0.368	200	94.42	0.276

La durata di pioggia va inserita in ore.

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 Isonzo	+ 5-10	+5-10	+10-15

## 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
<b>TOMBINI</b>	200	- G.d.r. 66.7% - Velocità ammissibile= 5 m/s
<b>PONTI</b>	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, dai bacini limitati, 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  $m^2$ ;

$\psi$  è il coefficiente di deflusso.

Nelle tabelle seguenti sono ricapitolate le portate di progetto calcolate per ciascun bacino.

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 IZ0440R26RHID0001001), alla quale si rimanda per maggiori dettagli.

	<i>Var. Isonzo - IN01</i>	<i>Var. Isonzo - IN02</i>	<i>Var. Isonzo - IN03</i>	<i>Var. Isonzo - IN04</i>	<i>Var. Isonzo - IN05</i>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	87.43	71.25	53.49	99.64	61.84
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.16	0.10	0.08	0.29	0.27
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.234	0.067	0.02	0.320	0.03
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.81	0.47	0.21	1.22	0.32
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	1.11	0.27	0.09	2.08	0.50

**Tabella 6-1 Portate idrologiche – metodo razionale**

	<i>Var. Isonzo - IN01</i>	<i>Var. Isonzo - IN02</i>	<i>Var. Isonzo - IN03</i>	<i>Var. Isonzo - IN04</i>	<i>Var. Isonzo - IN05</i>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	102.43	86.25	68.49	114.64	76.84
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.20	0.14	0.14	0.33	0.34
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.234	0.067	0.02	0.320	0.03
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.81	0.47	0.21	1.22	0.32
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	1.68	0.50	0.19	2.79	0.79

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

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 IZ0440R26RHID0001001).

## 6.2 METODI DI VERIFICA DEI TOMBINI IDRAULICI

I tombini di attraversamento idraulico sono stati verificati utilizzando il moto permanente mediante l'implementazione di modelli numerici quali HEC-RAS per il tombino IN04 ed HY8 per i tombini IN01, IN02, IN03, IN05. 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 a tergo del Cimitero di Pieris.

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

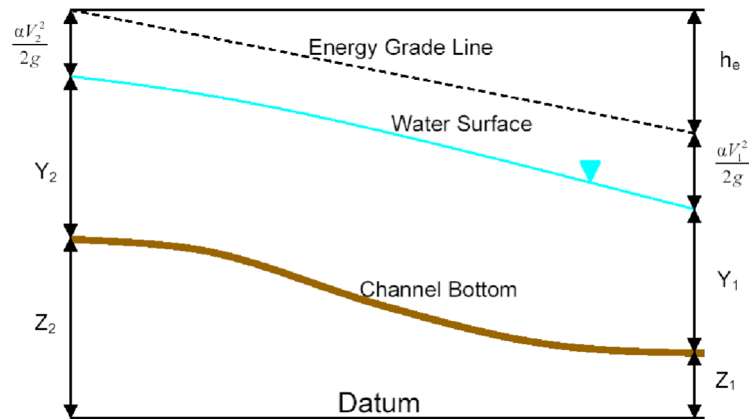
Per il tracciamento dei profili liquidi a moto permanente, HEC-RAS risolve l'equazione di conservazione dell'energia:

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,  $\alpha$  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 confluenze, 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:

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

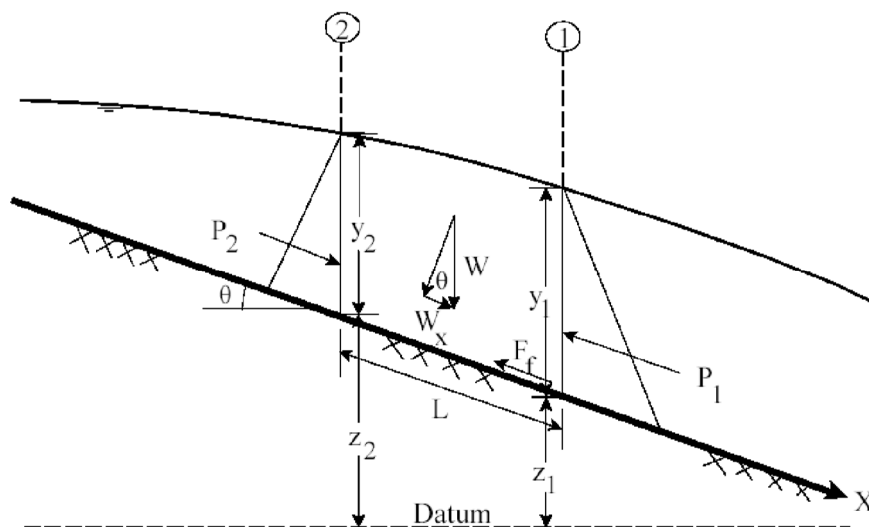


Figura 6-2 Equazione di conservazione della quantità di moto

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,  $\alpha$  e  $\beta$  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,  $\rho$  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.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA – TRIESTE</b> <b>Posti di Movimento e Varianti di Tracciato</b>  <b>LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo</b>					
	<b>Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R26RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

### Geometria del modello idraulico

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

La condizione ante-operam è stata riprodotta sulla base del rilievo LiDAR disponibile e della cartografia. La verifica post-operam prevede, per il canale, una risagomatura con sezione trapezoidale di base 0.50 m, pendenza sponde 1H:1V e altezza 0.50 m, associata ad un tombino rettangolare in CLS di dimensioni 2x1.80 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 sono state adattate quanto più possibile all'attuale configurazione, cercando di non modificare le pendenze dell'area circostante quella in progetto, al fine di evitare l'alterazione delle attuali direzioni di deflusso del reticolo presente; a tal proposito, l'ultima sezione risagomata ha dimensioni ridotte rispetto alle altre, per agevolare il raccordo con la morfologia del terreno esistente.

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 della ferrovia, il corso d'acqua è caratterizzato da vegetazione erbacea più scarsa dentro l'alveo e leggermente più fitta lungo le golene; a valle della ferrovia, invece, la vegetazione risulta scarna sia dentro l'alveo che lungo le golene. Inoltre, per agevolare il deflusso dell'acqua, nella zona interclusa compresa tra la vecchia e la nuova sede ferroviaria è stato previsto un rivestimento dell'alveo in CLS per un tratto di estensione circa pari a 65 m.


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

	<b>COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING [s/m<sup>1/3</sup>]</b>
Alveo inciso naturale	0.03
Aree golenali naturali	0.04
Alveo e golene rivestite in CLS	0.02

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

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 0.3/0.5.

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 0.2%.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA – TRIESTE</b> <b>Posti di Movimento e Varianti di Tracciato</b>  <b>LOTTO 4: Variante di tracciato Isonzo</b>					
	<b>Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R26RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

### 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 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.

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.

Descrizione della metodologia utilizzata

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

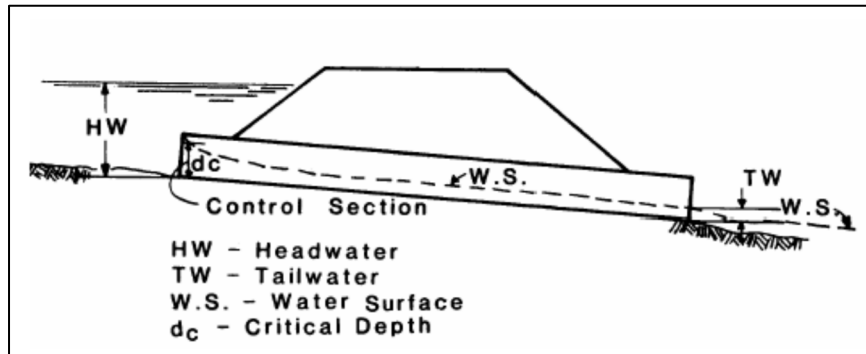


Figura 6-3 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

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.

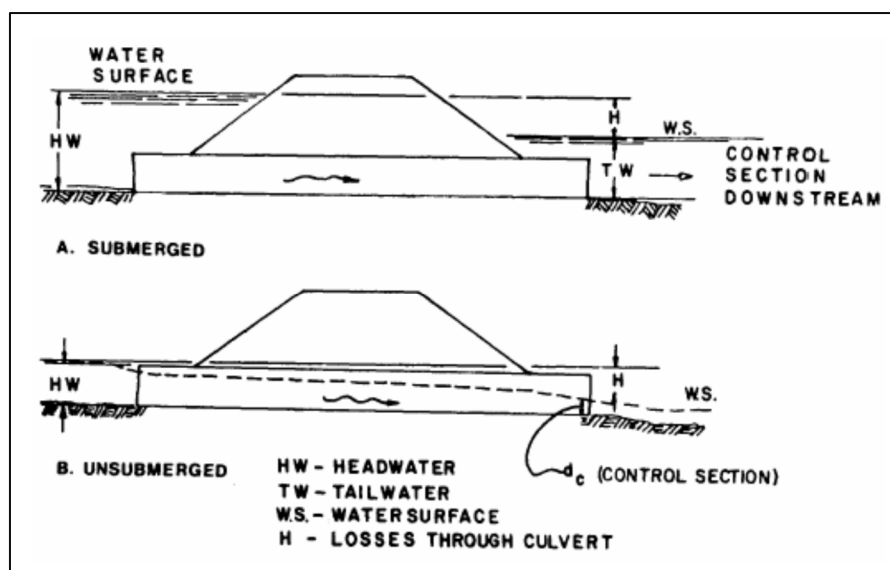


Figura 6.4 Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino

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 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 paragrafo si riportano i risultati delle 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. Tuttavia, in alcuni casi (in cui sussistono vincoli alla modifica altimetrica del piano del ferro) sono stati adottati tombini scatolari 2.0 m x 1.8 m, al fine di garantire la continuità idraulica e la

corretta trasparenza del rilevato ferroviario. Tali soluzioni sono state ad esempio adottate, se necessario, in prossimità di stazioni ferroviarie, fermate e cavalca ferrovia esistenti.

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 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 IN04 – Risultati HEC-RAS

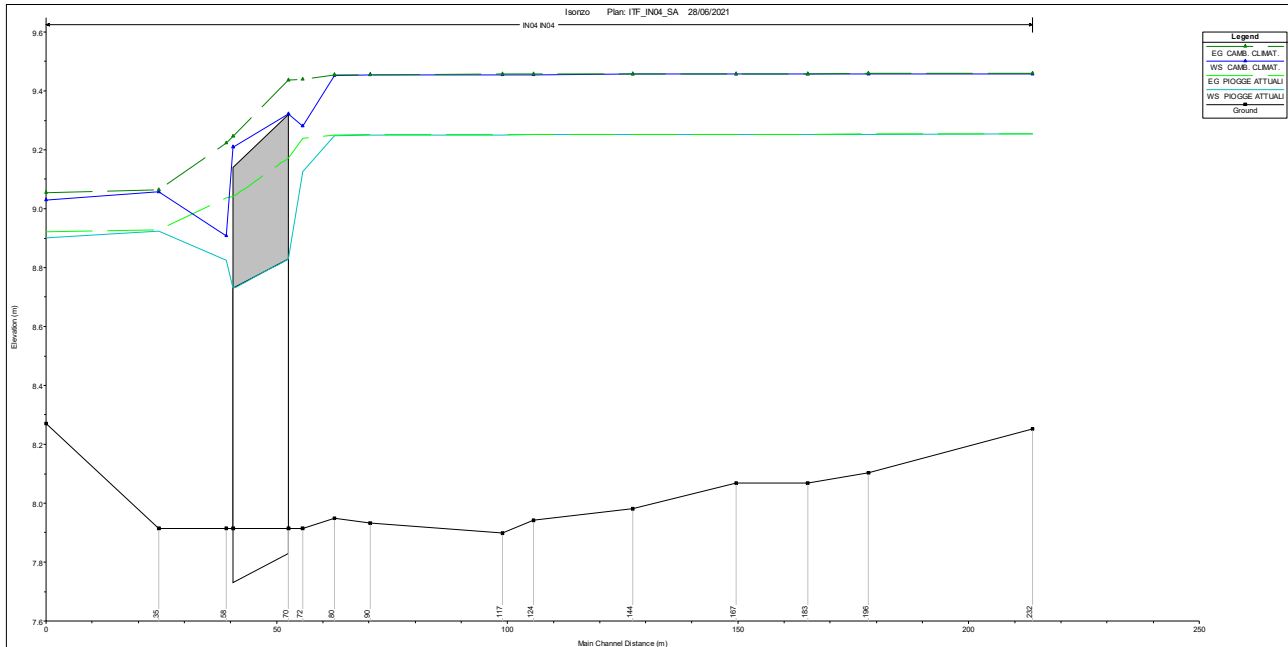
A seguire, la planimetria, il profilo ed i tabulati di calcolo per il tombino in questione, sia in riferimento alla portata idrologica scaturita dalle piogge "attuali" sia quella scaturita dai cambiamenti climatici.

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**

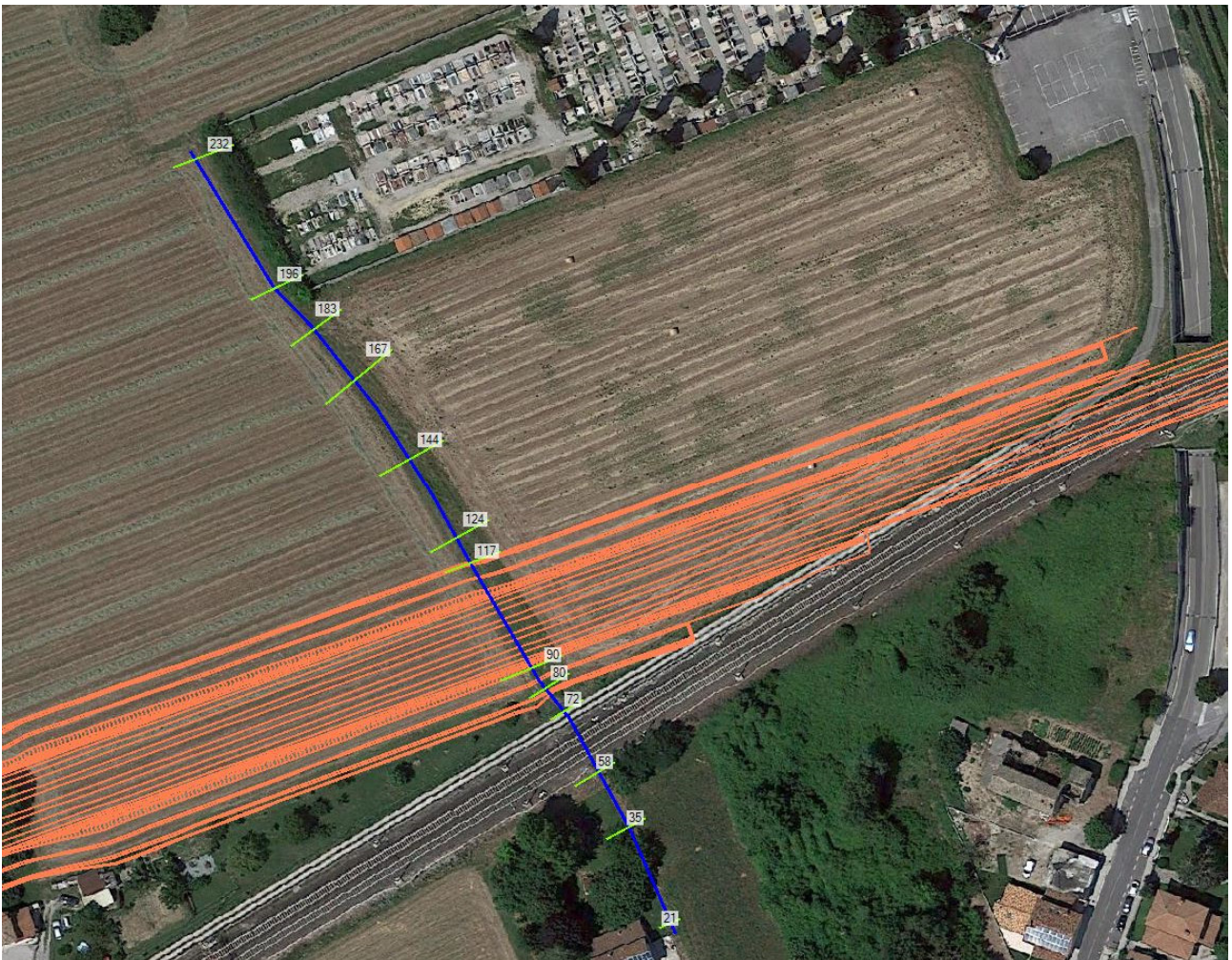
**Tabella 6-4 Tabulati di calcolo - Stato attuale**

HEC-RAS Plan: ITF\_IN04\_SA River: IN04 Reach: IN04

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
IN04	232	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.25	9.25	8.44	9.26	0.000054	0.24	12.24	15.21	0.08
IN04	232	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.25	9.46	8.48	9.46	0.000048	0.26	15.34	15.21	0.08
IN04	196	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.10	9.25		9.25	0.000041	0.22	12.40	13.89	0.07
IN04	196	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.10	9.46		9.46	0.000040	0.25	15.24	13.89	0.07
IN04	183	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.07	9.25		9.25	0.000024	0.17	15.78	14.56	0.05
IN04	183	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.07	9.46		9.46	0.000024	0.20	18.76	14.56	0.05
IN04	167	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.07	9.25		9.25	0.000013	0.13	22.06	20.18	0.04
IN04	167	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.07	9.46		9.46	0.000013	0.14	26.18	20.18	0.04
IN04	144	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.98	9.25		9.25	0.000016	0.15	19.40	17.18	0.04
IN04	144	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.98	9.46		9.46	0.000017	0.17	22.91	17.18	0.05
IN04	124	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.94	9.25		9.25	0.000018	0.16	17.89	15.91	0.05
IN04	124	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.94	9.46		9.46	0.000020	0.18	21.14	15.91	0.05
IN04	117	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.90	9.25		9.25	0.000023	0.18	15.48	13.96	0.05
IN04	117	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.90	9.46		9.46	0.000025	0.21	18.33	13.96	0.06
IN04	90	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.93	9.25		9.25	0.000019	0.17	16.99	15.90	0.05
IN04	90	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.93	9.46		9.46	0.000020	0.19	20.23	15.90	0.05
IN04	80	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.16	9.25		9.25	0.000064	0.28	10.36	11.19	0.09
IN04	80	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.16	9.45		9.46	0.000063	0.31	12.64	11.19	0.09
IN04	72	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.91	9.13	8.64	9.24	0.001682	1.49	1.39	11.15	0.44
IN04	72	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.91	9.28	8.78	9.44	0.001999	1.77	1.58	11.15	0.49
IN04	70											
IN04	70		Culvert									
IN04	58	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.91	8.83		9.04	0.004711	2.03	1.02	9.84	0.70
IN04	58	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.91	8.91		9.22	0.006220	2.48	1.12	11.15	0.82
IN04	35	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.92	8.92		8.93	0.000096	0.31	8.50	10.57	0.10
IN04	35	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.92	9.06		9.06	0.000107	0.35	9.92	10.57	0.11
IN04	21	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.27	8.90	8.53	8.92	0.001000	0.68	3.44	5.56	0.28
IN04	21	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.27	9.03	8.58	9.06	0.001000	0.76	4.16	5.56	0.28

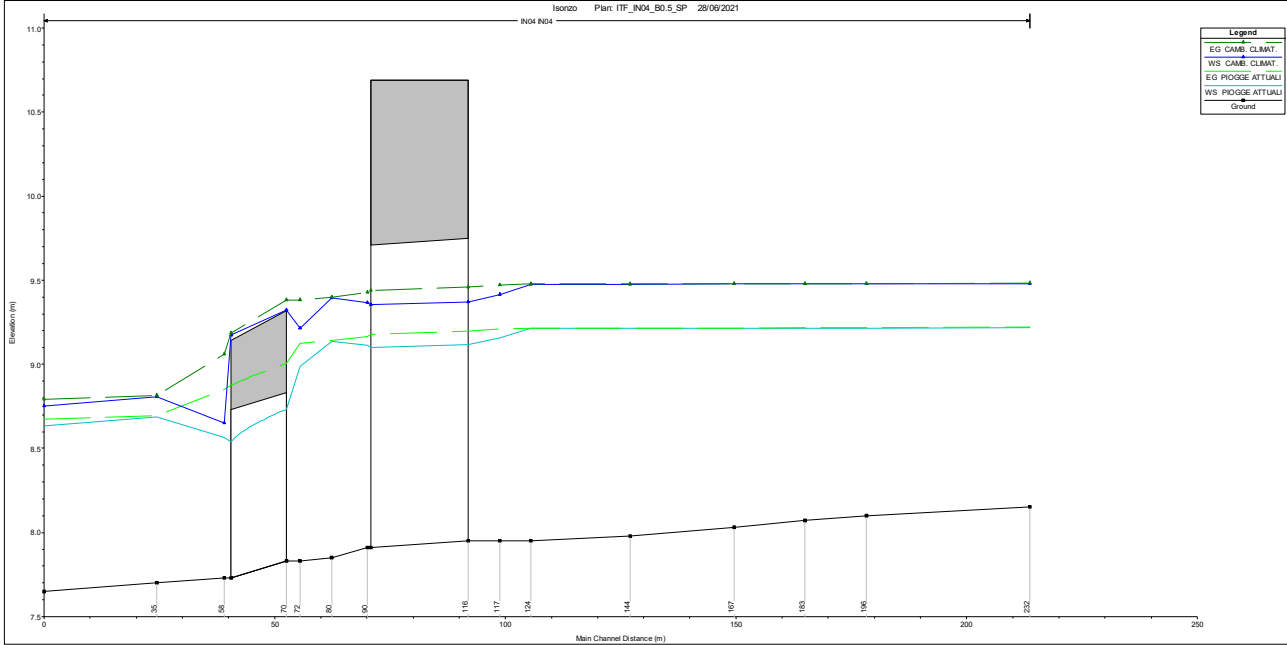
### Stato di progetto

Come anticipato, la ri-sagomatura prevede la realizzazione di un alveo inciso con sezione trapezoidale di base 0.50 m, pendenza sponde 1H:1V e altezza 0.50 m, associata ad un tombino rettangolare in CLS di dimensioni 2.0 m x 1.80 m.



**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\_IN04\_B0.5\_SP River: IN04 Reach: IN04

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
IN04	232	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.15	9.22	8.67	9.22	0.000136	0.31	9.52	14.49	0.10
IN04	232	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.15	9.48	8.70	9.48	0.000086	0.29	13.48	15.21	0.09
IN04	196	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.10	9.21	8.60	9.22	0.000105	0.28	10.18	13.89	0.09
IN04	196	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.10	9.48	8.60	9.48	0.000073	0.27	13.83	13.89	0.08
IN04	183	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.07	9.21	8.57	9.22	0.000050	0.20	13.36	14.56	0.06
IN04	183	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.07	9.48	8.57	9.48	0.000041	0.21	17.19	14.56	0.06
IN04	167	PIOGGE ATTUALI	2.08	8.03	9.21	8.53	9.22	0.000019	0.13	20.17	20.18	0.04
IN04	167	CAMB. CLIMAT.	2.79	8.03	9.48	8.53	9.48	0.000016	0.13	25.48	20.18	0.04
IN04	144	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.98	9.21	8.48	9.21	0.000030	0.16	16.64	17.18	0.05
IN04	144	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.98	9.48	8.48	9.48	0.000025	0.17	21.16	17.18	0.05
IN04	124	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.95	9.21	8.45	9.21	0.000007	0.12	16.58	15.91	0.04
IN04	124	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.95	9.48	8.45	9.48	0.000006	0.13	20.76	15.91	0.04
IN04	117	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.95	9.16	8.68	9.21	0.000558	1.03	2.06	13.96	0.32
IN04	117	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.95	9.41	8.78	9.47	0.000449	1.07	2.63	13.96	0.30
IN04	116	Bridge										
IN04	90	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.91	9.11	8.65	9.17	0.000576	1.04	2.04	15.93	0.33
IN04	90	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.91	9.37	8.75	9.43	0.000463	1.08	2.60	15.93	0.30
IN04	80	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.85	9.14	8.50	9.14	0.000041	0.29	8.57	11.14	0.09
IN04	80	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.85	9.40	8.58	9.40	0.000030	0.29	11.45	11.14	0.08
IN04	72	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.83	8.99	8.61	9.13	0.001336	1.64	1.27	9.10	0.51
IN04	72	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.83	9.21	8.75	9.38	0.001263	1.81	1.54	9.10	0.51
IN04	70	Culvert										
IN04	58	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.73	8.56	8.51	8.85	0.004528	2.37	0.88	8.08	0.88
IN04	58	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.73	8.65	8.65	9.06	0.005612	2.84	0.98	8.35	1.00
IN04	35	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.70	8.69	8.31	8.70	0.000447	0.53	5.79	10.58	0.19
IN04	35	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.70	8.81	8.36	8.82	0.000439	0.57	7.05	10.58	0.19
IN04	21	PIOGGE ATTUALI	2.08	7.65	8.64	8.29	8.67	0.002001	1.20	2.87	5.56	0.40
IN04	21	CAMB. CLIMAT.	2.79	7.65	8.75	8.48	8.79	0.002000	1.30	3.51	5.56	0.41

Confrontando i profili ed i tabulati sopra, si evince come la risagomatura dell'alveo 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 anche al di sotto dell'opera esistente.

### 6.3.2 TOMBINI IN01, IN02, IN03, IN05 – Risultati HY8

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

ID OPERA	Q [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>monte</sub> [m.s.l.m.]	H <sub>valle</sub> [m.s.l.m.]	L [m]	i [%]	K <sub>s</sub> [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	g.r. [%]
IN01	1.11	5.76	5.40	22.00	1.64%	66.7	13.6%
IN02	0.27	6.42	6.19	28.00	0.80%	66.7	27.3%
IN03	0.09	6.40	6.27	41.00	0.30%	66.7	14.7%
IN05	0.5	7.40	7.37	12.00	0.30%	66.7	36.0%

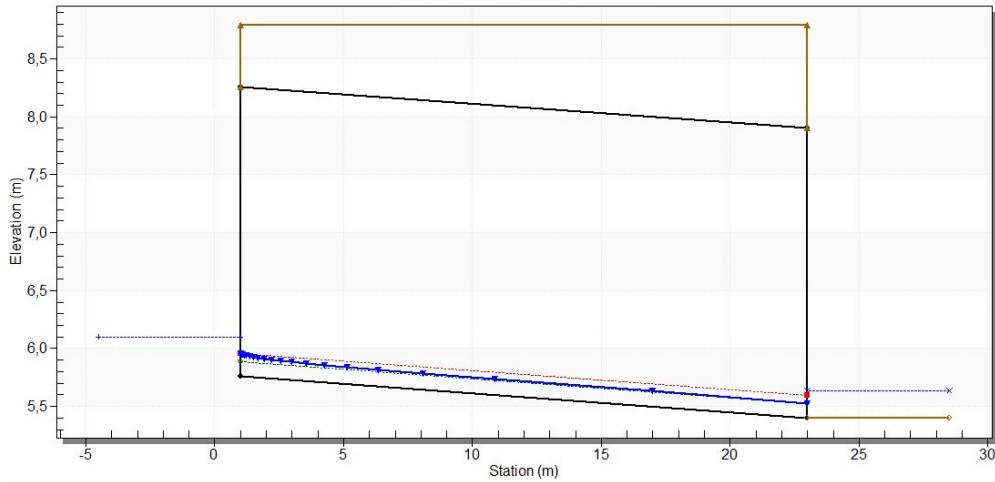
CAMBIAMENTI CLIMATICI							
ID OPERA	Q [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>monte</sub> [m.s.l.m.]	H <sub>valle</sub> [m.s.l.m.]	L [m]	i [%]	K <sub>s</sub> [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	g.r. [%]
IN01	1.68	5.76	5.40	22.00	1.57%	66.7	17.6%
IN02	0.5	6.42	6.19	28.00	0.80%	66.7	32.0%
IN03	0.19	6.40	6.27	41.00	0.30%	66.7	20.0%
IN05	0.79	7.40	7.37	12.00	0.30%	66.7	46.0%

**Tabella 6-6 Verifiche tombini idraulici HY8**

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

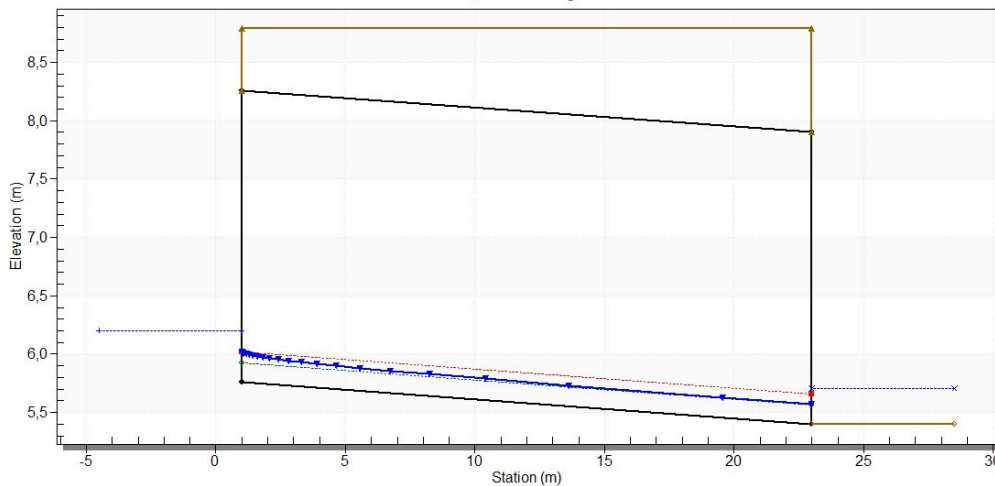
Crossing - IN01 - PIOGGE, Design Discharge - 1.11 cms

Culvert - IN01, Culvert Discharge - 1.11 cms



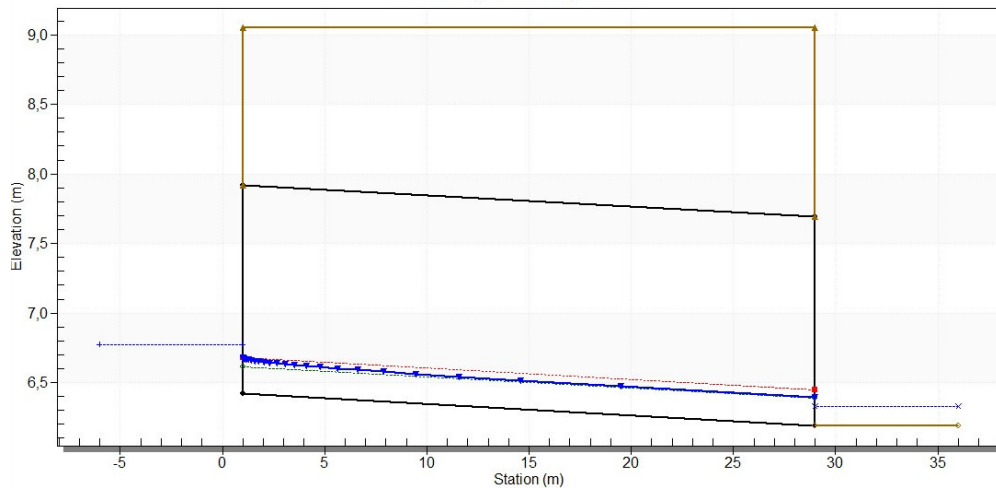
Crossing - IN01 - C.A.M.B.C.L.I.M., Design Discharge - 1.68 cms

Culvert - IN01, Culvert Discharge - 1.68 cms



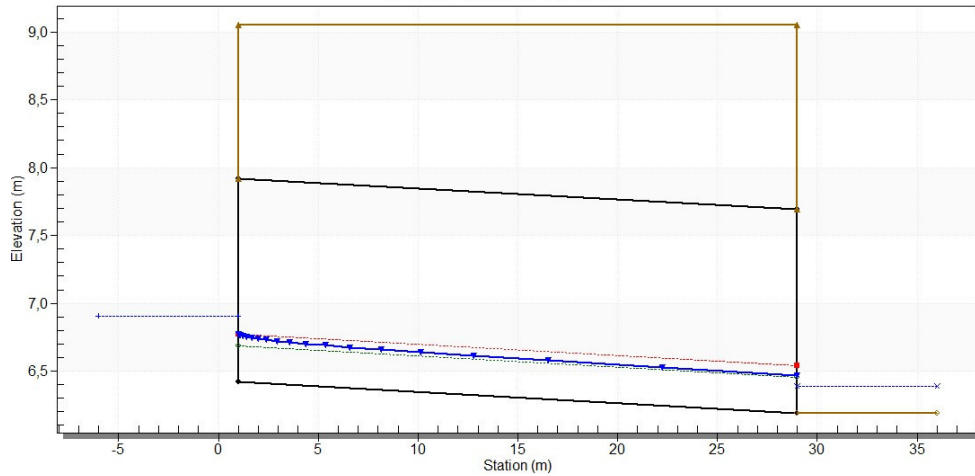
Crossing - IN02 - PIOGGE, Design Discharge - 0.27 cms

Culvert - IN02, Culvert Discharge - 0.27 cms



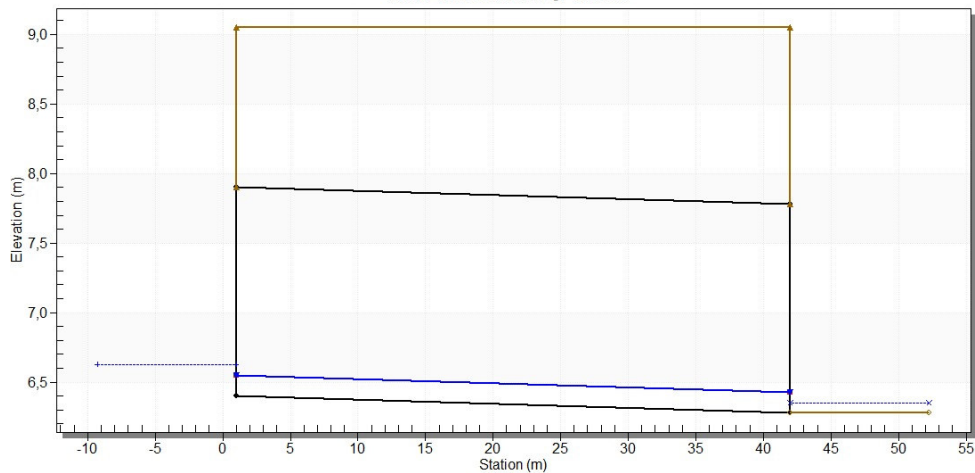
Crossing - IN02 - CAMB.CLIM, Design Discharge - 0.50 cms

Culvert - IN02, Culvert Discharge - 0.50 cms



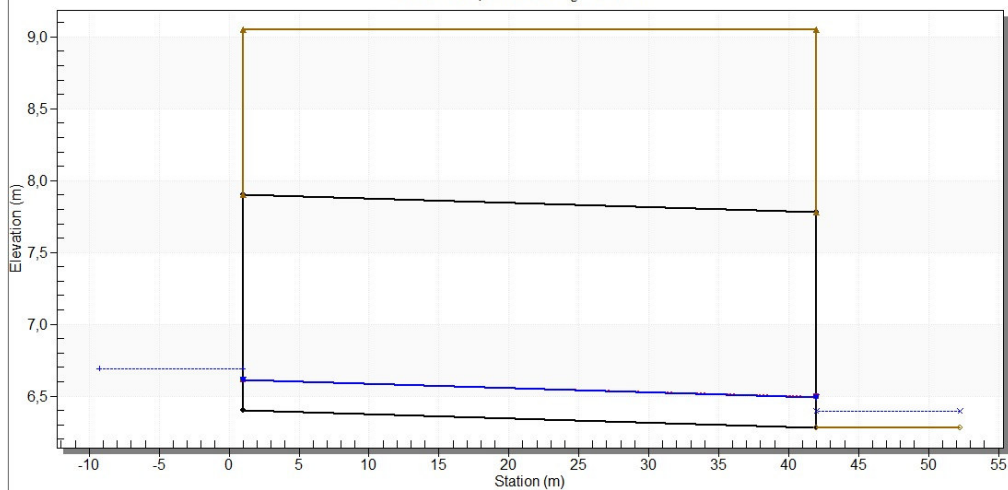
Crossing - IN03 - PIOGGE, Design Discharge - 0.09 cms

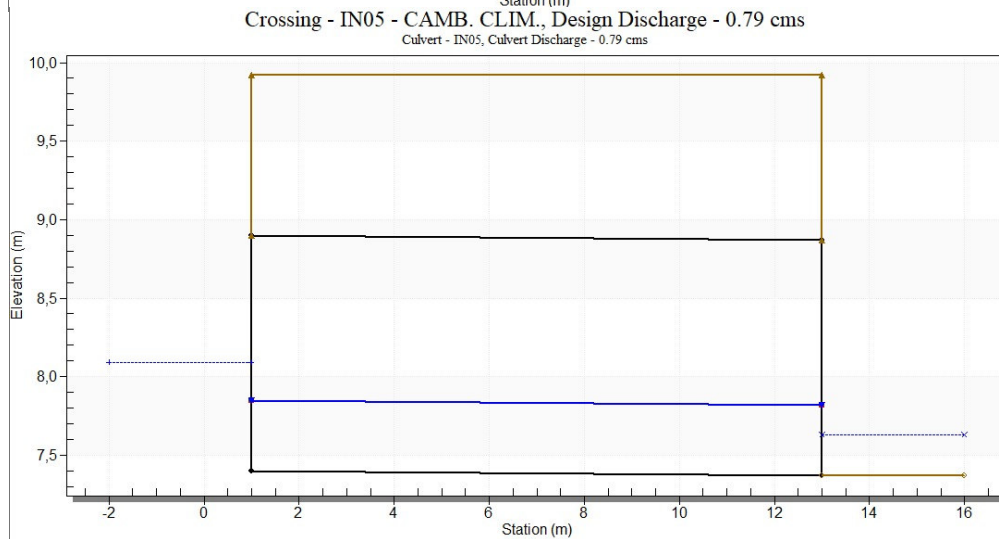
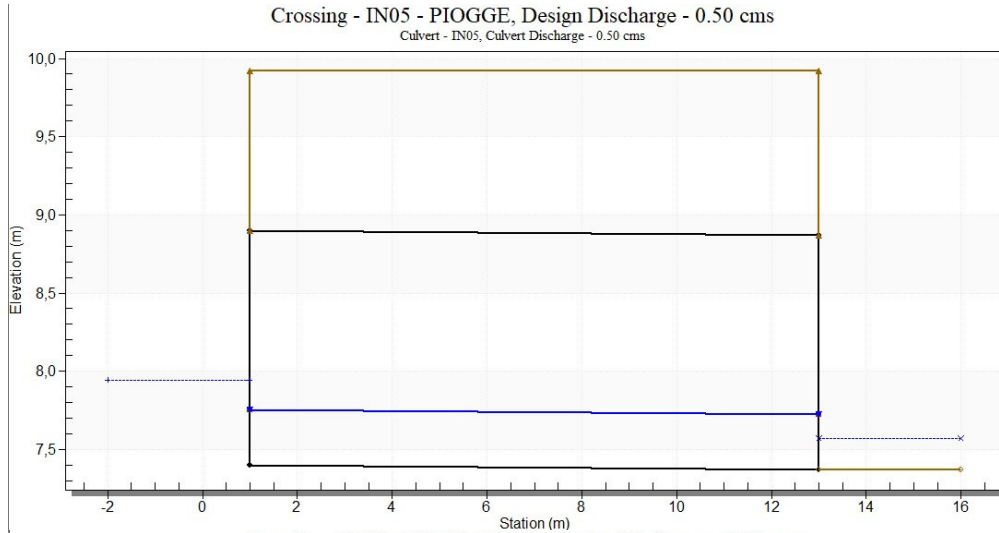
Culvert - IN03, Culvert Discharge - 0.09 cms



Crossing - IN03 - CAMB.CLIM, Design Discharge - 0.19 cms

Culvert - IN03, Culvert Discharge - 0.19 cms





## 7 INVARIANZA IDRAULICA

Le opere di drenaggio ferroviario nella variante Isonzo consistono nel convogliare le acque di piattaforma dovute alla trasformazione dell'area oggetto di intervento all'interno dei fossi di guardia posti alla base dei rilevati ferroviari che, mediante la realizzazione di un bauletto drenante disperderanno le acque di piattaforma direttamente nel terreno.

### 7.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Il calcolo dell'invarianza idraulica è richiesto nel momento in cui avviene una trasformazione del territorio per la quale bisogna prevedere che la trasformazione avvenga senza provocare aggravio della portata di piena del corpo idrico o della rete di drenaggio ricevente i deflussi originati dall'area stessa, quindi senza alterare la restituzione ai recapiti finali di volumi d'acqua a volte anche consistenti. Il fine è quello di stimare il volume in eccesso che deve essere recapitato ai recettori che siano naturali, terreni o fognature e prevedere delle opere di invaso in modo che la restituzione avvenga in maniera invariata rispetto alle condizioni attuali. 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.

#### Metodo delle sole piogge

Tale modello 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 pertanto 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

$\Psi$  = coeff. di afflusso POST OPERAM

a, n = coeff. ti della curva di possibilità pluviometrica

$\theta$  = durata critica della pioggia

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

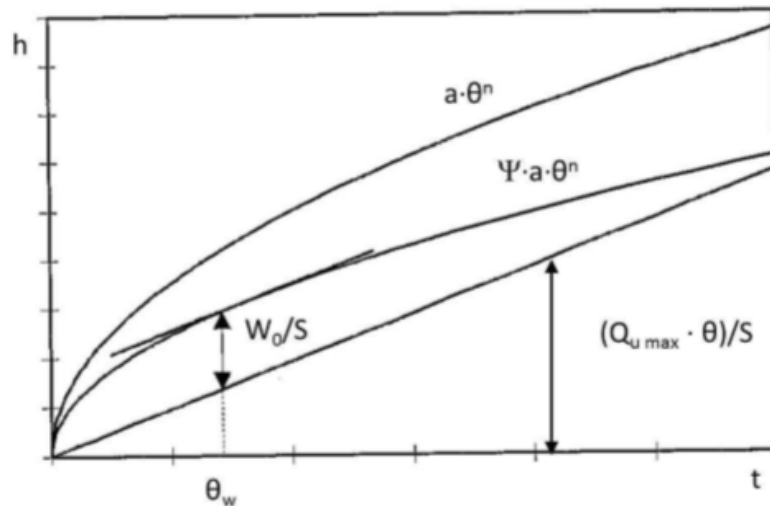
$$W_u = Q_{u, \max} \theta$$

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  $(h, \theta)$  la curva di possibilità pluviometrica netta:

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

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

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



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando l'espressione

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

si ricava la durata critica  $\theta_w$  :

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

A questo punto il volume di invaso  $W_0$  necessario a garantire l'invarianza idraulica può essere calcolato con la seguente espressione:

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

con:

$S$  [ha]

$W$  [m<sup>3</sup>]

$a$  [mm/ora<sup>n</sup>]

$\theta$  [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

Come precedentemente scritto, si sono verificati i volumi dei fossi di guardia e la capacità drenante dei bauletti applicando sia il metodo delle sole piogge si considerando l'incremento di pioggia dovuta ai cambiamenti climatici. Di seguito si riportano le verifiche idrauliche.



**Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico – Sede ferroviaria**

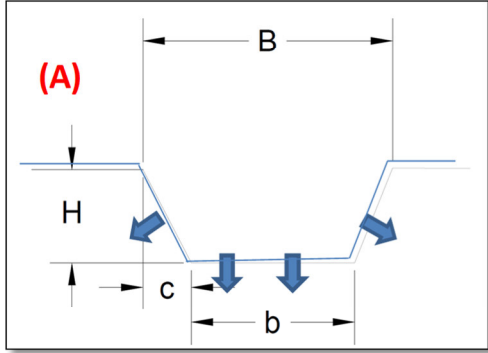
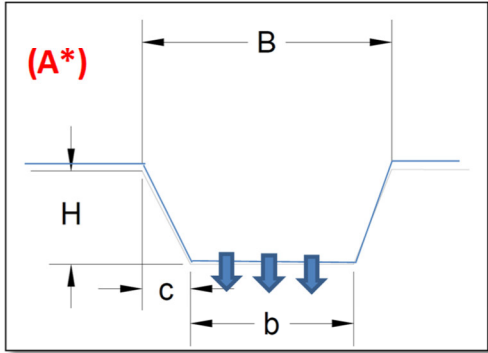
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R26RI	ID0002 001	A	40 di 61

$T_{rit}$ [anni]	$a$ [mm/h]	$n$ [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	86.01	0.280	0.373

$S_{bacino\_tot\ rilevato}$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{bacino\_tot\ linea}$ [m <sup>2</sup> ]	$\Psi_{medio}$ [rilevato]	$\Psi_{medio}$ [linea]	$S_{afferente}$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{afferente}$ [ha]
5000	1750	0.6	0.90	4575.00	0.46

Permeabilità K [m/s]*
2.50E-05

**Tabella 7-1 Dati di progetto**

FOSSO DISPERDENTE IN TERRA							
<b>FOSSO TRAPEZIO</b>							
$b$ [m]	$H$ [m]	$s (c/H)$ [-]	$B$ [m]	$A_{fosso}$ [m <sup>2</sup> ]	Lunghezza [m]	$c$ [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
3.00	0.50	1.00	4.00	1.75	250.00	0.5	437.50
							
<b>CASSONETTO RETTANGOLARE</b>							
$b$ [m]	$h$ [m]	porosità $n$ [-]	$A_{cassonetto}$ [m <sup>2</sup> ]	Lung [m]			
3.00	0.5	0.3	0.45	250.00			
<b>Velo idrico</b>							
Velo idrico (3 mm)	15						

**Tabella 7-2 Geometria fosso drenante**

**VERIFICA VOLUMI D'INVASO**

TIPO	V invaso [m <sup>3</sup> ]	Q filtrazione max [m <sup>3</sup> /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza <sup>1</sup>	
A	Fosso trapezio	565.00	0.033839	OK	1.90
A*	Fosso trapezio (filtrazione solo attraverso fondo)	565.00	0.018750	OK	1.65

Tabella 7-3 Verifica volumi di invaso

TIPO	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Q filtr, fosso [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)
A	297.27	0.03383883	2.44	5847.35	0.00	565.00	OK
A*	342.74	0.01875000	5.08	3240.00	0.00	565.00	OK

Tabella 7-4 Verifica allo svuotamento

TIPO	Durata critica	
	minuti	ore
A	65	1
A*	118	2

Tabella 7-5 Durata critica

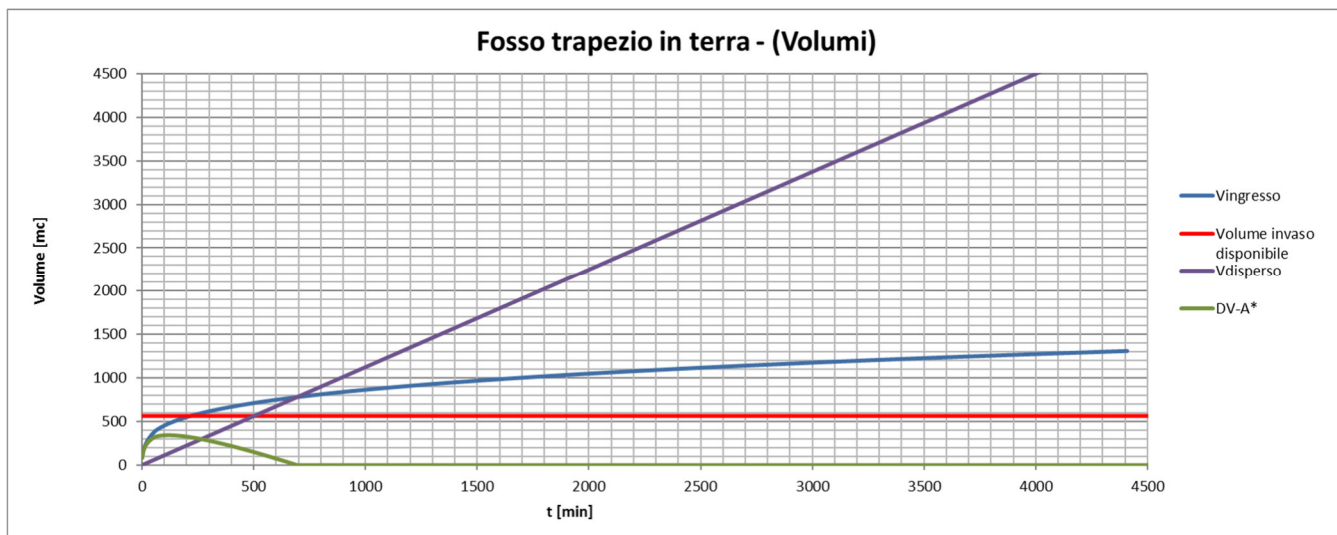


Figura 7-1 Andamento dei volumi

**VERIFICA VOLUMI D'INVASO**

TIPO	V invaso [m <sup>3</sup> ]	Q filtrazione max [m <sup>3</sup> /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza <sup>1</sup>	
A	Fosso trapezio	565.00	0.033839	OK	1.58
A*	Fosso trapezio (filtrazione solo attraverso fondo)	565.00	0.018750	OK	1.36

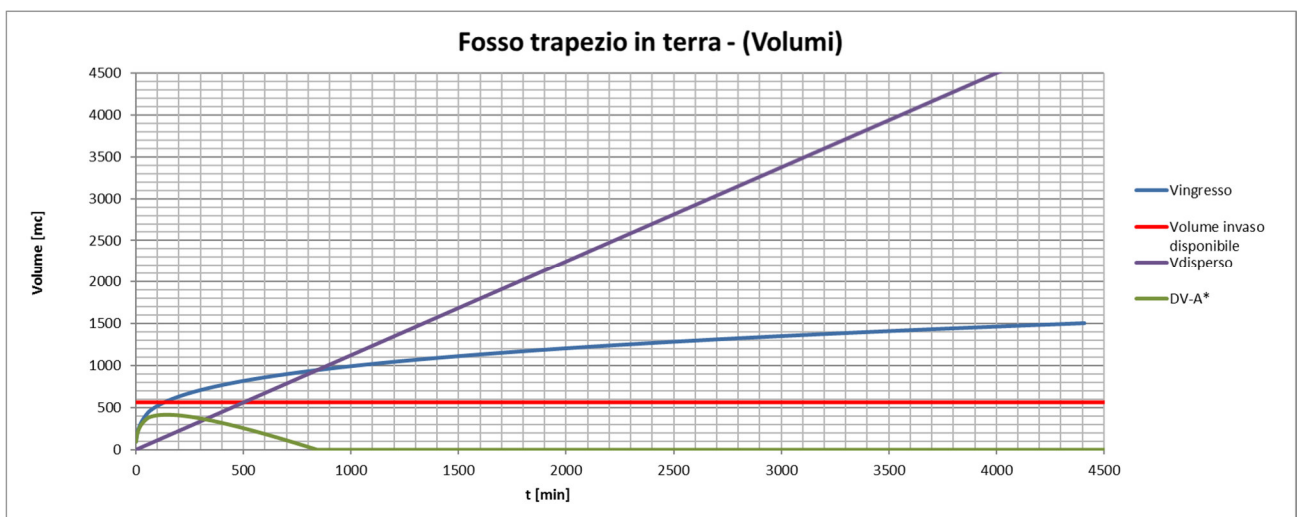
**Tabella 7-6 Verifica volumi di invaso cambiamenti climatici**

TIPO	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Q filtr, fosso [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)
A	358.16	0.03383883	2.94	5847.35	0.00	565.00	OK
A*	416.14	0.01875000	6.16	3240.00	0.00	565.00	OK

**Tabella 7-7 Verifica svuotamento cambiamenti climatici**

TIPO	Durata critica	
	minuti	ore
A	84	1
A*	144	2

**Tabella 7-8 Durata critica cambiamenti climatici**



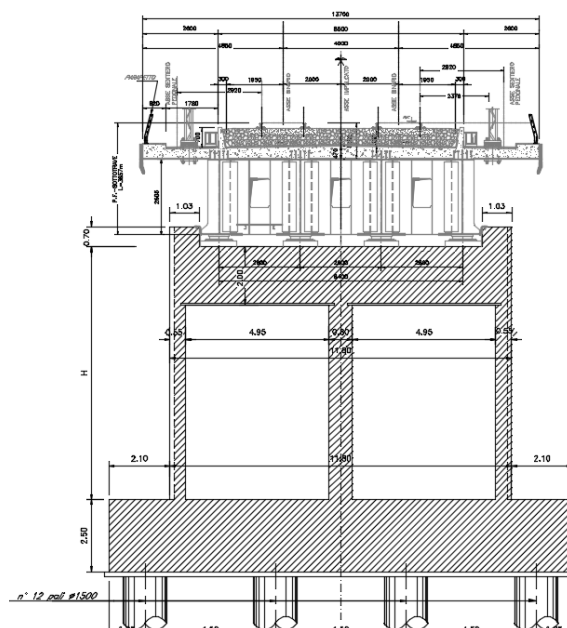
**Figura 7-2 Andamento die volumi cambiamenti climatici**

## 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 un collettore in acciaio DN400 e DN500 che convoglierà le acque di piattaforma direttamente nel Fiume Isonzo.

TIPOLOGICO IMPALCATO ACC.-CLS L=40m

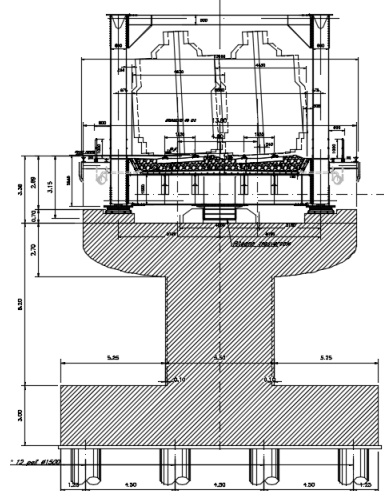
Scala 1:100



**Figura 8-1 Sezione tipo 40m**

TIPOLOGICO IMPALCATO TRAVATA RETICOLARE L=68m

Scala 1:100



**Figura 8-2 Sezione tipo impalcato 68m**

## 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.

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 " $\psi$ " 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,  $\varphi$  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  $\omega$  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:

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

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

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 riempiano 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,  $\Omega$  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  $T \leq t_r$ ,
- 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:

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

In cui:

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

$\varphi$ , 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  $\sigma$  ( $m^2$ ), 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<sup>3</sup>/s)
- i, pendenza media del fosso (m/m);
- A, sezione idrica (m<sup>2</sup>);
- K<sub>s</sub>, il coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strickler, pari a 67 - 35 mm<sup>1/3</sup> · s<sup>-1</sup>;
- R, raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

Si riporta di seguito un pre-dimensionamento dei collettori:

DATI RETE			COLLETORE				
Ramo	L	i <sub>med</sub>	Tipologico	K <sub>s</sub>	D <sub>int</sub>	Tirante	Q
ID <sub>r</sub>	[m]	[m/m]		[mm <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	[m]	[m]	[l/s]
<b>Viadotto</b>							
28-29	40.00	0.63%	INOX_400	80	0.400	0.144	47.717

Tabella 8-1 Geometria collettori

DATI RETE			SUPERFICI DRENATE					INVASO		VERIFICHE		
Ramo	L	$i_{med}$	$L_p$	$S_p$	$S_r$	$S_{ae}$	$\Phi$	$W_p$	$Q_p$	G.R.	V	Fr
$ID_r$	[m]	[m/m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]		[m <sup>3</sup> ]	[l/s]	[%]	[m/s]	
<b>Viadotto</b>												
28-29	40.00	0.63%	7.000	280.000	0.000	0.000	0.900	1.400	47.717	36.1%	1.167	1.142

Tabella 8-2 Verifica collettori sole piogge

DATI RETE			SUPERFICI DRENATE			INVASO		VERIFICHE		
Ramo	L	$i_{med}$	$L_p$	$S_p$	$\Phi$	$W_p$	$Q_p$	G.R.	V	Fr
$ID_r$	[m]	[m/m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]		[m <sup>3</sup> ]	[l/s]	[%]	[m/s]	
<b>Viadotto</b>										
28-29	40.00	0.63%	7.000	280.000	0.900	1.400	59.611	40.7%	1.240	1.132

Tabella 8-3 Verifica collettori cambiamenti climatici