

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA
DA CURNO A BERGAMO**

IDRAULICA DI SEDE

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 2 D 2 6 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Re	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau 	Marzo 2020	S.Scafa 	Marzo 2020	M. Berlingieri 	Marzo 2020	

File: NB1R02D26RIID0002001A

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 1 di 114

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	7
4. COMPATIBILITÀ IDRAULICA	10
4.1. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	10
4.2. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	13
4.3. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	18
5. IDROLOGIA.....	20
5.1. CURVE PER DURATE SUPERIORI AD UN'ORA	20
5.2. CURVE PER DURATE INFERIORE AD UN'ORA-PIOGGE BREVI	21
5.3. VALORI ADOTTATI	22
6. ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI.....	24
6.1. DATI DI BASE	25
6.2. TIPOLOGIA DI ATTRAVERSAMENTI SECONDARI/DI TRASPARENZA	25
6.2.1. <i>Attraversamenti Secondari</i>	26
6.2.2. <i>Attraversamenti tombati</i>	27
6.2.3. <i>Fornici di trasparenza idraulica</i>	27
6.3. STIMA DELLE PORTATE DI PIENA	28
6.3.1. <i>Tempo di corrivazione</i>	28
6.4. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	31
6.5. PROCEDURA DI VERIFICA	31
6.5.1. <i>Metodologia di verifica di tombini</i>	32
6.6. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	36
7. STANDARD PROGETTUALI.....	38
7.1. METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI	38
7.2. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEGLI ELEMENTI DI RACCOLTA	41
8. DIMENSIONAMENTO ELEMENTI DI DRENAGGIO FERROVIARIO.....	43
8.1. DIMENSIONAMENTO INTERASSE EMBRICI	43
8.2. DIMENSIONAMENTO SEZIONE CON BARRIERA ANTIRUMORE	45
8.3. DIMENSIONAMENTO SEZIONE TRA MURI – VIA FINAZZI	46
8.4. DIMENSIONAMENTO SEZIONE RISTRETTA TRA MURI	47
8.5. DRENAGGIO PENSILINE DI STAZIONE	48
8.6. ELEMENTI LINEARI DI CONVOGLIAMENTO E DI ATTRAVERSAMENTO	48
9. INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA NORMATIVA VIGENTE.....	50

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA</p>	<p>COMMESSA NB1R</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 000 2 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 2 di 114</p>

9.1. SISTEMI A DISPERSIONE E LAMINAZIONE	54
9.1.1. <i>Dispositivi puntuali</i>	54
9.1.2. <i>Dispositivi lineari</i>	56
9.2. SISTEMI DI LAMINAZIONE	57
9.2.1. <i>Manufatti di controllo</i>	57
9.2.2. <i>Manufatti lungo linea</i>	58
9.2.3. <i>Manufatti allo scarico</i>	59
10. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA	63
10.1. ATTRAVERSAMENTI DI PROGETTO	63
10.1.1. <i>Verifica ante operam</i>	64
10.1.2. <i>Verifica stato di progetto</i>	66
10.1.3. <i>Verifica dei tombini secondari con HY-8</i>	68
10.2. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO FERROVIARIO ED INVARIANZA IDRAULICA	70
10.2.1. <i>Coefficienti udometrici aree esterne Tr 100 anni</i>	72
10.2.2. <i>Tabulati dimensionali riassuntivi</i>	73
10.2.3. <i>Sistemi di drenaggio</i>	75

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 3 di 114

1. PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto lo studio idraulico (riferito alle configurazioni ante e post operam) eseguito nell'ambito del Progetto Definitivo del raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo.

Il Progetto Definitivo in oggetto riguarda il raddoppio della linea tra Curno e Bergamo e comprende la realizzazione dell'ACC di Bergamo su ferro attuale, il raddoppio da Bergamo (e) a Curno (i) della linea esistente a semplice binario con inserimento di un bivio per il passaggio da doppio a singolo prima della radice ovest di Bergamo, la soppressione dei passaggi a livello (PL) esistenti sulla linea da Bergamo a Curno ad eccezione del PL di Martin Luter King e di via Moroni che saranno a cura RFI, l'ampliamento della fermata di Bergamo Ospedale conseguente al raddoppio della linea, la realizzazione della fermata di Curno e la sistemazione del PRG di Ponte S. Pietro.



Figura 1.1 - Localizzazione interventi.

Il progetto ferroviario prevede la realizzazione del binario di raddoppio a 4.00 m dal binario esistente, in sinistra o in destra a seconda delle necessità funzionali e delle condizioni al contorno. In corrispondenza delle opere idrauliche maggiori, il binario di raddoppio viene realizzato a 6.50 m o a 9.00 m al fine di non interferire con l'opera esistente durante le fasi di realizzazione della nuova opera di risoluzione. Successivamente alla realizzazione del binario di raddoppio, il binario esistente viene spostato in posizione definitiva a 4.00m dal binario di raddoppio.

Il presente documento ha lo scopo di verificare 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. Inoltre, sono riportati i dimensionamenti idraulici del sistema di raccolta, dispersione e laminazione delle opere di drenaggio ferroviario.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 4 di 114

In sintesi, oggetto della presente relazione è:

- la verifica della compatibilità idraulica del progetto di raddoppio (e delle opere conseguenti) secondo gli strumenti normativi vigenti;
- la verifica idraulica degli attraversamenti idraulici esistenti e l'adeguamento degli stessi, laddove necessario, al fine di garantire la sicurezza idraulica della linea e del territorio secondo i criteri esposti nel seguito della relazione;
- descrizione e verifica del sistema di drenaggio delle acque di piattaforma ferroviaria.

Si rimanda alla relazione idrologica per la classificazione delle curve di pioggia e alle relazioni delle specifiche viabilità e stazioni per le opere di drenaggio associate.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 5 di 114

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per effettuare lo studio idraulico e valutare le condizioni di fattibilità delle opere, ci si è riferiti ai seguenti piani di settore:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.2 - Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 “Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. “Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione rischi alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 6 di 114

così come integrate dalla variante adottata in data 7/12/2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po”;

- Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8. “Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 “Legge per il governo del territorio”)”.

Il progetto in essere considera inoltre:

- “Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi Bacino dell'Adda Sottolacuale” dell'Autorità di bacino del Fiume Po;
- Studio idrologico e idraulico dell'Università Di Pavia, realizzato per conto del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca, “Problematiche di regimazione idraulica determinatesi nel comprensorio di Bergamo nell'estate 2016”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 7 di 114

3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

L'area interessata dal presente Progetto Definitivo si colloca nella parte centro-orientale della regione Lombardia, all'interno del territorio provinciale di Bergamo e ad ovest del Lago d'Iseo.

La provincia di Bergamo si estende su un'area che racchiude un paesaggio variabile dal punto di vista orografico, morfologico e climatico. La parte settentrionale della provincia è essenzialmente montuosa, occupa il 64% della superficie e qui si trovano le principali valli bergamasche, la parte meridionale della provincia invece fa parte della Pianura Padana.

Nella fascia pedemontana un elemento saliente del paesaggio è rappresentato dal lago d'Iseo, la cui sponda occidentale ricade nel territorio provinciale.

La topografia del territorio comporta un andamento declive da nord verso sud, la linea ferroviaria funge quindi da barriera al naturale deflusso delle acque meteoriche. Nell'immagine riportata in Figura 3.1 si può apprezzare l'acclività del territorio e la sua natura pedemontana.

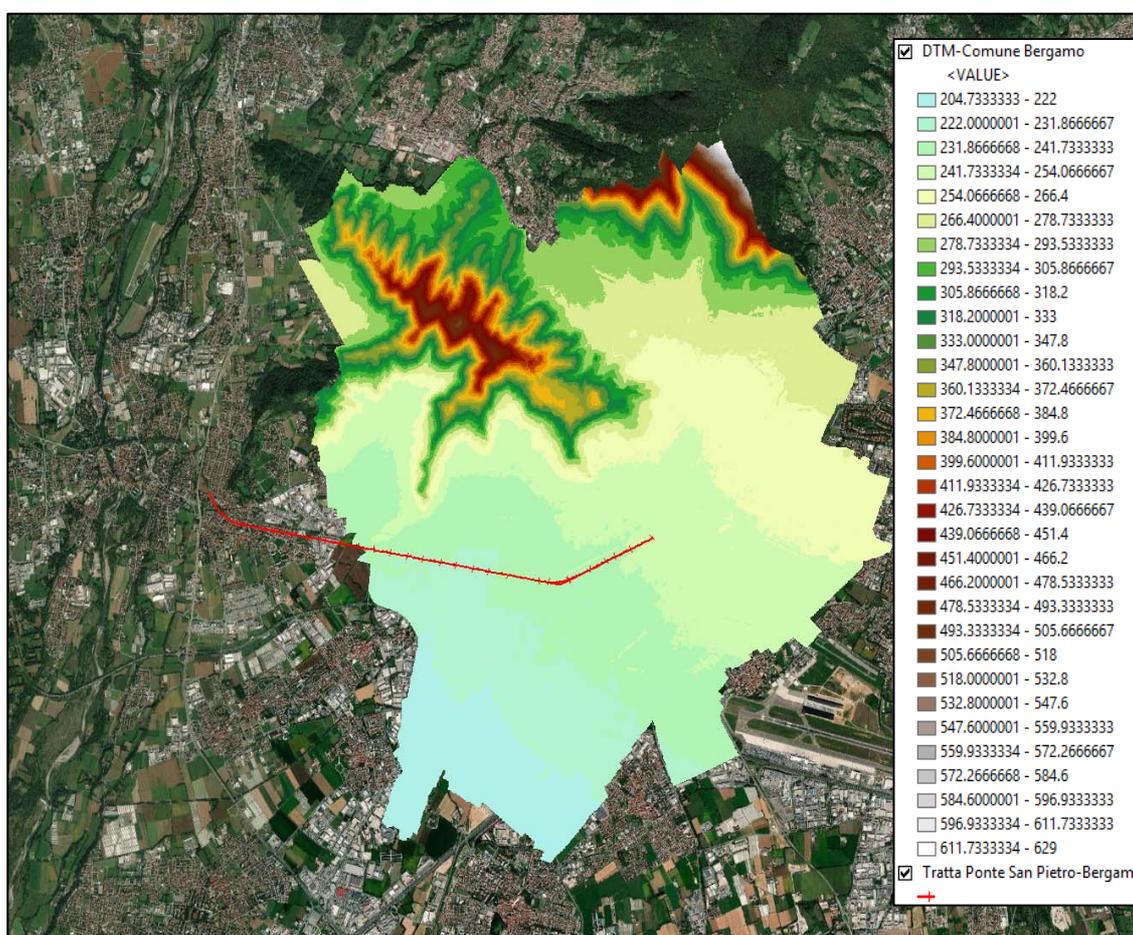


Figura 3.1 - Estratto cartografico con DTM e tratta ferroviaria Ponte San Pietro-Bergamo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA</p>	<p>COMMESSA NB1R</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 000 2 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 114</p>

Il reticolo idrografico risulta sostanzialmente artificiale e comprende la rete di corsi d'acqua principali RIP, l'idrografia di bonifica RIB e la rete idrografica minore RIM (fonte *Regione Lombardia*). I corsi d'acqua hanno pendenze dell'ordine dell'8‰ e in alcuni casi anche maggiori, questo comporta che le perdite di carico associate siano non trascurabili.

L'area oggetto di raddoppio ricade nel suo complesso all'interno del territorio gestito dal *Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca*, il quale ha un'estensione del comprensorio di 76031.00.00 ha, comprendente in tutto o in parte il territorio di 105 Comuni, appartenenti alle provincie di Bergamo, Brescia, Cremona e Lecco.

Si tratta dell'area che si sviluppa dalle pendici delle Prealpi Orobiche (delle quali comprende una superficie di circa 3.000 ha.) e discende lungo la sponda sinistra del Fiume Adda (da Brivio a Fara Gera d'Adda) da una parte e dall'altra lungo la sponda destra del Fiume Oglio (da Castelli Calepio a Calcio) estendendosi a sud fino al confine con la provincia di Cremona.

Nella figura 3.2 si riporta l'intersezione della linea ferroviaria con i corsi d'acqua consortili:

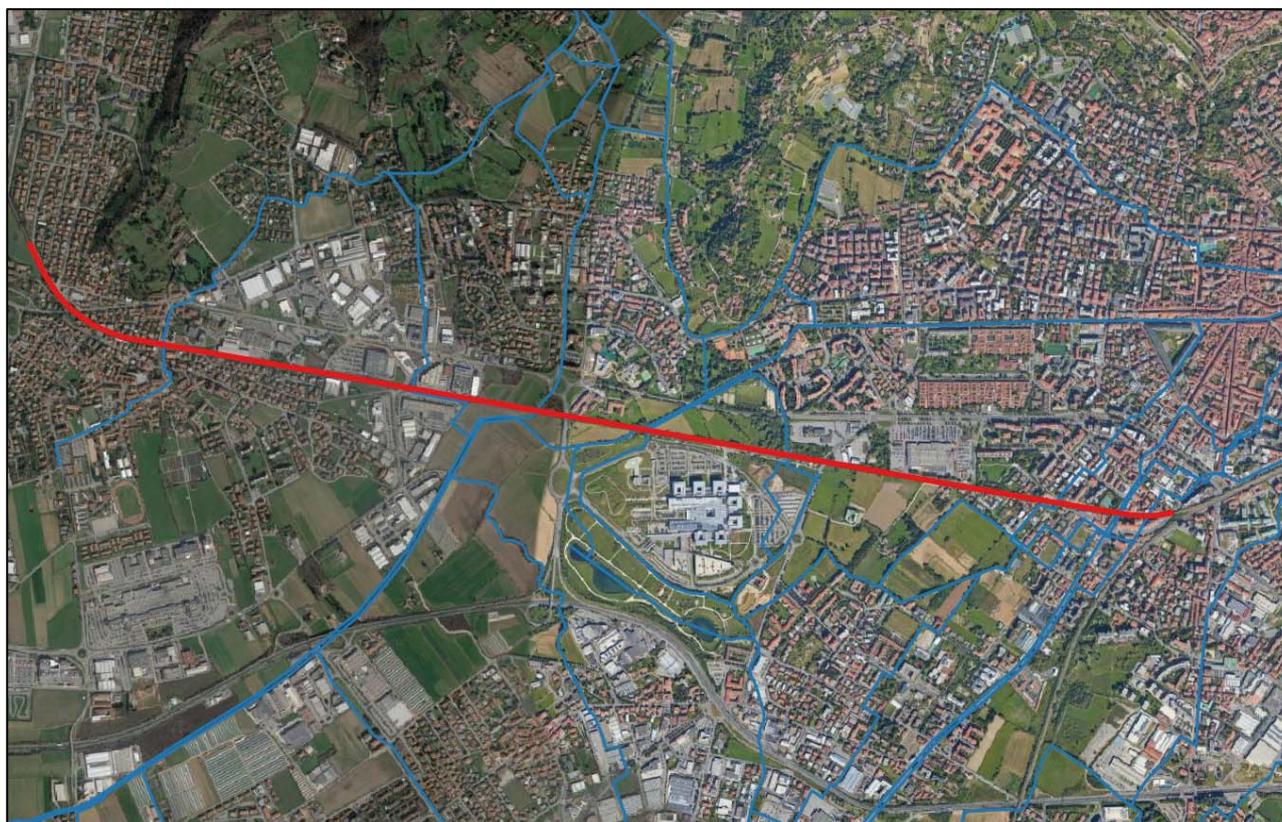


Figura 3.2 - Intersezioni con canali irrigui.

Gli attraversamenti ferroviari di interesse del progetto in essere sono:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 9 di 114

Identificativo Opera	Progressiva [km]	Canale irriguo
IN02	1+343.992	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso
IN03	1+440.092	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo
IN04	1+464.767	Roggia Colleonesca
IN05	1+702.,709	Roggia Oriolo Solza
IN07	2+739.220	Roggia Piuggia di Loreto
IN08	3+283.498	Roggia Piuggia di Loreto
VI05	3+337.113	Roggia Serio
IN10	3+722.929	Scaricatore valle d'Astino
IN11	4+198.474	Scaricatore Cascina Lupo
IN12	5+168.889	Roggia Curna

Nella nota del Consorzio del 2/12/2019, prot. 17448, sono state fornite le caratteristiche idrauliche dei canali interessati (con le progressive storiche):

Tratto Linea Bergamo Curno

- km 0+750 Roggia Morlana Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente coperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 1+320 Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente interrata a scorrere con funzione irrigua;
- km 1+430 Roggia Ponte Perduto di Monasterolo Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente coperta a scorrere con funzione irrigua, di competenza della Compagnia Roggia Ponte Perduto di Monasterolo con referente Sig Coccioli o Signorelli via Mocchi Mauro n 26 MI;
- km 1+440 Roggia Colleonesca Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 1+670 Roggia Oriolo Solza Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 2+720 Roggia Piuggia di Loreto Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 3+260 Roggia Piuggia di Loreto Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 3+330 Roggia Serio Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 3+710 Scaricatore valle d'Astino canale nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario coperta a scorrere con funzione di colo idraulico;
- km 4+180 Scaricatore Cascina lupo canale nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario coperta a scorrere con funzione di colo idraulico;
- km 5+150 Roggia Curna Roggia a scorrere con funzione di colo idraulico;

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 10 di 114

4. COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Gli interventi previsti, come per qualunque infrastruttura di carattere estensivo, devono inserirsi in un quadro di strumenti legislativi e di pianificazione territoriale sia esistenti che in via d'adozione.

La verifica della compatibilità idraulica delle opere in progetto è svolta con riferimento agli strumenti normativi vigenti in ambito di pianificazione idraulica del territorio e ha l'obiettivo di evidenziare l'assenza di preesistenti aree a pericolosità e rischio idraulico nell'area oggetto di intervento.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto e le aree di allagamento considerate sono:

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, 1998);
- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico emanata dall'Autorità di bacino del Fiume Po (PAI, 2001);
- Piano di Gestione Rischio Alluvione emanato dal Distretto Idrografico Padano (PGRA 2015).

4.1. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

L'adozione del Piano per l'Assetto Idrogeologico, nel seguito PAI, ottempera a quanto previsto dall'art.17, comma 6-ter, L.183/89, dell'art.1, comma 1, D.L.180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98 (Decreto "Sarno"), e dell'art.1bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000 (Decreto "Soverato").

Ai sensi della Legge n. 183/89 gli obiettivi del PAI sono:

- la riduzione del rischio idrogeologico, il riequilibrio del territorio ed il suo utilizzo nel rispetto del suo Stato, della sua tendenza evolutiva e delle sue potenzialità d'uso;
- la riduzione del rischio idraulico ed il raggiungimento di livelli di rischio socialmente accettabili;
- l'individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale in base alle caratteristiche morfologiche, naturalistico-ambientali ed idrauliche.

I vincoli idraulici e i condizionamenti fisici sono costituiti dalle Fasce Fluviali definite nel Piano Stralcio delle fasce fluviali PSFF e che sono relative a:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 11 di 114

fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Nell'Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" del Titolo II delle Norme di attuazione del PAI vengono definiti i criteri per la delimitazione delle fasce fluviali:

- **Fascia di deflusso della piena (Fascia A).** Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:
 - ✓ fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);
 - ✓ limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);
- **Fascia di esondazione (Fascia B).** Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata. La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:
 - ✓ le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
 - ✓ le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.
- **Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C).** Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

Uno schema esplicativo della definizione delle Fasce fluviali è riportato nella figura seguente.

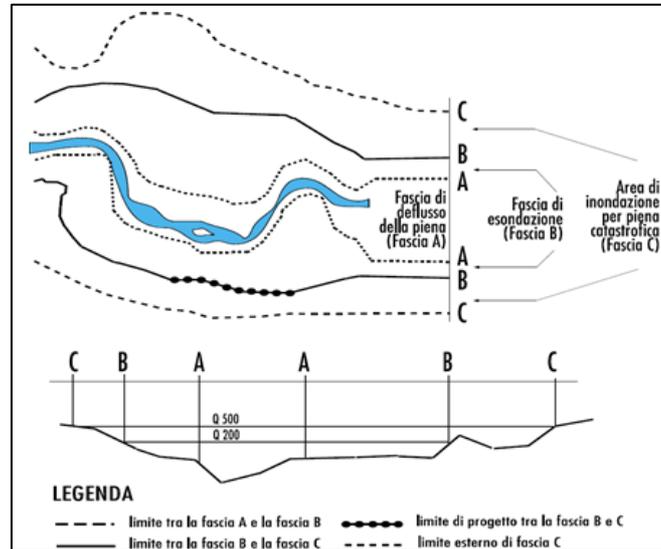


Figura 4.1 - Definizione grafica delle fasce fluviali.

Nella figura seguente si riporta uno stralcio dell'elaborato NB1R00D26C4ID0001002A, "Inquadramento PAI/PRGA", in cui sono riportate le interferenze delle opere in progetto con le fasce fluviali.

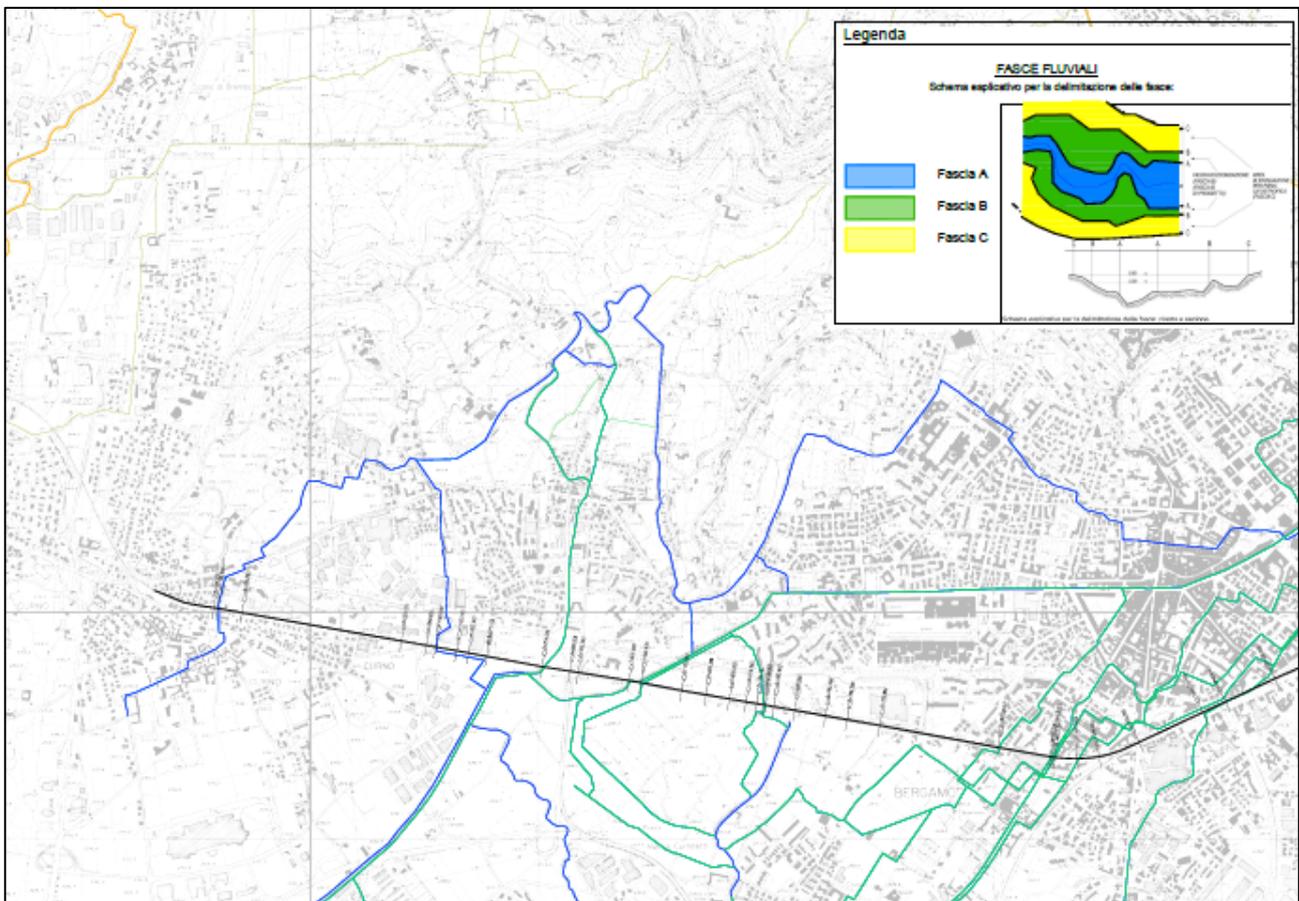


Figura 4.2 - Aree del PAI sovrapposte alla zona interessata dal raddoppio.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 13 di 114

Si nota come la linea storica interseca, nel comune di Ponte S. Pietro, le aree di inondazione per piena del fiume Serio, i cui limiti sono rappresentati dalle fasce fluviali predisposte dall’Autorità di Bacino del Fiume Po. Il tratto di intervento raddoppiato nel progetto, invece, non ricade nelle aree di inondazione delimitate dal PAI.

L’art.38 delle Norme di Attuazione del PAI, recante gli “interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico”, asserisce inoltre che:

1. *Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui al comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.*
2. *L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.*
3. *Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino.*

In base alla tavola di delimitazione delle fasce fluviali allegata al PAI gli interventi di progetto risultano esterni alle aree delimitate dall’Autorità di bacino.

4.2. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il 22 dicembre 2000 è stata adottata la Direttiva 2000/60/CE per la tutela delle acque, recepita in Italia attraverso il d.lgs. n.152 del 3 aprile 2006. L’articolo n. 64 prevede la ripartizione del territorio nazionale in 8 distretti idrografici, ciascuno dei quali dotato di piano di gestione, la cui competenza spetta alla corrispondente Autorità di distretto idrografico.

Le norme comunitarie prevedono l’obbligo di predisporre per ogni distretto, a partire dal quadro della pericolosità e del rischio di alluvioni definito con l’attività di mappatura, uno o più Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (art. 7 D.Lgs. 49/2010 e art. 7 Dir. 2007/60/CE), contenenti le misure necessarie per

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 14 di 114

raggiungere l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali nei confronti, della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali. In particolare, il PGRA dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

La rilevante estensione del bacino del fiume Po e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- Reticolo principale (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura (RSP);
- Aree costiere marine (ACM);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe delle aree allagabili rappresentano l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari di evento riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento. Gli scenari di inondazione sono:

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Tabella 4.1 - Scenari di inondazione PGRA.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	15 di 114

La valutazione della pericolosità idraulica cui è sottoposta l'infrastruttura in esame è stata effettuata sovrapponendo il tracciato di progetto alle carte di pericolosità idraulica fornite dal PGRA dell'Autorità di bacino per il fiume Po, approvato in data 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale. Per un approfondimento sul tema si rimanda all'associato Studio Idraulico.

Nella figura a seguire, estratto della carta della pericolosità da alluvione dedotta dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), sono rappresentate le condizioni di pericolosità nelle aree di interesse.

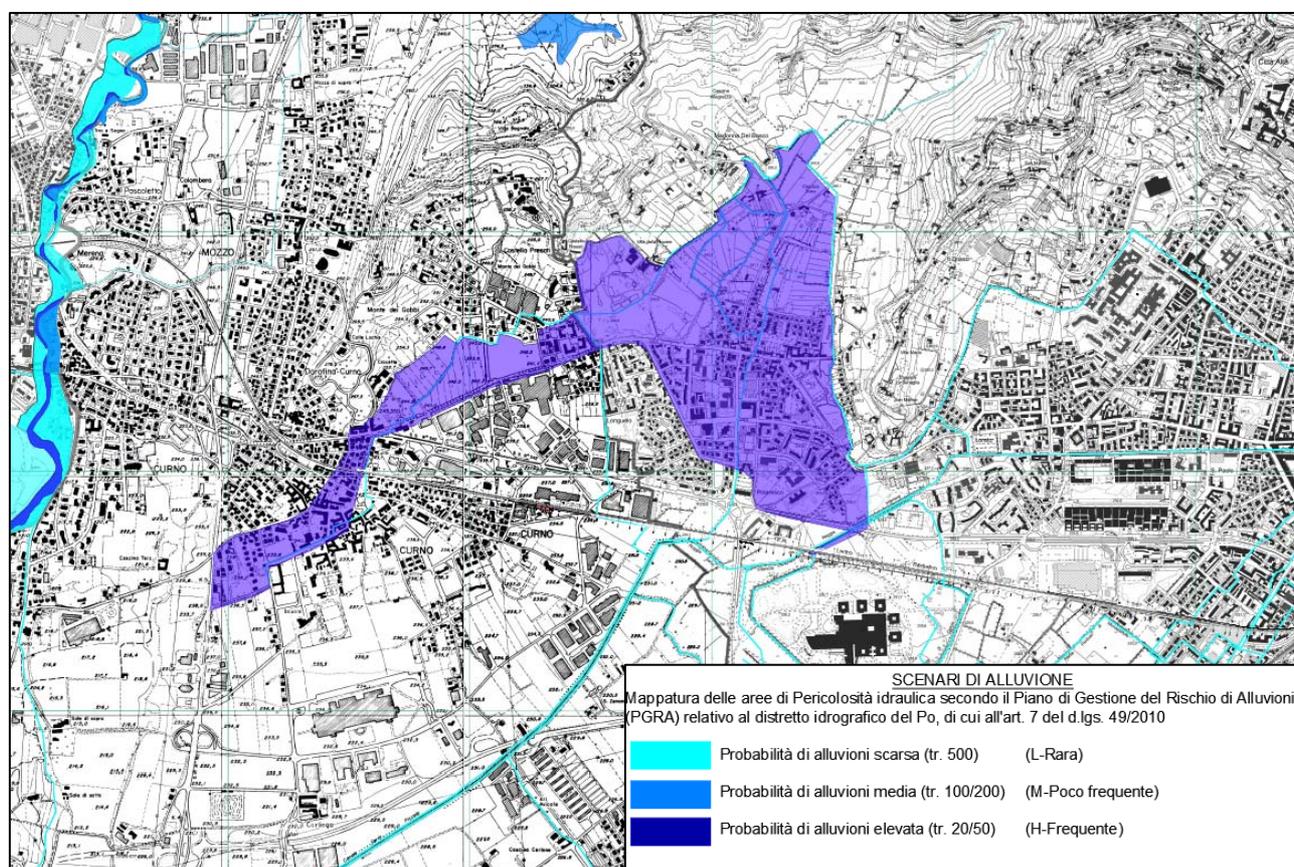


Figura 4.3 - Pericolosità Idraulica: Aree del PGRA sovrapposte alla zona interessata dal raddoppio.

La sovrapposizione del tracciato ferroviario con le aree di esondazione del PGRA del Distretto Padano evidenzia che l'asse ferroviario oggetto del presente PD interseca, in molteplici Comuni, aree a pericolosità idraulica con differenti scenari di probabilità di alluvione. In particolare:

- nel comune di Curno in cui le aree allagabili ricadono nel reticolo secondario di pianura (RSP) nello scenario frequente (H), tempo di ritorno 20 – 50 anni

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	16 di 114



Figura 4.4 - Aree del PGRA nel comune di Curno.

- nel comune di Bergamo (abitato Longuelo) in cui le aree allagabili ricadono nel reticolo secondario di pianura (RSP) nello scenario frequente (H), tempo di ritorno 20 – 50 anni



Figura 4.5 - Aree del PGRA nel comune di Bergamo.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 17 di 114

Nei pressi di Curno (km 5+169) la Roggia Curna attraversa la ferrovia nei pressi del passaggio a livello di via Roma. Recenti lavori di sistemazione previsti per il corso d'acqua hanno permesso l'interramento dello stesso. Ad esso è associata un'area a pericolosità di alluvioni elevata, con tempo di ritorno dell'evento di precipitazione di 20/50 anni. La stessa area interseca la ferrovia verso est, alla progressiva km 3+260, seguendo la Roggia Serio. Analizzando le recenti memorie dell'abitato di Longuelo, si evince che è una zona soggetta ad allagamenti, favoriti dalla pendenza del territorio e dalla crescente urbanizzazione che ha interessato l'area.

Il titolo V dell'elaborato n. 7 del PAI del bacino del fiume Po, contenente "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione Rischi di Alluvioni (PGRA)" disciplina le attività consentite nelle aree di allagamento definendo i criteri base per l'analisi di compatibilità idraulica degli interventi in progetto.

In particolare, il comma 2 dell'art. 58 riporta:

Art. 58
Aggiornamento agli indirizzi alla pianificazione urbanistica, ai sensi dell'art. 65, comma 6 del D. lgs n. 152/2006

c) Reticolo secondario di pianura (RSP)

- Nelle aree interessate da alluvioni frequenti, poco frequenti e rare, compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e s. m. i.

Nelle aree in oggetto si verificano degli allagamenti a seguito di varie problematiche tra cui l'incapacità della rete naturale di recapitare in quella di bonifica le proprie portate e i limiti fisici della rete di bonifica.

Dallo studio idrologico idraulico del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca, in particolare analizzando l'Appendice A – schede progetto del Piano Comprensoriale di Bonifica del consorzio, emerge che sono in programma interventi al fine di mitigare la pericolosità idraulica della zona. In particolare, sono state previste delle azioni, realizzazione di vasche di laminazione, ripristini, rizezionamenti e adeguamenti dei canali, per proteggere i centri urbani ed evitare tali esondazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

5	Area omogenea: 2	Tra Brembo e Serio nord
Completamento del Canale di Gronda Nord-Ovest (roggia Curna)		
Criticità riscontrate	Comuni interessati	
Nei quartieri Val D'Astino e Longuelo in Bergamo si verificano allagamenti a seguito di varie problematiche: a) incapacità della rete naturale di recapitare in quella di bonifica le proprie portate; b) limiti fisici della rete di bonifica; c) commistione di parte della rete di bonifica con la rete fognaria	BERGAMO CURNO MOZZO	
L'azione risponde ai seguenti obiettivi generali: Protezione dei centri urbani mediante opere idrauliche di collettamento, diversione o laminazione delle portate Razionalizzazione delle interconnessioni tra reti di fognatura e rete di bonifica Difesa delle aree pedecollinari e di pianura mediante il potenziamento della rete di scolo o la realizzazione di canali di gronda o invasi		
Tipologie di azione: Ripristini, risezionamenti, adeguamenti Vasche di laminazione, aree di espansione		
Oltre al completamento degli interventi di ristrutturazione della roggia Curna nel Canale Gronda Nord-Ovest si stanno effettuando studi idrologici ed idraulici per individuare ulteriori azioni, quali ad esempio vasche di laminazione		
L'azione contribuisce al seguente scopo: Soluzione delle problematiche idrauliche, per eventi con TR ≤ 50 anni, 137.0627 ha relative ad allagamenti a Longuelo, Valle d'Astino e Curno		
Costi: Costo stimato: € 4'400'000,00 Budget consortile: € 400'000,00 Altri finanziamenti: € 4'000'000,00		

Figura 4.6 - Estratto Piano comprensoriale di bonifica, di irrigazione e di tutela del territorio rurale.

4.3. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Dall'analisi della normativa vigente in materia di aree di esondazione si evidenzia che l'area interessata dalla realizzazione delle opere di progetto non ricade nelle fasce fluviali di esondazione ai sensi del PAI, mentre interessa in alcuni punti aree a pericolosità di alluvioni elevata, con tempo di ritorno dell'evento di precipitazione di 20/50 anni. Queste aree però sono state adeguatamente studiate dagli enti locali e, attraverso la realizzazione di vasche di laminazione e risezionamenti, sarà ripristinata la protezione dei centri urbani e quindi l'eliminazione della perimetrazione di tali aree come idraulicamente pericolose.

Gli interventi in essere sono, inoltre, classificabili come interventi di interesse pubblico, si rimanda quindi alle indicazioni fornite dall'art. 38 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 19 di 114

Art. 38. Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico

1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modificano i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui la comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.
2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.

A valle delle indicazioni da normativa riportate si può affermare che l'intervento in oggetto non costituisce significativo ostacolo al deflusso, non comporta una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di invaso e non concorre ad incrementare le condizioni di rischio, né in loco né in aree limitrofe. Inoltre, l'intervento in essere:

- non pregiudica la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area;
- non produce effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico, assicurando l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti;
- garantisce il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;
- assicura il mantenimento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e la sicurezza delle opere di difesa esistenti;
- non producendo effetti né in termini di modifica di deflussi idrici, né in termini di squilibrio degli attuali bilanci della risorsa idrica (prelievi e scarichi).

A valle dell'analisi riportata è possibile affermare che le nuove opere in progetto risultano *idraulicamente compatibili* con le norme che disciplinano gli interventi ricadenti in aree interessate da inondazioni secondo gli strumenti normativi.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	20 di 114

5. IDROLOGIA

Nel seguente capitolo si richiamano brevemente i valori della curva di possibilità climatica utilizzati, l'analisi eseguita è riportata ampiamente nella relazione idrologica associata, elaborato NB1R00D26RHID0002001A.

5.1. CURVE PER DURATE SUPERIORI AD UN'ORA

Alla base dell'analisi idrologica ci sono le curve di possibilità climatica del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e le curve del progetto STRADA della Regione Lombardia. Una volta individuati questi strumenti di pianificazione sono state analizzate le celle sulle quali ricade la linea e gli interventi di nuove viabilità.

Sono state confrontate le celle, trovando le celle massime per PAI e STRADA. Tali massimi sono stati paragonati, ed è emerso che le curve del progetto STRADA sono idraulicamente le più gravose, per tutti i tempi di ritorno indagati.

Come ulteriore strumento di controllo, al fine di avvalorare la scelta, sono state recuperate le curve di possibilità climatica del PTCP della provincia di Bergamo, derivanti da un'elaborazione secondo Gumbel delle registrazioni al pluviometro di Bergamo.

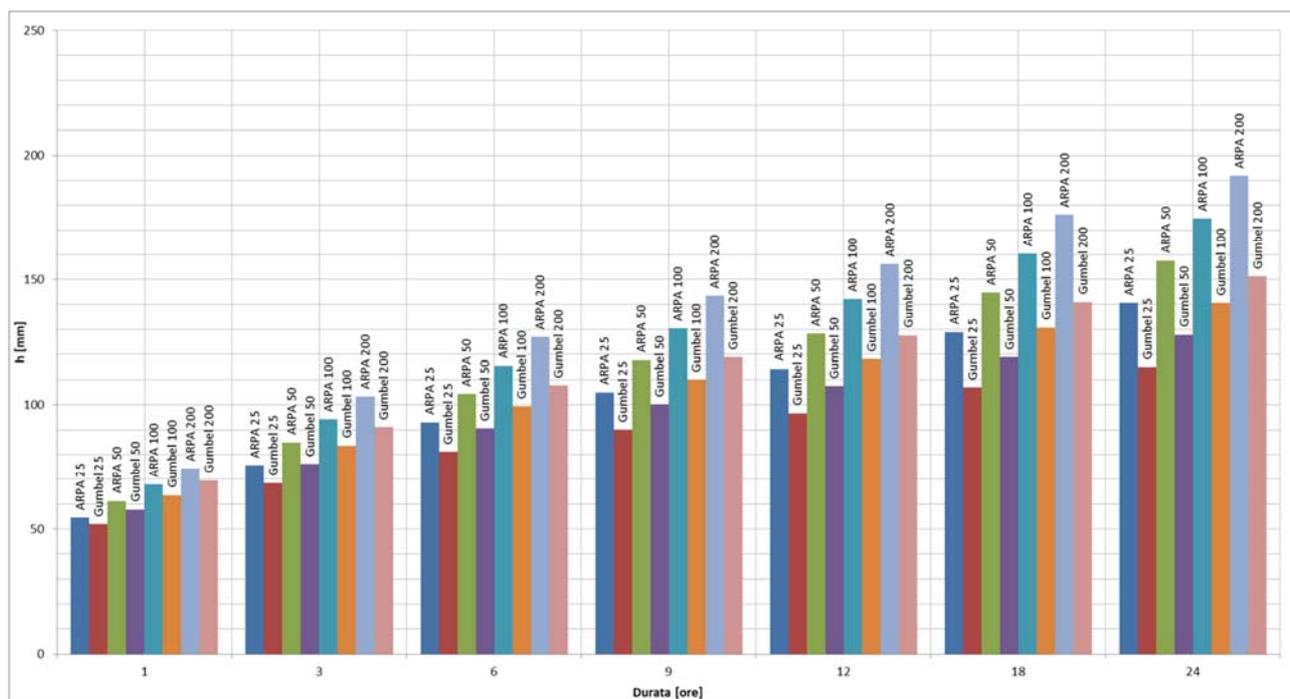


Figura 5.1 - Confronto curve massime Arpa e dati elaborati con Gumbel.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	21 di 114

Il raffronto, come da figura precedente, conferma la scelta effettuata e dimostra che per durate inferiori a circa 45 minuti le curve del progetto STRADA restituiscono altezze di pioggia maggiori per tutti i tempi di ritorno analizzati.

5.2. CURVE PER DURATE INFERIORE AD UN'ORA-PIOGGE BREVI

In bacini imbriferi di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

Nel caso oggetto della presente relazione il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora è stata utilizzata la formula di Bell.

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti r_τ tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

t [min]	5	10	15	30
$r_\delta = h_\delta / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Tabella 5.1 - Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un ora – U.S. Water Bureau.

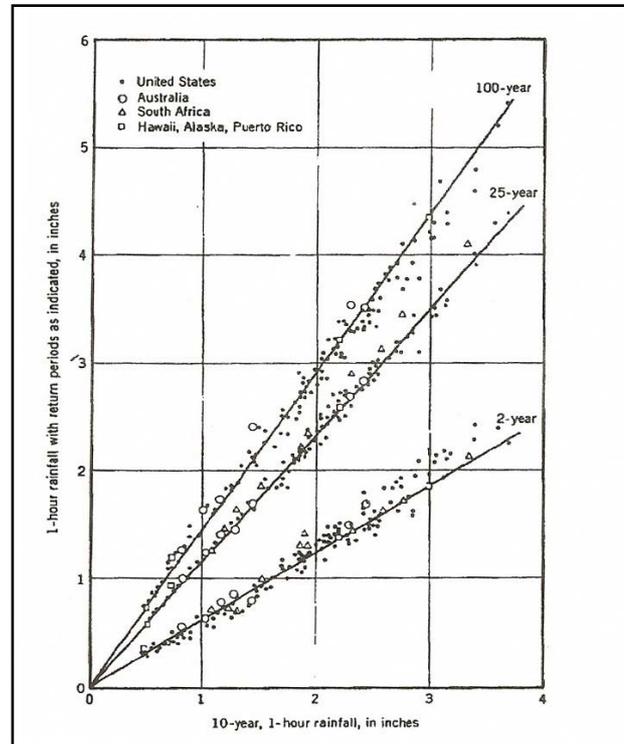


Figura 5.2 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni.

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per $5 \leq t \leq 120$ minuti dove:

- P_T^t indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo t riferita al periodo di ritorno T ;
- h_T^{60} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno T ;
- t è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia h_t relativa all'evento di durata t , passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n' .

5.3. VALORI ADOTTATI

Nell'ambito dello studio idrologico vengono stimati i parametri della legge di possibilità pluviometrica per i differenti tempi di ritorno al fine di calcolare, mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi, le portate di progetto che interessano i manufatti idraulici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

I tempi di ritorno (Tr) prescritti dal Manuale di Progettazione ferroviaria variano infatti a seconda del tipo di manufatto idraulico:

- Drenaggio della piattaforma (cunetta, tubazioni..):

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

	S [Km ²]	Tr [anni]
Linea ferroviaria	$S \geq 10$	300
	$S < 10$	200
Deviazioni stradali	-	200

Per l'area oggetto d'intervento, con riferimento a tempi di ritorno di 25, 50, 100, 200 anni, secondo lo studio di Arpa Lombardia si ottengono i seguenti valori per a_{1*W_T} ed n e le seguenti leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata superiore all'ora:

Tr [anni]	t ≤ 1 ora				t > 1ora			
	25	50	100	200	25	50	100	200
a1	30.26				30.26			
n	0.464				0.298			
w _T	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109

Tabella 5.II - Parametri LSPP di progetto linea ferroviaria, NV01, NV05.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 24 di 114

6. ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI

Lungo la tratta oggetto di tale studio, il tracciato della linea ferroviaria interseca i tratti terminali di una serie di torrenti, rii, fossi e canali irrigui.

Il progetto prevede la realizzazione del binario di raddoppio a 4.00 m dal binario esistente, in sinistra o in destra a seconda delle necessità funzionali e delle condizioni al contorno, che implica il più delle volte la necessità di prolungare le opere di attraversamento idraulico esistente. Nel Progetto Definitivo in oggetto, vista l'interruzione della linea ferroviaria durante le lavorazioni e considerando la vetusta età delle opere esistenti, si è optato per il rifacimento completo delle opere; tale impostazione permette di evitare giunzioni di opere che presentano sezioni o materiali differenti, andamenti planimetrici non rettilinei o disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua e garantisce il rispetto di tutte le nuove normative in vigore. Solo in corrispondenza della fermata di Bergamo Ospedale, vista la recente realizzazione della banchina lato sud, si è optato per la realizzazione ex novo dell'intero attraversamento della piattaforma a meno del rifacimento del tombino in corrispondenza della banchina; garantendo però la continuità idraulica tra le due opere.

Nell'intervento in esame gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in assenza di circolazione ferroviaria, pertanto l'esecuzione avverrà in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera. Il rilevato ferroviario verrà poi ricostituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale.

Tutti gli attraversamenti di trasparenza verranno realizzati in asse all'esistente non avendo problemi di fasizzazione, per realizzare, invece, gli attraversamenti secondari bisogna distinguere tra attraversamenti realizzati in deviazione e in asse.

Per i primi non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, mentre nei casi di attraversamenti in asse con le esistenti è necessario innanzitutto prevedere le lavorazioni nel periodo in cui il consorzio effettuerà la chiusura per manutenzione dei canali (gennaio/febbraio) inoltre, dato che tutti i canali consortili sono anche canali di scolo fognario è necessario prevedere delle fasi di realizzazione. In particolare, si prevede l'utilizzo di tubi di grandi dimensioni per garantire la continuità idraulica durante la realizzazione dell'opera; in alcuni casi tali tubi diventeranno definitivi fungendo da cassetta durante la realizzazione (IN02) in altri casi avranno esclusivamente una funzione provvisoria (IN04 e IN10).

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 25 di 114

6.1. DATI DI BASE

Tutti gli attraversamenti idraulici devono convogliare delle portate il cui dimensionamento ha origine dalla definizione dell'area che darà luogo al deflusso superficiale.

I dati di base disponibili per tale studio sono:

- DTM (Digital Terrain Model) della provincia di Bergamo con passo 5.00 x 5.00 m, disponibile nel Geoportale della Regione Lombardia;
- Carta Tecnica Regionale;
- le informazioni raccolte durante sopralluoghi effettuati nell'ambito del PFTE/PD mirati a definire gli attraversamenti idraulici e di progetti eseguiti nella zona di interesse, per reperire lo stato di fatto delle opere interessate;
- la rete idraulica della provincia sotto forma di shapefile (fonte *Regione Lombardia e Consorzi di bonifica* al link: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-dati>) suddivisa in: reticolo idrico principale (RIP) di competenza di Regione Lombardia o AIPO, reticolo idrico minore (RIM) di competenza comunale, reticolo idrico consortile (RIB) di competenza dei consorzi di bonifica e irrigazione;
- le curve di possibilità pluviometrica definite ampiamente nella relazione idrologica NB1R00D26RHID0001001A;
- le tavole prodotte nell'ambito dello Studio idrologico e idraulico – Problematiche di regimazione idraulica determinatesi nel comprensorio di Bergamo nell'estate 2016.

La classificazione proposta da Rete Ferroviaria Italiana nel Manuale di Progettazione delle Opere Civili distingue gli attraversamenti che sottendono un'area maggiore di 10 km² da quelli che sottendono un'area minore di 10 km², tali bacini idrografici sono stati suddivisi in due livelli di importanza (Corsi d'acqua Maggiori e Corsi d'acqua Minori) a cui corrisponde un diverso approccio nella modellazione idrologica.

6.2. TIPOLOGIA DI ATTRAVERSAMENTI SECONDARI/DI TRASPARENZA

Nella precedente fase progettuale, mediante l'uso del software GIS (ESRI ARCGIS 10.6) sono state studiate sia la rete idrografica sia le principali caratteristiche geomorfologiche e pedologiche dei bacini afferenti ai manufatti di attraversamento esistenti della linea ferroviaria, successivamente ricalcolate nell'attuale fase progettuale.

Di seguito si espongono le differenti modellazioni idrauliche eseguite sugli attraversamenti, differenziando la tipologia e le caratteristiche idrauliche.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 26 di 114

Nell'ambito del presente progetto, in particolare, non sono stati riscontrati attraversamenti con bacini superiori a 10 km², in seguito quindi ci si riferirà solamente agli attraversamenti secondari. In particolare, gli attraversamenti di questa tipologia sono stati verificati, come definito in precedenza con le metodologie descritte nella presente relazione, con le portate duecentennali calcolate nella relazione idrologica a cui si rimanda.

L'orografia della zona impone, inoltre, la necessità di garantire lo scarico delle acque dei versanti da nord verso sud. La linea ferroviaria infatti funge da barriera al deflusso naturale delle acque (Figura 3.1) infatti, già allo stato attuale la linea presenta numerosi attraversamenti di trasparenza, che si decide di mantenere e, in caso se ne ravveda la necessità, di aumentarne il numero.

Per i dettagli di ciascun attraversamento, informazioni sulle sezioni, rappresentazioni degli imbocchi e sbocchi si rimanda agli elaborati "Opere di attraversamento idraulico".

6.2.1. Attraversamenti Secondari

Il dimensionamento delle opere di attraversamento in corrispondenza dei corsi d'acqua minori realizzati con tombini sono stati fissati i seguenti criteri:

- garantire l'assenza di rigurgiti e il rispetto di un franco di sicurezza (riempimento massimo tra le condizioni del Manuale di Progettazione e delle NTC2018 (cfr. 6.5));
- evitare l'insacco di fenomeni di escavo in prossimità dell'opera prevedendo nei raccordi a monte ed a valle, la realizzazione di opere di presidio elastiche (materassi e gabbioni).

Sulla base delle risultanze dello studio idrologico ed i risultati delle verifiche idrauliche riportate nei paragrafi precedenti, sono stati definiti tipologia e dimensione delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua minori e maggiori e delle opere di trasparenza.

WBS	PROGRESSIVA	TIPOLOGIA	N CANNE	LARGHEZZAxALTEZZA ATTRAVERSAMENTO	DIAMETRO
	km	SCATOLARE/CIRCOLARE	-	m	m
IN02	1+343,992	CIRCOLARE	1		1.50
IN03	1+440,092	NESSUN INTERVENTO			
IN04	1+464,767	SCATOLARE	2	2.00x1.50	
IN05	1+702,709	CIRCOLARE	1		1.50
IN07	2+739,220	SCATOLARE	1	1.50x1.20	
IN08	3+283,498	SCATOLARE	1	2.00x1.20	
VI05	3+337,113	PONTE			
IN10	3+722,929	SCATOLARE	1	4.00x2.00	
IN11	4+198,474	NESSUN INTERVENTO			
IN12	5+168,889	NESSUN INTERVENTO			

Tabella 6.1 - Identificazione degli attraversamenti secondari.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 27 di 114

Nel progetto non si è ritenuto necessario effettuare le verifiche sul trasporto solido lungo i vari canali irrigui non ritenendo tale aspetto problematico, visto che la maggior parte dei canali consortili sono in calcestruzzo e tutti presentano limitate velocità tangenziali.

6.2.2. Attraversamenti tombati

Il presente progetto di raddoppio attraversa un'area urbanizzata in cui sono presenti canali irrigui che risultano tombati per lunghi tratti, ben oltre l'area ferroviaria oggetto di intervento. Pertanto, in caso di eventuale lavorazione, la risoluzione di tali attraversamenti non potrà essere limitata all'eventuale rifacimento del solo attraversamento sotto binario; si ritiene tuttavia che la struttura dell'opera esistente sia comunque adeguata a sostenere i carichi ferroviari, avendo la medesima configurazione strutturale sia a monte che a valle dell'attraversamento.

Con queste premesse, si giunge alla conclusione che gli attraversamenti tombati non verranno sottoposti a progetto idraulico in questa fase; si prevede, per eccessiva cautela, la sola protezione strutturale dell'intero manufatto ricadente all'interno dell'area ferroviaria. Nella successiva fase progettuale dovrà necessariamente essere definita di concerto con l'ente gestore, che ne conosce le caratteristiche geometriche e di funzionamento idraulico per tutta la lunghezza del tratto tombato, la necessità o meno di prevedere un ripristino parziale dell'opera al di sotto della piattaforma ferroviaria.

ATTRAVERSAMENTO	PROGRESSIVA [km]	MANUFATTO PRESENTE	CANALE IRRIGUO
IN 12	5+167.167	Tombato	Roggia Curna
IN 11	4+196.751	Tombato	Scaricatore Cascina Lupo
IN 03	1+438.378	Tombato	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo
IN 01	0+746,861	Tombato	Roggia Morlana

Tabella 6.11 - Identificazione degli attraversamenti tombati.

6.2.3. Fornici di trasparenza idraulica

I numerosi attraversamenti di trasparenza sono stati verificati idraulicamente come i tombini, ovvero a moto uniforme, con la portata duecentennale calcolata secondo quanto indicato nella relazione idrologica. Di seguito si riporta una tabella contenente i fornici di trasparenza in progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 28 di 114

WBS	PROGRESSIVA	Progetto	DIAMETRO	NUMERO CANNE
	km		m	
IN51	2+919,940	CIRCOLARE	1.50	1.00
IN52	2+461,804	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN53	2+691,974	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN54	2+729,743	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN55	2+783,11	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN56	2+815,612	CIRCOLARE	1.00	2.00
IN57	2+854,095	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN58	2+889,497	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN59	2+992,77	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN60	3+035,916	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN61	3+060,579	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN62	3+099,888	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN63	3+179,443	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN64	3+876,943	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN65	3+952,955	CIRCOLARE	1.00	1.00
IN66	3+976,301	CIRCOLARE	1.20	1.00
IN67	4+042,159	CIRCOLARE	1.20	1.00
IN68	4+109,336	CIRCOLARE	1.00	1.00

Tabella 6.III - Identificazione degli attraversamenti di trasparenza.

6.3. 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:

$$Q = 2.78 \frac{\varphi S h}{t_c}$$

Con h altezza di pioggia [mm], S area del bacino [km^2], φ coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino, t_c tempo di corrivazione [ore].

Di seguito si descrive il metodo assunto per la definizione del coefficiente di deflusso medio φ e del tempo di corrivazione (T_c).

6.3.1. Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo che impiega la goccia d'acqua caduta nel punto più lontano del bacino a raggiungere la sezione di chiusura. È stato valutato distintamente a seconda dell'opera cui si fa riferimento: tombini, fornic.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 29 di 114

Tombini

Per la stima del tempo di corrivazione dei bacini afferenti agli attraversamenti ferroviari sono state utilizzate diverse formulazioni presenti in letteratura.

- Ventura

$$\tau_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{i}}$$

- Pasini

$$\tau_c = 0.108 \frac{(AL)^{1/3}}{\sqrt{i}}$$

- Pezzoli, ha proposto la seguente espressione sulla base di misure relative a misure relative a piccoli bacini piemontesi

$$\tau_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

- Kirpich, utilizzando dati di sei piccoli bacini americani, e successivamente Rowe e Thomas integrando con ulteriori misure, sono pervenuti alla seguente relazione

$$\tau_c = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

Dove:

S, area bacino (kmq)

L, lunghezza asta principale

i, pendenza media dell'asta

La scelta del tempo di corrivazione di progetto rispecchia i campi di definizione delle formule.

Nella tabella seguente si riportano i tempi di corrivazione calcolati, i dati utilizzati (Lunghezza asta, Area bacino e pendenza dell'asta).

WBS	Progressiva	Lunghezza asta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto
	km	m	kmq	m/m	ore				
IN01	0+746,861	770.00	0.252	0.0047	0.93	0.62	0.92	0.43	0.43
IN02	1+343,992	1095.00	0.111	0.0020	0.95	1.35	1.20	0.78	0.78
IN03	1+440,092	600.00	0.073	0.0049	0.49	0.47	0.55	0.35	0.35
IN04	1+464,767	2400.00	0.324	0.0070	0.86	1.58	1.19	0.88	0.88
IN05	1+702,709	992.00	0.139	0.0049	0.68	0.78	0.80	0.51	0.51
IN07	2+739,220	381.00	0.059	0.0123	0.28	0.19	0.28	0.17	0.17
IN08	3+283,498	472.00	0.008	0.0080	0.13	0.29	0.19	0.24	0.24
VI05	3+337,113	2000.00	3.320	0.0014	6.19	2.94	5.39	1.42	2.94
IN10	3+722,929	1800.00	2.860	0.0013	5.97	2.75	5.14	1.35	2.75
IN11	4+198,474	900.00	1.497	0.0076	1.79	0.57	1.37	0.40	0.57
IN12	5+168,889	9000.00	0.150	0.00160	1.23	12.38	2.98	4.30	4.30

Tabella 6.IV - Calcolo di corrivazione tombini.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

Fornici di trasparenza

Per i fornici di trasparenza, essendo per definizione privi di asta fluviale, sono state analizzate le seguenti formule:

- Ventura

$$\tau_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{i}}$$

- Turazza

$$\tau_c = 1.085 \sqrt{S}$$

Dove:

S, area bacino (kmq)

i, pendenza media dell'asta

Per evitare di sovradimensionare i fornici è stato scelto coscientemente il valore maggiore tra i due.

Nella tabella seguente si riportano i tempi di corrivazione calcolati, i dati utilizzati (Area bacino e pendenza del bacino).

WBS	Progressiva	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto
	km	kmq	m/m	ore		
IN51	2+919,940	0.002	0.0024	0.051	0.122	0.122
IN52	2+461,804	0.027	0.0024	0.179	0.429	0.429
IN53	2+691,974	0.005	0.0070	0.079	0.111	0.111
IN54	2+729,743	0.005	0.0070	0.079	0.111	0.111
IN55	2+783,11	0.002	0.0070	0.048	0.068	0.068
IN56	2+815,612	0.002	0.0070	0.048	0.068	0.068
IN57	2+854,095	0.002	0.0070	0.048	0.068	0.068
IN58	2+889,497	0.002	0.0070	0.048	0.068	0.068
IN59	2+992,77	0.003	0.0070	0.064	0.090	0.090
IN60	3+035,916	0.002	0.0100	0.043	0.050	0.050
IN61	3+060,579	0.006	0.0100	0.084	0.098	0.098
IN62	3+099,888	0.003	0.0100	0.061	0.072	0.072
IN63	3+179,443	0.002	0.0100	0.052	0.061	0.061
IN64	3+876,943	0.017	0.0063	0.140	0.208	0.208
IN65	3+952,955	0.005	0.0063	0.074	0.109	0.109
IN66	3+976,301	0.005	0.0060	0.074	0.112	0.112
IN67	4+042,159	0.005	0.0050	0.074	0.122	0.122
IN68	4+109,336	0.005	0.0050	0.074	0.122	0.122

Tabella 6.V - Tempo di corrivazione fornici di trasparenza.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 31 di 114

6.4. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Per le opere di drenaggio a corredo del corpo ferroviario (fossi di guardia, cunetta rettangolare di piattaforma) sono stati assunti cautelativamente i seguenti coefficienti di deflusso ⁽¹⁾:

- 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;
- 0.9 per la piattaforma ferroviaria in raddoppio;
- 0.7 per i tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del regolamento regionale e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;
- 0.3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.

Il coefficiente di deflusso medio è stato definito con media pesata sulle aree coinvolte nel calcolo, secondo la seguente relazione:

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum_i \varphi_i \cdot S_i}{S_{tot}}$$

In accordo con il Decreto del Presidente della Provincia 21 gennaio 2008, n. 6 Regolamento di esecuzione alla legge provinciale del 18 giugno 2002, n. 8 recante "Disposizioni sulle acque" in materia di tutela delle acque, sono stati previsti dei sistemi di dispersione profonda, accoppiati a vasche di trattamento da idrocarburi di classe I a monte dell'immissione nel sottosuolo.

6.5. PROCEDURA DI VERIFICA

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

Definiti i parametri pluviometrici, il metodo di trasformazione afflussi/deflussi e definite le differenti opere idrauliche in progetto si effettua la verifica delle medesime.

Le verifiche idrauliche condotte sugli attraversamenti idraulici secondari/di trasparenza sono in moto uniforme.

⁽¹⁾Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 e ss.mm.ii., Art. 11, comma 2, lettera d.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 32 di 114

Stimata la portata defluente nella sezione esistente (vedi relazione idrologica) il profilo idrico nei canali interessati e negli attraversamenti viene calcolato adottando le condizioni di deflusso in moto uniforme utilizzando la relazione di Gauckler-Strickler:

$$Q = K_s * A * R^{2/3} * \sqrt{i}$$

in cui:

K_s [$m^{1/3}s^{-1}$] è il coefficiente di scabrezza secondo Gauckler Strickler,

A [m^2] è l'area bagnata della sezione,

R [m] è il raggio idraulico associato,

i è la pendenza longitudinale

Q [m^3/s] è la portata.

Il calcolo della massima portata di progetto è stato ampiamente trattato nella relazione idrologica, per cui si rimanda ad essa per ulteriori approfondimenti.

Quindi, nota la portata è possibile tramite la (1) risalire all'altezza di moto uniforme nello stato di fatto, impostando la pendenza di scorrimento compatibile con la natura del corso d'acqua, in considerazione delle caratteristiche orografiche e morfologiche dell'area, e scabrezza $K_s = 45$ [$m^{1/3}s^{-1}$] per gli attraversamenti secondari per lo stato ante operam, mentre $K_s = 60$ [$m^{1/3}s^{-1}$] per lo stato post operam.

Non si è ritenuto necessario fare verifiche in moto permanente sui vari canali irrigui interessati dal raddoppio in progetto visto che tutti gli attraversamenti sono stati realizzati ex-novo (non vi sono giunti tra sezioni differenti), hanno dimensioni superiori agli esistenti con sezioni regolai (in cls) e rispettano i limiti sul massimo riempimento.

Nel capitolo 10 sono presentate le tabelle relative alle verifiche idrauliche svolte nelle configurazioni ante e post operam.

6.5.1. Metodologia di verifica di tombini

La verifica dei tombini è stata inoltre svolta con il programma 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.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 33 di 114

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'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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 34 di 114

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.

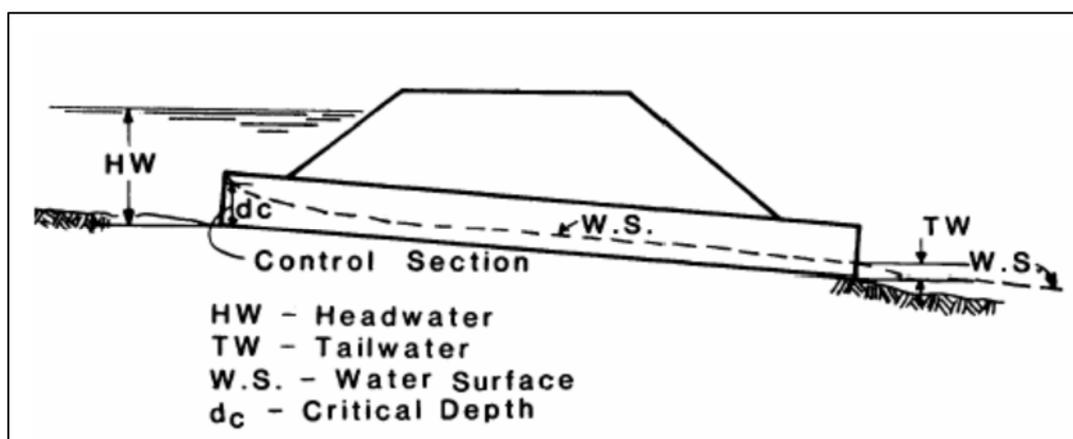


Figura 6.1 – Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso.

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).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 35 di 114

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.

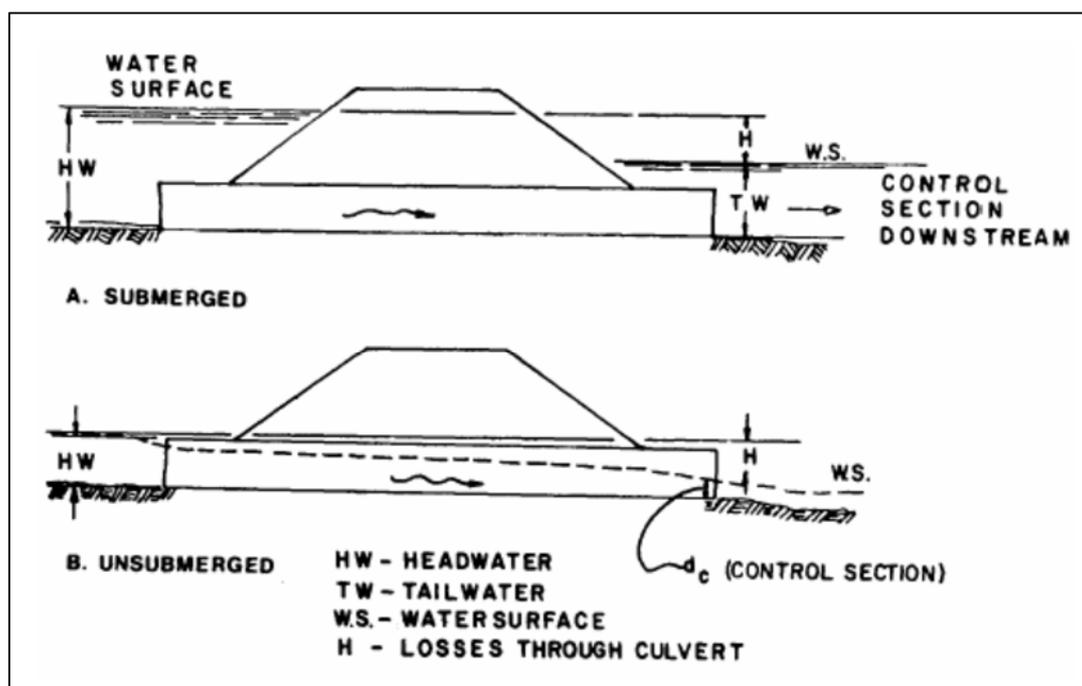


Figura 6.2 – Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino.

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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 36 di 114

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.

Nel paragrafo 10.1.3 sono presentate le tabelle relative alle verifiche idrauliche svolte nelle configurazioni ante e post operam.

6.6. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

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

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

- Manuale di Progettazione Ferroviaria 2018 (MdP)
- Norme Tecniche Costruttive 2008 (NTC)

In accordo al Manuale di Progettazione RFI ogni manufatto idraulico di attraversamento (ponti e tombini) verrà verificato utilizzando i tempi di ritorno seguenti:

- ✓ Linea ferroviaria $Tr=300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$
- ✓ Linea ferroviaria $Tr=200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$.

Inoltre, nell'individuare le opere necessarie a garantire la sicurezza idraulica della linea è stato verificato che essa non sia di ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali, garantendo che:

- l'inserimento dell'opera non comporti un aumento del rischio idraulico, ma lasci inalterate le modalità di espansione delle piene in corrispondenza di eventi critici;
- ci sia continuità idraulica dei compluvi minori e sia consentito l'attraversamento dei canali esistenti;
- sia presente un sistema di drenaggio e smaltimento delle acque operativo, se necessario adeguando le opere esistenti con le norme vigenti.

Le verifiche idrauliche sono state svolte con riferimento alle portate calcolate con i suddetti tempi di ritorno e ai seguenti criteri con riferimento alla tipologia di opere, in particolare per tombini e fornici il criterio più sfavorevole tra i seguenti:

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 37 di 114

- un riempimento massimo $\frac{y}{D} \leq 70\%$ per i tombini in accordo al manuale di progettazione ferroviaria;
- un riempimento massimo di $2/3$ l'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0.50 m (circolare applicativa NTC2018);

Per i ponti:

- un franco idraulico Δ di almeno 1.50 m sul livello idrico associato alla piena di progetto (e 0,5m sull'altezza cinetica), secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e dal manuale di progettazione ferroviaria,

dove D [m] è l'altezza interna del tombino in condizioni di normale funzionamento, y [m] è la quota idrica corrispondente alla portata di piena, Δ [m] è il franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena.

In accordo a quanto previsto dal manuale di progettazione ferroviaria, le dimensioni minime per gli attraversamenti idraulici sono pari a $\Phi 1500$ per gli attraversamenti ferroviarie e $2.0m \times 2.0m$ per gli attraversamenti scatolari. In alcuni casi, in cui sussistono vincoli alla modifica altimetrica del piano del ferro, in assenza di incisioni definite o in assenza di veri e propri canali ma solo per garantire la continuità idraulica, sono stati adottati tombini circolari $\Phi 1000$ per i fornici di trasparenza e scatolari di dimensione variabile, ma minori di 2.0×2.0 m (singoli o accoppiati); questo 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.

Non sono emersi ulteriori restrizioni derivanti dalle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 38 di 114

7. STANDARD PROGETTUALI

Il progetto in essere necessita di varie opere idrauliche che bisogna dimensionare e verificare adeguatamente.

Il dimensionamento degli elementi costituenti il sistema di raccolta e smaltimento delle acque è differente per ciascuna opera, la procedura può essere riepilogata con i seguenti passi:

- Individuazione delle curve di possibilità pluviometrica (Analisi idrologica);
- Calcolo delle portate generate dalla precipitazione meteorica (Metodo di trasformazione afflussi/deflussi);
- Dimensionamento e verifica degli elementi di raccolta delle acque.

In questo capitolo si descrive la metodologia di verifica impiegata per tubazioni di attraversamento ferroviario e fossi/canalette appartenenti al sistema di raccolta e convogliamento, che quindi non devono rispettare i principi di invarianza idraulica.

7.1. METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI

L'impostazione idrologica ed i metodi di dimensionamento delle opere tengono conto delle prescrizioni del "Manuale di progettazione"; le relazioni proposte nel manuale di progettazione derivano dal metodo dell'invaso secondo l'impostazione data 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 pluviale della rete è calcolata con un 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. Tale metodo è conforme alle indicazioni riportate sul manuale di Progettazione Ferroviario.

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

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 39 di 114

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.

$$P = \phi * I * A$$

Nel tempo dt il volume d'acqua affluito sarà $p*dt$, 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 $p*dt$ e quello che defluisce è $q*dt$, 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:

$$p * dt = q * dt + dw$$

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 non sarebbe integrabile se non fissando q o w .

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, tramite processo iterativo, 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 ω :

$$w/\omega = W/\Omega = cost$$

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:

$$q/\omega = Q/\Omega = cost$$

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 40 di 114

Con queste ipotesi semplificative si ottiene:

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

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

L'equazione di continuità diviene quindi:

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

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 τ 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 $\tau = t_r$, 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 $\tau = t_r$ si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

$$u = k * \frac{(\phi * a)^{\frac{1}{n}}}{w^{\frac{1}{n}-1}}$$

Il coefficiente udometrico rappresenta la portata per unità di superficie del bacino, ed è espresso in l/s*ha, ϕ è il coefficiente di afflusso, w è il volume di acqua invasata riferito all'area del bacino in m^3/m^2 , a [m/oraⁿ] ed n sono i coefficienti della curva di possibilità climatica, k un coefficiente che assume il valore di **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:

$$u = 2168 * n * \frac{(\phi * a)^{\frac{1}{n}}}{w^{\frac{1}{n}-1}}$$

Per quanto attiene il coefficiente di deflusso sono stati assunti i valori riportati al precedente capitolo 6.4.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 41 di 114

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. W_{tot} 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 .

In particolare, il volume dei piccoli invasi è stato calcolato considerando un apporto unitario di $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ per le superfici impermeabili della piattaforma ferroviaria (associato alla presenza della massicciata).

7.2. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEGLI ELEMENTI DI RACCOLTA

Definiti i parametri pluviometrici, il metodo di trasformazione afflussi/deflussi si effettua il dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. La verifica idraulica degli specchi 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 Gauckler-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 Gauckler-Strickler, pari a $80 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le tubazioni in PVC, $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per i fossi non rivestiti e $67 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per gli elementi in calcestruzzo;

R , raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

I criteri di verifica delle opere progettuali di drenaggio ferroviario si basano sul Manuale di Progettazione RFI. Secondo il documento la verifica si ritiene soddisfatta se sono soddisfatti i seguenti vincoli di progetto:

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 42 di 114

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a $0,4 \div 0,5$ m/s, ove possibile, al fine di evitare fenomeni di sedimentazione sul fondo che necessiti di una manutenzione più frequente dell'ordinaria;
- la velocità massima non deve essere maggiore di 5 m/s, al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- il grado di riempimento, per le opere idrauliche connesse alla piattaforma ferroviaria, deve essere non superiore al 70% per elementi chiusi per evitare che la condotta possa andare in pressione; il grado di riempimento per le opere idrauliche deve essere non superiore al 50% per le condotte con DN minore di 500 mm;
- Per gli elementi idraulici aperti si impone un coefficiente di sicurezza nelle verifiche idrauliche superiore o al più uguale ad 1.2.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 43 di 114

8. DIMENSIONAMENTO ELEMENTI DI DRENAGGIO FERROVIARIO

Il sistema di drenaggio previsto è costituito da un sistema di raccolta, collettamento, accumulo e dispersione delle acque meteoriche afferenti alla piattaforma ferroviaria e le banchina di stazione.

8.1. DIMENSIONAMENTO INTERASSE EMBRICI

Nel presente paragrafo viene descritto il sistema di drenaggio in rilevato, cioè quell'insieme di opere destinate a raccogliere, allontanare e convogliare a recapito le acque di pioggia ricadenti nell'ambito della piattaforma ferroviaria in rilevato.

Nei tratti in cui la piattaforma ferroviaria si trova in rilevato rispetto al piano campagna si prevede la posa di embrici in cls per assicurare lo scarico delle acque meteoriche nei fossi di guardia di forma trapezoidale, previsti al piede del rilevato, rivestiti in cls per una lunghezza di 3 m, in corrispondenza dello scarico dell'embrice.

Il dimensionamento di questi elementi consiste nello stabilire l'interasse massimo tale per cui l'acqua presente sulla strada transiti in un tratto limitato della sezione, definito al massimo dal cordolo in conglomerate bituminoso e pari alla larghezza massima allagabile, Assunta in questa sede pari a 2m.

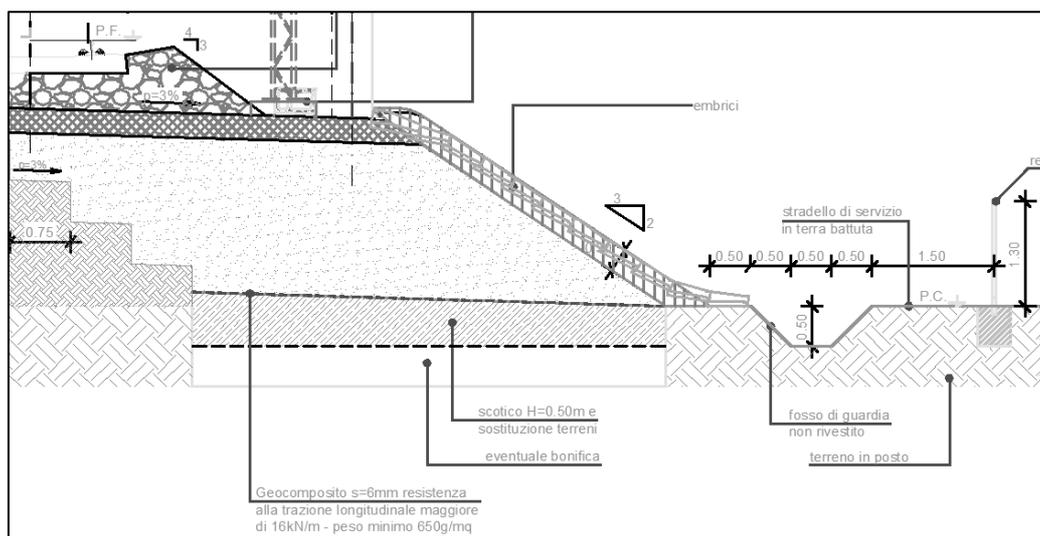


Figura 8.1 – Sezione tipo in rilevato con embrici.

Per il calcolo della portata massima transitante a bordo strada si è utilizzata la formula di Gauckler Strickler, ponendo come parametro di Strickler il valore di $Ks=60 m^{1/3}/s$. Assumendo quindi il deflusso in una sezione triangolare, definita it la pendenza trasversale, l'area e il perimetro bagnato possono essere calcolati rispettivamente come:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	44 di 114

$$A_b = \frac{(B_b^2 * i_t)}{2}; C_b = B_b * \left(i_t + \frac{1}{(\cos(\arctan(i_t)))} \right)$$

Sulla base di queste indicando con i la pendenza longitudinale della strada, si può esprimere la portata che transita in banchina come:

$$Q_b = Ks \cdot A_b^{\frac{5}{3}} \cdot C_b^{\frac{2}{3}} \cdot i^{0.5}$$

La portata transitante in banchina deve essere poi confrontata con quella scaricabile dal singolo embrice. Tale portata risulta dal calcolo della portata defluente da uno sfioro in parete grossa:

$$Q_{emb} = Cq \cdot Lh \cdot \sqrt{(2 * g * h)}$$

in cui il coefficiente di deflusso Cq per gli stramazzi in parete grossa si approssima a 0.385, la lunghezza della soglia sfiorante $L=60 \text{ cm}$ coincide con il collo dell'embrice e il carico idraulico h risulta pari al tirante presente sul ciglio della piattaforma ferroviaria.

Sulla base delle relazioni appena definite l'interasse massimo di calcolo per gli embrici di scarico si esprime come il minimo i rapporti tra le portate convogliate/scaricate e la portata di pioggia unitaria e imponente un massimo valore di 15m.

Nella seguente figura si riporta la tipologia di embrice utilizzato.

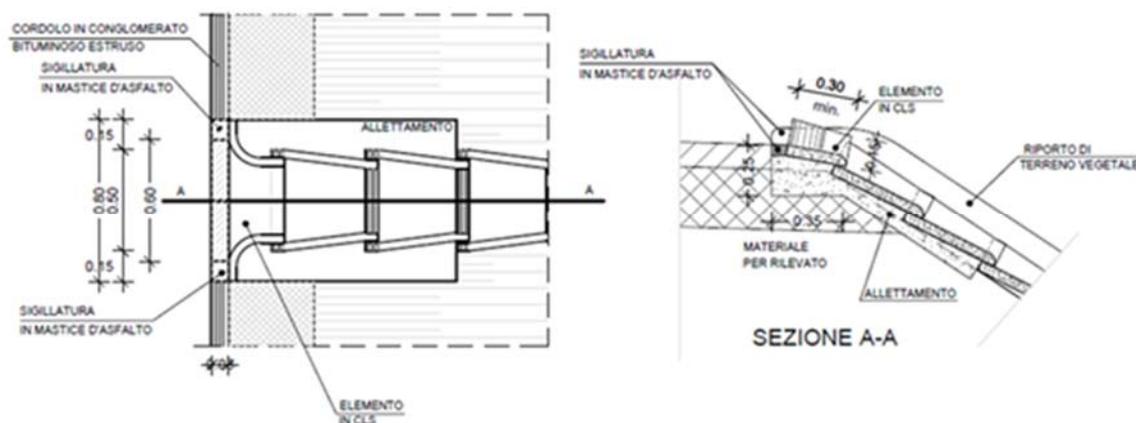


Figura 8.2 - Embrice tipo.

I risultati della verificano mostrano una capacità di evacuazione massima di 15 l/s.

Nei tratti dove la livelletta ferroviaria scende a 0.02% di pendenza, l'interasse massimo tra gli elementi è di 7 m (Pk 3+700-4+000 km), nei casi con pendenza di 0.036% sale a 9 m (Pk 2+500-2+625 km), mentre nel resto della linea ferroviaria si assume un interasse di 15 m come definito da manuale di RFI.

I fossi di guardia in progetto non sono rivestiti in calcestruzzo dato che le condizioni di pendenza e portate di progetto non lo richiedono (velocità limitate).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 45 di 114

8.2. DIMENSIONAMENTO SEZIONE CON BARRIERA ANTIRUMORE

Nel caso di sezione in rilevato con barriera antirumore, si possono presentare due casi:

- Barriera su binario esistente, senza lavorazioni (Figura 8.3);
- Barriera lato binario di progetto (Figura 8.4).

Nel primo caso, non facendo lavorazioni di sede e considerando le attuali condizioni di funzionamento valide sono state messe in campo delle scelte per ripristinare le condizioni ante operam: si inseriscono due elementi di embrice in corrispondenza dei fori delle barriere antirumore, posti ad interasse di 3 m. Tali embrici scaricano sulla scarpata esistente, ai cui piedi è presente un fosso di guardia preesistente.

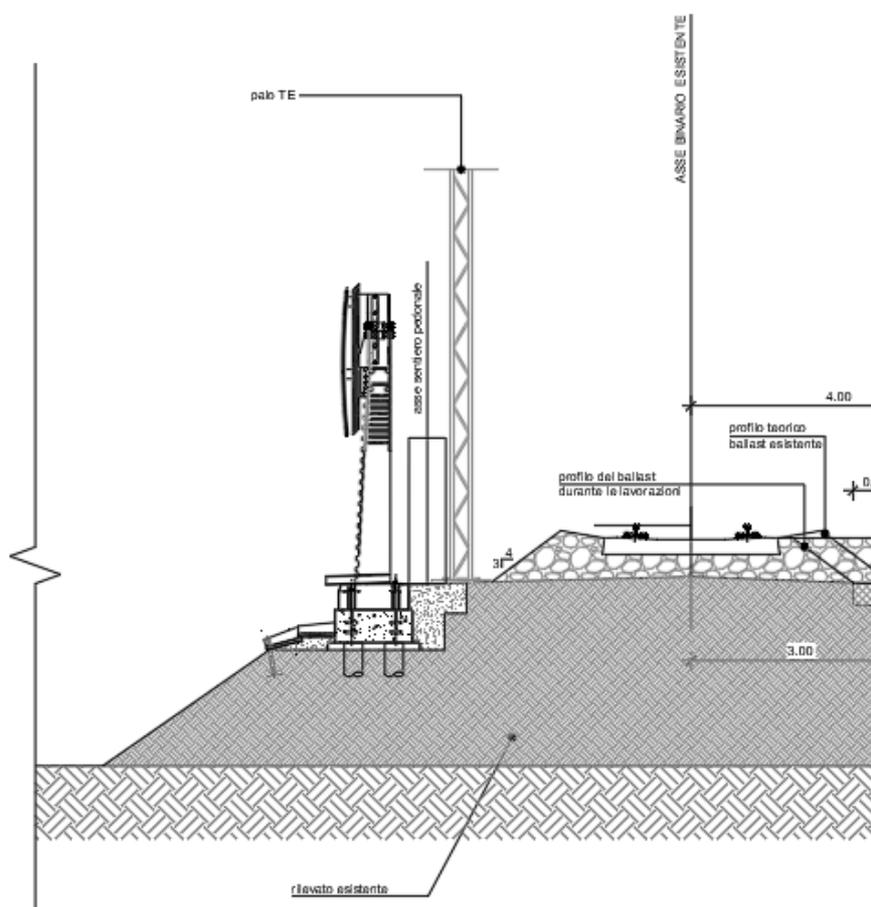


Figura 8.3 – Sezione tipo con barriera antirumore, su binario esistente senza lavorazioni.

Nel caso di barriera antirumore collocata in corrispondenza del binario di progetto, si prevede lo scarico puntuale con embrici, ad interasse variabile, in funzione di quanto definito al capitolo 8.1. Gli embrici sono alimentati da una canaletta ad “L” prefabbricata posta al piede della barriera, la quale raccoglie le acque di piattaforma ferroviaria, defluente dai fori prefabbricati ad interasse di 3 m.

Il recapito del sistema è il fosso di guardia posto ai piedi del rilevato.

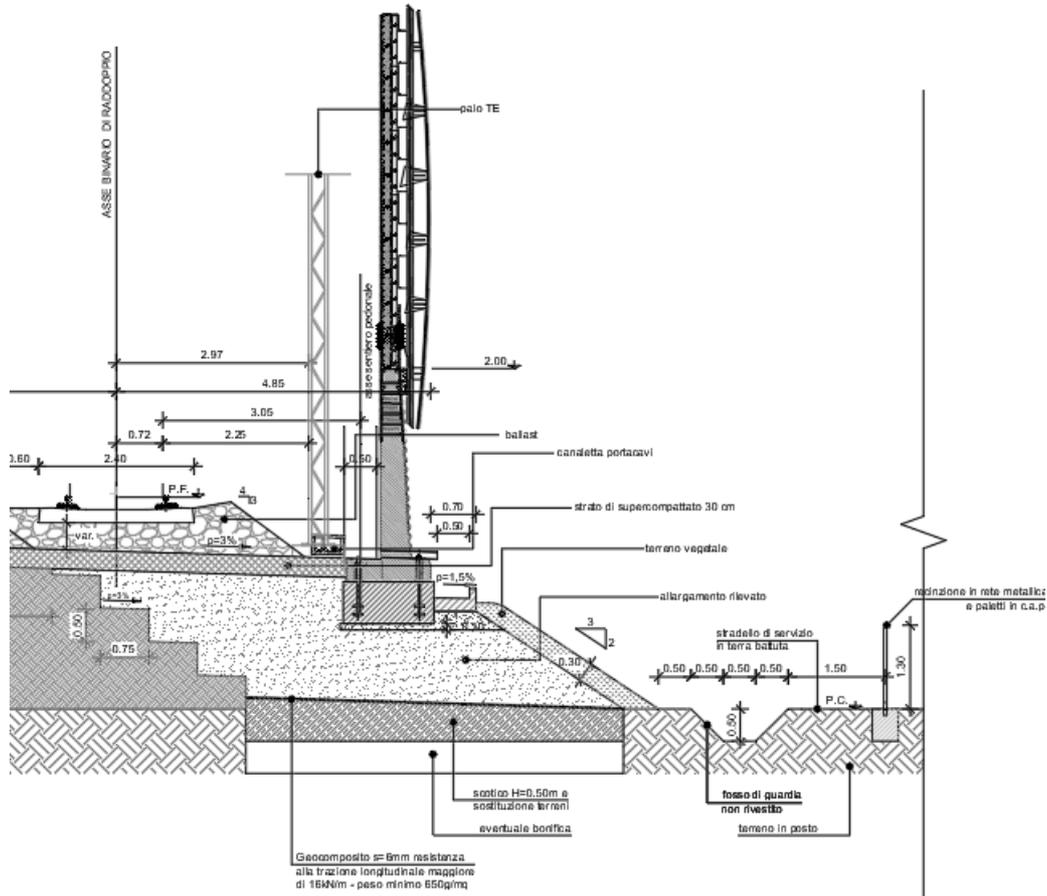


Figura 8.4 – Sezione tipo con barriera antirumore lato binario di progetto.

8.3. DIMENSIONAMENTO SEZIONE TRA MURI – VIA FINAZZI

Un caso notevole è rappresentato dal tratto di ferrovia in affiancamento a via Finazzi compreso tra le progressive 1+702 km e 2+217 km, lato sud. Qui a causa della presenza di numerosi accessi privati che devono essere comunque garantiti, è necessario scegliere una soluzione ad hoc, rappresentata da una sezione ristretta con canaletta gettata in opera, solidale al muro di recinzione. In corrispondenza dei basamenti dei pali TE, la canaletta si interromperà e la sezione subirà un allargamento necessario ad ospitare la fondazione del palo. La canaletta è lunga da 46 a 54 m e presenta due scarichi puntuali ad interasse di 10m, costituiti da collettori in PVC DN160. Per preservarne l'integrità, la parte di tubazione al di sotto di via Finazzi è protetta da un bauletto in calcestruzzo di spessore 10 cm.

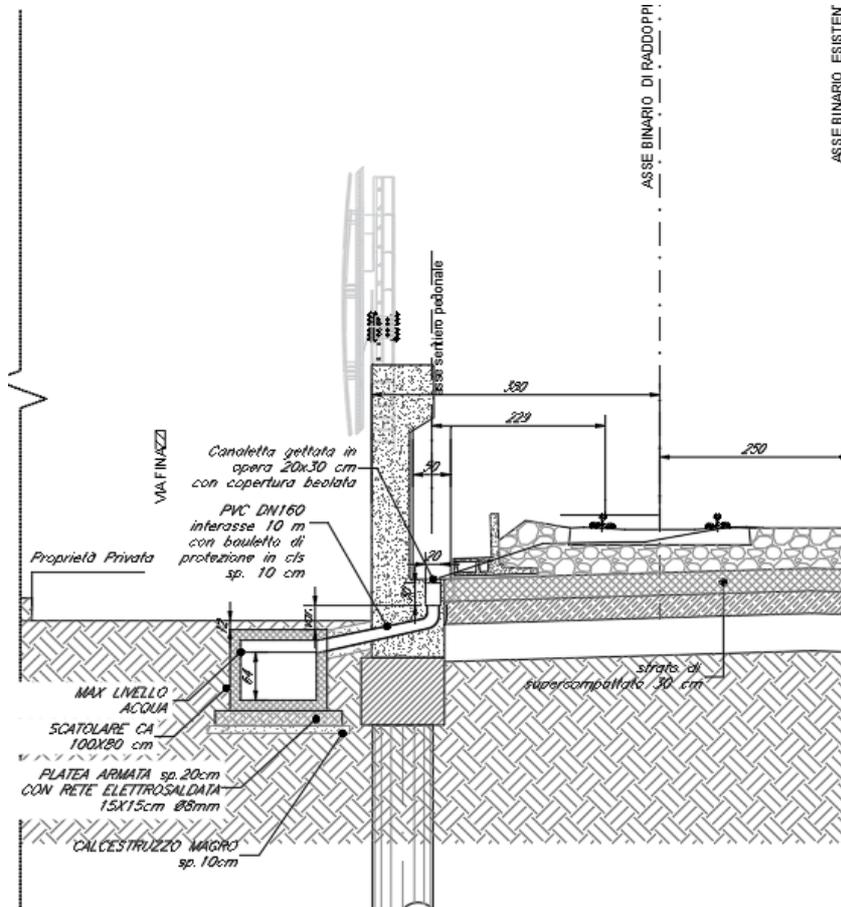


Figura 8.5 – Sezione tipo via Finazzi.

8.4. DIMENSIONAMENTO SEZIONE RISTRETTA TRA MURI

in corrispondenza di tratti particolarmente ristretti, la sezione tipologica prevede l'inserimento della canaletta idraulica esterna alla piattaforma ferroviaria, adiacente al muro di recinzione. Queste casistiche si verificano non continuativamente tra progressive 1+350 km a 1+530 km, lato nord, ovvero in corrispondenza del PL di Via Moroni, dove si ha il massimo restringimento della linea ferroviaria.

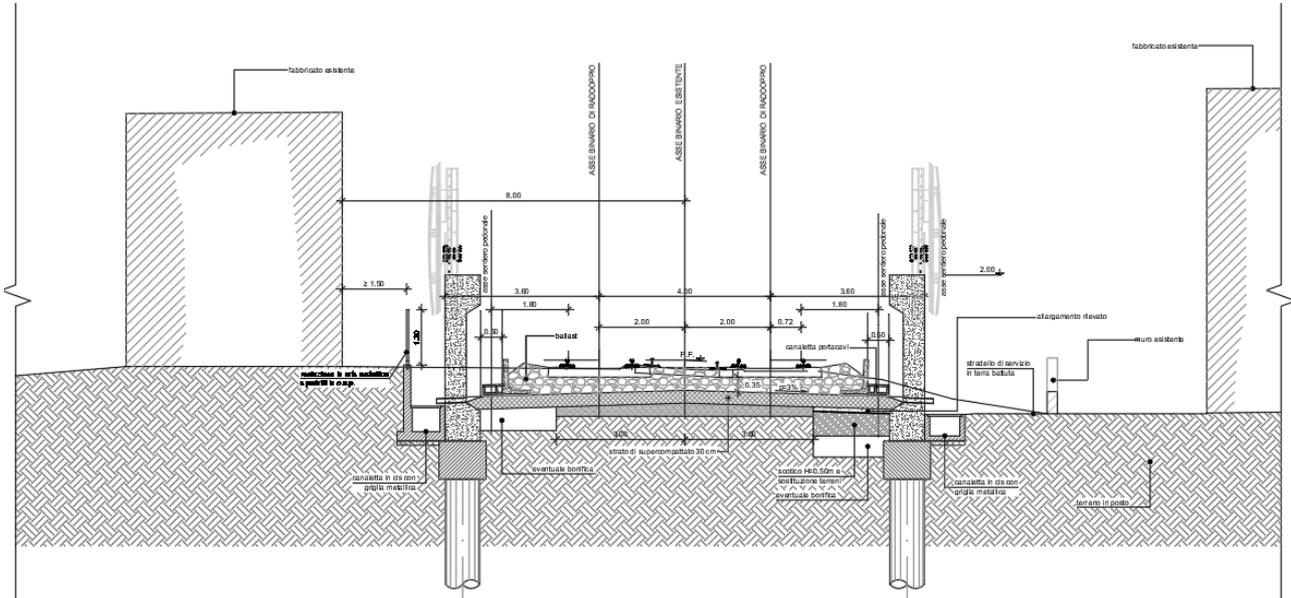


Figura 8.6 – Sezione tipo via Moroni.

8.5. DRENAGGIO PENSILINE DI STAZIONE

Per le modalità di drenaggio utilizzate presso le fermate/stazioni di Bergamo Ospedale (FV01), Curno (FV02) e Ponte San Pietro (FV03), si rimanda agli elaborati specifici:

FV01	Fermata di Bergamo Ospedale													
	Relazione di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	RI	FV	0 1	0	0	001	A		
	Planimetria di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	P9	FV	0 1	0	0	001	A		
FV02	Fermata di Curno													
	Relazione di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	RI	FV	0 2	0	0	001	A		
	Planimetria di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	P9	FV	0 2	0	0	001	A		
FV03	Fermata di Ponte S.Pietro													
	Relazione di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	RI	FV	0 3	0	0	001	A		
	Planimetria di smaltimento idraulico	NB1R	0 2	D	26	P9	FV	0 3	0	0	001	A		

8.6. ELEMENTI LINEARI DI CONVOGLIAMENTO E DI ATTRAVERSAMENTO

Per elementi lineari di convogliamento si intendono canaline rettangolari e fossi di guardia o di gronda, rivestiti in cls o in terra, che servono a raccogliere e convogliare le acque verso il punto di recapito finale. Le dimensioni di questi elementi seguono ove possibile quanto riportato nel Manuale di Progettazione (Figura a seguire), tuttavia possono sussistere casi particolari dove si necessita di dimensioni diverse, ad esempio per superare in contropendenza l'andamento della livelletta ferroviaria o per fornire volume di invarianza idraulica (cfr. 9).

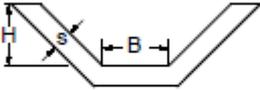
TABELLA DIMENSIONI FOSSO DI GUARDIA		
		
TIPO	B - H (m)	s (m)
F1	0.50	0.15
F2	0.60	
F3	0.80	0.20

Figura 8.7 - Dimensioni da Manuale RFI-fossi rivestiti.

La verifica idraulica si effettua con le metodologie descritte nei capitoli precedenti.

Le tubazioni di attraversamento della linea ferroviaria servono a spostare le acque di piattaforma da un lato di drenaggio all'altro al fine di effettuare invarianza idraulica e scaricare nel recettore. Esse sono in PVC SN8, accolte all'interno di un bauletto in c.a. con lo scopo di aumentarne la resistenza, la scabrezza utilizzata per il dimensionamento è $80 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

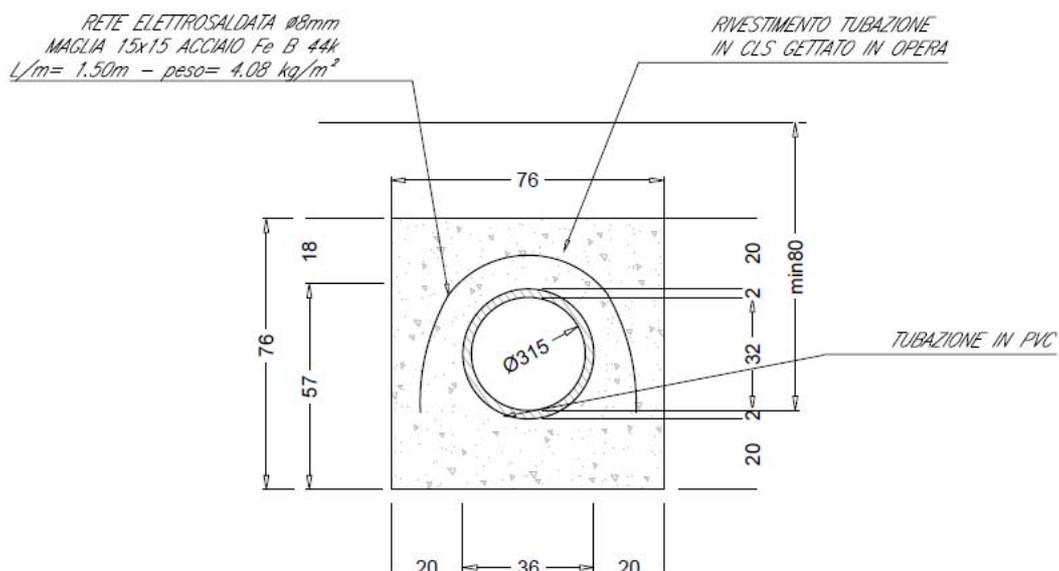


Figura 8.8 – Sezione tipo collettore in PVC con rinforco in CLS.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 50 di 114

9. INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA NORMATIVA VIGENTE

Il regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7 “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12”, aggiornato con modifiche e integrazioni n.7/2018 e n.8/2019, tratta il tema dell’invarianza idraulica e idrologica all’interno della regione Lombardia.

In tale regolamento si specifica che le misure di compensazione per la salvaguardia dell’invarianza idraulica devono essere applicate anche per:

e.3) la realizzazione di infrastrutture e di impianti, anche per pubblici servizi, che comporti la trasformazione in via permanente di suolo inedificato;

All’articolo 4.3 inoltre viene precisato quanto segue:

L'infiltrazione rappresenta, se la situazione idrogeologica locale lo consente (v. art. 5.2.2), un'utile e opportuna modalità di smaltimento delle acque pluviali. Peraltro, poiché nella generalità dei casi la capacità di infiltrazione dei suoli è inferiore, talora in modo significativo, rispetto all'intensità delle piogge più intense, il contenimento delle portate allo scarico richiede necessariamente la trattenuta temporanea delle acque pluviali in eccesso rispetto all'infiltrazione in invasi di laminazione.

La vasta possibilità di configurare tali invasi con differenti tipologie consente di individuare soluzioni tecnicamente fattibili e di costo percentualmente contenuto, rispetto al costo complessivo dell'intervento, qualora tali capacità di invaso siano attentamente previste in fase di progetto (vedi art. 9).

Le modifiche di impermeabilità del suolo considerano lo stato di permeabilità originaria del sito, e non alla condizione urbanistica preesistente all’urbanizzazione. In particolare, il regolamento riporta:

Lo smaltimento dei volumi invasati, nel rispetto dei valori limite ammissibili di portata più oltre indicati (art. 6.2), deve avvenire secondo il seguente ordine di priorità:

- 1. mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità (es. innaffiamento giardini, acque grigie, lavaggio pavimentazioni e auto, ecc.);*
- 2. mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio. L'infiltrazione induce così alla riduzione degli effetti dell'impermeabilizzazione anche in termini di rispetto del principio di invarianza idrologica;*
- 3. scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale o reticolo di bonifica, con i limiti di portata più oltre indicati (art. 6.2) e assoggettati al controllo dell'Autorità idraulica competente;*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 51 di 114

4. scarico in fognatura, con i limiti di portata più oltre indicati (art. 6.2).

Nella tabella 9.I si riportano i limiti di portata scaricabili nei ricettori finali nelle zone di progetto, secondo l'articolo 6.2.

Comune	Provincia	Criticità idraulica ⁽²⁾	Coefficiente di pericolosità	Portata scaricabile [l/s ha imp]
Albano sant'Alessandro	BG	A	1	10
Bergamo	BG	A	1	10
Curno	BG	A	1	10
Mozzo	BG	A	1	10
Ponte San Pietro	BG	A	1	10
Seriate	BG	B	-	20

Tabella 9.I - Valori massimi ammissibili della portata meteorica scaricabile nei ricettori ⁽³⁾.

In base all'entità dell'impermeabilizzazione e agli ambiti territoriali si definiscono le modalità di calcolo da applicare all'intervento, si veda come riferimento la Tabella a seguire.

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
			Aree A, B	Aree C
0 Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1 Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2 Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
	da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
3 Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq) > 10 ha (> 100.000 mq)	> 0,4 qualsiasi		

Tabella 9.II - Metodologia di calcolo in base alla classe d'intervento ⁽⁴⁾.

Nella redazione del progetto di invarianza idraulica ed idrologica, inoltre, devono essere rispettati i tempi di ritorno di riferimento, il Regolamento definisce quanto segue:

(..omissis..) Le misure strutturali locali di contenimento e controllo delle acque meteoriche interne alle singole aree scolanti sono calcolate in modo da rispettare i valori limite di emissione sopra richiamati, assumendo quali tempi di ritorno i valori di seguito riportati:

⁽²⁾Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 e ss.mm.ii., Art. 7, comma 3

⁽³⁾Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 e ss.mm.ii., Art. 8, comma 1

⁽⁴⁾Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n. 7 e ss.mm.ii., Art. 9, comma 1, Tabella 1

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 52 di 114

T = 50 anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di laminazione per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani.

T = 100 anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate e dei provvedimenti protettivi da realizzarsi eventualmente in luogo del franco;

T = 100 anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati (barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi, ecc.).

Nel caso in esame, essendo le opere di drenaggio ferroviario da dimensionare con T_r pari a 100 anni, l'invarianza idraulica verrà analizzata con tale periodo di ritorno, comunque a favore di sicurezza.

Il consorzio di bonifica competente ha fissato il limite allo scarico nei canali di loro competenza a 10 l/s ha di superficie impermeabile, quindi al fine di rispettare tale valore in uscita si sono adottati diversi accorgimenti per invasare il volume in eccesso.

Le metodologie utilizzate differiscono in funzione dello spazio a disposizione ai margini del solido ferroviario, quindi si è adottato il sovradimensionamento dei fossi di guardia oppure l'inserimento di aree di laminazione ed infiltrazione. A valle di tali dispositivi sono previsti dei manufatti di controllo dello scarico con bocca tarata e sfioro per scarico di emergenza, nel caso di eventi con tempo di ritorno maggiore.

Le acque che saranno sottoposte a laminazione sono solamente quelle con bacino di afferenza coincidente alla nuova piattaforma, la porzione di area scolate preesistente sarà trattata solo se ritenuto necessario.

La scelta principale di optare per lo "scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale o reticolo di bonifica, con i limiti di portata più oltre indicati e assoggettati al controllo dell'Autorità idraulica competente" è dettata da differenti motivazioni:

- il valore di conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-6} a 10^{-7} m/s, definiti dalla "Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica" e dal "Profilo Geologico", permette di poter disporre un sistema con funzione di laminazione e dispersione;
- il territorio in esame è caratterizzato da una maglia molto fitta ed estesa di canali irrigui e di scolo in cls che rappresentano anche il ricettore finale del sistema fognario dell'intera città (acque bianche e acque nere). I canali infatti svolgono doppia funzione, non vi è un periodo di magra assoluta;
- la falda risulta abbastanza profonda permettendo l'utilizzo di sistema a dispersione superficiali. Le prove piezometriche per definire la quota della falda hanno evidenziato la seguente situazione:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NBIR	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 53 di 114

	PIEZOMETRO	STATO A	STATO A	STATO A	STATO A	STATO A	STATO A	STATO A
	Denominazione da utilizzare	07/10/2019	27/11/2019	08/01/2020	20/01/2020	dal 26/02/2020 al 28/02/2020	dal 26/02/2020 al 28/02/2020	Lettura dopo circa 0,5 ore dopo lo spurgo
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA	PNBGF1001	-28,80	-25,55	-27,67	-28,08	-29,01	SPURGO	-29,25
	PNBGF1V03	NON TROVATO	-15,3	-5,12	-15,72	-16,02	SPURGO	-16,62
	PNBGF1004	-19,36	-17,65	-18,79	-19,94	-19,55	SPURGO	-19,61
	PNBGF1005	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO
	PNBGF1006	-18,25	-15,75	-18,32	-19,14	-19,48	SPURGO	-20,15
	PNBGF1007	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO
	PNBGF1008	-21,25	-18,4	-21,44	-21,37	-21,59	SPURGO	-22,44
	PNBGF1010	-11,00	-18,9	-11,00	-11,22	-11,45	SPURGO	-11,92
	PNBGF1011	NON TROVATO	NON TROVATO	ASCIUTTO	ASCIUTTO	ASCIUTTO	ASCIUTTO	ASCIUTTO
	PNBGF1012	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO
PROGETTO DEFINITIVO	L1-S1		NON ACCESSIBILE	-4,55	-5,23	-5,32	SPURGO	-6,08
	L1-S1 BIS				-3,49	-4,02	SPURGO	-5,6
	L1-S2		-4,1	-5,1	-5,39	-5,55	SPURGO	-5,78
	L1-S3		-31,4	-34,95	-34,96	ASCIUTTO	ASCIUTTO	ASCIUTTO
	L1-S4		NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO
	L1-S6		NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO	NON TROVATO
	L1-S7		-24,25	-25,15	-25,22	-	-	-
	L1-S8		-19,55	-20	ASCIUTTO	-27,02	SPURGO	-27,36
	L1-S9		NON TROVATO	Lucchettato	-1,68	-2,01	SPURGO	-3,01
	L1-S10		NON ACCESSIBILE	-8,85	-9,01	-9,55	SPURGO	-10,14
	L1-S11		-14,9	-9,42	-20,42	-20,84	SPURGO	-21,56
	L1-S12		-16,05	-17,25	-18,12	-18,63	SPURGO	19,39
	L1-S13		-19,3	-23,37	-23,83	-24,09	SPURGO	-25,03
	L1-S17		-15,7	-8,41	-18,68	-18,96	SPURGO	-19,25

Figura 9.1 – Prove piezometriche per individuazione quota falda lungo il tracciato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 54 di 114

9.1. SISTEMI A DISPERSIONE E LAMINAZIONE

Nel presente progetto definitivo sono state previste due tipologie di opere di dispersione/laminazione delle portate, in funzione dello spazio a disposizione e delle portate di riferimento. Essi sono dispositivi puntuali (*Aree disperdenti-DA o PA a seconda del lato di drenaggio*) o distribuiti (*Trincee*).

9.1.1. Dispositivi puntuali

In caso di mancanza di recapiti facilmente raggiungibili e di terreni con sufficiente permeabilità, le cui caratteristiche qualitative permettono l'infiltrazione superficiale, sono stati adottati sistemi di dispersione puntuali, come le aree di laminazione/dispersione.

Il calcolo del volume da assegnare alla vasca di laminazione V , necessario per laminare la portata in arrivo dalla piattaforma è effettuato risolvendo, con riferimento ad un bacino scolante con superficie S , al variare del tempo di pioggia t_p (espresso in ore), l'equazione di bilancio dei volumi, ossia:

$$V = V_{IN} - V_{OUT}$$

con:

- V_{IN} , volume di pioggia entrante nel sistema di invaso in conseguenza ad un evento pluviometrico di durata t si può esprimere

$$V_{IN} = S \psi h(t) = S \psi a t^n$$

Dove ψ è il coefficiente di afflusso e S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso.

Tale ipotesi è valida nell'ipotesi semplificativa che inizi la dispersione contestualmente all'inizio dell'evento piovoso.

Per la pioggia di progetto si farà riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 100 anni e durata superiore all'ora, con la curva di possibilità pluviometrica calcolata nella relazione idrologica del presente progetto. La durata superiore all'ora, per le piogge di progetto, è scelta in funzione dei suoli di modesta permeabilità [Jonason, 1984].

- V_{OUT} , volume di pioggia in uscita dal sistema nello stesso intervallo di tempo si può esprimere

$$V_{out} = K j S t_p$$

Il calcolo dell'andamento temporale dei volumi drenati nel sottosuolo a dispersione (V_{out}), è stato effettuato utilizzando lo schema di moto filtrante secondo la formulazione:

$$Q_u = K j S$$

dove k rappresenta la conducibilità idraulica, S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso e j la cadente idraulica (posta pari a 1).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA</p>	<p>COMMESSA NB1R</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 000 2 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 55 di 114</p>

Il valore di conducibilità idraulica varia da valori dell'ordine di 10^{-6} a 10^{-7} m/s, dalla "Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica", elaborato NB1R00D69RGGE0000001A, e dal "Profilo Geologico", elaborati NB1R00D69FZGE0001001A, NB1R00D69FZGE0001002A, NB1R00D69FZGE0001003A, NB1R00D69FZGE0001004A.

Individuata la durata di pioggia t_{cr} che massimizza il volume invasato V_{max} derivando l'espressione precedente secondo la relazione:

$$t_{cr} = \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Il volume da assegnare al sistema di invaso sarà dunque:

$$V_{max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

In particolare, è da riferire che l'approccio adottato in accordo alle relazioni analizzate conduce a valutazioni del volume di laminazione V in favore di sicurezza, non tenendo conto degli effetti di laminazione nella rete di drenaggio.

Nel progetto in essere sono previsti scarichi verso corpi ricettori rispettando il limite imposto dal coefficiente udometrico, quando sia disponibile un recapito, oppure si è previsto un sistema a pura infiltrazione, avendo cura di inserire, ove possibile dei troppopieno nella pubblica fognatura o nel sistema di smaltimento (canalette e fossi in progetto).

In merito allo scarico su corpo idrico recettore si ricorda che è prescritto dalla normativa regionale sull'invarianza idraulica e dal Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca, un coefficiente udometrico di 10 l/s ha per area impermeabile. Nel presente progetto, come si è già riportato in precedenza, nel lato della piattaforma ferroviaria esposto a nord vengono a raccogliersi le acque di deflusso esterne. Essendo tali portate attualmente presenti, e non modificando la natura del bacino, si ritiene opportune per esse ripristinare le condizioni ante operam in termini di coefficiente udometrico.

I fossi di raccolta ai piedi del rilevato ferroviario sono altresì dimensionati per invasare tali deflussi, ma i dispositivi di regolazione sono progettati al fine di essere trasparenti alle portate esterne, riferite ad un tempo di ritorno di 100 anni. Al capitolo 10.2 è riportata la tabella con i coefficienti udometrici dei bacini esterni per T_r 100 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NBIR	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	56 di 114

9.1.2. Dispositivi lineari

Le soluzioni lineari consistono nella realizzazione di:

- Fossi di guardia in terra;
- Trincee drenanti.

Il primo caso consiste in fossi in terra scarpa 1/1 di dimensioni variabili, con o senza bauletto in ghiaia sul fondo, a seconda delle necessità di dispersione. In questa sede si tralasciano ulteriori approfondimenti e si rimanda alle verifiche idrauliche.

Il secondo caso, più particolare consiste trincee drenanti in a sezione rettangolare riempite di materiale drenante ad alta porosità efficace (minimo 30%), avvolto in geotessuto e con all'interno un tubo di distribuzione orizzontale fessurato in PEAD.

Il riempimento del sistema avviene puntualmente attraverso pozzetti di sedimentazione disposti circa ogni 60 metri, che raccolgono l'acqua di piattaforma e l'acqua meteorica che interessa il rilevato, attraverso una canaletta trapezia in cls posta al piede del rilevato stesso. Il sistema è carrabile e può quindi ospitare una viabilità di servizio sopra di esso. In prossimità dei canali viene posizionato un pozzetto in cls in cui è presente uno scarico di troppo pieno ad una quota convenientemente bassa rispetto al p.c. compatibilmente con il livello massimo raggiungibile nel canale. Tubi di piccolo diametro verranno disposti ortogonalmente al tubo di distribuzione sia verticalmente verso il piano campagna (per pulizia e manutenzione), sia orizzontalmente per facilitare la distribuzione dell'acqua anche in senso trasversale.

Nella figura seguente si riporta una sezione tipo in corrispondenza del pozzetto di alimentazione e uno schema planimetrico delle trincee drenanti.

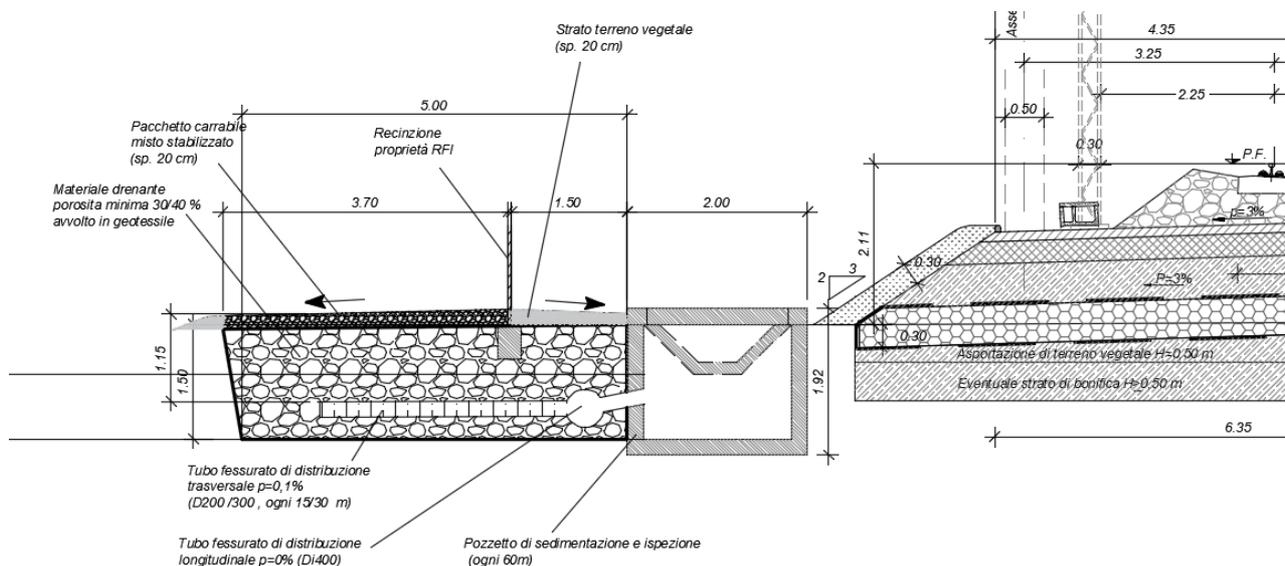


Figura 2 - Sezione trincea drenante in corrispondenza del pozzetto di immissione

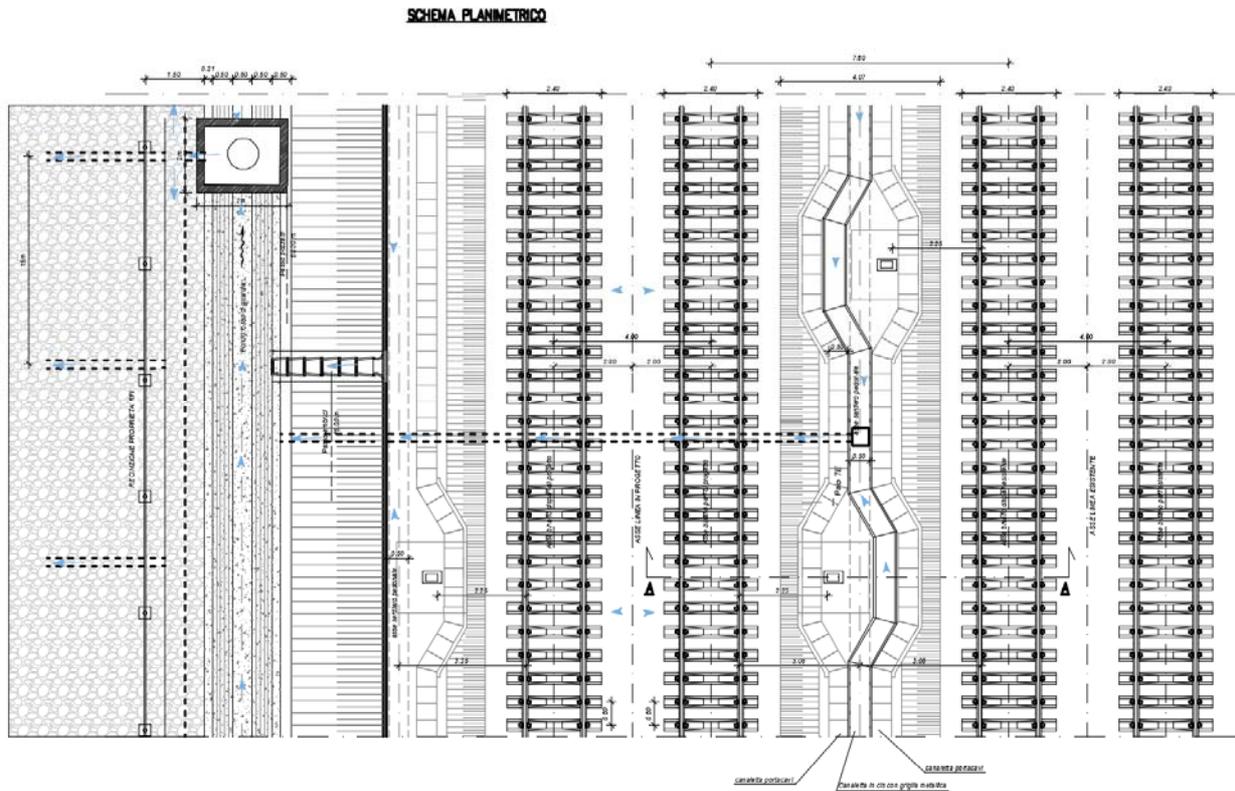


Figura 3 - Schema planimetrico del sistema di recapito a dispersione con trincea drenante.

Il dimensionamento avviene con gli stessi criteri riportati al capitolo 9.1.1, per cui si omette la descrizione e si rimanda ad esso.

9.2. SISTEMI DI LAMINAZIONE

Oltre ai dispositivi di dispersione e laminazione sono stati impiegati anche elementi che fungono da sistemi di invaso, senza l'ausilio dell'infiltrazione. Si tratta di canalette rettangolari in calcestruzzo (CN) e collettori scatolari in cls (T). Il dimensionamento idraulico rispecchia quanto riportato al capitolo 9.1.1, con la differenza che la portata in uscita è dovuta solo allo scarico di 10 l/s ha.

9.2.1. Manufatti di controllo

Al fine di invasare volume all'interno dell'area di laminazione, risulta necessario prevedere l'utilizzo di sistemi in grado di regolare le portate in uscita. Nel progetto in oggetto sono stati utilizzati due differenti tipi di regolatori di portata, in particolare si è optato per manufatti lungo linea e manufatti allo scarico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 58 di 114

9.2.2. *Manufatti lungo linea*

Per invasare le portate di fossi e canalette lungo il loro sviluppo ad un interasse massimo imposto pari a 20m, sono stati inseriti dei manufatti di controllo a quinte. Tali manufatti sono costituiti da muretti in calcestruzzo con un'apertura centrale, atta al passaggio della portata limite associata al coefficiente udometrico totale, costituito dalla portata ante e post operam.

Questi manufatti impongono alla corrente un transito attraverso il restringimento localizzato in condizioni critiche ($Fr=1$), forzando quindi un innalzamento dei livelli a tergo del restringimento.

Calcolata la portata di progetto qp in uscita, data la larghezza del restringimento B , è possibile calcolare il tirante critico che si realizza in corrispondenza delle quinte di progetto:

$$y_c = \left(\frac{(q_p^2 \cdot B^2)}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Pertanto, l'innalzamento massimo del tirante che si può realizzare a monte delle quinte sarà pari all'energia specifica della corrente rispetto al fondo, al più pari all'energia critica:

$$H_c = \frac{3}{2} \cdot y_c$$

Se quindi fossi/canalette hanno un'altezza tale da contenere l'altezza di monte che non supera l'80% di riempimento o al più 5 cm di franco, la verifica è considerata accettabile.

Lungo linea i fossi sono in terra per garantire, nel caso di portate limitate, il solo funzionamento a dispersione. Superata l'altezza corrispondente ad un evento di pioggia di Tr 100 anni, con uscita pari a 10 l/s ha e con afferente la sola superficie di intervento, entra in funzione lo sfioro inserito nei manufatti allo scarico.

Nella seguente figura si riporta la tipologia di manufatti inseriti lungo linea.

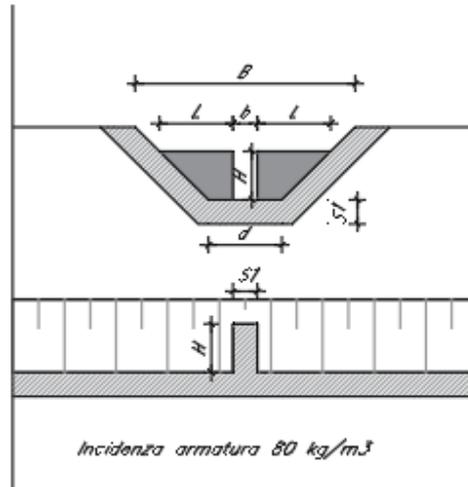


TABELLA DIMENSIONI FOSSI E QUINTE IN CLS						
RIF.	B(cm)	d (cm)	S1(cm)	H(cm)	b(cm)	L(cm)
CN	70	70	10	56	30	20
FR/FD/IT	150	50	15	40	30	50
	240	80	20	64	30	89
	300	100	20	80	30	115
	360	120	20	96	30	141

Figura 9.4: Manufatto di regolazione a quinte.

Esempio di verifica manufatto lungo linea

DCN01	Qp	B	g	yc	Hc
	mc/s	m	m/sq	m	m
	0.00045	0.2	9.810	0.001	0.001

9.2.3. Manufatti allo scarico

Subito a monte dello scarico nel recapito è stato inserito un manufatto finale di controllo, diverso da quelli descritti in precedenza. Esso presenta un foro sul fondo per lo scarico di una portata limite pari a 10 l/s ha e ad un'altezza corrispondente al deflusso associato alla configurazione post operam è presente uno sfioro di emergenza per le portate totali; all'incirca 50 cm prima del manufatto è presente una maglia grigliata in grado di accumulare il materiale trasportato dalle acque meteoriche ed ridurre al minimo che la bocca tarata possa intasarsi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 60 di 114

Lo scarico della portata avviene tramite una bocca tarata dimensionata come una luce sotto-battente in modo da garantire lo scarico della portata calcolata nel dimensionamento dei fossi di guardia:

$$Q = C_q \cdot A \cdot \sqrt{2 g h_0}$$

Dove: al coefficiente di contrazione μ può essere attribuito il valore di 0,6, $A[m^2]$ rappresenta l'area della luce g l'accelerazione di gravità pari a 9.81 m/s^2 e h [m] il battente idrico.

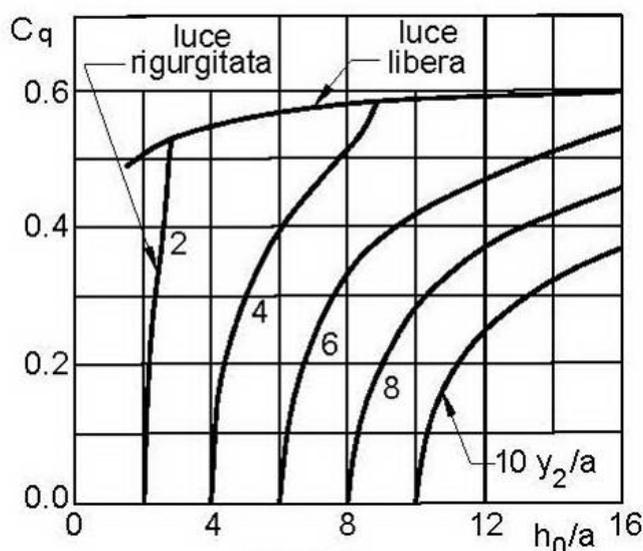


Figura 9.5 - Coefficiente di portata per luce di fondo (Carlo Gregoretti – Idraulica –2008).

Le dimensioni teoriche della bocca circolare ottenute sono arrotondate al diametro del collettore in PVC commerciale più vicino in modo tale da facilitare la costruzione. Per le bocche tarate di dimensioni inferiori a 10 cm si raccomanda una puntuale manutenzione e pulizia.

Per valutare la tracimazione dell'acqua in corrispondenza della soglia di sfioro si calcola l'efflusso a stramazzo con la formula:

$$Q = C_l \cdot Lh \cdot \sqrt{2 g h}$$

dove la portata Q (m^3/s), dipende dalla lunghezza L (m) della soglia sfiorante, dal coefficiente di deflusso C_l per gli stramazzi in parete grossa, che si approssima a 0.385, e dall'altezza idrometrica h (m) sulla soglia di sfioro, essendo g (m/s^2) l'accelerazione di gravità.

Si ritiene comunque indispensabile programmare un'opportuna attività di manutenzione periodica (ogni sei mesi o in concomitanza di eventi eccezionali) per rimuovere l'eventuale materiale depositato che potrebbe ostruire il foro.

Questo sistema combinato di regolazione consente l'invaso della portata associata alla superficie totale, ma allo scarico, si prevede l'invaso della sola superficie sottoposta a modifica, consentendo lo scarico alle acque presenti allo stato attuale per Tr 100 anni.

Nel capitolo 10.2 si riportano i tabulati di dimensionamento di tutti i manufatti inseriti allo scarico lungo la linea ferroviaria in progetto di raddoppio.

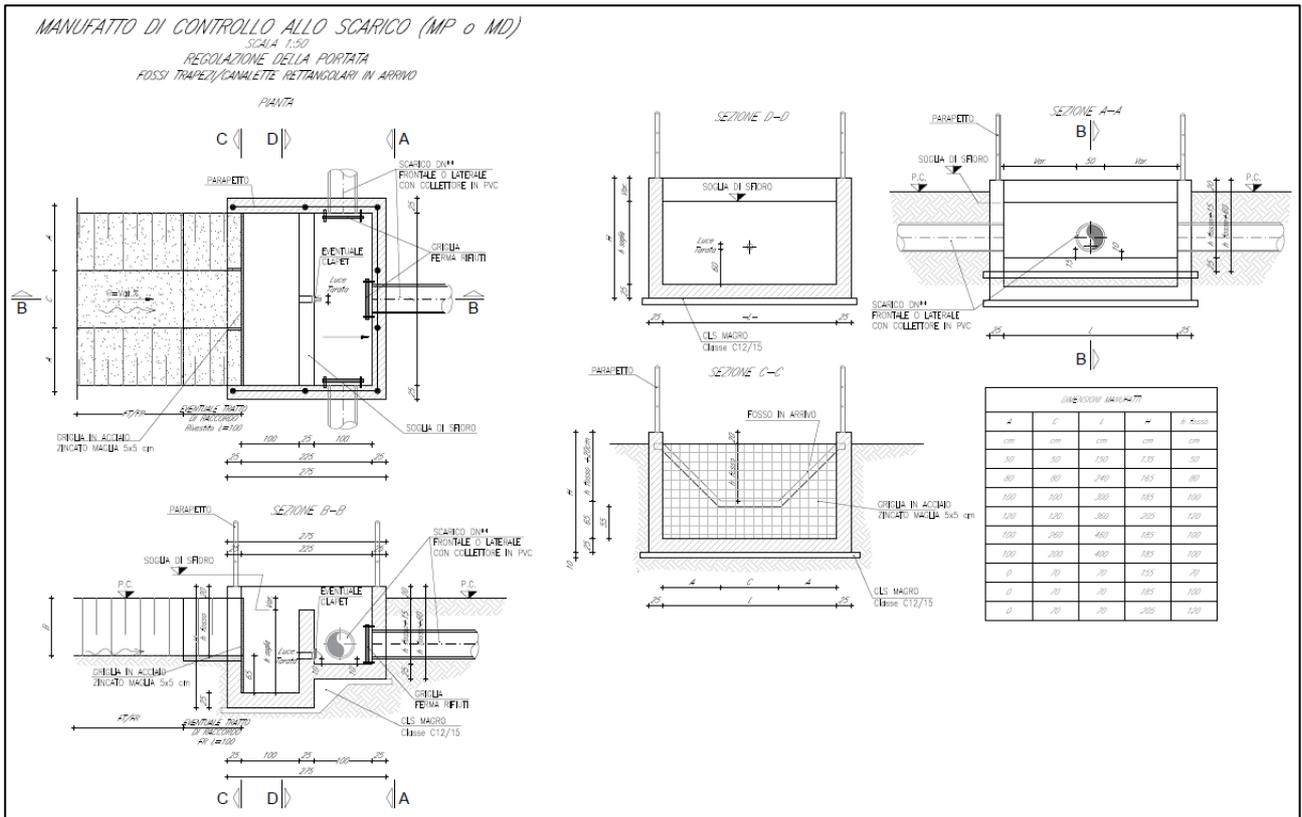


Figura 9.6: Manufatto di regolazione allo scarico (NB1R00D26BZID0002001A)

Per quanto riguarda i tempi di svuotamento, è stato verificato che una volta terminato l'evento di pioggia, il sistema nell'ipotesi B, abbia a disposizione dopo 48 un volume tale da poter invasare un secondo evento con tempo di ritorno 50 anni. Nel nostro caso, per congruenza la verifica è stata svolta a Tr 100 anni.

La verifica del tempo di svuotamento è stata effettuata attraverso il calcolo indicato al paragrafo 7.6 delle linee guida della Regione Lombardia, risolvendo l'equazione:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + q_{inf}}$$

W_{lam} è stato stimato valutando il volume massimo raggiunto nella vasca, corrispondente cioè ad un evento di durata critica. Il valore Q_u è stato considerato costante pari al valore massimo ammissibile, mentre il

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 62 di 114

valore di q_{inf} è stato valutato con il prodotto tra la permeabilità k e la superficie drenante del sistema (lati + fondo) considerando l'altezza raggiunta nel dispositivo alla fine dell'evento. In queste ipotesi è stato verificato che dopo 48 sia disponibile nel sistema un volume sufficiente ad accogliere un altro evento di progetto e che dopo 72 ore la vasca sia vuota. Nel caso in cui lunghi tratti siano in corrispondenza di terreni con permeabilità più bassa di quella utilizzata nel calcolo e non si rendesse disponibile tutto il volume richiesto per accogliere un secondo evento, la sicurezza del sistema sarebbe comunque garantita dallo sfioro di emergenza descritto in precedenza.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 63 di 114

10. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA

In questo capitolo conclusivo si riportano le tabelle contenenti le verifiche allo stato attuale e le verifiche idrauliche condotte sugli attraversamenti in progetto e i dimensionamenti delle opere di drenaggio ferroviario.

10.1. ATTRAVERSAMENTI DI PROGETTO

L'adeguamento degli attraversamenti esistenti è reso necessario sia al fine di garantire in funzionamento idraulico dell'attraversamento secondo i criteri di sicurezza idraulica (massimo riempimento e franco idraulico) illustrati nella presente relazione, e sia al fine di rendere possibili e agevoli le operazioni di ispezione e manutenzione dei manufatti.

Secondo quanto previsto dal manuale di progettazione ferroviaria, le dimensioni minime per gli attraversamenti idraulici sono pari a $\Phi 1500$ per gli attraversamenti ferroviari e 2.0mx2.0m per gli attraversamenti scatolari. Tuttavia, in alcuni casi, in cui sussistono vincoli alla modifica altimetrica del piano del ferro e in assenza di incisioni definite, si parla di fornic di trasparenza; in tali situazioni sono stati adottati dimensioni inferiori al minimo, coerentemente con quanto definito dalle NTC 2018, al fine di garantire la continuità idraulica, la corretta trasparenza del rilevato ferroviario ed evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del terreno naturale. Tali soluzioni sono state ad esempio adottate, se necessario, in prossimità di stazioni ferroviarie, fermate esistenti, per minimizzare gli interventi sul costruito.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 64 di 114

10.1.1. Verifica ante operam

In questo paragrafo si riportano le verifiche degli attraversamenti allo stato attuale. Per maggior chiarezza si riportano le spiegazioni dei termini contenuti nelle colonne delle tabelle sottostanti:

- MDP RFI: tirante associato ad un riempimento pari al 70% dell'altezza dell'attraversamento;
- Circolare NTC2018-1: tirante corrispondente a 2/3 l'altezza dell'attraversamento;
- Circolare NTC2018-2: tirante che si ottiene assumendo un franco di 50 cm rispetto l'altezza dell'attraversamento;
- Tirante max: tirante massimo tra i tre precedenti, assunto come parametro di confronto per la verifica allo stato attuale;
- Verifica idraulica superata: confronto tra **Tirante max** e **Tirante associato a Q**, la verifica si ritiene soddisfatta se il tirante di calcolo risulta minore del tirante massimo;
- b: distanza tra fondo manufatto e piano campagna.

Tombini

OPERA	Attraversamento	Prog km	Larghezza attraversamento/Diametro	Altezza Attraversamento	MDP RFI	Circolare NTC2018-1	Circolare NTC2018-2	Tirante max	φ	Q	Ks	Pendenza attraversamento esistente	Tirante associato a Q	Verifica idraulica superata	PF esistente	Piano campagna	Delta PF - PC	b	Quota fondo manufatto esistente	Distanza intradosso - PF
			m	m	m	m	m	m		mc/s	m ^{1/3} s ⁻¹	m/m	m		m slm	m	m	m	m	m
IN02	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso	1+343,992	1.80	1.20	0.84	0.80	0.70	0.70	0.75	1.27	45	0.0063	0.445	SI	239.240	236.10	3.14	0.500	235.600	2.44
IN03	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo	1+440,092	Nessun intervento																	
IN04	Roggia Colleonesca	1+464,767	2.90	1.50	1.05	1.00	1.00	1.00	0.75	3.00	50	0.0100	0.431	SI	238.330	238.56	-0.23	3.100	235.460	1.37
IN05	Roggia Oriolo Solza	1+702,709	0.90	0.80	0.56	0.53	0.30	0.30	0.75	2.03	45	0.0067	1.280	NO	237.000	235.17	1.83	0.800	234.370	1.83
IN06	Roggia Piuggia di Loreto	2+365,332	1.50	1.50	1.05	1.00	1.00	1.00	0.30	1.84	45	0.0288	0.395	SI	232.500	230.08	2.42	1.000	229.080	1.92
IN07	Roggia Piuggia di Loreto	2+739,220	1.20	1.20	0.84	0.80	0.70	0.70	0.40	0.77	45	0.0018	0.711	NO	232.920	231.49	1.43	0.620	230.870	0.85
IN08	Roggia Serio	3+283,498	1.20	1.00	0.70	0.67	0.50	0.50	0.40	0.12	45	0.0040	0.149	SI	235.040	232.20	2.84	1.150	231.050	2.99
IN09	Scaricatore valle d' Astino	3+337,113	5.80	2.65				1.15	0.52	27.02	60	0.0030	1.844	NO	235.140	234.20	0.94	3.000	231.200	1.29
IN10	Scaricatore Cascina Lupo	3+722,929	1.80	1.80	1.26	1.20	1.30	1.20	0.40	11.74	67	0.0013	3.389	NO	235.220	233.66	1.56	2.520	231.140	2.28
IN11	Roggia Cuma	4+198,474	Nessun intervento																	
IN12	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso	5+168,889	Nessun intervento																	

Fornici di trasparenza

	Prog km	Pendenza esistente	Larghezza attraversamento/Diametro	Altezza utile	MDP RFI	Circolare NTC2018	Circolare NTC2018	Tirante max	Q	Tirante associato a Q	Verifica superata	PF esistente	Piano campagna	Delta PF - PC	Quota fondo manufatto esistente	Distanza intradosso - PF
		m/m	m	m				m	mc/s	m		m slm	m	m	m	m
IN51	2+919,940	0.0200	1.50	1.50	1.05	0.99	1.00	0.99	0.0564	1.178	no	232.970	230.40	2.57	230.200	1.27
IN52	2+461,804	0.0020	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.4451	0.086	si	232.460	230.29	2.17	229.290	2.17
IN53	2+691,974	0.0020	0.50	0.50	0.35	0.33	0.00	0.00	0.2498	0.062	no	232.760	231.83	0.93	230.830	1.43
IN54	2+729,743	0.0020	0.80	0.80	0.56	0.53	0.30	0.30	0.2498	0.098	si	232.890	231.93	0.96	230.940	1.15
IN55	2+783,11	0.1633	1.00	1.20	0.84	0.79	0.70	0.70	0.0694	0.208	si	233.090	231.75	1.34	230.595	1.49
IN56	2+815,612	0.0020	0.50	0.50	0.35	0.33	0.00	0.00	0.0694	0.231	no	233.220	231.74	1.48	231.240	1.48
IN57	2+854,095	0.0300	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.0694	0.246	si	233.370	231.75	1.62	231.160	1.55
IN58	2+889,497	0.0020	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.0694	0.097	si	233.510	231.740	1.77	230.210	2.64
IN59	2+992,77	0.0020	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.1053	0.376	si	233.960	231.740	2.22	231.020	2.28
IN60	3+035,916	0.0079	0.60	0.80	0.56	0.53	0.30	0.30	0.0643	0.244	si	234.080	231.35	2.73	230.765	2.79
IN61	3+060,579	0.0033	1.00	1.20	0.84	0.79	0.70	0.70	0.1715	0.194	si	234.180	231.25	2.93	230.900	2.49
IN62	3+099,888	0.0172	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.1079	0.147	si	234.330	231.62	2.71	231.000	2.67
IN63	3+179,443	0.0046	0.60	0.60	0.42	0.40	0.10	0.10	0.0861	0.116	no	234.720	231.40	3.32	231.070	3.25
IN64	3+876,943	0.0111	1.00	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.3204	0.309	si	235.190	233.18	2.01	232.700	1.83
IN65	3+952,955	0.0082	0.60	0.80	0.56	0.53	0.30	0.30	0.1251	0.036	si	235.170	233.60	1.57	232.200	2.44
IN66	3+976,301	0.0150	1.20	1.20	0.84	0.79	0.70	0.70	0.1238	0.440	si	235.170	233.86	1.31	231.500	2.88
IN67	4+042,159	0.0570	1.20	1.20	0.84	0.79	0.70	0.70	0.1179	0.491	si	235.340	233.60	1.74	232.550	1.59
IN68	4+109,336	0.0490	0.80	1.00	0.70	0.66	0.50	0.50	0.1179	0.543	no	235.690	233.93	1.76	232.500	2.19

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 66 di 114

10.1.2. Verifica stato di progetto

Di seguito sono presentate le verifiche delle opere in progetto, previste nell'ambito del presente Progetto Definitivo.

Nelle ultime colonne delle tabelle seguenti sono state valutate le modifiche altimetriche al piano del ferro, necessarie per l'inserimento sotto binario delle opere nelle dimensioni di progetto. Nelle tabelle seguenti si intende per altezza minima la distanza tra il piano del ferro e l'intradosso dell'attraversamento (suddiviso in distanza estradosso – piano del ferro maggiore o al più coincidente a 0.90 m e spessore dell'opera, variabile in funzione della tipologia (scatolare o circolare)).

Si rimanda agli elaborati specifici di carpenteria delle opere di attraversamento per i dettagli, NB1R02D26BBRI0003001A, NB1R02D26BBRI0003002A, NB1R02D26BBRI0003003A, NB1R02D26BBRI0003004A, NB1R02D26BBRI0003005A, NB1R02D26PBVI0500001A.

Per maggior chiarezza si riportano le spiegazioni dei termini inerenti le verifiche contenuti nelle colonne delle tabelle sottostanti:

- MDP RFI: tirante associato ad un riempimento pari al 70% dell'altezza dell'attraversamento;
- Circolare NTC2018-1: tirante corrispondente a 2/3 l'altezza dell'attraversamento;
- Circolare NTC2018-2: tirante che si ottiene assumendo un franco di 50 cm rispetto l'altezza dell'attraversamento;
- Massimo tirante: tirante massimo tra i tre precedenti, assunto come parametro di confronto per la verifica allo stato di progetto;
- Verifica idraulica superata: confronto tra **Tirante max** e **Tirante associato a Q**, la verifica si ritiene soddisfatta se il tirante di calcolo risulta minore del tirante massimo;
- GR: grado di riempimento percentuale;
- Franco idraulico: franco da garantire per i ponti secondo le NTC2018 (VI05);
- Abbassamento fondo: traslazione verticale verso il basso dell'opera di progetto, per tenere conto di operazioni di pulizia dell'esistente;
- Altezza minima: distanza minima ammissibile tra piano ferro e intradosso del tombino, data dalla somma tra distanza estradosso-piano ferro pari a 90 cm e spessore dell'opera, pari a 30 cm per i circolari e 50 cm per gli scatolari;
- Esito verifica: se la distanza PF-QUOTA INTRADOSSO è maggiore dell'Altezza minima, allora la verifica si ritiene soddisfatta.

Tombini

Opera	Prog km	Q verifica	n canne	Larghezza x Altezza	Diametro	MDP RFI	Circolare NTC2018	Circolare NTC2018	Massimo tirante	Opera di Progetto	Pendenza minima	Ks	Tirante di progetto	GR	Franco idraulico	Abbassamento fondo	Quota intradosso manufatto	Altezza minima	PF-QUOTA INTRADOSSO	ESITO VERIFICA
		mc/s		m	m	m	m	m	m			m ^{1/3} s ⁻¹	m	%	m	m	m slm	m	m	
IN02	1+343,992	1.27	1		1.50	1.05	1.00	1.00	1.00	CIRCOLARE	0.006	60.00	0.55	37		0.10	237.00	1.40	2.24	Superata
IN03	1+440,092	NESSUN INTERVENTO																		
IN04	1+464,767	1.50	2	2.00 x 1.50		1.05	1.00	1.00	1.00	SCATOLARE	0.010	60.00	0.36	24		0.10	236.86	1.40	1.47	Superata
IN05	1+702,709	2.03	1		1.50	1.05	1.00	1.00	1.00	CIRCOLARE	0.007	60.00	0.86	57		0.10	235.77	1.20	1.23	Superata
IN07	2+739,220	0.77	1	1.50 x 1.20		0.84	0.80	0.70	0.70	SCATOLARE	0.002	60.00	0.45	38		0.35	231.72	1.20	1.20	Superata
IN08	3+283,498	0.12	1	2.00 x 1.20		0.84	0.80	0.70	0.70	SCATOLARE	0.004	60.00	0.09	7		0.20	232.05	1.40	2.99	Superata
VI05	3+337,113	27.02						1.50	1.50	PONTE A VASCHETTA	0.003	60.00	1.41	47	1.59	0.00	234.20	1.40		
IN10	3+722,929	11.74	1	4.00 x 2.00		1.40	1.33	1.50	1.33	SCATOLARE	0.003	60.00	1.12	56		0.00	233.14	1.40	2.08	Superata
IN11	4+198,474	NESSUN INTERVENTO																		
IN12	5+168,889	NESSUN INTERVENTO																		

Fornici di trasparenza

	Prog km	Q verifica	Progetto	Dimensioni attraversame nto progetto B x H	N CANNE	Pendenza minima di progetto	Ks	Tirante di progetto	Riempimento	MDP RFI	Circolare NTC2018	Circolare NTC2018	Tirante max	Abbassament o fondo	Altezza manufatto progetto	Quota intradosso manufatto	PF-QUOTA INTRADOSS O	Altezza minima	ESITO VERIFICA
		mc/s		m				m	%	m	m	m	m	m	m	m slm	m	m	
IN51	2+919,940	0.06	CIRCOLARE	1.50	1	0.008	60.00	0.11	0.076	1.05	1.00	1.00	1.00	0.25	1.50	231.45	1.52	1.20	Superata
IN52	2+461,804	0.45	CIRCOLARE	1.00	1	0.008	60.00	0.35	0.352	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	230.19	2.27	1.20	Superata
IN53	2+691,974	0.25	CIRCOLARE	1.00	1	0.002	60.00	0.37	0.375	0.70	0.67	0.50	0.50	0.60	1.00	231.23	1.53	1.20	Superata
IN54	2+729,743	0.25	CIRCOLARE	1.00	1	0.002	60.00	0.37	0.375	0.70	0.67	0.50	0.50	0.25	1.00	231.69	1.20	1.20	Superata
IN55	2+783,11	0.07	CIRCOLARE	1.00	1	0.005	60.00	0.16	0.156	0.70	0.67	0.50	0.50	0.01	1.00	231.59	1.50	1.20	Superata
IN56	2+815,612	0.03	CIRCOLARE	1.00	2	0.002	60.00	0.14	0.139	0.70	0.67	0.50	0.50	0.60	1.00	231.64	1.58	1.20	Superata
IN57	2+854,095	0.07	CIRCOLARE	1.00	1	0.030	60.00	0.10	0.102	0.70	0.67	0.50	0.50	0.11	1.00	232.05	1.32	1.20	Superata
IN58	2+889,497	0.07	CIRCOLARE	1.00	1	0.002	60.00	0.20	0.196	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.11	2.40	1.20	Superata
IN59	2+992,77	0.11	CIRCOLARE	1.00	1	0.002	60.00	0.24	0.240	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.92	2.04	1.20	Superata
IN60	3+035,916	0.06	CIRCOLARE	1.00	1	0.008	60.00	0.13	0.135	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.67	2.42	1.20	Superata
IN61	3+060,579	0.17	CIRCOLARE	1.00	1	0.003	60.00	0.27	0.270	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.80	2.38	1.20	Superata
IN62	3+099,888	0.11	CIRCOLARE	1.00	1	0.017	60.00	0.14	0.143	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.90	2.43	1.20	Superata
IN63	3+179,443	0.09	CIRCOLARE	1.00	1	0.005	60.00	0.18	0.177	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	231.97	2.75	1.20	Superata
IN64	3+876,943	0.32	CIRCOLARE	1.00	1	0.008	60.00	0.30	0.297	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	233.60	1.59	1.20	Superata
IN65	3+952,955	0.13	CIRCOLARE	1.00	1	0.008	60.00	0.18	0.185	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	233.10	2.07	1.20	Superata
IN66	3+976,301	0.12	CIRCOLARE	1.20	1	0.008	60.00	0.17	0.145	0.84	0.80	0.70	0.70	0.10	1.20	232.60	2.57	1.20	Superata
IN67	4+042,159	0.12	CIRCOLARE	1.20	1	0.008	60.00	0.17	0.142	0.84	0.80	0.70	0.70	0.10	1.20	233.65	1.69	1.20	Superata
IN68	4+109,336	0.12	CIRCOLARE	1.00	1	0.008	60.00	0.18	0.180	0.70	0.67	0.50	0.50	0.10	1.00	233.40	2.29	1.20	Superata

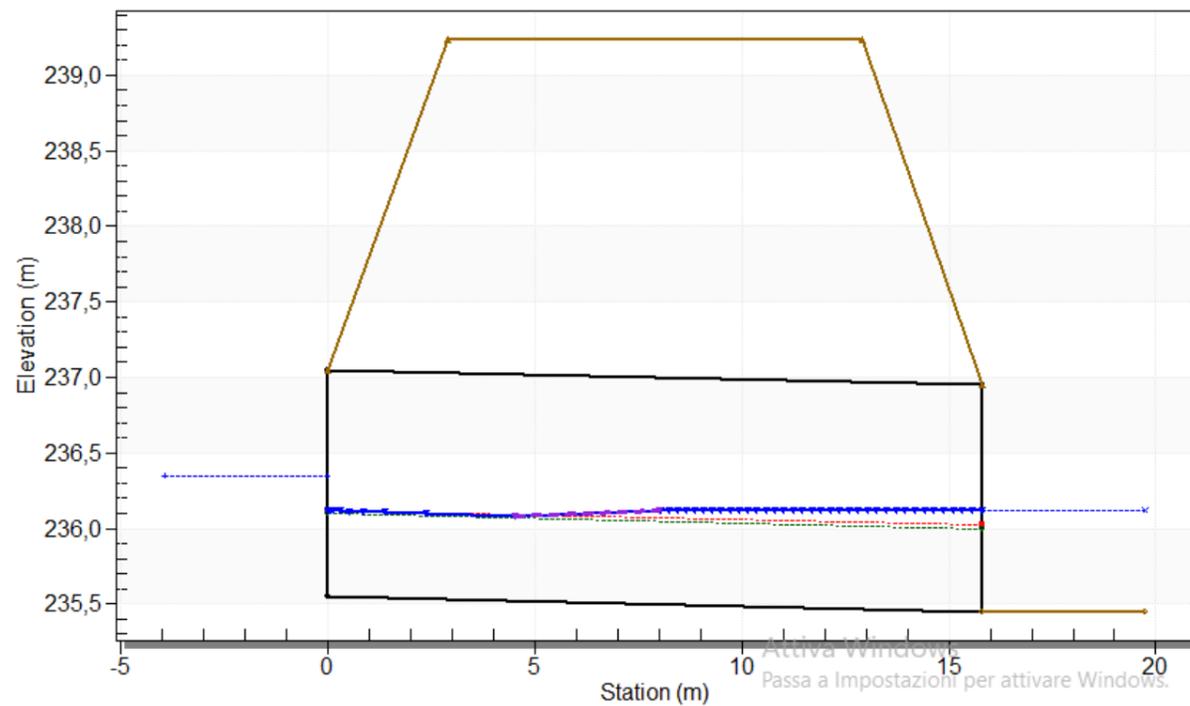
10.1.3. Verifica dei tombini secondari con HY-8

Di seguito sono presentate le verifiche delle opere in progetto dedotte dal software HY-8, con una tabella riassuntiva dei dati utilizzati per effettuare tale verifica.

OPERA	Prog [km]	Himbocco [m]	Hsbocco [m]	H p.f. [m]	L [m]	Ks [m]	i [m/m]	Q [mc/s]	canne	sezione	D/L [m]	B [m]	h [m]	franco [m]
IN02	1+343,992	235,55	235,45	239,24	15,80	60,00	0,006	1,271	1	circolare	1,50		236,35	0,80
IN04	1+464,767	235,43	235,29	238,33	14,75	60,00	0,010	1,500	2	scatolare	2,00	1,50	235,85	0,42
IN05	1+702,709	234,32	234,22	237,00	15,75	60,00	0,007	2,034	1	circolare	1,50		235,10	0,78
IN07	2+739,220	230,53	230,51	232,92	14,00	60,00	0,002	0,774	1	scatolare	1,50	1,20	231,06	0,53
IN08	3+283,498	230,88	230,82	235,04	13,80	60,00	0,004	0,124	1	scatolare	2,00	1,20	231,00	0,12
VI05	3+337,113	231,22	231,18	235,14	14,00	60,00	0,003		1	scatolare	6,00	3,00	232,55	1,33
IN10	3+722,929	231,16	231,12	235,22	14,40	60,00	0,003	11,744	1	scatolare	4,00	2,00	232,41	1,25

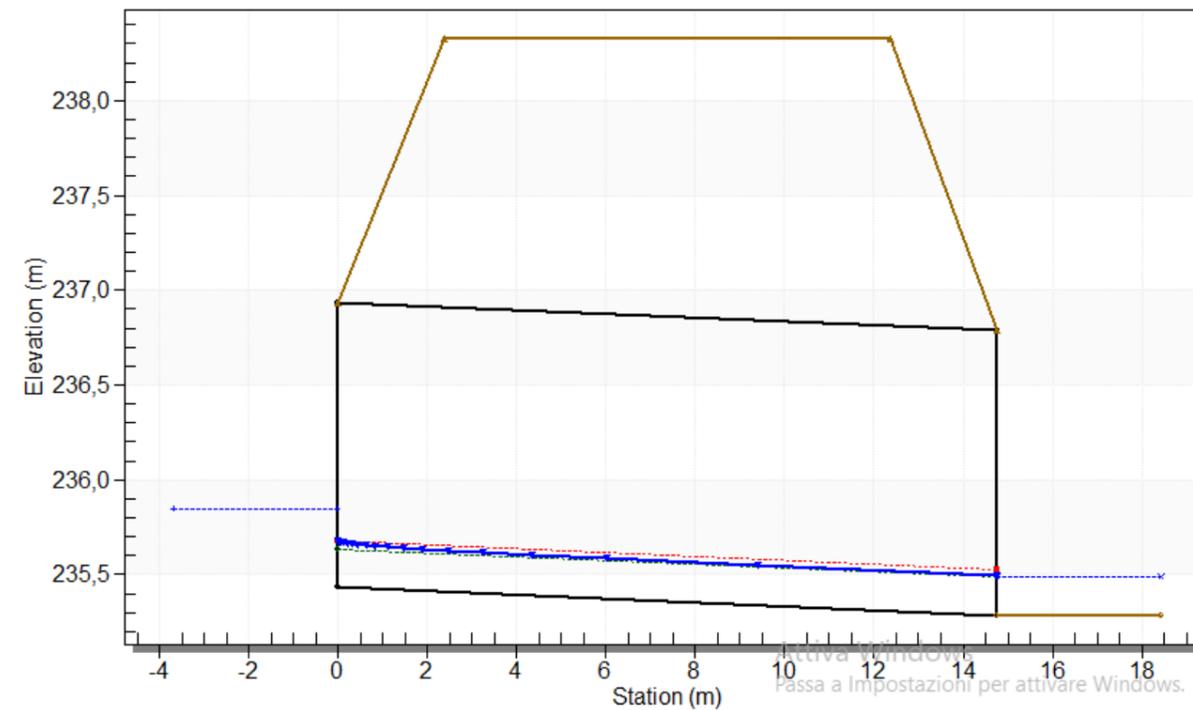
Crossing - Prog. 1+343.99, Design Discharge - 1.27 cms

Culvert - IN02, Culvert Discharge - 1.27 cms

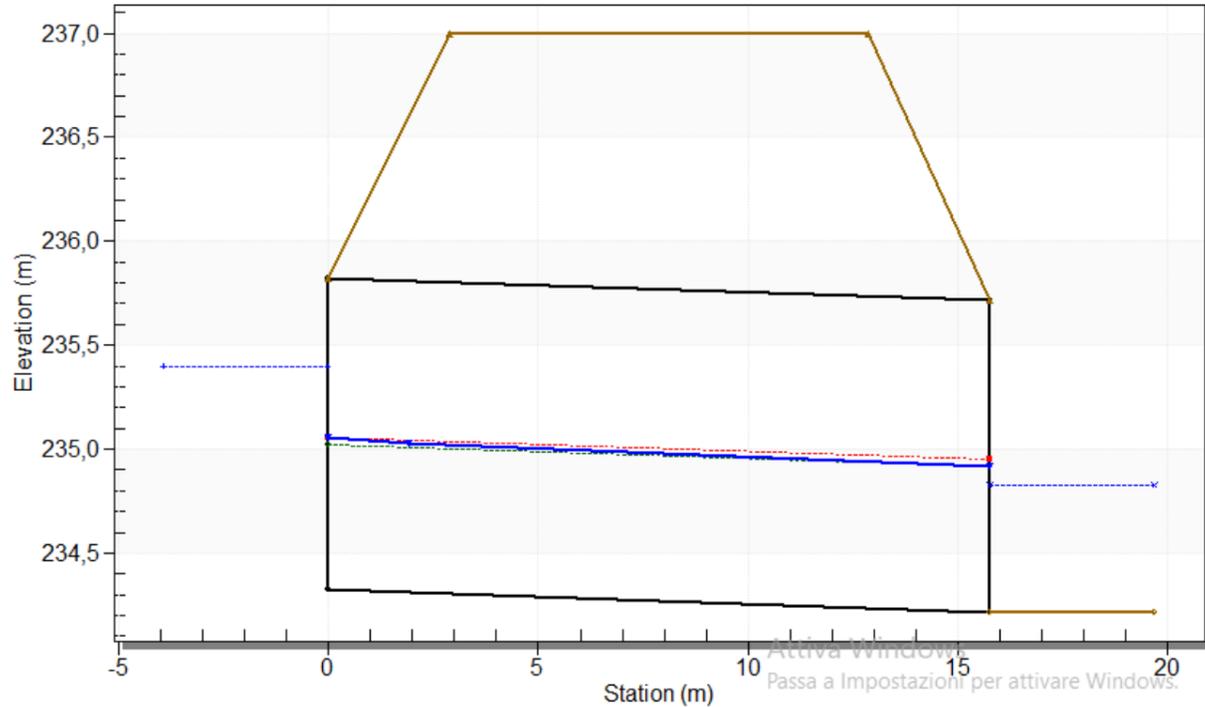


Crossing - Prog. 1+464.77, Design Discharge - 1.50 cms

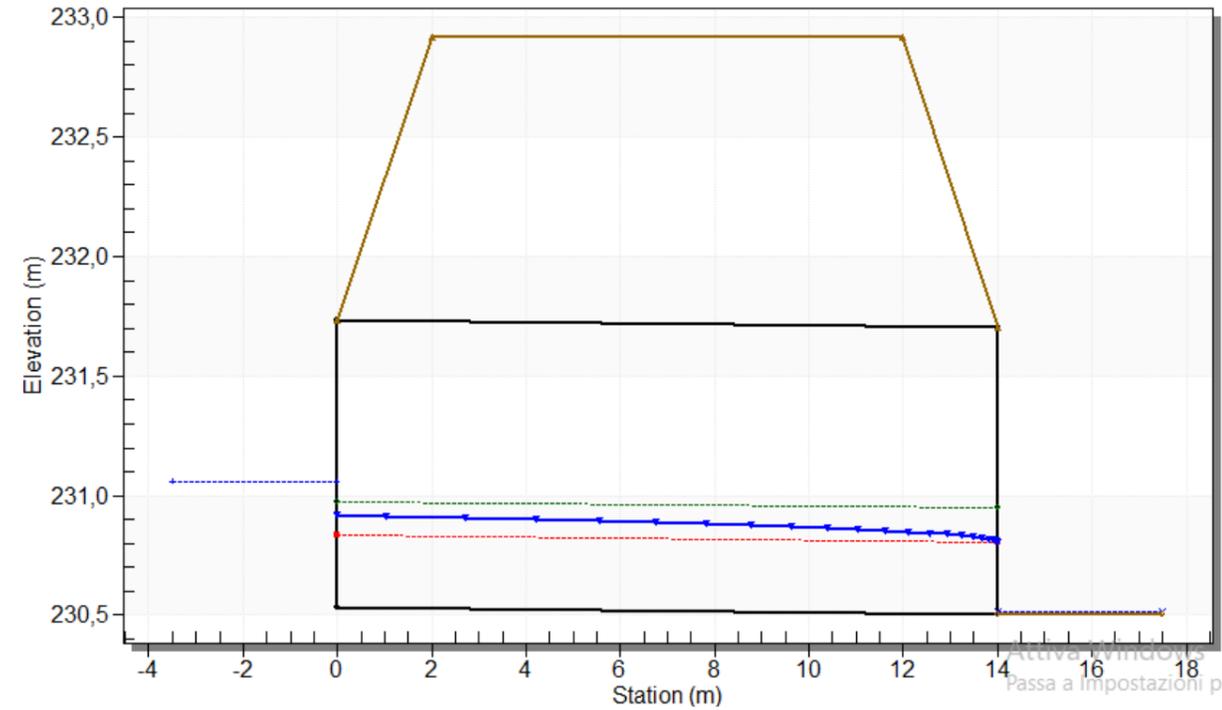
Culvert - IN04, Culvert Discharge - 1.50 cms



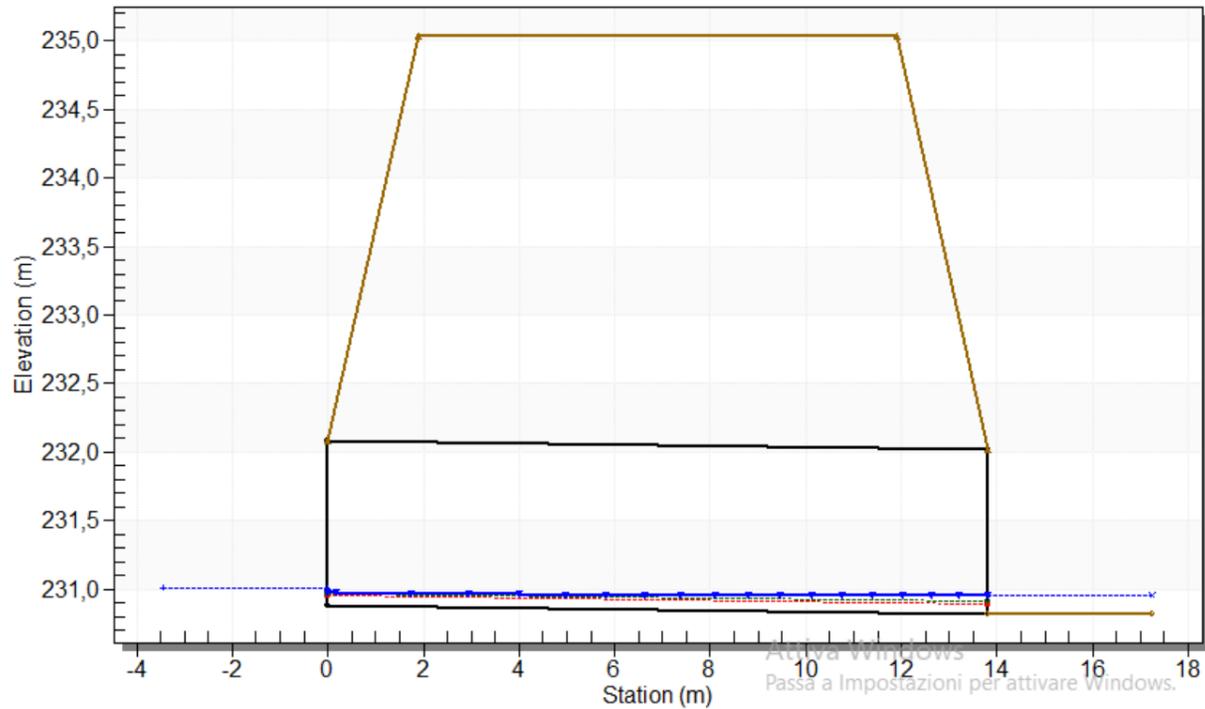
Crossing - Prog. 1+702.71, Design Discharge - 2.03 cms
Culvert - IN05, Culvert Discharge - 2.03 cms



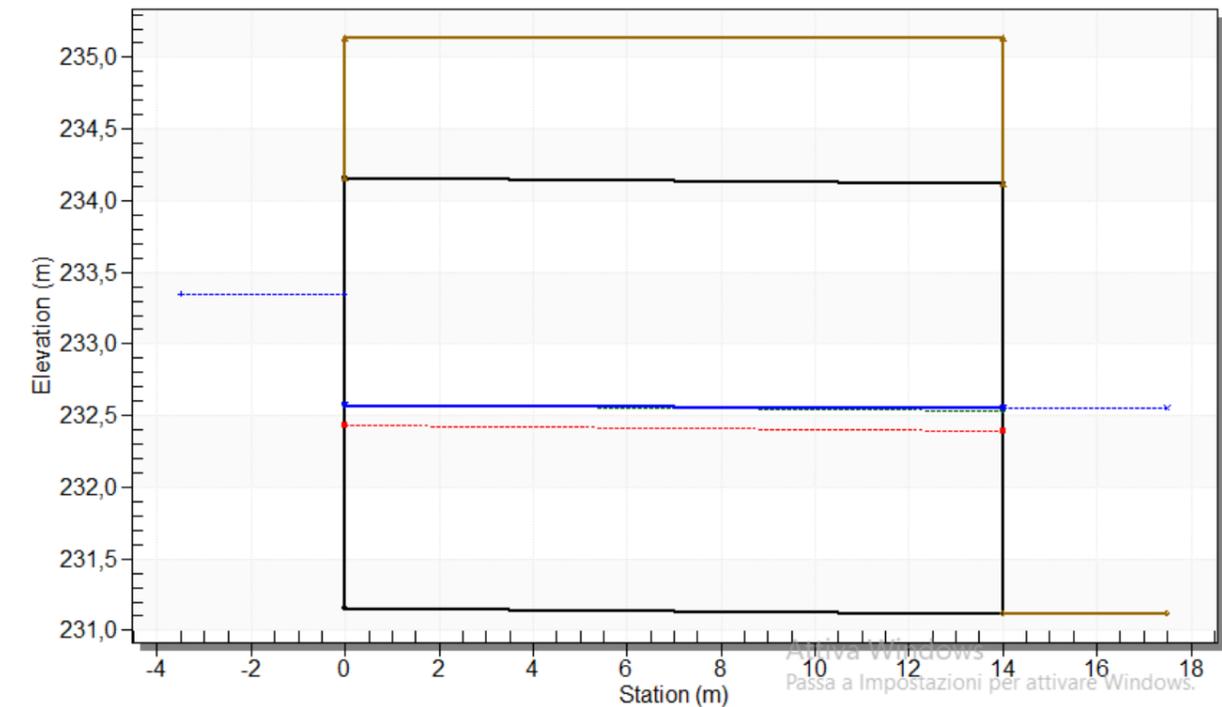
Crossing - Prog. 2+739.22, Design Discharge - 0.77 cms
Culvert - IN07, Culvert Discharge - 0.77 cms



Crossing - Prog. 3+283.50, Design Discharge - 0.12 cms
Culvert - IN08, Culvert Discharge - 0.12 cms



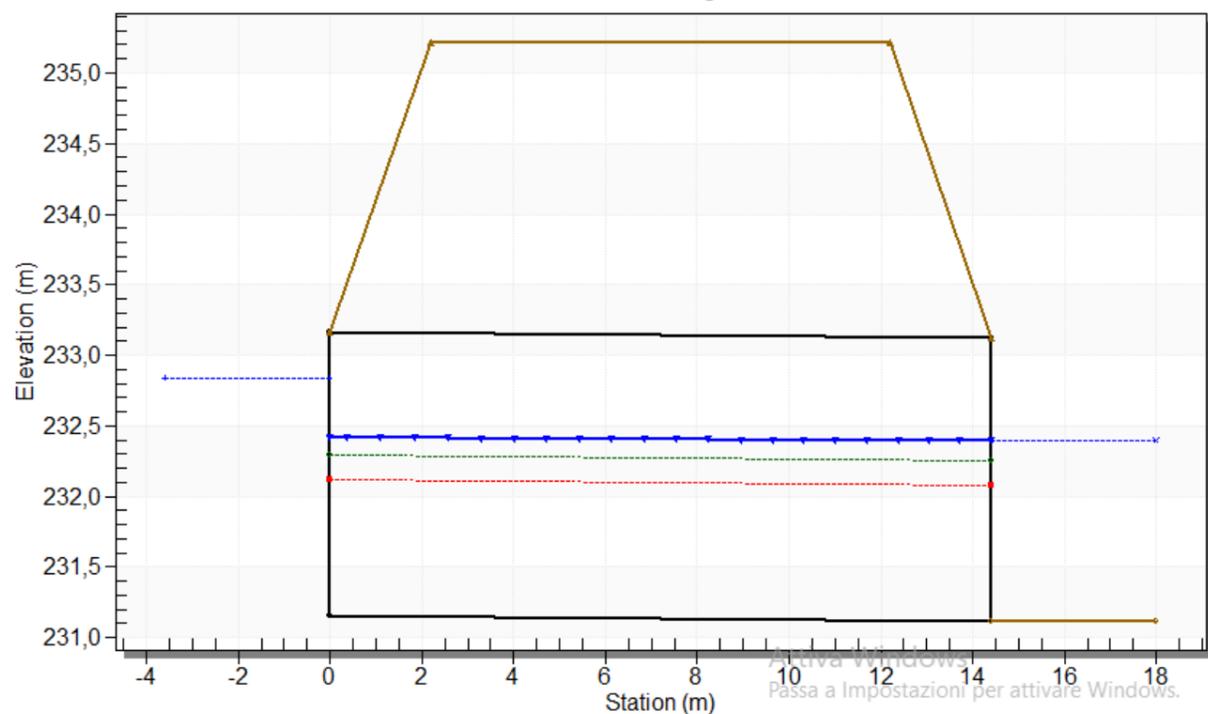
Crossing - Prog. 3+337.11, Design Discharge - 27.02 cms
Culvert - VI05, Culvert Discharge - 27.02 cms



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	70 di 114

Crossing - Prog. 3+722.93, Design Discharge - 11.74 cms

Culvert - IN10, Culvert Discharge - 11.74 cms

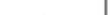


10.2. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO FERROVIARIO ED INVARIANZA IDRAULICA

In questo capitolo si riportano dapprima i valori dei coefficienti idrometrici ante operam delle aree esterne, riferite ad un tempo di ritorno di 100 anni, compatibilmente al drenaggio ferroviario e poi i dimensionamenti delle opere di smaltimento idraulico, scelte con i criteri esposti nei capitoli precedenti. Viene oltretutto riportata la verifica dell'invarianza idraulica ed idrologica sopra esposta, ai sensi del regolamento regionale vigente.

Si verificano con il metodo dell'invaso tutti quelle opere che non fungono da dispositivi di invarianza idraulica, come ad esempio collettori di attraversamento ferroviario.

Per comprendere più agevolmente la corrispondenza degli elementi verificati con le planimetrie idrauliche di progetto, si riporta la legenda dei simboli adottati nelle tavole grafiche:

LEGENDA LINEA FERROVIARIA	
	LIMITE COMUNE
	DIREZIONE
	ASSE BINARI
	BARRIERE ANTIRUMORE
	ACCESSI STRADELLO DI SERVIZIO
	ASSI LINEA STORICA NON OGGETTO DI INTERVENTO
	RECINZIONE FERROVIARIA
LEGENDA OPERE IDRAULICHE	
	FOSSI DI GUARDIA (FR: RIVESTITI, FT: IN TERRA) SCARPA 1/1
	CANALETTA RETTANGOLARE IN CALCESTRUZZO (CN)
	VERSO DI SCORRIMENTO
	MANUFATTI DI REGOLAZIONE A FOSSO/CANALETTA E A POZZETTO MF/MD
	POZZETTI PREFABBRICATI IN CLS CON CHIUSINO IN GHISA SFEROIDALE CLASSE C250/D400
	COLLETTORI IN PVC SN8 (T) DN VARI
	ATTRAVERSAMENTI LINEA FERROVIARIA-PVC CON BAULETTO IN CA
	QUOTE DI SCORRIMENTO DRENAGGIO / TOMBINI E FORNICI
	RECAPITI DELLA RETE DI SMALTIMENTO
	TRINCEA DRENANTE SOTTO STRADELLO DI SERVIZIO
	SCATOLARE/TUBAZIONE CLS (T)
	RETE IDROGRAFICA
	AREA DI LAMINAZIONE (DA/PA)

CODICE ELEMENTI: A XX YY

LATO BINARIO — TIPO — NUMERO
D/P — ELEMENTO — PROGRESSIVO

10.2.1. Coefficienti idrometrici aree esterne Tr 100 anni

Nella tabella si riportano i dati relativi ai bacini dei forni di trasparenza, oltre al sottobacino esterno del fosso DFT17, i tempi di corrivazione e i coefficienti di deflusso, compatibilmente a quanto indicato nella relazione idrologica.

Opera	Progressiva	Area	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h Tr 100	φ	u TR 100
	km	kmq	ore	ore	ore	mm	-	l/s ha
IN51	2+919,940	0.002	0.051	0.122	0.122	25.54	0.40	232.80
IN52	2+461,804	0.027	0.179	0.429	0.429	45.78	0.50	148.26
IN53	2+691,974	0.005	0.079	0.111	0.111	24.41	0.70	429.23
IN54	2+729,743	0.005	0.079	0.111	0.111	24.41	0.70	429.23
IN55	2+783,11	0.002	0.048	0.068	0.068	19.42	0.40	319.38
IN56	2+815,612	0.002	0.048	0.068	0.068	19.42	0.40	319.38
IN57	2+854,095	0.002	0.048	0.068	0.068	19.42	0.40	319.38
IN58	2+889,497	0.002	0.048	0.068	0.068	19.42	0.40	319.38
IN59	2+992,77	0.003	0.064	0.090	0.090	22.17	0.40	274.15
IN60	3+035,916	0.002	0.043	0.050	0.050	16.93	0.40	374.25
IN61	3+060,579	0.006	0.084	0.098	0.098	23.10	0.40	261.32
IN62	3+099,888	0.003	0.061	0.072	0.072	19.95	0.40	309.69
IN63	3+179,443	0.002	0.052	0.061	0.061	18.57	0.40	336.29
IN64	3+876,943	0.017	0.140	0.208	0.208	32.69	0.40	175.02
IN65	3+952,955	0.005	0.074	0.109	0.109	24.27	0.40	246.94
IN66	3+976,301	0.005	0.074	0.112	0.112	24.50	0.40	244.25
IN67	4+042,159	0.005	0.074	0.122	0.122	25.55	0.40	232.60
IN68	4+109,336	0.005	0.074	0.122	0.122	25.55	0.40	232.60
DFT17	3+507.9-3+342.4	0.003	0.062	0.046	0.062	18.59	0.30	251.90

10.2.2. Tabulati dimensionali riassuntivi

Di seguito le tabelle con le dimensioni dei singoli elementi di drenaggio e dei manufatti di regolazione allo scarico, come riportato nelle planimetrie idrauliche associate, a seguire il dimensionamento di ciascun elemento in progetto.

CODICE	PK INIZIO	PK FINE	LUNGHEZZA	BASE	ALTEZZA	PENDENZA	RECAPITO
-	km	km	m	m	m	%	-
DCN01	1+255.494	1+340.000	81.30	0.70	1.00	1.00	IN02(*)
DCN02-1	1+373.600	1+340.000	33.60	0.50	0.50	0.2-0.7	PT04
DCN02	1+340.000	1+438.378	93.00	0.40	0.60	0.70	IN03(*)
DCN02-2	1+438.378	1+397.000	40.00	0.50	0.50	0.2-0.7	PT05
PCN01	1+272.320	1+340.000	69.00	0.70	1.20	0.20	IN02(*)
PCN02	1+410.327	1+343.000	67.00	0.70	0.70	0.20	IN02(*)
PCN02-1	1+410.327	1+438.378	33.70	0.70	0.70	0.70	IN03
DCN03	1+500.000	1+463.000	34.20	0.70	1.20	0.20	IN04(*)
DCN04-1	1+500.000	1+530.427	32.00	0.40	0.40	0.72	DCN04
PCN03	1+463.000	1+550.000	85.00	0.70	1.00	0.40	PCN04
DCN04	1+530.427	1+701.095	169.00	0.70	1.20	0.40	IN05(*)
PCN04	1+550.000	1+701.095	148.00	0.70	1.00	0.40	IN05(*)
PT03	1+350.000	1+430.000	80.0000	2.00	2.00	0.0000	DISPERSIONE

CODICE	PK INIZIO	PK FINE	LUNGHEZZA	BASE	ALTEZZA	DIAMETRO	PENDENZA	RECAPITO
-	km	km	m	m	m	m	%	-
DCN05	1+701.095	1+857.800	156.00	0.70	0.70	-	0.78	DFT01
DFT01	1+857.800	2+002.000	143.00	0.50	0.50	-	0.0000	DA01(*)
PCN05	1+701.095	2+218.217	462.50	0.20	0.30	-	0.2-0.7	PT01
PT01	1+713.650	2+202.220	496.00	1.00	0.80	-	0.68-1.00	PFT01
DCN07	2+002.000	2+123.700	119.00	0.70	1.18	-	0.5000	DCN08
DCN08	2+123.700	2+212.800	93.00	0.70	1.18	-	0.7600	PT06(*)
DCN09	2+218.800	2+318.100	98.50	0.70	1.18	-	0.3600	PT07(*)
DCN06	2+350.000	2+318.100	32.00	0.70	1.18	-	0.2000	PT07(*)
PFT01	2+225.500	2+322.520	95.00	1.20	1.00	-	0.0000	DISPERSIONE(*)
DFT03	2+385.000	2+460.100	92.00	0.80	0.80	-	0.1000	DT10
DCN11	2+617.000	2+550.000	55.80	0.70	0.70	-	0.2000	DCN10
DCN10	2+550.000	2+460.100	89.00	0.70	0.70	-	0.2000	DT09
PFT02	2+454.000	2+588.000	127.00	1.20	1.20	-	0.0000	DISPERSIONE(*)
PFT10	2+378.000	2+454.000	76.00	1.20	1.20	-	0.0000	DISPERSIONE(*)
PFT11	2+383.700	2+376.700	13.00	1.20	1.20	-	0.0000	DISPERSIONE(*)

CODICE	PK INIZIO	PK FINE	LUNGHEZZA	BASE	ALTEZZA	DIAMETRO	PENDENZA	RECAPITO
-	km	km	m	m	m	m	%	-
DFT04	2+803.000	2+890.250	86.00	0.80	0.80	-	0.55	IN53(*)
DFT18	2+728.000	2+690.250	36.30	0.80	0.80	-	0.10	IN54(*)
DFR21	2+728.000	2+741.000	12.00	0.50	0.50	-	0.50	IN07(*)
DFR05	2+781.450	2+728.000	37.50	0.50	0.50	-	0.20	IN07(*)
DFR06	2+813.900	2+781.450	31.20	0.50	0.50	-	0.50	IN55(*)
DFT07	2+852.400	2+813.900	36.70	0.50	0.50	-	0.10	IN57
DFT08	2+887.800	2+852.400	32.00	0.50	0.50	-	3.00	IN58
DFR09	2+901.000	2+891.000	87.00	0.50	0.50	-	0.30	IN58
DFT10	3+004.700	3+034.000	29.50	0.50	0.50	-	0.10	IN59
DFR11	3+177.700	3+099.000	78.20	0.50	0.50	-	0.05	IN82(*)
DFT19	3+058.000	3+034.000	23.30	0.50	0.50	-	0.20	IN60
DFT20	3+099.000	3+058.000	37.80	0.50	0.50	-	2.50	IN61
DFT12	3+177.700	3+207.400	28.80	2.60	1.00	-	0.03	IN63(*)
DFT13	3+207.400	3+270.700	62.30	2.00	1.00	-	0.20	IN08(*)
DCN12	3+328.400	3+282.000	43.00	0.70	0.70	-	0.20	IN08(*)
DFT17	3+374.600	3+343.500	31.00	0.50	0.50	-	10.00	DA02 (*)
DCN13	3+534.100	3+343.500	193.50	0.50	1.00	-	0.20	DA02 (*)
PCN06	2+597.600	2+690.000	92.40	0.70	1.20	-	0.20	IN53(*)
PCN07	2+728.000	2+690.000	36.40	0.70	1.00	-	0.37	IN53(*)
PCN08	2+781.400	2+441.000	37.00	0.70	1.00	-	0.37	IN07(*)
PCN09	2+813.900	2+781.400	31.70	0.70	1.00	-	0.37	IN55(*)
PCN10	3+300.000	3+335.400	34.20	0.50	0.50	-	0.20	V05
PCN11	3+340.200	3+590.800	249.80	0.50	0.50	-	0.20	PT02
PFT02	3+534.100	3+343.000	193.00	0.50	0.50	-	1.50	V05
DCN16	3+533.700	3+374.600	162.00	0.50	0.50	-	var.	DFT17
PT02	3+590.800	3+821.000	33.00	-	-	0.4	0.30	PFR03
PFR03	3+821.000	3+714.000	93.00	0.50	0.50	-	0.75	IN10(*)
PFT04	3+875.000	3+726.000	148.00	0.80	0.80	-	0.20	IN10(*)
PFR05	3+875.000	3+951.300	73.50	0.80	0.80	-	0.00	DISPERSIONE
PFR06	3+951.300	3+974.600	20.70	0.80	0.80	-	0.00	DISPERSIONE
PFT07	4+235.500	3+974.600	260.00	0.80	0.60	-	0.00	PA03(*)
DFT14	4+156.200	3+950.000	32.00	0.40	0.40	-	var.	-
PCN13	3+582.400	3+478.500	106.80	0.50	0.50	-	2.8	PFT11
PFT11	3+478.500	3+344.000	136.60	0.50	0.50	-	1.60	V05
DFT15	4+284.000	4+534.000	250.00	1.00	0.80	-	0	DISPERSIONE
DFT16	4+650.000	4+534.000	119.00	0.50	0.50	-	0.0000	DFT15-DISPERSIONE
DCN14	5+049.000	4+650.000	399.00	0.70	1.18	-	0.76-0.90	PT08(*)
PFT09	4+860.000	4+562.000	300.00	1.00	0.80	-	0.00	DISPERSIONE(*)
DCN15	5+188.100	4+860.000	140.00	0.70	1.18	-	0.8000	DCN14
PFT08	3+951.300	3+974.600	137.00	0.80	0.80	-	0.0000	DISPERSIONE(*)
PT08	4+650.000	4+650.000	15.0000	-	-	0.4	0.5000	PFT09
PCN09	5+188.100	5+002.600	188.00	0.70	0.70	-	0.9000	PFT08

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLA APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 75 di 114

10.2.3. Sistemi di drenaggio

Per semplicità di comprensione, si riportano le simbologie riportate per le verifiche effettuate secondo il capitolo 6:

- S_{imp} , superficie impermeabile;
- S_{scar} , superficie semipermeabile;
- S_{est} , superficie aree esterne;
- S , superficie totale afferente al singolo tratto;
- L , lunghezza dell'elemento;
- i , pendenza dell'elemento;
- K_s , coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler;
- ψ_{medio} , coefficiente di deflusso medio pesato;
- w_{0c} , volume dei piccoli invasi e del velo idrico superficiale;
- u , coefficiente udometrico;
- Q , portata;
- B/DN , dimensione della base interna della canaletta o del diametro nominale del collettore;
- h , livello idrico;
- GR , grado di riempimento raggiunto;
- v , velocità;
- S' , superficie totale comprensiva dei tratti di monte;
- w_{0monte} , volume invasato nei tratti di monte;
- w_{0t} , volume invasato totale;
- w_{0l} , volume invasato nella canaletta o collettore di progetto.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 76 di 114

DFT04

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

Verifica portata totale

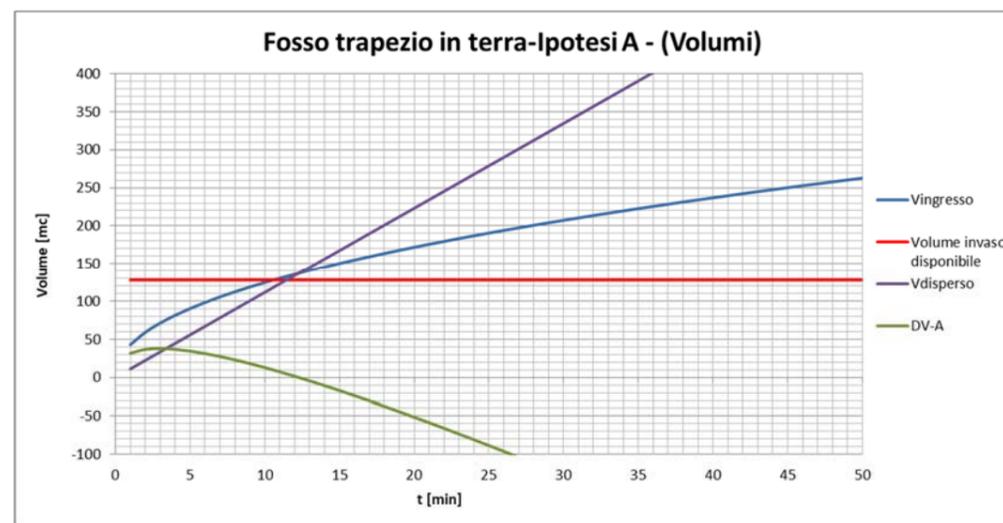
DATI DI PROGETTO						
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]			
100	67.78	0.298	0.464	(valori massimi su tutta la tratta)		
S_{bacino_tot} [m ²]				Ψ_{medio} [-]	$S_{affernte}$ [m ²]	$S_{affernte}$ [ha]
5871.5				0.718496125	4218.65	0.42
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5				
	0.0000025					
INVARIANZA						
u [l/s/ha]	v [m ³ /min]					
439.23	11.11774753					
GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
FOSSO TRAPEZIO						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.80	0.80	1.00	2.40	1.28	86.00	0.8

VERIFICA				
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	127.69	0.0007	OK	3.3805

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{fil, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
37.77	0.000658	15.93	113.79	0.00	127.69	OK	170.68	0	OK

Verifica portata area di intervento

DATI DI PROGETTO						
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]			
100	67.78	0.298	0.464	(valori massimi su tutta la tratta)		
S_{bacino_tot} [m ²]				Ψ_{medio} [-]	$S_{affernte}$ [m ²]	$S_{affernte}$ [ha]
822				0.826277372	679.20	0.07





RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO
APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA
DA CURNO A BERGAMO

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 RI	ID 000 2 001	A	77 di 114

permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5			
	0.0000025				
INVARIANZA					
u [l/s/ha]	V [m³/min]				
10.00	0.040752				

TIPO	V in vaso [m³]	Q filtrazione max [m³/s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	112.55	0.0007	OK	2.1477

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m³]	Q _{filtr.,fosso} [m³/s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
52.40	0.000658	22.11	113.79	0.00	112.55	OK	170.68	0	OK

VOLUME IN INGRESSO

t [min]	t [h]	h [mm]	i [mm/h]	i [m/s]	Q _{affidente} [m³/s]	V _{ingresso} [m³]
279	4.65	107.17	23.05	0.00001	0.004	72.79

tipo A

t _{critica} [min]	V _{disperso} [m³]	h (trapezia)	Q _{usc}	ΔV [m³]
279	20.39	0.60	0.001218	52.40

DCN01

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

Verifica portata

DATI DI PROGETTO					
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]		
100	67.78	0.298	0.464	(valori massimi su tutta la tratta)	
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	Ψ_{medio} [-]	$S_{afferte}$ [m ²]	$S_{afferte}$ [ha]		
500	0.90	450.00	0.05		
INVARIANZA					
u [l/s/ha]	v [m ³ /min]				
10	0.027				

CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.00	0.00	0.70	0.70	81.00	0.0001

VERIFICA

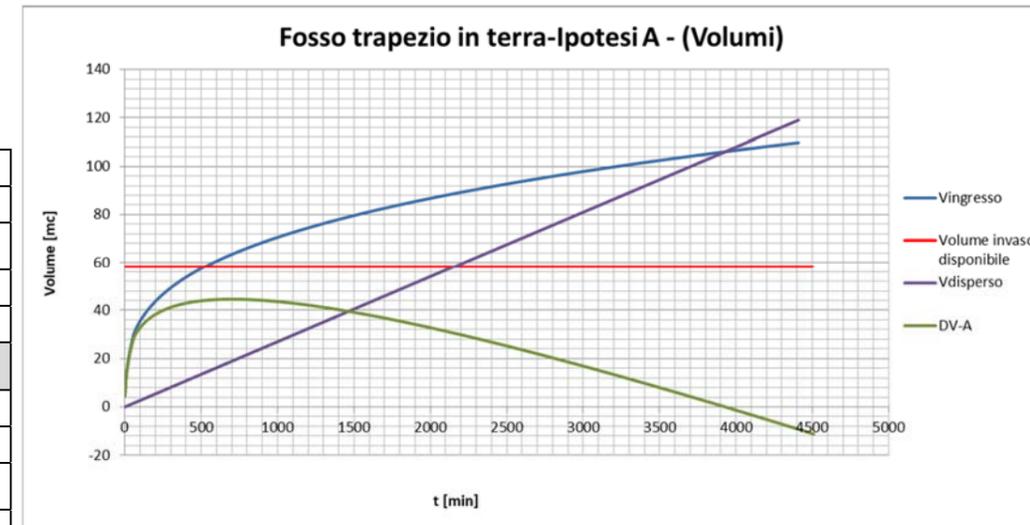
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA	58.21	0.0000	OK	1.3067

VOLUME IN INGRESSO

t [min]	t [h]	h [mm]	i [mm/h]	i [m/s]	$Q_{afferte}$ [m ³ /s]	$V_{ingresso}$ [m ³]
701	11.68	141.05	12.07	0.00000	0.002	63.47

tipo A

$t_{critica}(A)$ [min]	$V_{disperso}(A)$ [m ³]	h	$Q_{usc}(A)$	$\Delta V(A)$ [m ³]
701	18.93	0.7856	0.000450	44.54423



	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 79 di 114

DFT03-DT10-PFT10

Verifica effettuata secondo il capitolo 6 (DFT03 e DT10) e secondo il capitolo 9.1.2. (PFT10).

Verifica portata totale

FOSSO	calcolo superfici			S tot	L	i	k _s	φ	v _{0s}	u	Q	Larghezza	Altezza	y/D	v	S'	φ _{medio}	V _{0c'} monte	y	V ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot
	S _{imp}	S _{scar}	S _{est}																				
	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	-	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	m	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³		m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
DFT03	0.0483	0.0424	0.1767	0.2674	76.00	0.0020	30	0.60	50	218.9	58.5279	0.5000	0.5000	45.00	0.36	0.2674	0.604	0	0.225	25.766	12.3975	46.370	46.3701

TUBAZIONE	immissione						calcolo superfici			S	L	i	k _s	v _{0s}	u	Q	DN	D interno	y/D	v	S'	φ _{medio}	V _{0c'} monte	y	V ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot
	S	v _{0s}	S'	φ _{medio}	V _{0c'} monte	V ₀ Tot	S _{imp}	S _{scar}	S _{est}																			
	ha	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	mm	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³	m	m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹					
DT10	0.26736	50	0.26736	0.60392	0	45.0269	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	17.50	0.003	80	0	208.8	55.83	400	0.3766	53.00	0.91	0.26736	0.604	13.368	0.1996	26.839	1.0491	3.924	48.9508

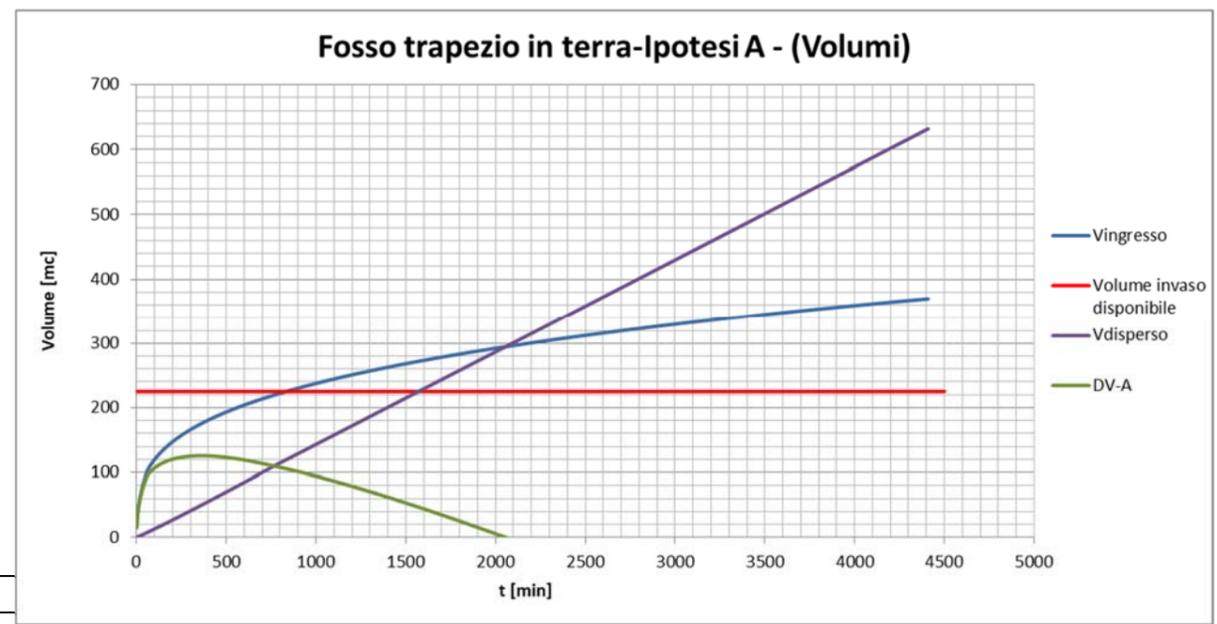
DATI DI PROGETTO -PFT10				
T _{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	n' (t<1) [-]	(valori massimi su tutta la tratta)
100	67.78	0.298	0.464	
S _{bacino_tot} [m ²]	ψ _{medio} [-]	S _{affidente} [m ²]	S _{affidente} [ha]	
2087.6	0.726077793	1515.76	0.15	
permeabilità	K [m/s]*	INVARIANZA		
0.0000025		u [l/s/ha]	V [m ³ /min]	
		10.00	0.0909456	

FOSSO TRAPEZIO						
b [m]	H [m]	s (c/H) [-]	B [m]	A _{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.20	1.20	1.00	3.60	2.88	76.00	1.2

VERIFICA-PFT10				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	225.14	0.0024	OK	1.7922

Verifiche tempi svuotamento-PFT10			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	Q _{fil,fosso} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
125.62	0.002389	14.61	412.76	0.00	225.14	OK	619.14	0	OK

VOLUME IN INGRESSO-PFT10							tipo A				
t [min]	t [h]	h [mm]	i [mm/h]	i [m/s]	Q _{affidente} [m ³ /s]	V _{ingresso} [m ³]	t _{critica} [min]	V _{disperso} [m ³]	h (trapezia)	Q usc	ΔV [m ³]
361	6.02	115.73	19.24	0.00001	0.008	175.42	361	49.80	1.03	0.002299	125.62



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

DCN03

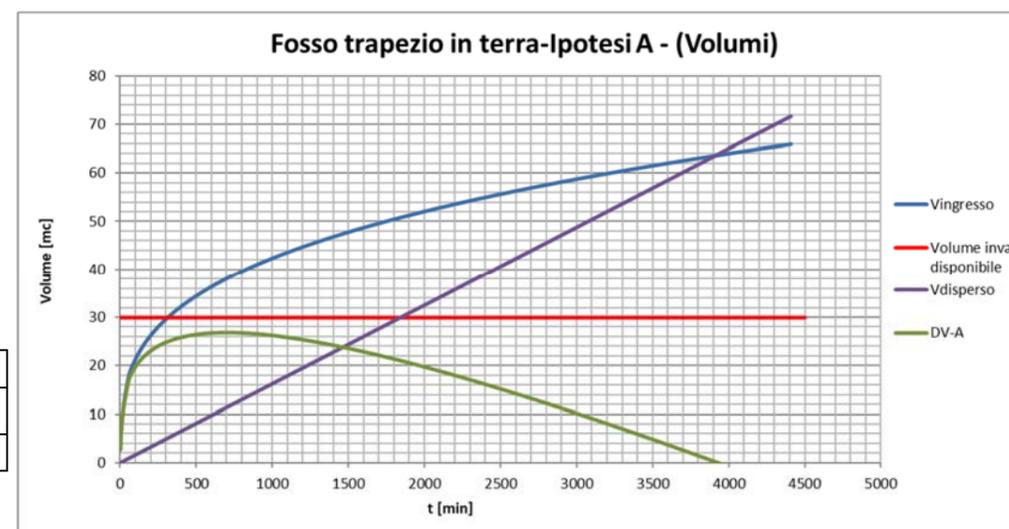
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
300	0.9	270	0.027
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.0162		

CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.20	0.00	0.70	0.84	34.50	0.001

VERIFICA				
TIPO	V_{invaso} [m ³]	$Q_{filtrazione\ max}$ [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA	29.92	0.0003	OK	1.0708

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
$V_{max\ invasato}$ [m ³]	$Q_{filt.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
26.82	0.000270	27.50	46.66	0.00	28.72	OK	69.98	0	OK



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

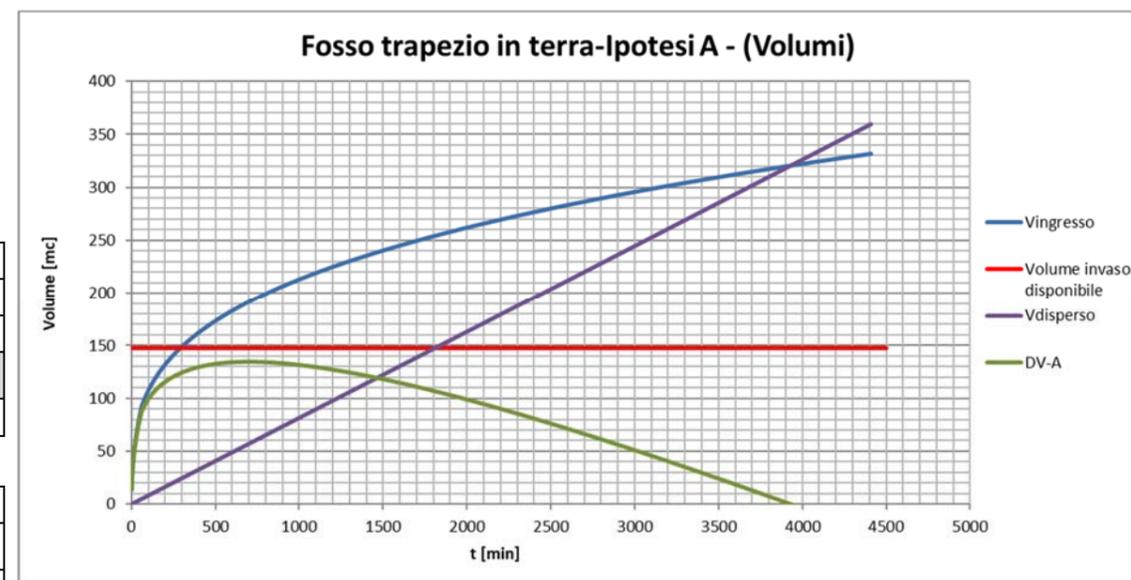
DCN04

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	γ_{medio} [-]	Safferte [m2]	Safferte [ha]
1510	0.9	1359	0.1359
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.08154		

GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.20	0.00	0.70	0.84	170.00	0.001

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA	147.53	0.0000	OK	1.0967



Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{filtr, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
134.52	0.001510	24.75	260.93	0.00	147.53	OK	391.39	0	OK

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 82 di 114

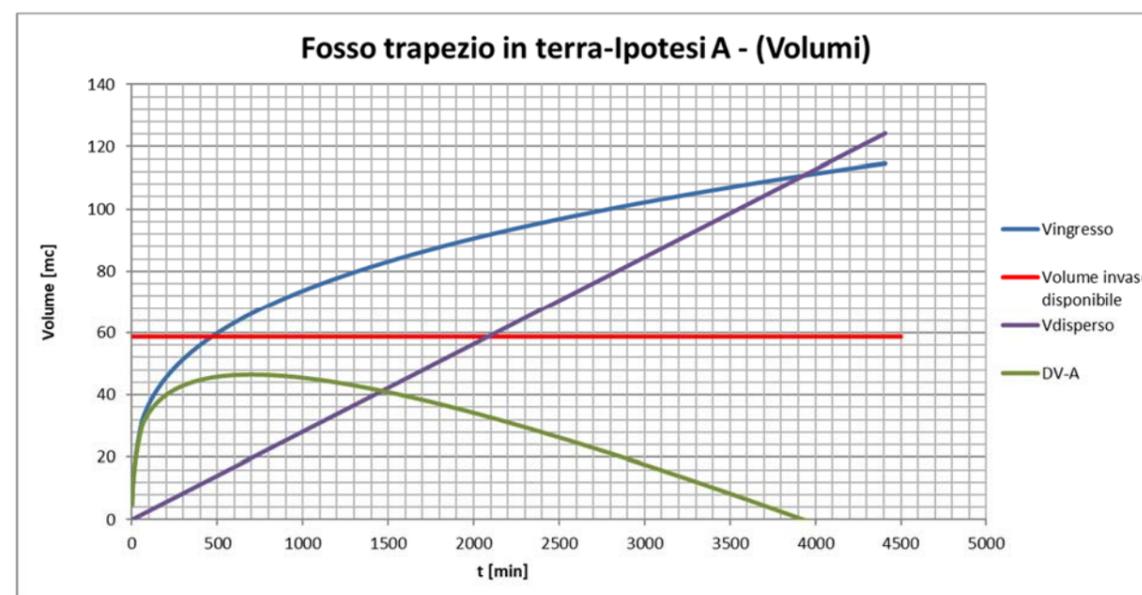
PCN01

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
522	0.9	469.8	0.04698
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.028188		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.20	0.00	0.70	0.84	68.00	0.001

VERIFICA				
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	58.77	0.0000	OK	1.2637



Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	Q _{filtr.fosso} [m ³ /s]	ts _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
46.50	0.000522	24.75	90.20	0.00	58.77	OK	135.30	0	OK

PCN02

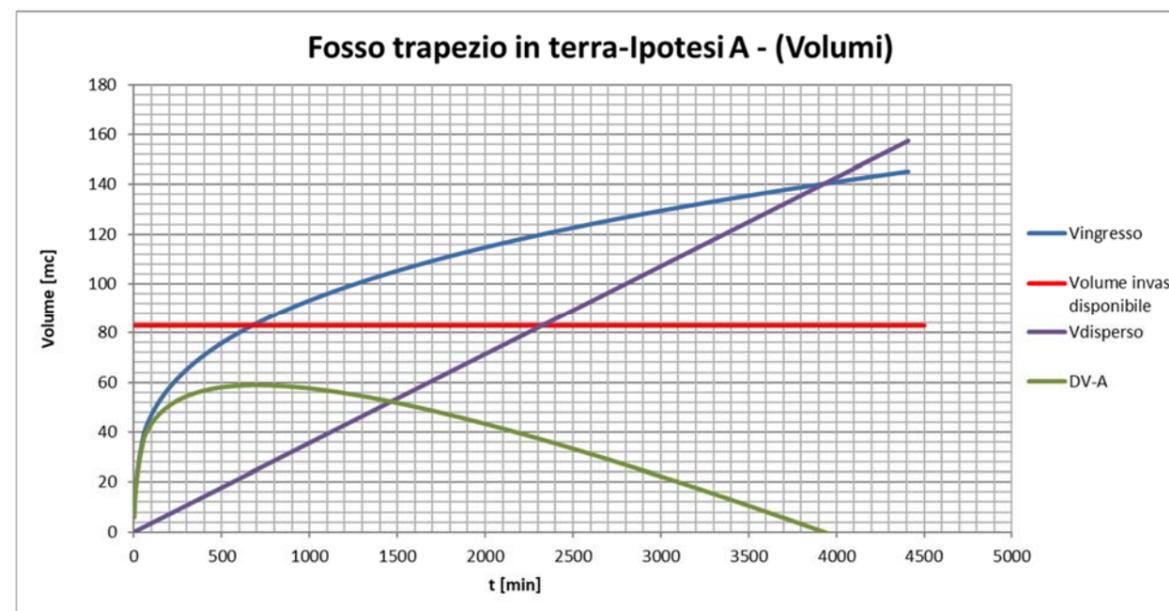
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
661	0.9	594.9	0.05949
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.035694		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	0.70	0.00	0.70	0.49	165.00	0.001

TIPO		V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A	CANALETTA RETTANGOLARE	82.95	0.0000	OK	1.4086

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	Q _{filtr, fosso} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
58.89	0.000661	24.75	114.22	0.00	82.95	OK	171.33	0	OK



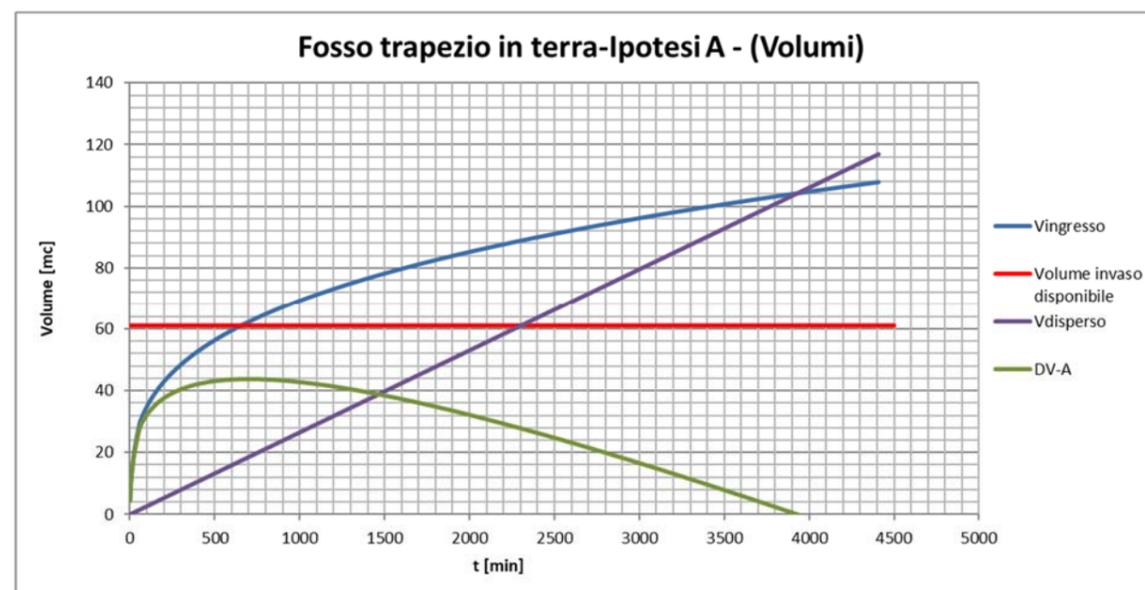
 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

PCN03

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
491	0.9	441.9	0.04419
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.026514		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.00	0.00	0.70	0.70	85.00	0.001



VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	61.06	0.0000	OK	1.3959

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{filt, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
43.74	0.000491	24.75	84.84	0.00	61.06	OK	127.27	0	OK

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 85 di 114

PCN04

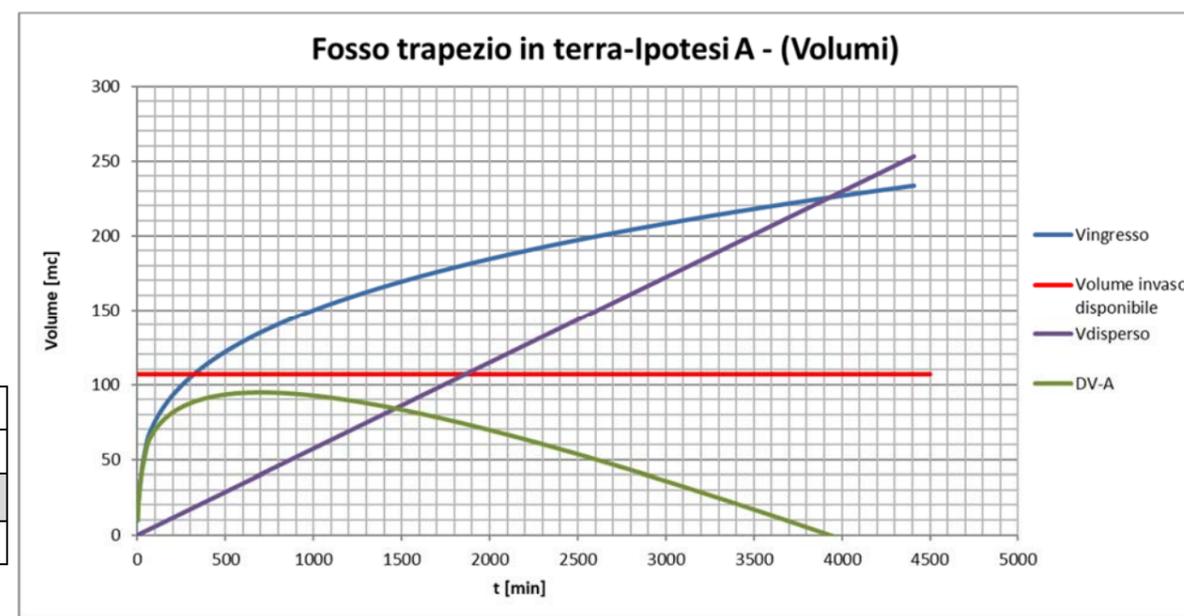
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
1063	0.9	956.7	0.09567
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.057402		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.00	0.00	0.70	0.70	148.00	0.001

VERIFICA				
TIPO	V_{invaso} [m ³]	$Q_{filtrazione\ max}$ [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	106.94	0.0000	OK	1.1292

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
$V_{max\ invasato}$ [m ³]	$Q_{filt, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
94.70	0.000957	27.50	165.32	0.00	106.94	OK	247.98	0	OK



DCN02

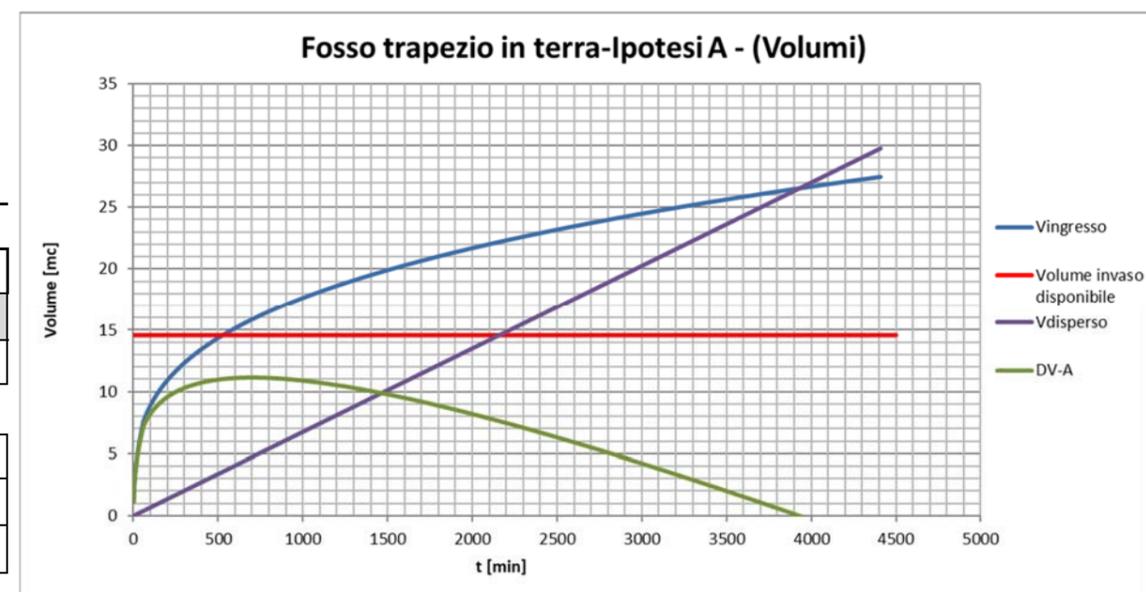
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
125	0.9	112.5	0.01125
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.00675		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.40	0.60	0.00	0.40	0.24	59.00	0.001

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	14.57	0.0000	OK	1.3084

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	Q _{fil,fosso} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
11.14	0.000125	24.75	21.60	0.00	14.57	OK	32.40	0	OK



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLA APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

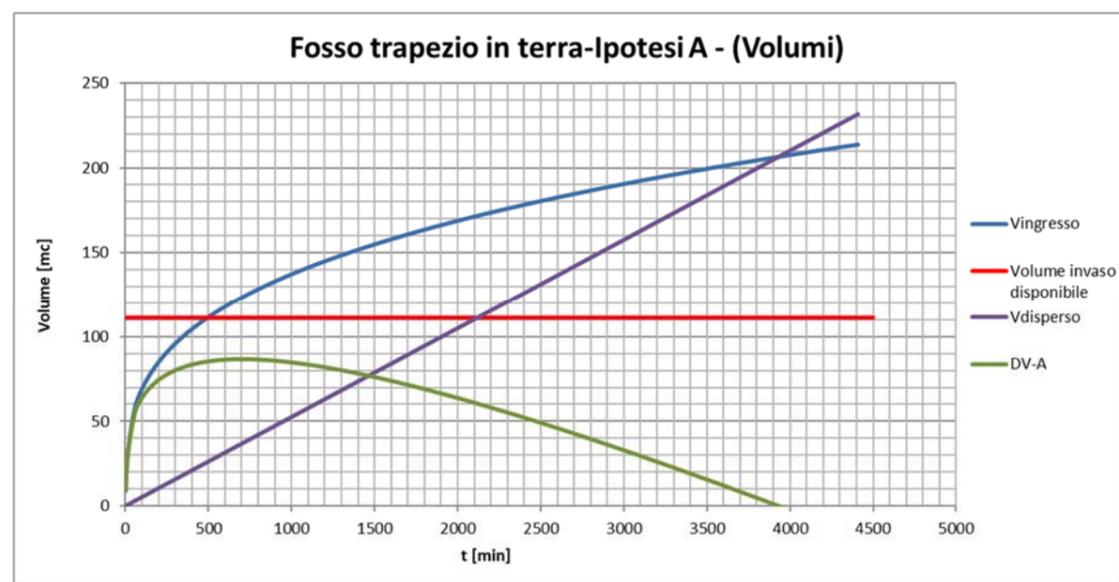
DCN09

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
973	0.9	875.7	0.08757
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.052542		

GEOMETRIA						
CANALETTA RETTANGOLARE						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.18	0.00	0.70	0.83	131.00	0.001

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	111.28	0.0000	OK	1.2838



Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{filt, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
86.68	0.000973	24.75	168.13	0.00	111.28	OK	252.20	0	OK

DFR11

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
1181.3	0.810268348	957.17	0.095717
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000025		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.0574302		

B-TRINCEA DRENANTE rettangolare con tubo fessurato orizzontale

TRINCEA

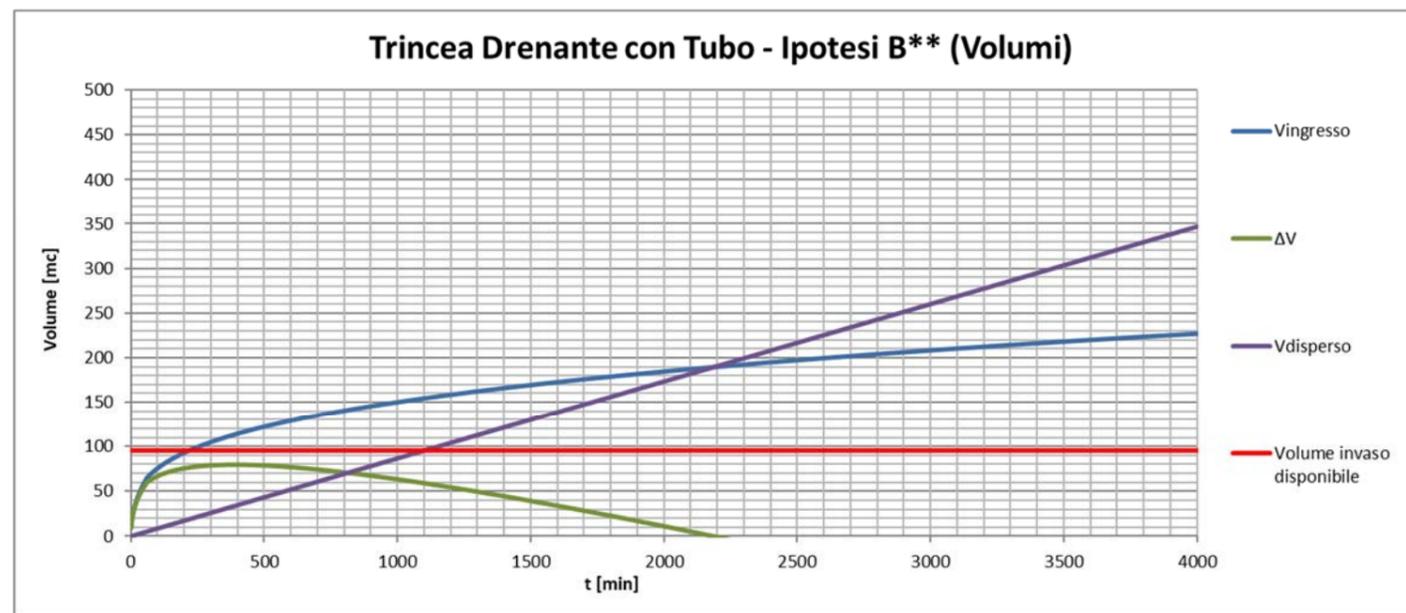
b [m]	H_{max} [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]
2.50	1.00	2.50	78.00

TUBO distr.

Dinterno [m]	N. tubi [-]	A_{tubo} [m ²]	altezza tubo scarico [m] B**
0.50	1.00	0.20	0.20

Trincea con tubo

$A_{trincea\ netta}$ [m ²]	porosità n [-]	$A_{netta} * 30\%$ [m ²]	% vuoti media intera sez.
2.30	0.3	0.69	0.35



VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
B** Tr. Drenante con laminazione (invarianza)	95.44	0.0010	OK	1.1997

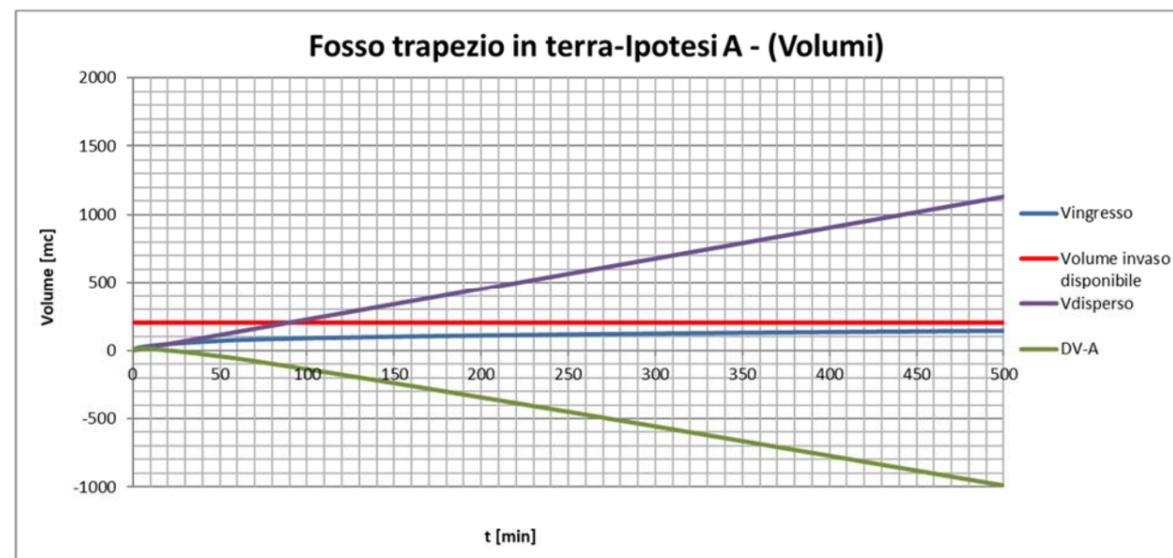
V max invasato [m ³]	$Q_{filtr, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
79.55	0.0006	39.08	97.72	0.00	95.44	OK	146.58	0	OK

DFT13

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

Verifica portata area totale

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
1945	0.576092545	1120.5	0.11205
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
336.29	2.26088		



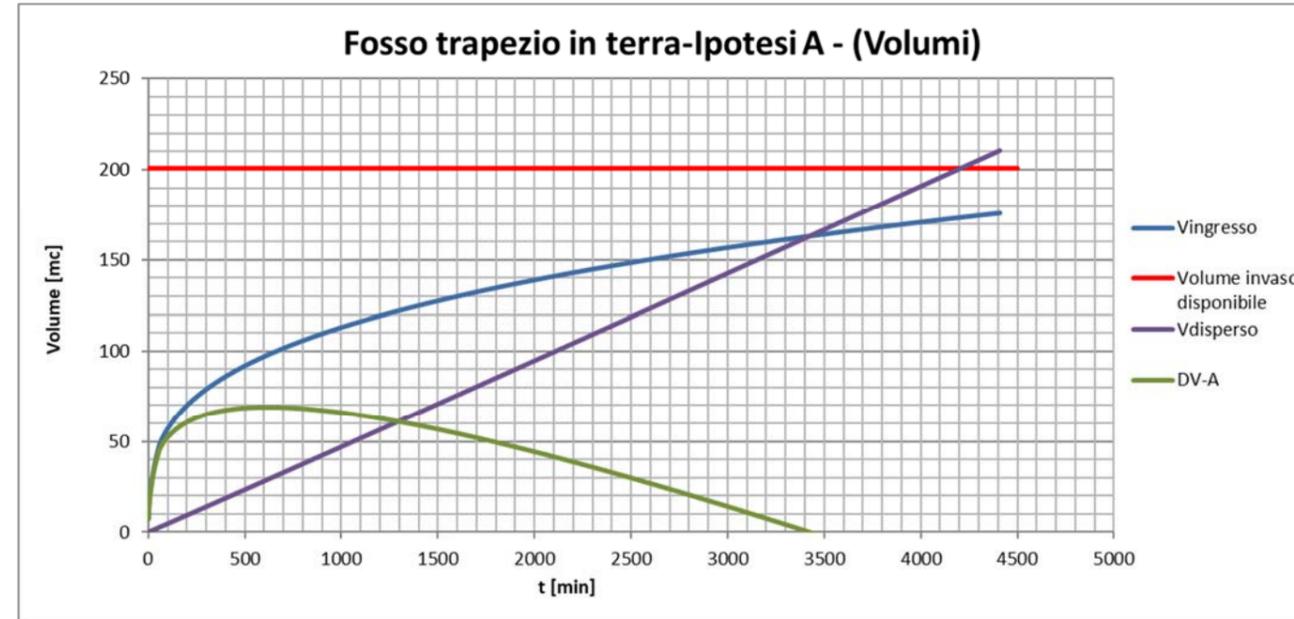
GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
2.00	1.00	1.00	4.00	3.00	66.00	1

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	203.84	0.0378	OK	16.1003

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{fil, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume uscito a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
12.66	0.037761	0.09	6525.09	0.00	203.84	OK	9787.64	0	OK

Verifica portata area di intervento

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m2]	Saffernte [ha]
945	0.762433862	720.5	0.07205
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.04323		



VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	200.84	0.0008	OK	2.9131

Verifiche tempi svuotamento

(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	Q _{filtr, fossato} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
68.94	0.000800	23.93	138.27	0.00	200.84	OK	207.40	0	OK

VOLUME IN INGRESSO

t [min]	t [h]	h [mm]	i [mm/h]	i [m/s]	Q _{afforrente} [m ³ /s]	V _{ingresso} [m ³]
618	10.30	135.85	13.19	0.00000	0.003	97.88

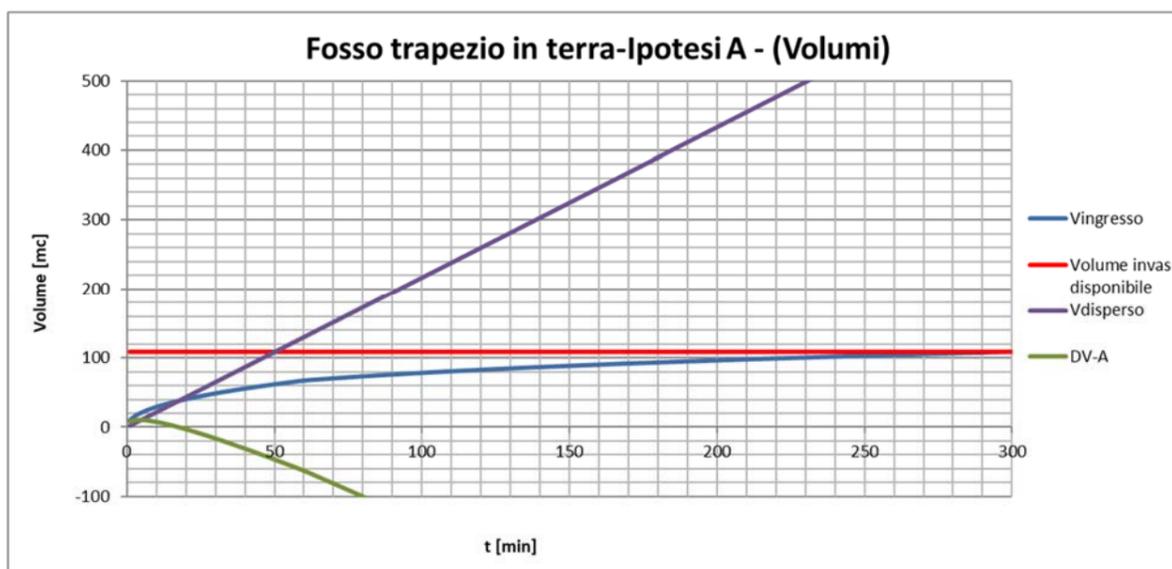
t _{critica} [min]	V _{disperso} [m ³]	h (trapezia)	Q _{usc}	ΔV [m ³]
618	28.94	0.58	0.000780	68.94

DFT12

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

Verifica portata area totale

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
2609.8	0.380435282	992.86	0.099286
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
363.29	2.164176656		



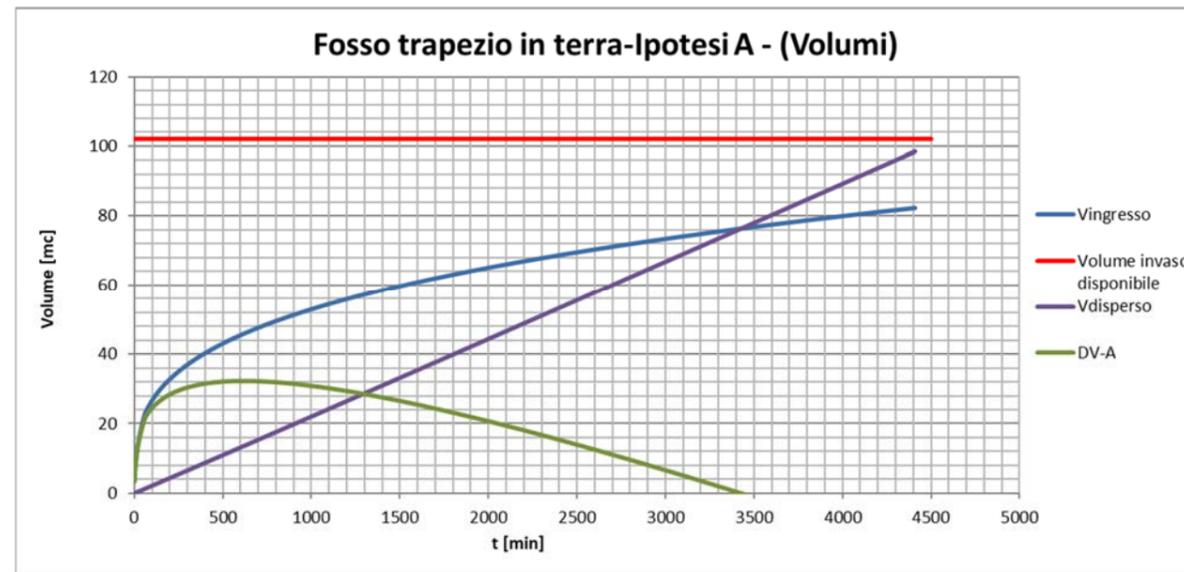
GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
2.60	1.00	1.00	4.60	3.60	28.00	1

VERIFICA				
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	108.63	0.0361	OK	10.3518

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{fil, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume uscito a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
10.49	0.036108	0.08	6239.39	0.00	108.63	OK	9359.09	0	OK

Verifica portata area intervento

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	n' ($t < 1$) [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
424.8	0.794161959	337.36	0.033736
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.0202416		



GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	s (c/H) [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
2.60	1.00	1.00	4.60	3.60	28.00	1

VERIFICA				
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	102.07	0.0004	OK	3.1641

Verifiche tempi svuotamento (inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)									
V max invasato [m ³]	Q _{filtr.fosso} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
32.26	0.000375	23.87	64.86	0.00	102.07	OK	97.29	0	OK

VOLUME IN INGRESSO						
t [min]	t [h]	h [mm]	i [mm/h]	i [m/s]	$Q_{afferrente}$ [m ³ /s]	$V_{ingresso}$ [m ³]
4	0.07	19.29	289.41	0.00008	0.080	19.16

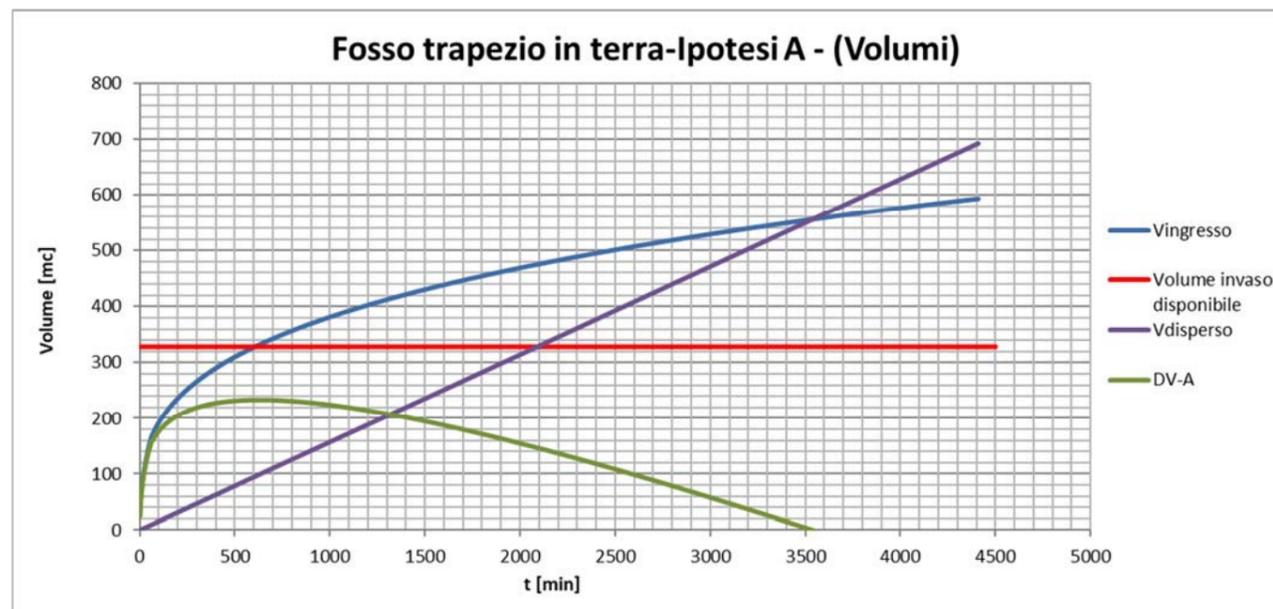
$t_{critica}(A)$ [min]	$V_{disperso}(A)$ [m ³]	h (trapezia)	$Q_{usc}(A)$	$\Delta V(A)$ [m ³]
4	8.66	0.24	0.036093	10.49

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 93 di 114

PFT07

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
2944.7	0.825900771	2432.03	0.243203
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.1459218		



GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.80	0.80	1.25	2.80	1.44	222.00	1

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza ¹
A Fosso trapezio	328.51	0.0026	OK	1.4081

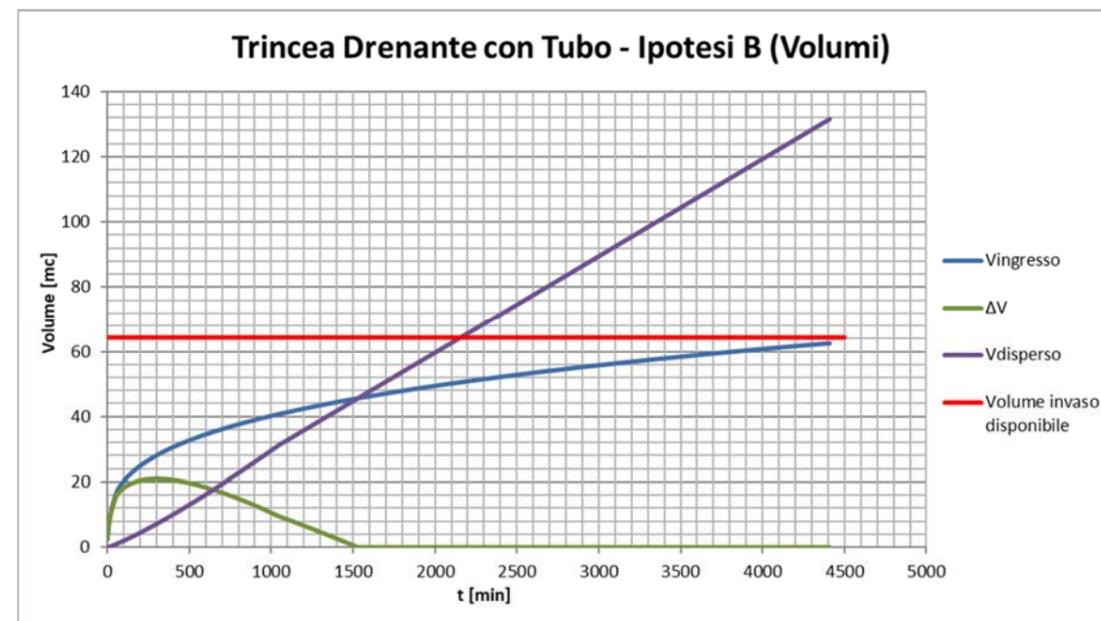
Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{fil.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
233.30	0.002619	24.75	452.49	0.00	328.51	OK	678.74	0	OK

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 94 di 114

PFR06

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
313.7	0.817118266	256.33	0.025633
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000003		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
0	0		



GEOMETRIA			
B-TRINCEA DRENANTE rettangolare con tubo fessurato orizzontale			
TRINCEA			
b [m]	H_{max} [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]
2.50	2.00	5.00	22.00
TUBO distr.			
Dinterno [m]	N. tubi [-]	A_{tubo} [m ²]	altezza tubo scarico [m] B**
0.80	1.00	0.50	0.20
$A_{trincea\ netta}$ [m ²]	porosità n [-]	A_{netta} *30% [m ²]	% vuoti media intera sez.
4.50	0.3	1.35	0.37

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza ¹
B Trincea drenante	64.36	0.0004648	OK	3.0787

V max invasato [m ³]	Q _{filtr.fosso} [m ³ /s]	ts _{vuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
20.905	0.0002331	24.91	40.28	0	64	OK	60	0	OK

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLA APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A

PFR05

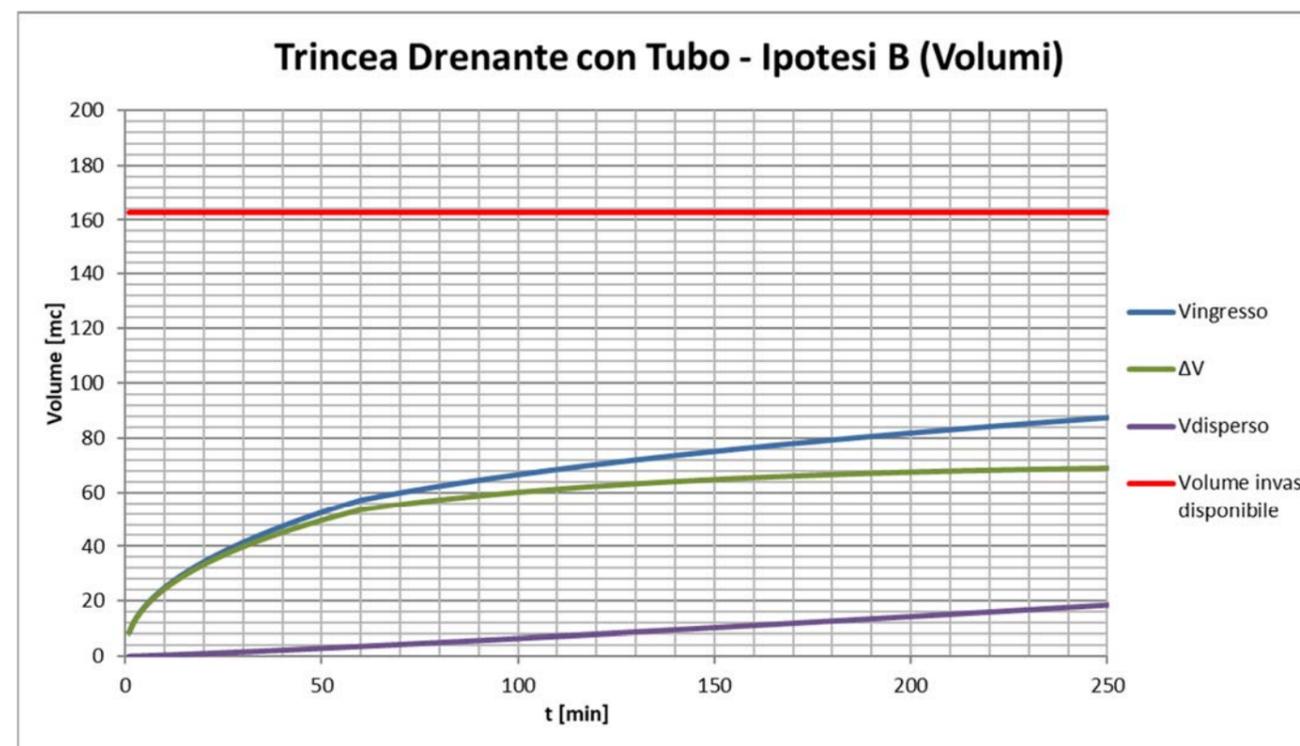
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
1029.2	0.819354839	843.28	0.084328
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000033		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
0	0		

B-TRINCEA DRENANTE rettangolare con tubo fessurato orizzontale			
b [m]	H_{max} [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]
2.50	2.00	5.00	74.00
Dinterno [m]	N. tubi [-]	A_{tubo} [m ²]	altezza tubo scarico [m] B**
0.80	1.00	0.50	0.20
$A_{trincea\ netta}$ [m ²]	porosità n [-]	$A_{netta} * 30\%$ [m ²]	% vuoti media intera sez.
4.50	0.3	1.35	0.37

VERIFICA					
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza	
B	Trincea drenante	162.79	0.0016	OK	2.3427

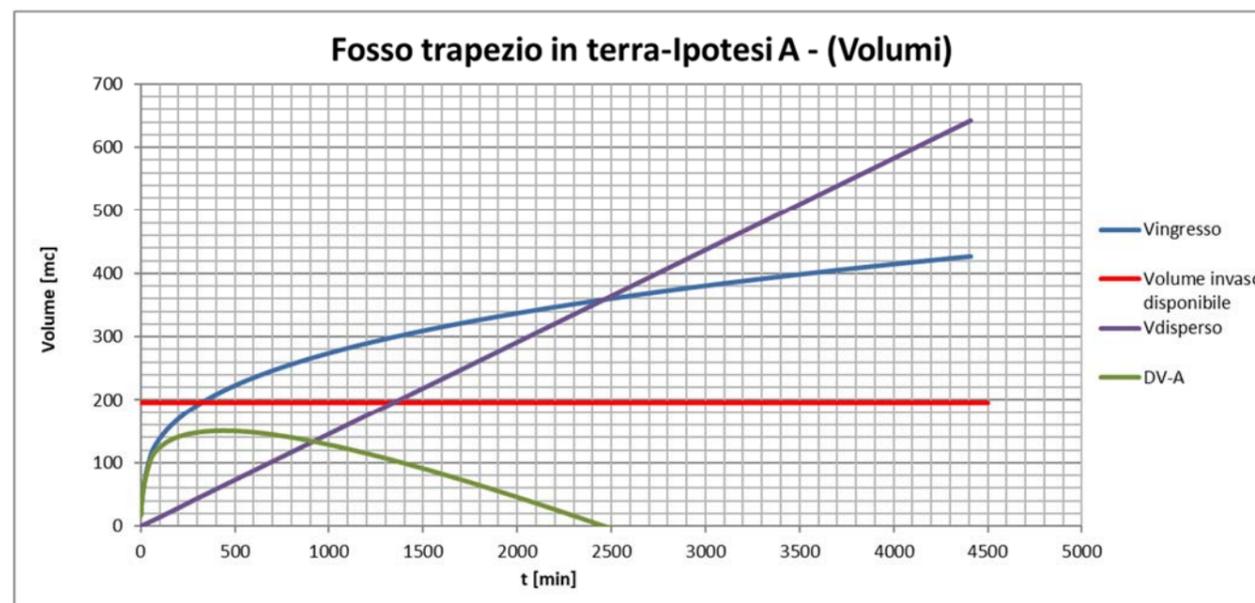
V max invasato [m ³]	$Q_{filt.,fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
69.490	0.0007819	24.69	135.12	0	163	OK	203	0	OK



PFT04

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m2]	Saffernte [ha]
2144.8	0.815236852	1748.52	0.174852
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000015		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.1049112		



GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.80	0.80	1.00	2.40	1.28	148.00	0.8

VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza ¹
A Fosso trapezio	195.87	0.0024	OK	1.3011

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m3]	$Q_{fil.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
150.54	0.002428	17.22	419.64	0.00	195.87	OK	629.45	0	OK

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 97 di 114

PFR03

Verifica effettuata secondo il capitolo 6 (PCN11 e PT02) e secondo il capitolo 9.1.2. (PFR03).

Canaletta	calcolo superfici			S	L	i	k _s	v _{0s}	u	Q	Altezza	Base	y/D	v	S'	j _{medio}	V _{0c'} monte	y ₀	v ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot	Q ₀
	S _{imp}	S _{scar}	S _{est}																				
	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	m	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³		m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹
PCN11	0.1857	0.0435	0	0.229	250	0.002	66.67	50	280.83052	64.366355	0.5	0.5	37	0.6958525	0.23	0.862	0	0.185	34.585	23.13	100.894	100.894	149.972

TUBAZIONE	calcolo superfici			S	L	i	k _s	v _{0s}	u	Q	DN	D interno	y/D	v	S'	φ _{medio}	V _{0c'} monte	y	v ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot
	S _{imp}	S _{scar}	S _{est}																			
	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	mm	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³		m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
PT02	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	35.00	0.003	80	0	262.3	60.13	400	0.3766	53.00	1.00	0.22920	0.862	11.46	0.1996	36.683	2.0982	9.154	110.049

DATI DI PROGETTO - PFR03			
T _{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	n' (t<1) [-]
100	67.78	0.298	0.464
S _{bacino tot} [m ²]	ψ _{medio} [-]	S _{affernte} [m ²]	S _{affernte} [ha]
3295.8	0.858493841	2829.424	0.2829424

permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5
	0.000002	

INVARIANZA	
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]
10	0.16976544

GEOMETRIA - PFR03			
B-TRINCEA DRENANTE rettangolare con tubo fessurato orizzontale			
b [m]	H _{max} [m]	A _{fosso} [m ²]	Lung [m]
4.00	2.00	8.00	94.50
TUBO distr.			
Dinterno [m]	N. tubi [-]	A _{tubo} [m ²]	altezza tubo scarico [m] B**
0.80	1.00	0.50	0.50
Trincea con tubo			
A _{trincea netta} [m ²]	porosità n [-]	A _{netta} *30% [m ²]	% vuoti media intera sez.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 98 di 114

7.50	0.3	2.25	0.34
------	-----	------	------

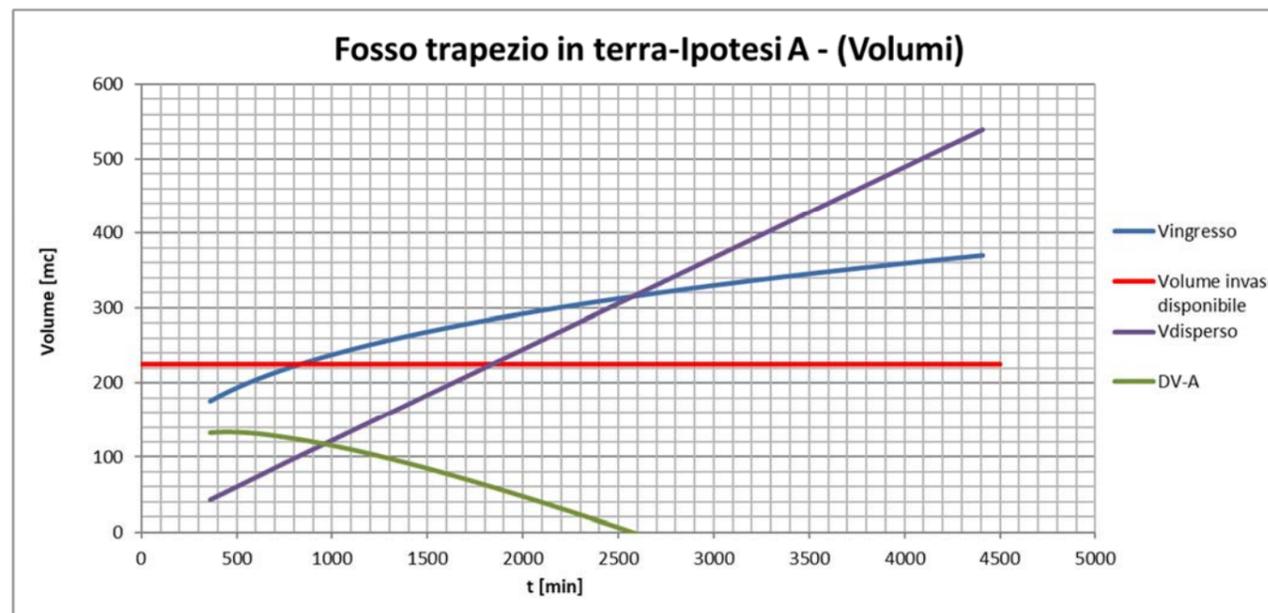
VERIFICA – PFR03				
TIPO	V invaso [m³]	Q filtrazione max [m³/s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
B** Tr. Drenante con laminazione (invarianza)	292.60	0.0028	OK	1.1802

V max invasato [m³]	Q _{fil, fosso} [m³/s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
247.92	0.0012	58.53	203.30	44.61	247.99	OK	304.96	0	OK

PFT10

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffereute [m ²]	Saffereute [ha]
2087.6	0.726077793	1515.760001	0.151576
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000002		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10.00	0.0909456		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.20	1.20	1.00	3.60	2.88	76.00	1.2

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	225.14	0.0020	OK	1.6890

Verifiche tempi svuotamento

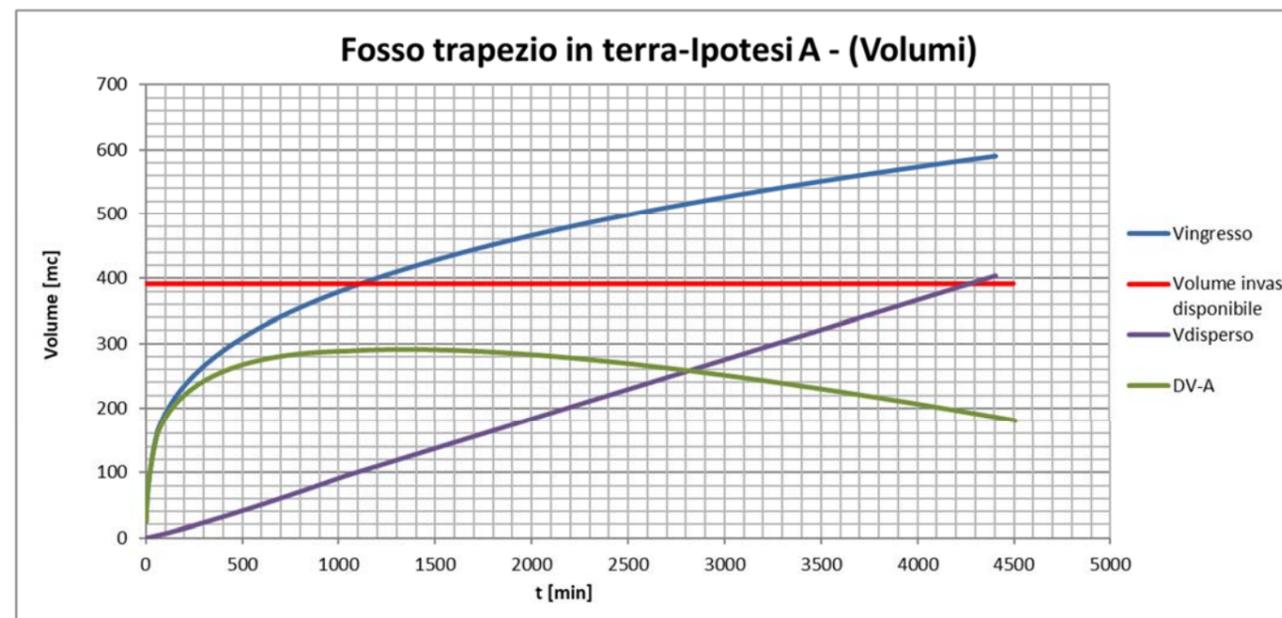
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{fil,fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
133.30	0.002039	18.16	352.42	0.00	225.14	OK	528.64	0	OK

PFT02

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m2]	Safferte [ha]
2899.5	0.83423004	2418.85	0.241885
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000025		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
0.00	0		



GEOMETRIA						
A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.20	1.20	1.00	3.60	2.88	133.00	1.2

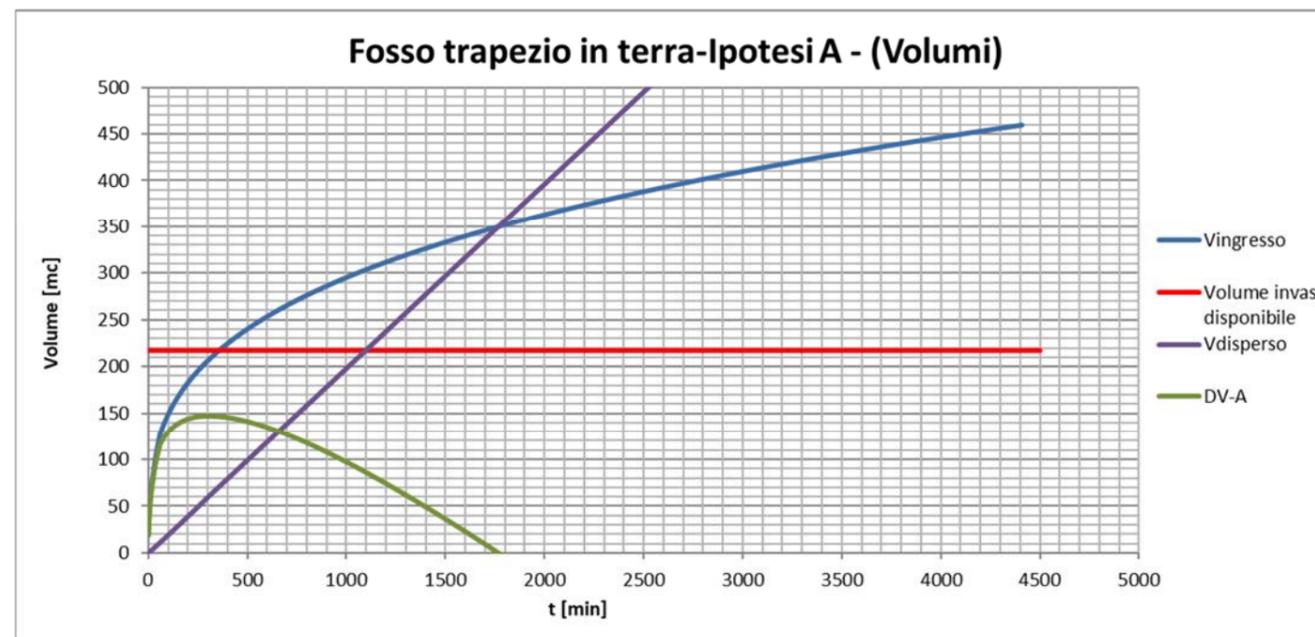
VERIFICA				
TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	391.74	0.0015	OK	1.3460

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)						
V max invasato [m ³]	$Q_{fil, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
291.05	0.001528	52.93	263.96	27.09	364.65	OK	395.94	0	OK

PFT01

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	54.47	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Safferte [m ²]	Safferte [ha]
2787.5	0.840699552	2343.45	0.234345
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000025		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.140607		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.20	1.00	1.00	3.20	2.20	95.00	1

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	217.36	0.0033	OK	1.4792

Verifiche tempi svuotamento

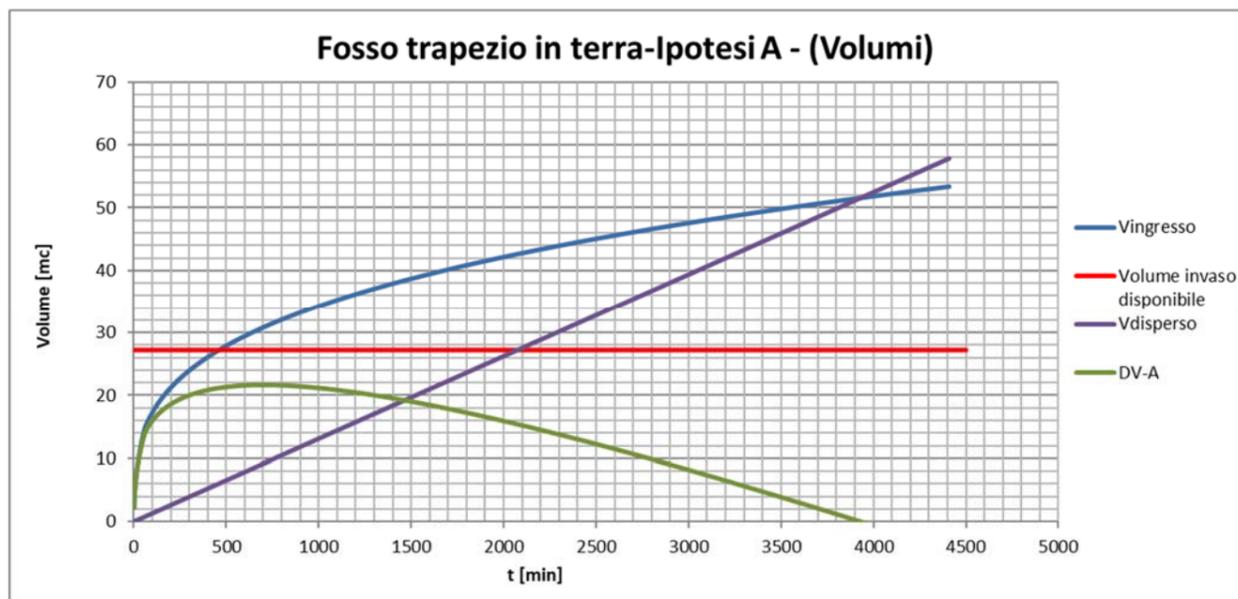
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{fil.,fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
146.94	0.003300	12.37	570.27	0.00	217.36	OK	855.41	0	OK

DCN06

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
243	0.9	218.7	0.02187
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000000		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.013122		



GEOMETRIA

CANALETTA RETTANGOLARE

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.18	0.00	0.70	0.83	32.00	0.001

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	27.20	0.0000	OK	1.2564

Verifiche tempi svuotamento

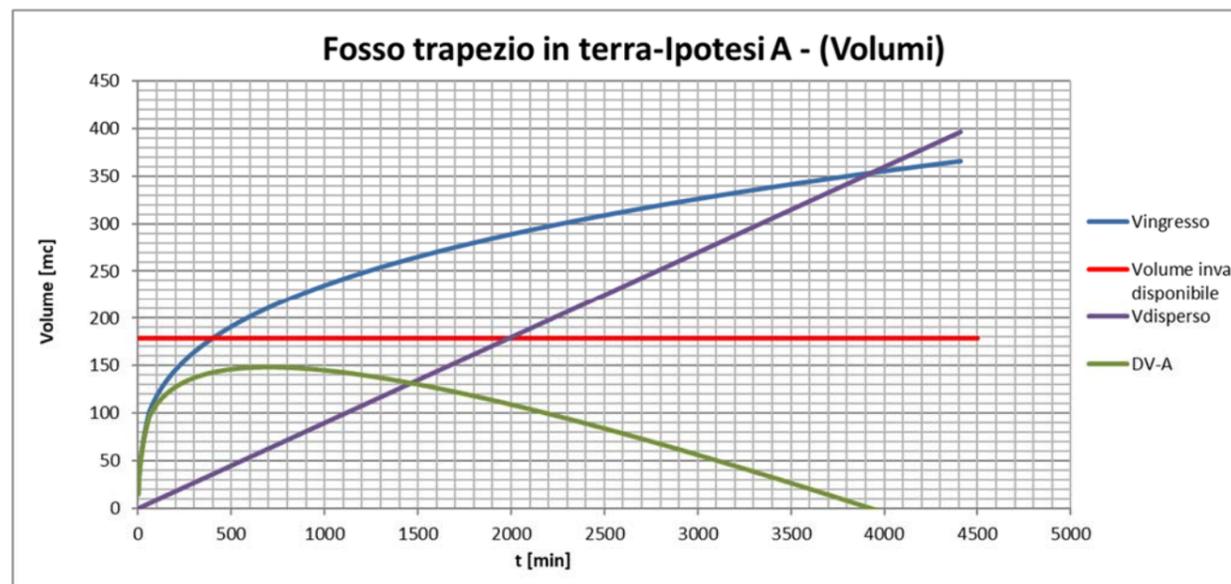
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{filtr, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
21.65	0.000219	27.50	37.79	0.00	27.20	OK	56.69	0	OK

DCN07 e DCN08

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
1665	0.9	1498.5	0.14985
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000000		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.08991		



GEOMETRIA

CANALETTA RETTANGOLARE

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.18	0.00	0.70	0.83	210.00	0.001

VERIFICA

TIPO	V in vaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A CANALETTA RETTANGOLARE	178.70	0.0000	OK	1.2047

Verifiche tempi svuotamento

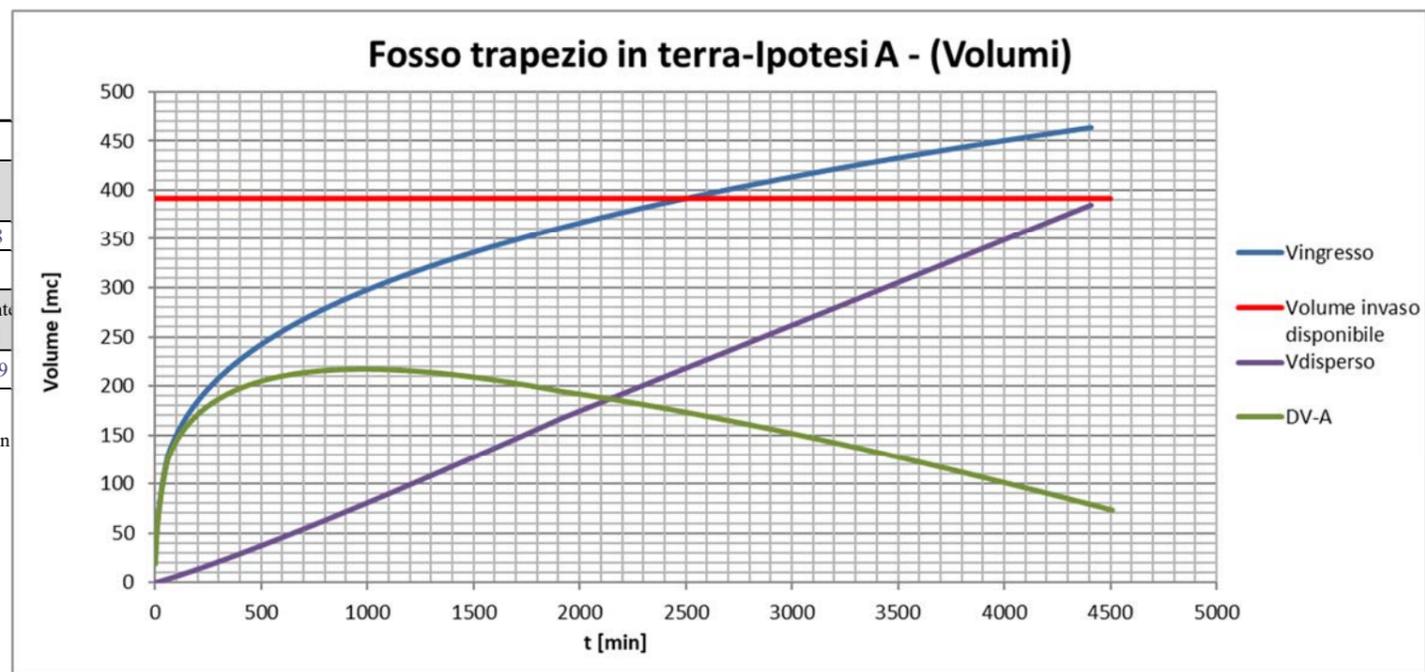
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{filt.,fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
148.33	0.001499	27.50	258.94	0.00	178.70	OK	388.41	0	OK

DFT15

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

PROGETTO		
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]
100	67.78	0.298
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffert _{te} [m ²]
2457	0.773260073	1899.9
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non
	0.0000015	
INVARIANZA		
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]	
0	0	



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b	H	s (c/H)	B	A_{fosso}	Lung	c
[m]	[m]	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m]
1.00	0.80	1.00	2.60	1.44	251.00	0.8

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	391.40	0.0015	OK	1.8026

Verifiche tempi svuotamento

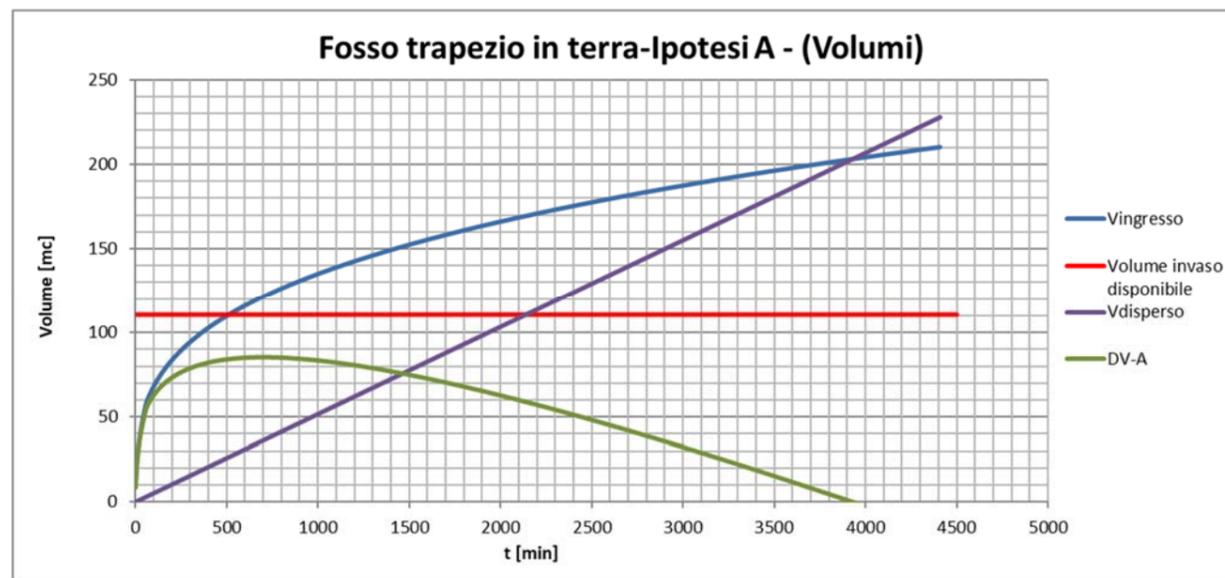
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{fit.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
217.14	0.001228	49.10	212.27	4.87	386.54	OK	318.41	0	OK

DCN15

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
990	0.87010101	861.4	0.08614
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000000		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.051684		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.18	0.00	0.70	0.83	130.00	0.001

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	110.50	0.0009	OK	1.2960

Verifiche tempi svuotamento

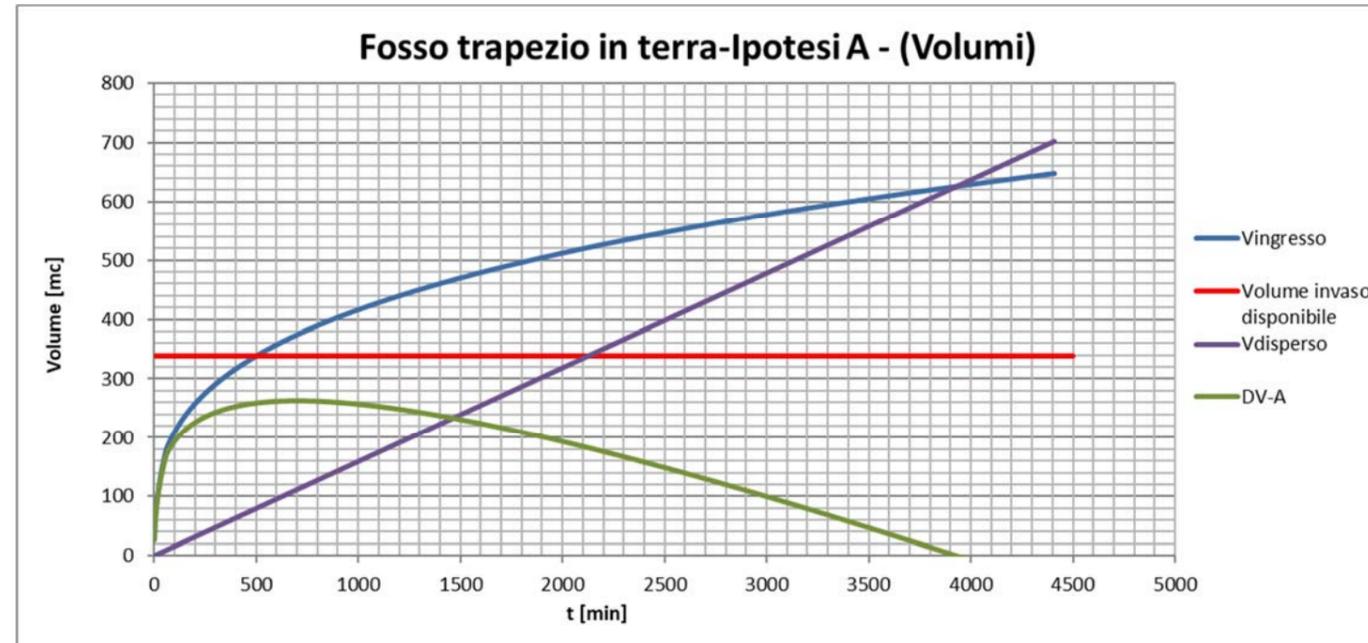
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{fil.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
85.27	0.000861	27.50	148.85	0.00	110.50	OK	223.27	0	OK

DCN14

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m2]	Saffernte [ha]
2950	0.9	2655	0.2655
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000000		
INVARIANZA			
u [1/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.1593		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b	H	s (c/H)	B	A _{fosso}	Lung	c
[m]	[m]	[-]	[m]	[m ²]	[m]	[m]
0.70	1.18	0.00	0.70	0.83	399.00	0.001

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza ¹
A Fosso trapezio	338.89	0.0027	OK	1.2895

Verifiche tempi svuotamento

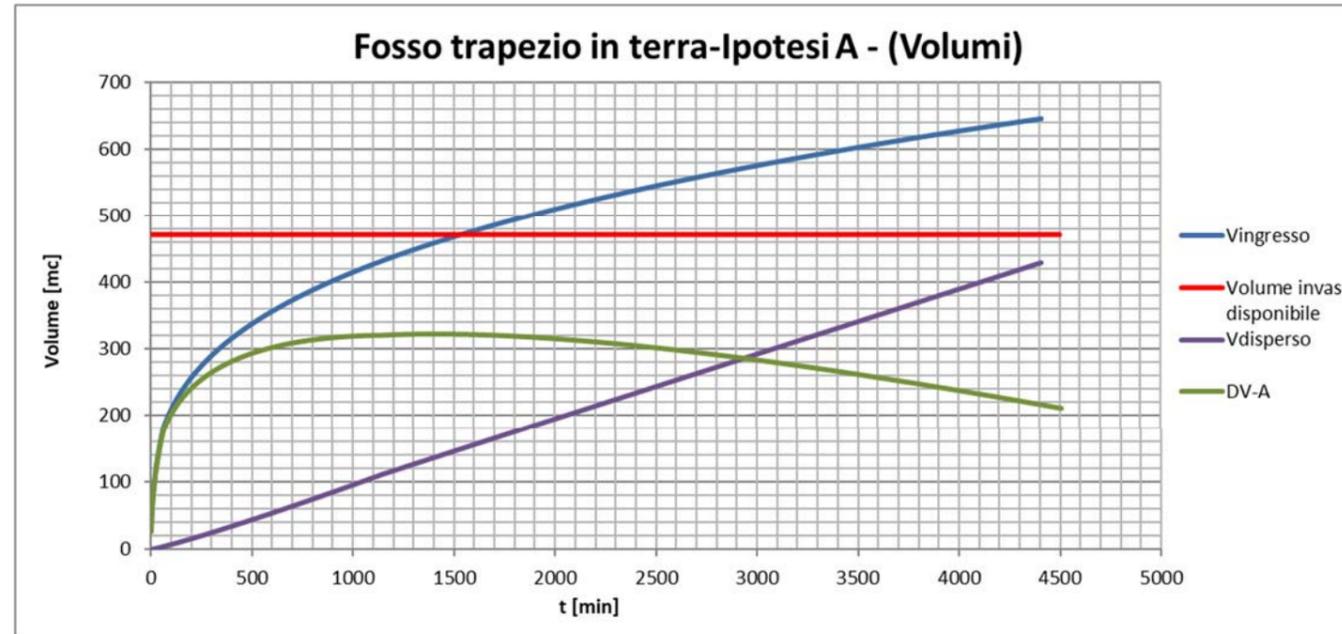
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	Q _{filtr.fosso} [m ³ /s]	t _{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
262.81	0.002655	27.50	458.78	0.00	338.89	OK	688.18	0	OK

PFT09

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t < 1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
3139.00	0.842656897	2645.1	0.26451
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.000001		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
0	0		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra						
b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.00	0.80	1.00	2.60	1.44	300.00	0.8

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	471.12	0.0016	OK	1.4620

Verifiche tempi svuotamento

(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{filt, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
322.24	0.001370	65.32	236.80	85.45	385.67	OK	355.20	0	OK

PT08

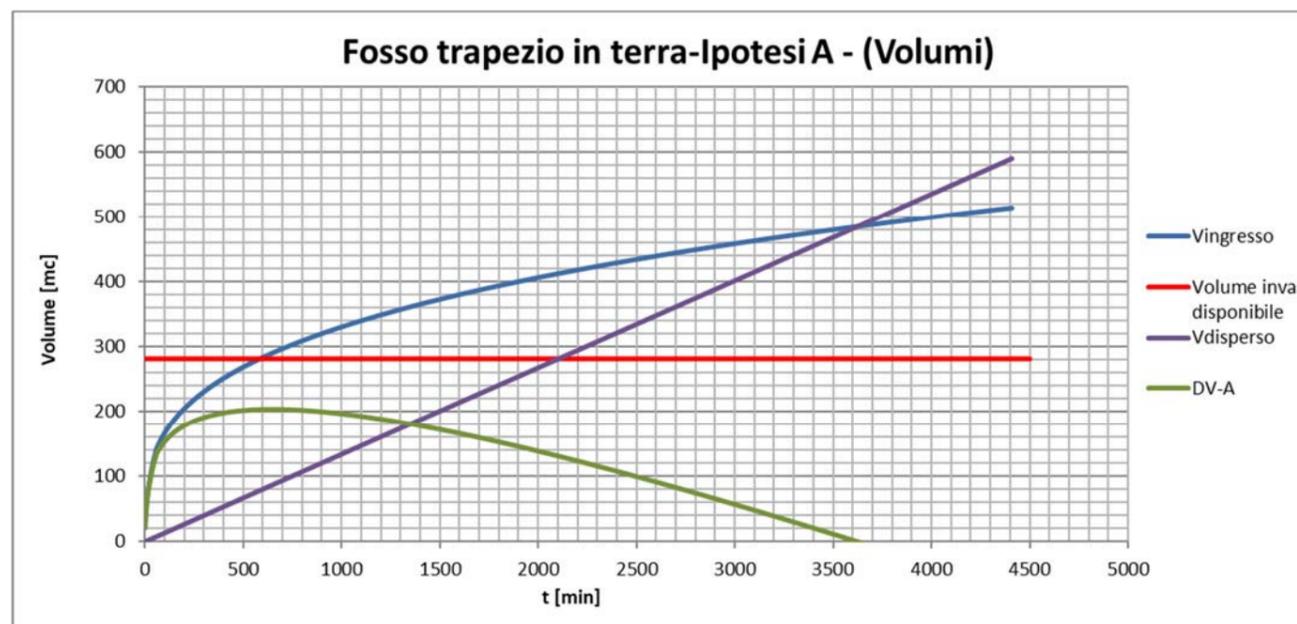
Verifica effettuata secondo il capitolo 6.

TUBAZIONE	calcolo superfici			S	L	i	k_s	v_{0s}	u	Q	DN	D interno	y/D	v	S'	ϕ_{medio}	$V_{0c} \text{ monte}$	y	V_0	$V_{0c} \text{ collettore}$	$V_{0c} \text{ collettore}$	$V_{0c} \text{ tot}$
	S_{imp}	S_{scar}	S_{est}																			
PT08	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	mm	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³		m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	15.00	0.005	80	0	262.6	104.30	400	0.3766	68.00	1.29	0.39720	0.891	24.97	0.2561	67.546	1.2099	3.046	107.19

PFT08

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	n' ($t < 1$) [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
2432	0.866200658	2106.6	0.21066
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000002		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.126396		



GEOMETRIA

A- FOSSO DISPERDENTE in terra

b [m]	H [m]	s (c/H) [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
1.00	1.00	1.00	3.00	2.00	137.00	1

VERIFICA

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
A Fosso trapezio	281.30	0.0022	OK	1.3819

Verifiche tempi svuotamento

(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{filtr.fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
203.55	0.002230	25.36	385.32	0.00	281.30	OK	577.98	0	OK

DFR05

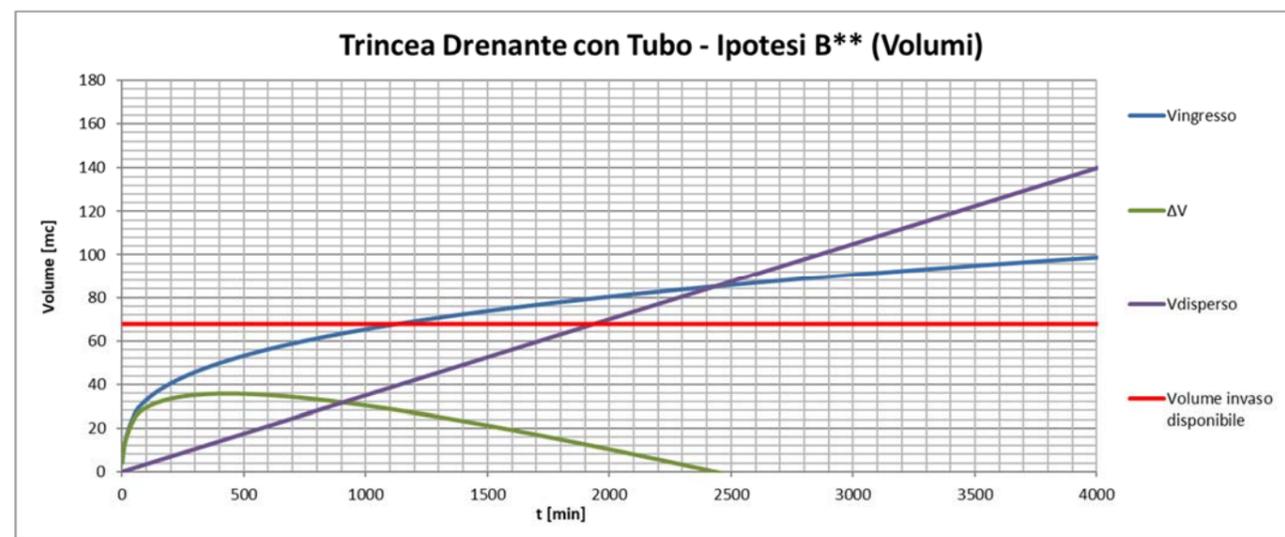
Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

DATI DI PROGETTO			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
515.3	0.808402872	416.57	0.041657
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000015		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	v [m ³ /min]		
10	0.0249942		

B-TRINCEA DRENANTE rettangolare con tubo fessurato orizzontale			
b [m]	H_{max} [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]
1.50	1.00	1.50	74.00

TUBO distr.			
Dintorno [m]	N. tubi [-]	A_{tubo} [m ²]	altezza tubo scarico [m] B**
0.50	1.00	0.20	0.20

Trincea con tubo			
$A_{trincea\ netta}$ [m ²]	porosità n [-]	$A_{netta} * 30\%$ [m ²]	% vuoti media intera sez.
1.30	0.3	0.39	0.39



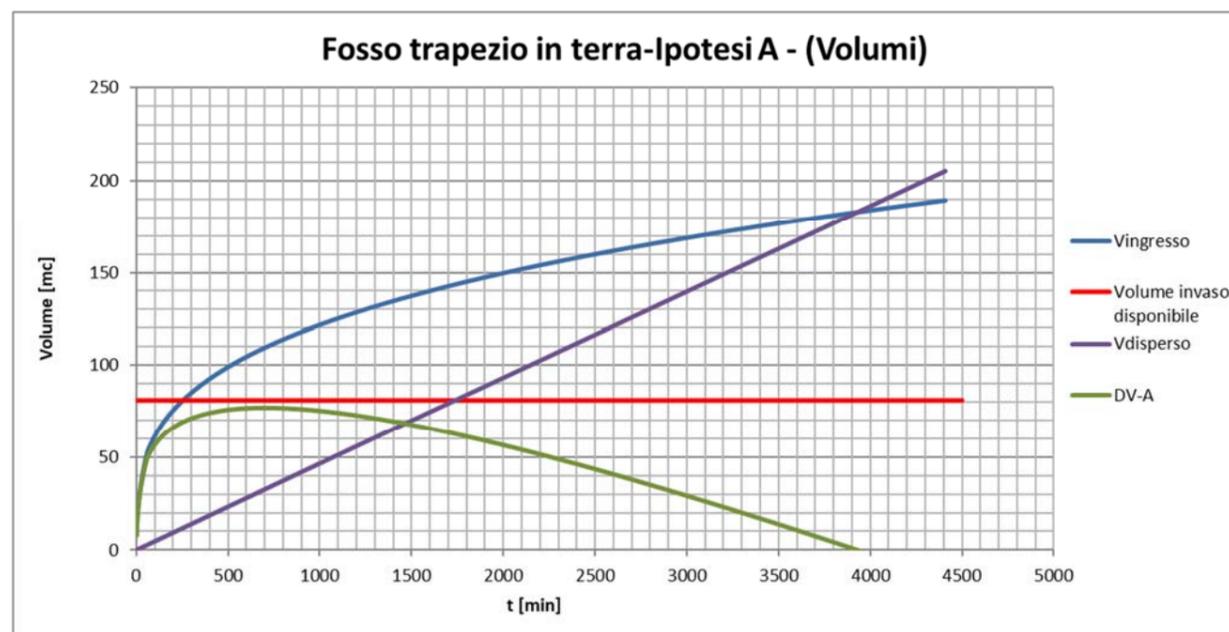
TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza
B** Tr. Drenante con laminazione (invarianza)	67.69	0.0004	OK	1.8936

V max invasato [m ³]	$Q_{fil.,fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
35.75	0.0002	47.08	36.44	0.00	67.69	OK	54.67	0	OK

PCN06

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.2

DATI			
T_{rit} [anni]	a [mm/h]	n [-]	$n' (t<1)$ [-]
100	67.78	0.298	0.464
$S_{bacino\ tot}$ [m ²]	ψ_{medio} [-]	Saffernte [m ²]	Saffernte [ha]
914.9	0.848409662	776.21	0.077621
0			
permeabilità	K [m/s]*	*in caso di k stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5	
	0.0000000		
INVARIANZA			
u [l/s/ha]	V [m ³ /min]		
10	0.0465726		



GEOMETRIA

CANALETTA RETTANGOLARE

b [m]	H [m]	$s (c/H)$ [-]	B [m]	A_{fosso} [m ²]	Lung [m]	c [m]
0.70	1.20	0.00	0.70	0.84	93.00	0.001

TIPO	V invaso [m ³]	Q filtrazione max [m ³ /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza ¹
A CANALETTA RETTANGOLARE	80.98	0.0008	OK	1.0539

Verifiche tempi svuotamento

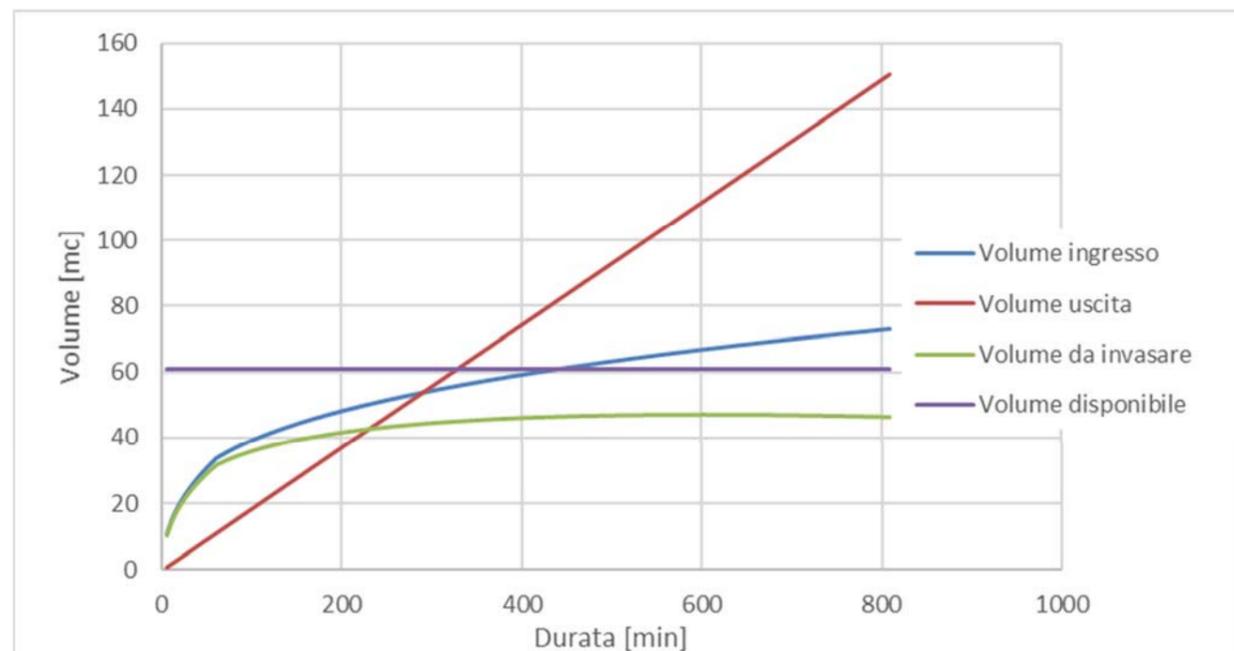
(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di curata critica)

V max invasato [m ³]	$Q_{filt, fosso}$ [m ³ /s]	t_{svuot} [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Verifica secondo evento (Regione Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
76.83	0.000776	27.50	134.13	0.00	80.98	OK	201.19	0	OK

PT03

Verifica effettuata secondo il capitolo 9.1.2.

Durata di pioggia		Sup. Bacino	Dati dell'equazione pluv.			Coeff. di deflusso	Altezza di pioggia	Volume entrante	Coeff. udometrico	Portata uscente		Volume uscente	Volume da invasare
t_p	t		a	n	ϕ					Q_u	Q_u		
(min)	(ore)	(ha)	(mm)			(mm)	(m^3)	[l/(s ha)]	(l/s)	(m^3/ora)	(m^3)	(m^3)	
605	10.08	0.055	67.783	0.298	0.9	135	66.8	10	0.6	1.98	19.97	46.84	



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 112 di 114

VERIFICA COLLETTORI

Verifica effettuata secondo il capitolo 6.

TUBAZIONE	S	L	i	k _s	v _{0s}	u	Q	DN	D interno	y/D	v	S'	Φ _{medio}	V _{0c} ' monte	y		V ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot
	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	mm	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³			m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
DT01	0.0000	1.20	0.005	80	0	416.9	53.02	315	0.2966	66.00	1.10	0.1272	0.9	6.359	0.1958		14.772	0.0581	0.456	66.1468
SCARICHI FINAZZI	0.0000	1.00	0.003	80	0	589.0	7.66	200	0.1882	49.00	0.56	0.01300	0.9	0.65	0.0922		1.1196	0.0136	1.043	36.1196
PT05-PT04	0.0000	16.00	0.003	80	0	407.2	13.19	250	0.2354	48.00	0.64	0.03240	0.9	1.62	0.113		3.8404	0.3304	10.199	68.5322
DT09	0.0000	17.50	0.003	80	0	307.8	30.37	315	0.2966	54.00	0.80	0.09869	0.895	6.16725	0.1602		14.736	0.6661	6.750	86.8326
DT10	0.0000	17.50	0.003	80	0	37.9	8.52	400	0.3766	19.00	0.58	0.22500	0.267	11.25	0.0716		21.941	0.2579	1.146	47.5162

VERIFICA CANALETTE

Verifica effettuata secondo il capitolo 6.

Canaletta	calcolo superfici			S	L	i	k _s	φ	v _{0s}	u	Q	Altezza	Base	y/D	v	S'	Φ _{medio}	V _{0c} ' monte	y0	V ₀	V _{0c} collettore	V _{0c} collettore	V _{0c} tot
	S _{imp}	S _{scar}	S _{est}																				
	ha	ha	ha	ha	m	m/m	m ² s ⁻¹	-	m ³ ha ⁻¹	l s ⁻¹ ha ⁻¹	l s ⁻¹	m	m	%	m s ⁻¹	ha		m ³		m ³	m ³	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
DCN04-1	0.02858	0	0	0.028575	32	0.007	66.67	0.90	50	653.94815	18.686568	0.4	0.4	16	0.73	0.03	0.9	0	0.064	2.248	0.819	28.6684	28.6684
DCN05	0.12718	0	0	0.12718	155	0.008	66.67	0.90	50	418.84725	53.268994	1	0.7	8	0.99	0.13	0.9	0	0.077	14.714	8.355	65.6904	65.6904
DCN11	0.02196	0.0027	0	0.02466	28	0.007	66.67	0.88	50	622.71942	15.356261	0.5	0.5	9	0.68	0.02	0.8781	0	0.045	1.863	0.63	25.5474	25.5474
DCN10	0.07403	0	0	0.074025	105	0.002	66.67	0.90	50	361.01227	35.626496	0.7	0.7	14	0.52	0.1	0.8945	1.233	0.098	12.767	7.203	72.9898	79.3738
DCN13	0.13607	0	0	0.136065	193	0.002	66.67	0.90	50	263.92948	35.911565	0.5	1.2	12	0.50	0.14	0.9	0	0.06	20.699	13.9	102.128	102.128
PCN11	0.1857	0.0435	0	0.229	250	0.002	66.67	0.86	50	280.83052	64.366355	0.5	0.5	37	0.70	0.23	0.862	0	0.185	34.585	23.13	100.894	100.894

MANUFATTI DI REGOLAZIONE ALLO SCARICO

Si riportano i tabulati di dimensionamento dei manufatti di regolazione allo scarico, composti da luce a battente e soglia sfiorante, dimensionanti secondo il capitolo 9.2.3.

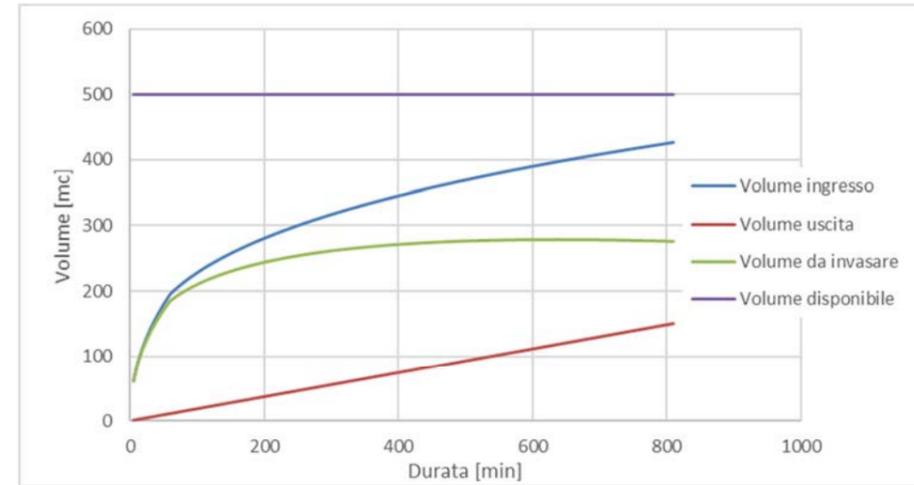
Codice	Tipo	D	H battente	Q	
		m	m	mc/s	
PCN06 - MP17	Luce a battente	0.0212041	0.8	0.0008394	
		L	h	Q	
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1.2	0.0875206	0.0529855	
	PCN01 - MP1	Luce a battente	0.0158916	1	0.0005271
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		0.7	0.069932	0.0220761	
DFT04 - MD12		Luce a battente	0.021857	0.5	0.000705
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1.4	0.164438	0.1592	
	PFT07 - MP25	Luce a battente	0.0361663	0.76	0.0023802
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1	0.1172326	0.0684515	
DCN06 - MD7		Luce a battente	0.0134398	0.6	0.000292
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		0.7	0.0465864	0.0120032	
	DFR05 - MD15	Luce a battente	0.0604824	0.3	0.0041822
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1	0.058444	0.0240946	
PCN02 - MP2		Luce a battente	0.0226002	0.3	0.000584
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		0.7	0.0848482	0.0295034	
	PFT10 - MP29	Luce a battente	0.01	0.93	0.0002
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		2.5	0.13	0.2026	
PFT04 - MP24		Luce a battente	0.0329424	0.6	0.0017546
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1	0.0969821	0.0515048	
	DCN08 - MP6	Luce a battente	0.02705	0.98	0.001512
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1.3	0.0970277	0.0670035	
DCN03 - MD3		Luce a battente	0.013254	1	0.0003667
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		0.7	0.0564702	0.0160191	
	PCN04 - MP4	Luce a battente	0.0226002	0.8	0.0009536
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		0.9	0.1049157	0.0521571	
DFT13 - MD19		Luce a battente	0.0237327	0.32	0.0006651
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1.5	0.0867885	0.0654025	
	PFR03 - MP23	Luce a battente	0.049419	0.3	0.0027921
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1.3	0.0901381	0.0599952	
DCN14 - MD21		Luce a battente	0.0362968	1	0.00275
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1.5	0.1279015	0.1170078	
	DCN01 - MD1	Luce a battente	0.0165207	0.8	0.0005096
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		0.7	0.0722986	0.0232062	
DCN02 - MD2		Luce a battente	0.0138788	0.2	0.0001798
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		0.6	0.0063387	0.0005164	
	DFT12 - MD18	Luce a battente	0.0175196	0.32	0.0003624
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1.5	0.1112936	0.0949745	
PFT01 - MP15		Luce a battente	0.0377897	0.6	0.0023089
			L	h	Q
	Sfioro	m	m	mc/s	
		1.8	0.104031	0.1029976	
	PFT08 - MP28	Luce a battente	0.0338451	0.8	0.0021386
			L	h	Q
Sfioro		m	m	mc/s	
		1.8	0.0796603	0.0690153	

AREE DI LAMINAZIONE E DISPERSIONE

Aree dimensionate secondo il capitolo 9.1.1.

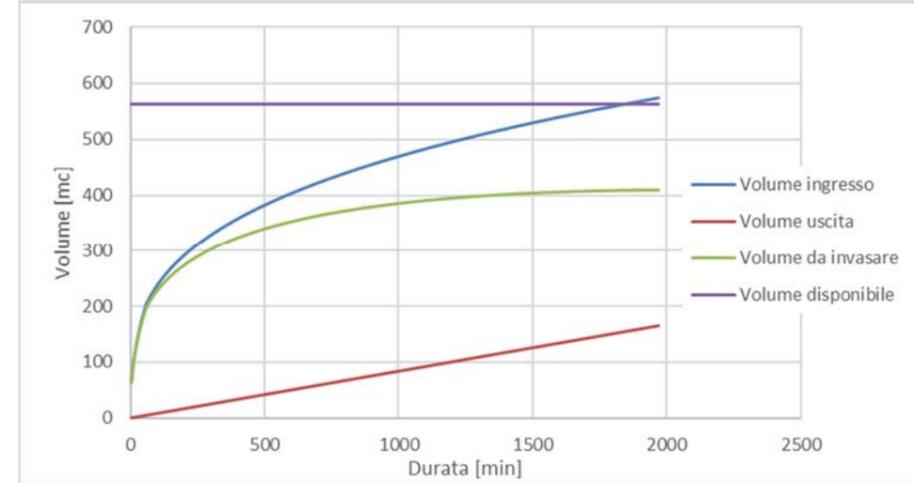
PA03

												V_{min} 278.56	
Durata di pioggia		Sup. Bacino		Dati dell'equazione pluv.		Coeff. di deflusso	Altezza di pioggia	Volume entrante	Coeff. udometrico	Portata uscente		Volume uscente	Volume da invasare
t _p	t	S	a	n	φ	h	V _e	u	Q _u	Q _u	V _u	V	
(min)	(ore)	(ha)	(mm)			(mm)	(m ³)	[l/(s ha)]	(l/s)	(m ³ /ora)	(m ³)	(m ³)	
635	10.58	0.3563	67.783	0.298	0.813	137	396.7	9	3.1	11.16	118.13	278.56	



DA01

												V_{min} 278.56	
Durata di pioggia		Sup. Bacino		Dati dell'equazione pluv.		Coeff. di deflusso	Altezza di pioggia	Volume entrante	Coeff. udometrico	Portata uscente		Volume uscente	Volume da invasare
t _p	t	S	a	n	φ	h	V _e	u	Q _u	Q _u	V _u	V	
(min)	(ore)	(ha)	(mm)			(mm)	(m ³)	[l/(s ha)]	(l/s)	(m ³ /ora)	(m ³)	(m ³)	
2090	34.83	0.3597	67.783	0.298	0.832	195	584.5	4	1.4	5.01	174.56	409.97	



DA02

												V_{min} 278.56	
Durata di pioggia		Sup. Bacino		Dati dell'equazione pluv.		Coeff. di deflusso	Altezza di pioggia	Volume entrante	Coeff. udometrico	Portata uscente		Volume uscente	Volume da invasare
t _p	t	S	a	n	φ	h	V _e	u	Q _u	Q _u	V _u	V	
(min)	(ore)	(ha)	(mm)			(mm)	(m ³)	[l/(s ha)]	(l/s)	(m ³ /ora)	(m ³)	(m ³)	
270	4.50	0.4123	67.783	0.298	0.578	106	252.9	11	4.7	16.80	75.58	177.29	

