

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - 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 9 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	G.Grimald 	Febbraio 2021	S.Scafa 	Febbraio 2021	M. Berlingieri 	Febbraio 2021	

File: NB1R09D26RIID0002001A

n. Elab.:

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	6
4. COMPATIBILITÀ IDRAULICA	9
4.1. PIANO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	9
4.2. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	13
4.3. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	15
5. IDROLOGIA.....	17
5.1. CURVE PER DURATE SUPERIORI AD UN’ORA	17
5.2. CURVE PER DURATE INFERIORE AD UN’ORA-PIOGGE BREVI	18
5.3. VALORI ADOTTATI	19
6. PRINCIPALI INTERFERENZE IDRAULICHE NELLE AREE DI PROGETTO	20
6.1 Interferenze idrauliche esistenti	20
7. SISTEMA DI DRENAGGIO	25
7.1. METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI	25
7.2. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEGLI ELEMENTI DI RACCOLTA	28
8. DIMENSIONAMENTO ELEMENTI DI DRENAGGIO.....	30
8.1. SEDE FERROVIARIA - DIMENSIONAMENTO SEZIONE CON BARRIERA ANTIRUMORE	30
8.2. PIAZZALE TE	32
8.3. VIADOTTO	33
9. INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA NORMATIVA VIGENTE.....	36
10. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA	39

1. PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto lo studio idraulico eseguito nell’ambito del Progetto Definitivo del raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo.

In particolare il lotto in esame riguarda le opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio – Bergamo. Relativamente al raddoppio della linea ferroviaria nel presente lotto si è proceduto alla realizzazione del sistema di drenaggio da pk 1+260a pk 1+050 comprendendo i due viadotti su via dei Caniana e via S. Bernardino.

Il Progetto Definitivo generale 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.

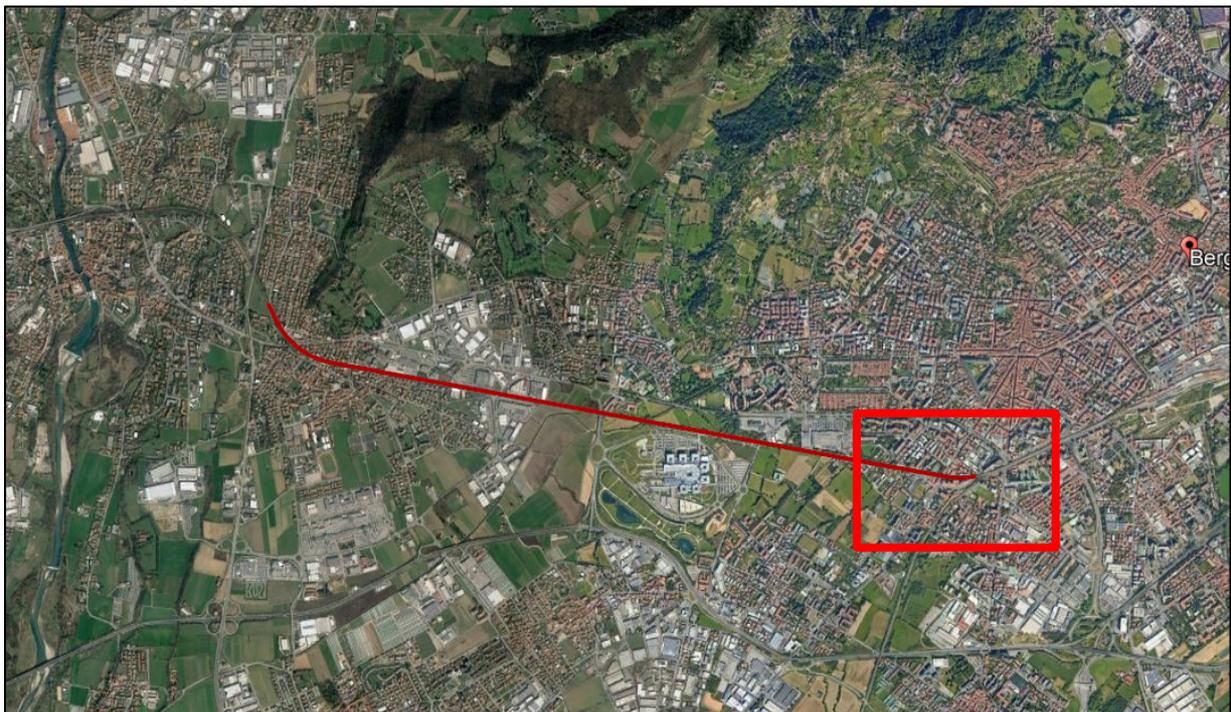


Figura 1.1 - Localizzazione interventi.

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, con riferimento al lotto 9, vista l'assenza di interferenze delle opere in progetto con il reticolo idrografico è rivolto al dimensionamento idraulico del sistema di raccolta ed invaso (invarianza idraulica) delle opere di drenaggio ferroviario e del piazzale TE.

In sintesi, nella presente relazione si riporta:

- la verifica della compatibilità idraulica del progetto di raddoppio (e delle opere conseguenti) secondo gli strumenti normativi vigenti;
- la descrizione e verifica del sistema di drenaggio delle acque di piattaforma ferroviaria e del piazzale TE.

Si rimanda alla relazione idrologica per la classificazione delle curve di pioggia.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo PROGETTO DEFINITIVO												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>09</td> <td>D 26 RI</td> <td>ID 000 2 001</td> <td>A</td> <td>4 di 41</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	4 di 41
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	4 di 41								

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. aggiornamento 2020);
- 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

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”.

3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

Considerando il progetto definitivo nella sua interezza, l'area interessata 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.

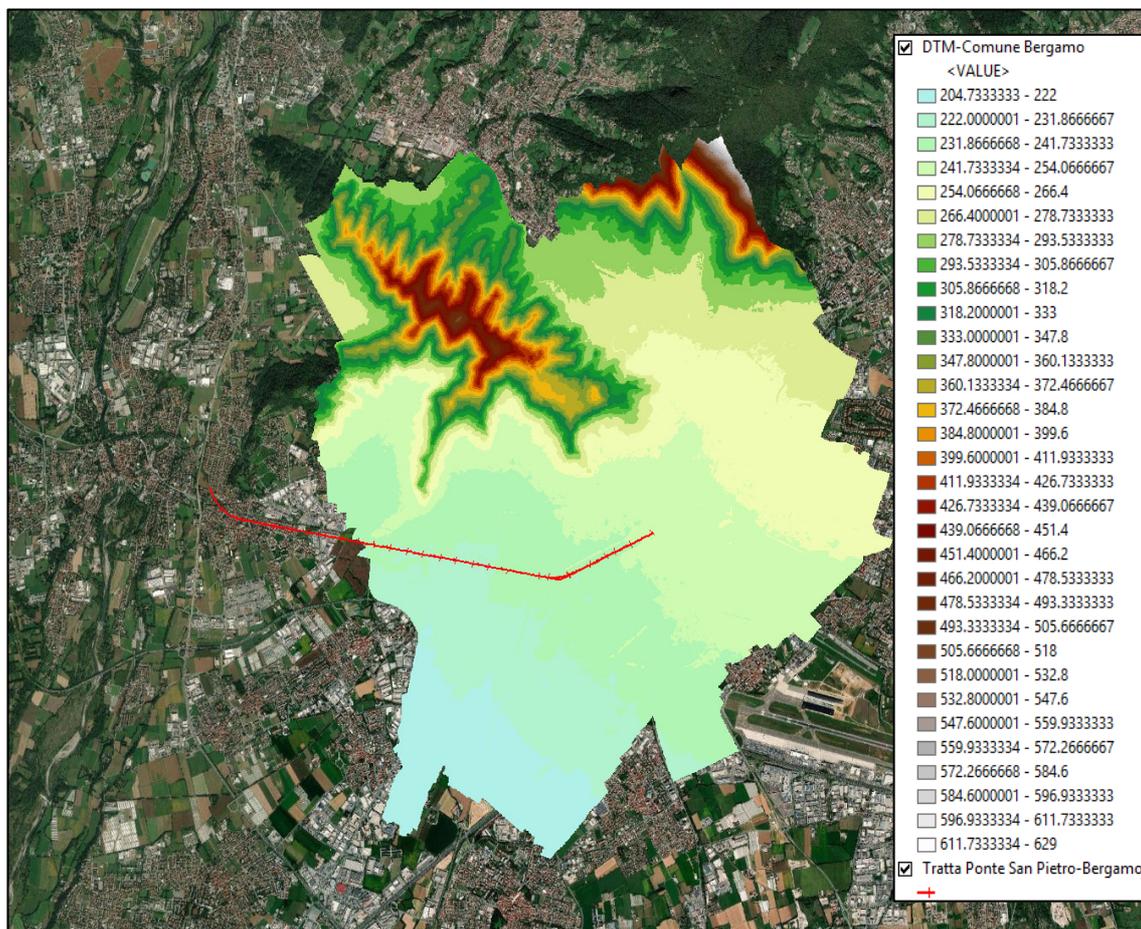


Figura 3.1 - Estratto cartografico con DTM e tratta ferroviaria Ponte San Pietro-Bergamo.

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:

ID opera	Canale Irriguo	Progr [km]
IN02	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso	1+342,271
IN03	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo	1+438,369
IN04	Roggia Colleonesca	1+463,043
IN05	Roggia Oriolo Solza	1+701,095
IN07	Roggia Piuggia di Loreto	2+741,820
IN08	Roggia Piuggia di Loreto	3+281,776
VI05	Roggia Serio	3+335,391
IN10	Scaricatore Valle d' Astino	3+721,206
IN11	Scaricatore Cascina Lupo	4+196,751
IN12	Roggia Curna	5+167,167

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 Moriana 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-MONTELLO LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo PROGETTO DEFINITIVO												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>09</td> <td>D 26 RI</td> <td>ID 000 2 001</td> <td>A</td> <td>9 di 41</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	9 di 41
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	9 di 41								

4. COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Con riferimento al progetto generale del raddoppio della linea ferroviaria, 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 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.

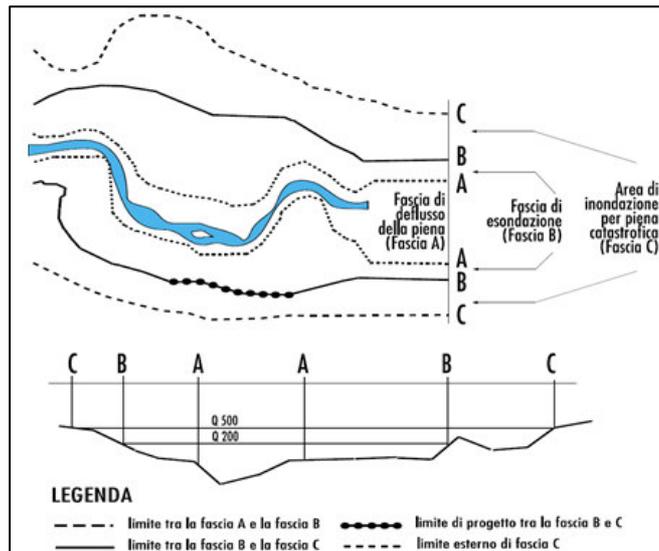


Figura 4.1 - Definizione grafica delle fasce fluviali.

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.

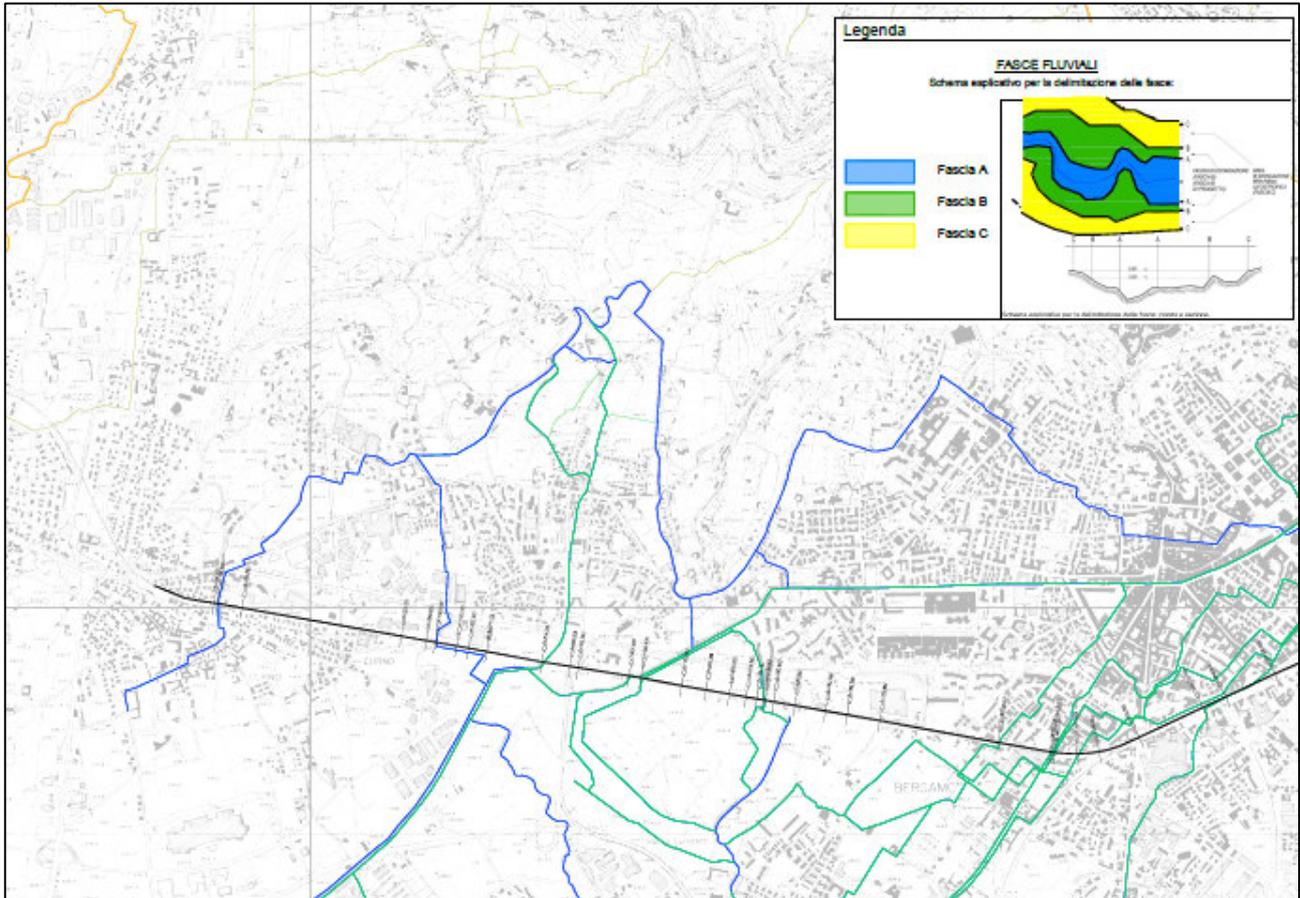


Figura 4.2 - Aree del PAI sovrapposte alla zona interessata dal raddoppio.

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 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.

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, aggiornate nel 2020 dal Comitato Istituzionale.

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.

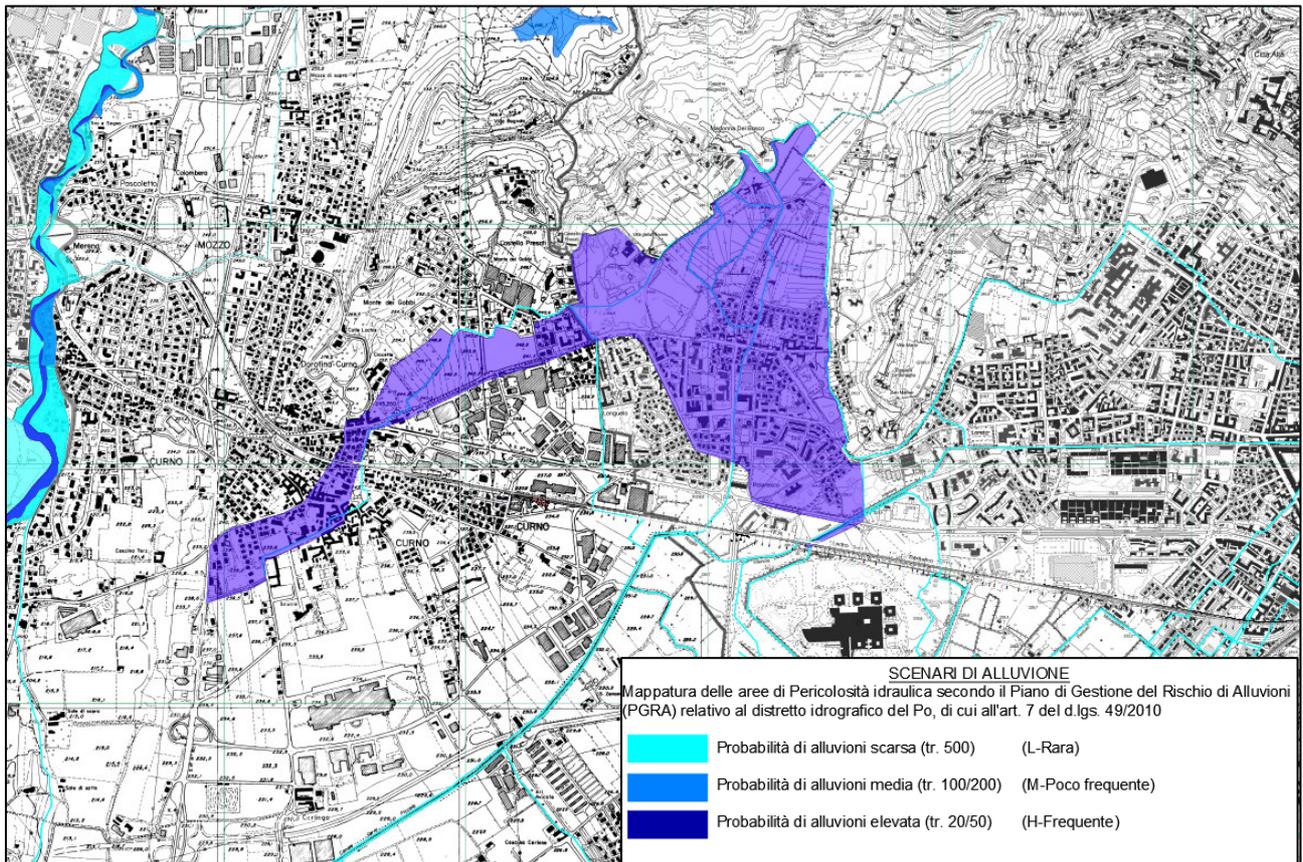


Figura 4.3 - Pericolosità Idraulica: Aree del PGRA sovrapposte alla zona interessata dal raddoppio.

La sovrapposizione del tracciato ferroviario con le aree di esondazione del PGRA del Distretto Padano evidenzia che l'asse ferroviario oggetto del lotto 9 del presente progetto non ricade in aree classificate a pericolosità idraulica.

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 (lotto 9) per il raddoppio della linea ferroviaria non ricade nelle fasce fluviali di esondazione ai sensi del PAI e nelle aree con pericolosità di alluvioni.

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.

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.

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 NB1R00D26RHID0002001.

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.

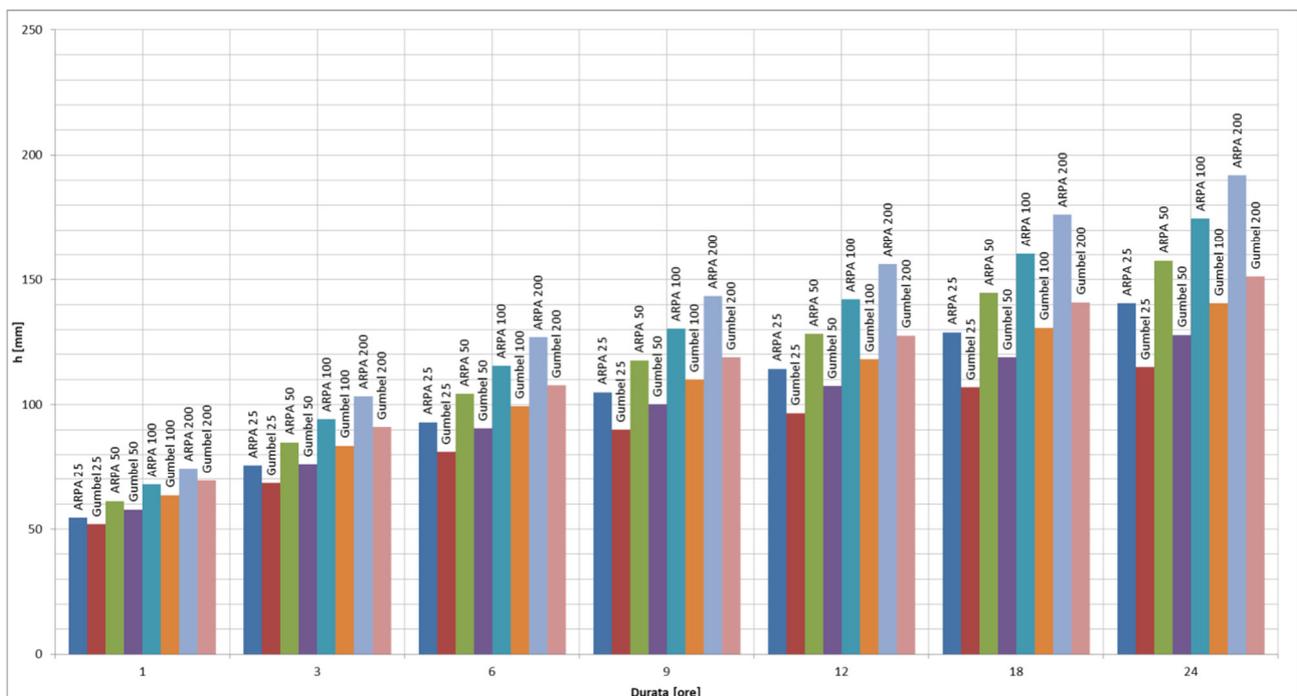


Figura 5.1 - Confronto curve massime Arpa e dati elaborati con Gumbel.

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_T 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.

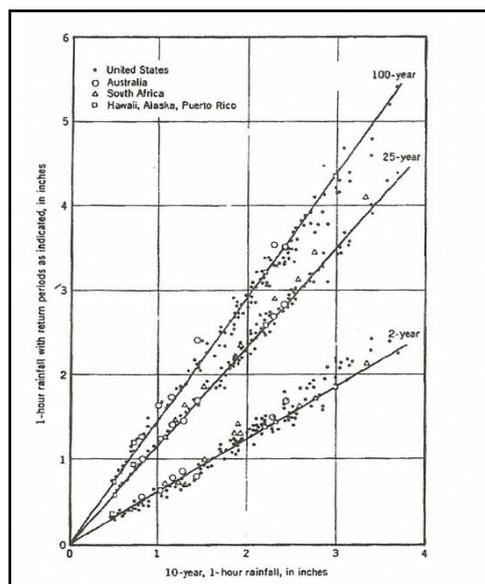


Figura 5.2 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni.

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.

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

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 $a_1 \cdot w_T$ ed n e le seguenti leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata superiore all'ora:

	t ≤ 1 ora				t > 1ora			
Tr [anni]	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**

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo

PROGETTO DEFINITIVO**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	20 di 41

6. PRINCIPALI INTERFERENZE IDRAULICHE NELLE AREE DI PROGETTO

Gli interventi in progetto prevedono il completamento delle opere propedeutiche al raddoppio della linea ferroviaria fino alla pk 1+040 circa. Gli interventi sulla sede ferroviaria sono previsti sull'attuale rilevato le cui dimensioni consentono l'inserimento del secondo binario.

Dal punto di vista di sede ferroviaria pertanto non emergono particolari criticità urbanistiche.

Tuttavia, la presenza dei due viadotti su via dei Caniana e via S. Bernardino comportano inevitabilmente l'instaurarsi di interferenze con le sottostanti viabilità in fase di realizzazione delle opere civili.

In particolari dovranno essere ripristinate a fine dei lavori le attuali infrastrutture idrauliche costituite da reti fognarie meteoriche e reti acque nere.

Le principali interferenze sono presenti in corrispondenza di via dei Caniana e nel sito in cui sarà realizzato il nuovo piazzale TE.

6.1 Interferenze idrauliche esistenti

Nella fase di studio del sistema di smaltimento dell'acqua meteorica del nuovo viadotto di scavalco di via dei Caniana e del nuovo piazzale della cabina TE è stata riscontrata la presenza di un sistema di drenaggio esistente in via dei Caniana (vasca interrata di accumulo e rilancio e un sifone idraulico della Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso), il cui funzionamento non risulta del tutto chiaro.

Dallo schema riportato a seguire, desunto da ricostruzioni in loco, le acque meteoriche di via dei Caniana sono raccolte da una serie di pozzetti con griglia e scaricate in una vasca (1), successivamente la portata è inviata mediante un sistema di pompaggio (2) verso un canale in cls che scarica all'interno di un sifone (3-4) presente sotto la viabilità.

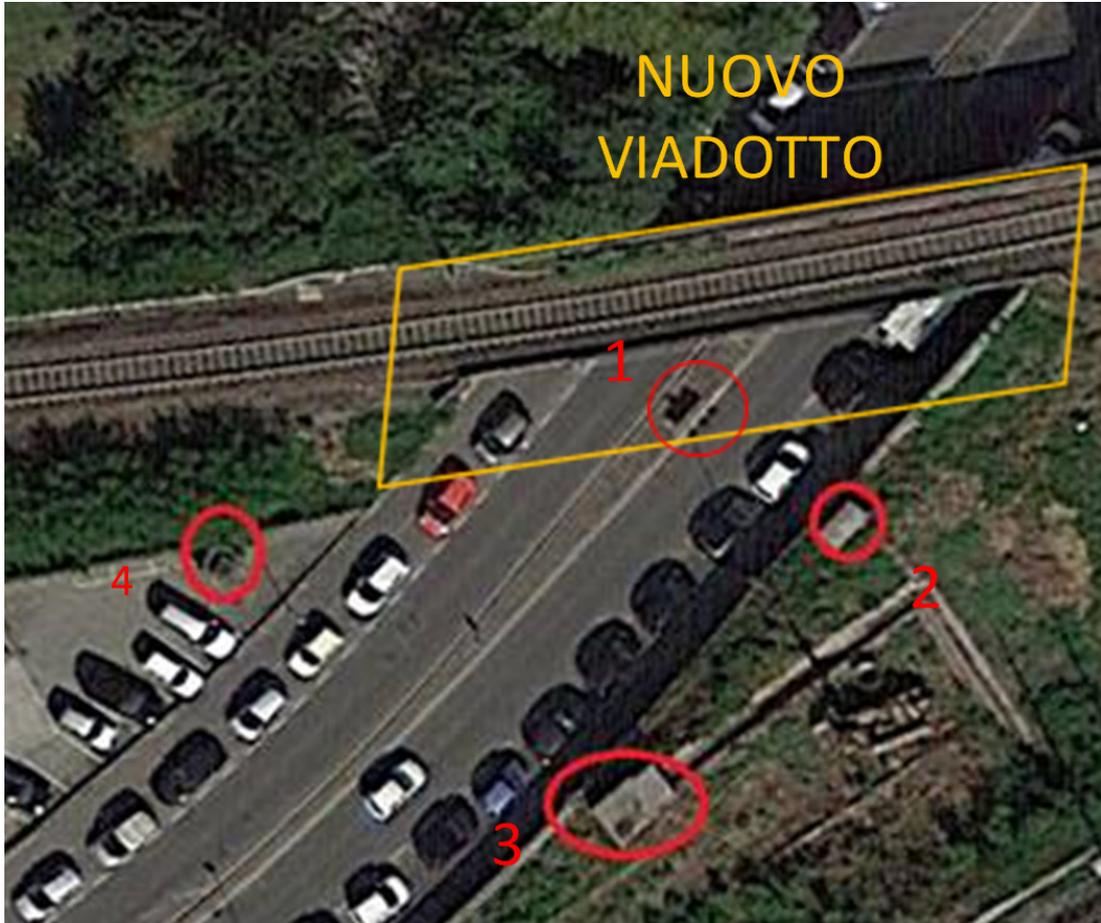


Figura 6.1 – Inquadramento elementi idraulici via dei Caniana.

Di seguito le immagini di dettaglio degli elementi evidenziati:



Figura 6.2 – Inquadramento 1.



Figura 6.3 - Inquadramento 2.



Figura 6.4 - Inquadramento 3.

Visto che la vasca di raccolta esistente di via dei Caniana potrebbe essere interferente con la nuova pila di progetto è stato necessario contattare gli enti gestori per conoscere l'esatto funzionamento del sistema. Sono stati quindi sentiti: Consorzio Bonifica, Uniacque e Comune di Bergamo. Gli enti ci hanno fornito alcune informazioni sulla loro rete (vedi immagine a seguire) che non hanno però chiarito nel complesso il funzionamento del sistema esistente.

- Uniacque

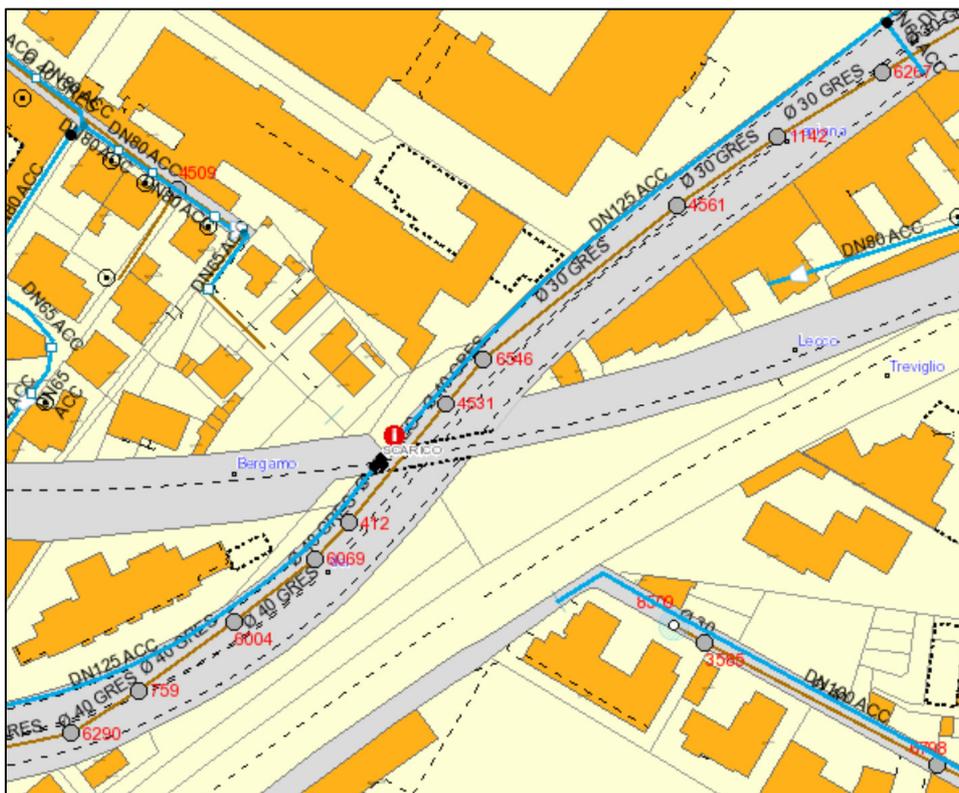


Figura 6.5 – Planimetria idraulica via dei Caniana di competenza di Uniacque.

- Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca

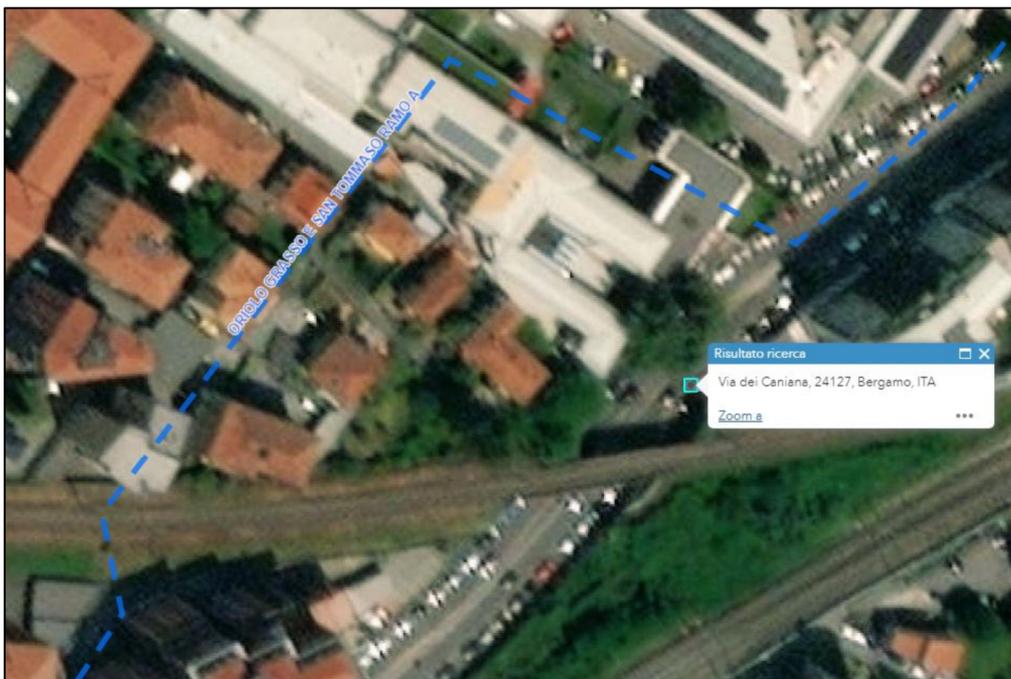


Figura 6.6 - I Planimetria idraulica via dei Caniana reticolo in gestione del Consorzio di Bonifica.

- Comune di Bergamo

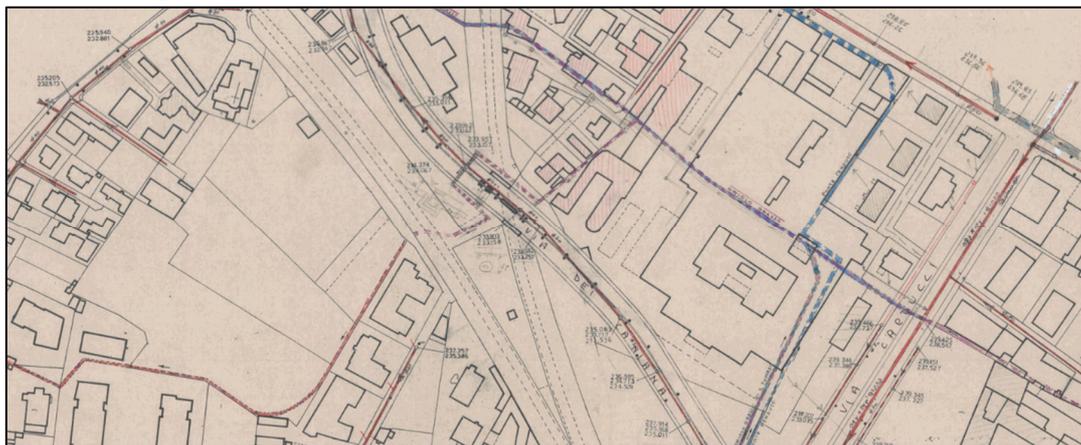


Figura 6.7 – Planimetria idraulica via dei Caniana di competenza Comunale (carta storica).

Dallo schema si nota la presenza di uno scolmatore che parte dal canale Oriolo Grasso che attraversa mediante il sifone via dei Caniana e prosegue verso sud.

Il consorzio, visionato lo schema, ci ha comunicato che tale scolmatore ad oggi non è più utilizzato dato che non è presente nel loro database, hanno però fatto presente che alcune rogge dismesse continuano a funzionare come vasche di accumulo.

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLA**

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo

PROGETTO DEFINITIVO**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	24 di 41

Vista la completa incertezza relativa all'attuale sistema di smaltimento si è optato per il rifacimento dell'intero sistema di raccolta/accumulo e rilancio. Si prevede:

- Il rifacimento del sistema di drenaggio per l'intera estensione delle aree di cantiere;
- La realizzazione su via dei Caniana di una vasca di accumulo di volume compatibile con la normativa vigente sull'invarianza idraulica a solo servizio del sistema di drenaggio stradale;
- Una vasca di accumulo sul piazzale TE di volume compatibile con la normativa vigente sull'invarianza idraulica a solo servizio del sistema di drenaggio ferroviario e del piazzale stesso.

Entrambe le vasche, al fine di un controllo dello scarico, sono dotate di impianto di sollevamento con recapito finale nella Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo PROGETTO DEFINITIVO												
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>09</td> <td>D 26 RI</td> <td>ID 000 2 001</td> <td>A</td> <td>25 di 41</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	25 di 41
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09	D 26 RI	ID 000 2 001	A	25 di 41								

7. SISTEMA DI DRENAGGIO

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.

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.

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 di 0.90 per la sede ferroviaria e le superfici del piazzale.

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:

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

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:

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a $0,4 \div 0,5 \text{ m/s}$, 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.

8. DIMENSIONAMENTO ELEMENTI DI DRENAGGIO

Il sistema di drenaggio previsto è costituito da un sistema di raccolta, collettamento, accumulo e recapito nella Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso nel rispetto dell'invarianza Idraulica delle acque meteoriche afferenti alla piattaforma ferroviaria ed al piazzale TE.

In particolare:

- Da pk 1+040 a pk 1+065 – Viadotto VI03 – Pluviali di intercettazione impalcato DN110 PVC con recapito al piede nel sistema di drenaggio stradale esistente con pluviale PVC DN160 e collettore DN315 PVC;
- Da pk 1+065 a pk 1+230 – la sede ferroviaria è realizzata con barriere antirumore per l'intera estensione Binario Dispari e parzialmente per il binario Pari. Il sistema di drenaggio è costituito da canalette rettangolari beolate a tergo delle barriere e da canalette rettangolare beolate tra il binario in progetto e la sede storica;
- Da pk 1+230 a pk 1+260 - Viadotto VI04 – Pluviali di intercettazione impalcato DN110 PVC con recapito al piede nell'adeguamento del sistema di drenaggio di via dei Caniana con pluviale PVC DN160 e collettore DN315 PVC.

8.1. SEDE FERROVIARIA - DIMENSIONAMENTO SEZIONE CON BARRIERA ANTIRUMORE

Le sezioni in rilevato in progetto sono caratterizzate dalla realizzazione di barriere antirumore.

Il sistema di drenaggio è costituito da canalette rettangolari 40x40cm e 60x110 cm realizzate a tergo delle barriere. Le acque meteoriche sono convogliate nella canaletta rettangolare attraverso dei fori delle barriere antirumore, posti ad interasse di 3 m.

Si rimanda all'elaborato NB1R09D26P8ID0002001A per la planimetria completa.

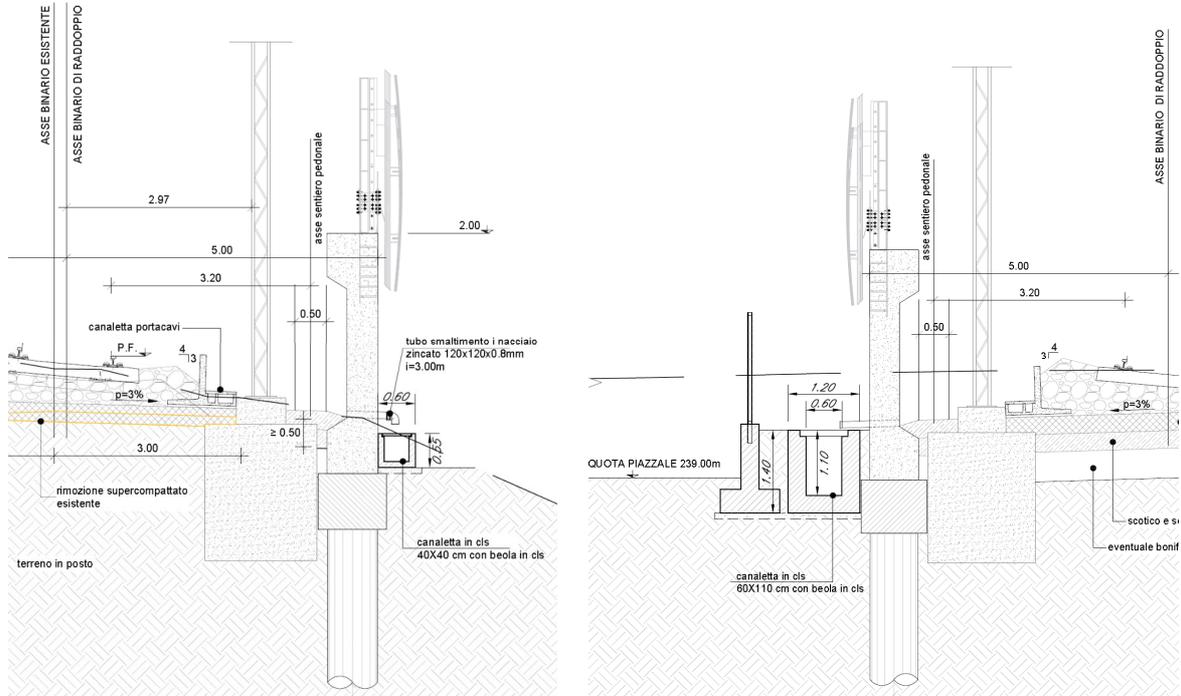


Figura 8.1 – Sezione tipo con barriera antirumore lato binario di progetto.

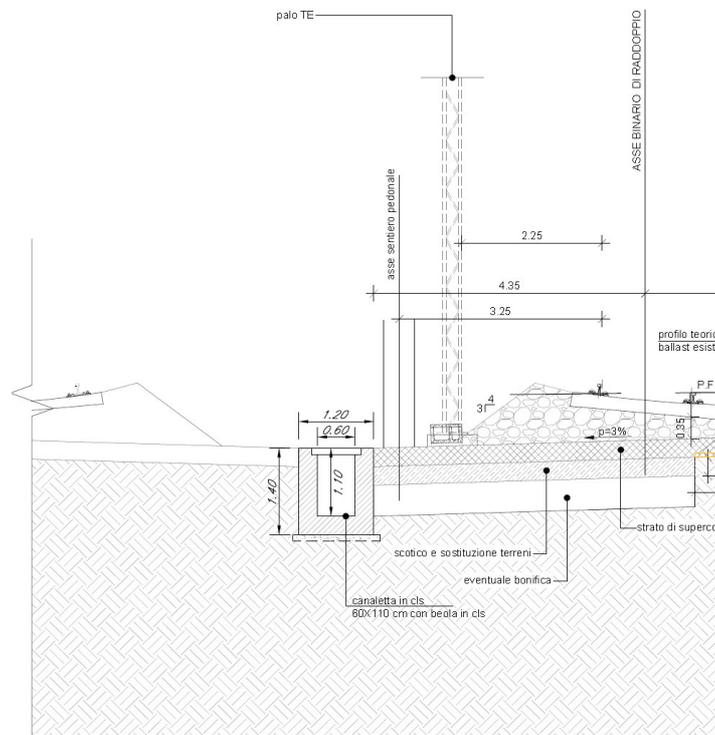


Figura 8.2 – Sezione tipo in affiancamento linea storica esistente.

8.2. PIAZZALE TE

Il sistema di drenaggio del piazzale è realizzato con caditoie grigliate e tubazioni interrate di diametro variabile in PVC SN8.

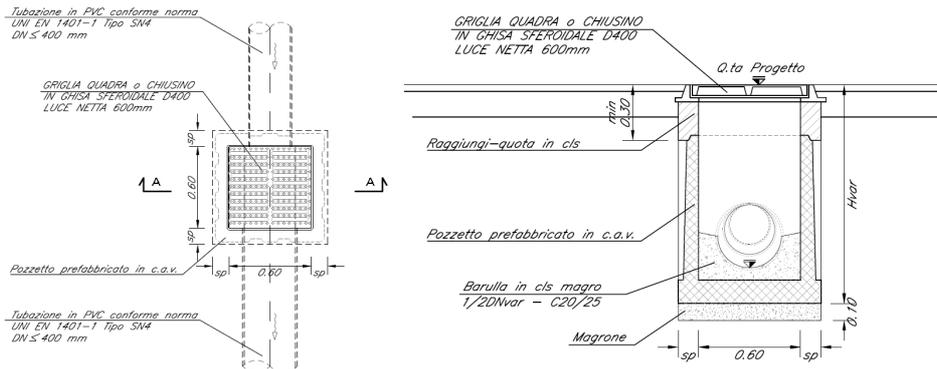


Figura 8.3 – Opera tipo di intercettazione.

Il recapito del sistema di drenaggio avviene nella vasca di accumulo realizzato nel piazzale stesso.

A tergo della recinzione con la linea storica Bergamo-Treviglio è prevista la realizzazione di una canaletta rettangolare 20x30 cm vista la necessità di inserire le barriere antirumore e quindi la modifica dell'attuale sistema di smaltimento. Il recapito di essa avviene nel sistema di drenaggio del piazzale attraverso un bocchettone DN160 in PVC realizzato sul muro di recinzione.

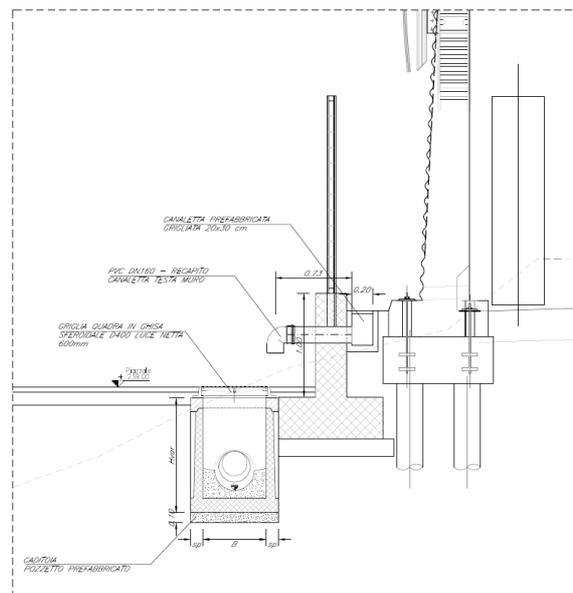


Figura 8.4 – Opera tipo di intercettazione.

Si rimanda all'elaborato NB1R09D26PAFA06A4001A per la planimetria completa.

8.3. VIADOTTO

La tipologia costruttiva dei due viadotti (Via dei Canaia e Via S. Bernardino) impone la realizzazione di un sistema di intercettazione e recapito costituito da pluviali DN110 in corrispondenza di ogni cassoncino e recapito al piede della spalla o della pila con un pluviale DN160mm in PVC.

Il recapito finale avviene nell'esistente sistema di drenaggio delle viabilità sottostanti.

Su via dei Canaia, vista la necessità di dover adeguare l'intero di sistema di drenaggio, il sistema di raccolta al piede trova recapito nei tratti di fognatura pluviale in progetto e quindi nella vasca di accumulo ai fini di garantire l'invarianza idraulica.

Per via S. Bernardino le opere di intercettazione dei pluviali trovano recapito nell'esistente sistema di drenaggio. Non sono previste opere particolari in quanto non si ha un aumento di superficie drenata dall'attuale sistema di drenaggio. L'attuale viadotto ferroviario, di cui è prevista la demolizione e successiva ricostruzione, trova naturale recapito sulla viabilità sottostante.

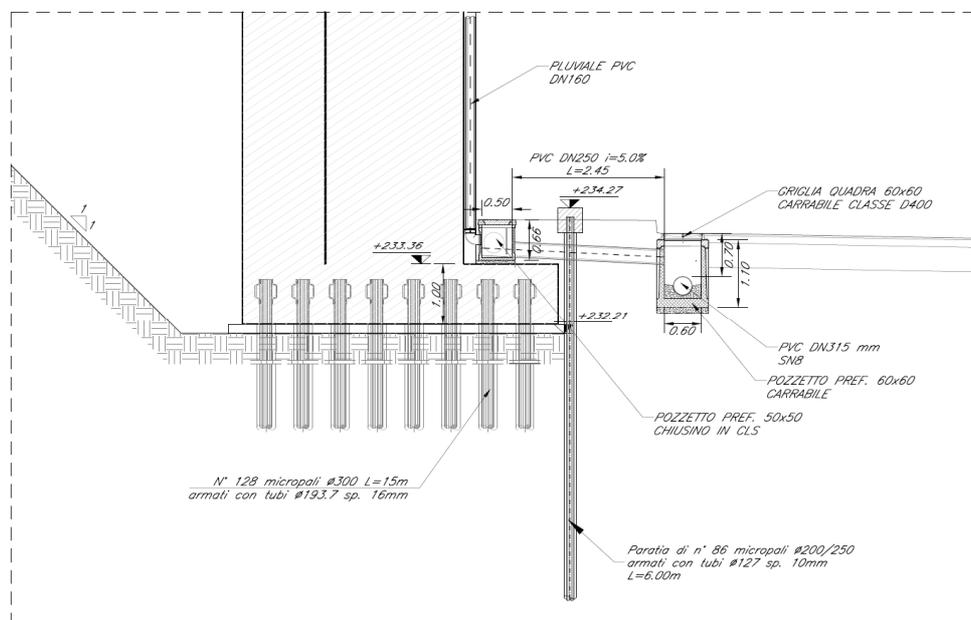


Figura 8.5 – Opera tipo di recapito pluviali del viadotto.

Il dimensionamento dei pluviali è stato condotto stimando la portata con il metodo razionale fissando il tempo di corrivazione pari a circa 10 minuti (scroscio) con parametri della legge di possibilità pluviometrica T=100 anni.

DATI - VI04		
a [mm/h ⁿ]	67,782	
n	0,464	
	177,1	[mm/h]
>I	0,000049	[m/s]
	17,7	[cm/h]
	600	[s]
Tempo di corrivazione	10	[minuti]
	0,167	[ore]
area tetto [m ²]	138	[m ²]
N° Pluviali	2	[-]
>Sup ogni pluviali [m ²]	69	[m ²]
>Sc	122	[m ²]
>Q	0,003	[m ³ /s]
	3,4	[l/s]
D pluviale	160	[mm]

Tabella 8.I – VI04 – Stima portata pluviale.

DATI - VI03		
a [mm/h ⁿ]	67,782	
n	0,464	
	177,1	[mm/h]
>I	0,000049	[m/s]
	17,7	[cm/h]
	600	[s]
Tempo di corrivazione	10	[minuti]
	0,167	[ore]
area tetto [m ²]	250	[m ²]
N° Pluviali	2	[-]
>Sup ogni pluviali [m ²]	125	[m ²]
>Sc	221	[m ²]
>Q	0,006	[m ³ /s]
	6,1	[l/s]
D pluviale	160	[mm]

Tabella 8.II – VI03 – Stima portata pluviale.

La verifica è effettuata con riferimento alla norma UNI EN 12056 – 3. I pluviali sono verificati anche con il 20% del grado di riempimento.

Diametro interno del pluviale d_f (mm)	Capacità idraulica Q_{RWP} (l/s)		Diametro interno del pluviale d_f (mm)	Capacità idraulica Q_{RWP} (l/s)	
	Grado di riempimento $f=0,20$	Grado di riempimento $f=0,33$		Grado di riempimento $f=0,20$	Grado di riempimento $f=0,33$
50	0,7	1,7	140	11,4	26,3
55	0,9	2,2	150	13,7	31,6
60	1,2	2,7	160	16,3	37,5
65	1,5	3,4	170	19,1	44,1
70	1,8	4,1	180	22,3	51,4
75	2,2	5,0	190	25,7	59,3
80	2,6	5,9	200	29,5	68,0
85	3,0	6,9	220	38,1	87,7
90	3,5	8,1	240	48,0	110,6
95	4,0	9,3	260	59,4	137,0
100	4,6	10,7	280	72,4	166,9
110	6,0	13,8	300	87,1	200,6
120	7,6	17,4	>300	Utilizzare l'equazione di Wyly-Eaton	Utilizzare l'equazione di Wyly-Eaton
130	9,4	21,6			

Nota
Sulla base dell'equazione di Wyly-Eaton:
$$Q_{RWP} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot k_b^{-0,167} \cdot d_f^{2,667} \cdot f^{1,667}$$

dove:
 Q_{RWP} è la capacità del pluviale, in litri al secondo (l/s);
 k_b è la scabrezza del pluviale, in millimetri (considerata 0,25 mm);
 d_f è il diametro interno del pluviale, in millimetri (mm);
 f è il grado di riempimento, definito come proporzione della sezione trasversale riempita d'acqua, adimensionale.

Tabella 8.III – Capacità idraulica pluviale verticale – UNI EN 12056-3.

La portata massima legata a due pluviali al piede della spalla/pila risulta pertanto pari a 12.3 l/s.

Il recapito avviene nel sistema di drenaggio delle viabilità con un collettore di diametro DN315 o direttamente all'interno delle caditoie esistenti. Nella tabella seguente si riportano le verifiche del collettore DN315.

	Q [l/s]	DN [mm]	i [m/m]	K [mm ^{1/3} s ⁻¹]	V [m/s]	h [m]	Riemp. [%]
VI04	7.00	315.00	0.00	80.00	0.57	0.08	27
VI03	12.50	315.00	0.00	80.00	0.64	0.10	34

Tabella 8.IV – Verifica collettore recapito pluviali.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA	COMMESSA NB1R	LOTTO 09	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 000 2 001	REV. A	FOGLIO 36 di 41

9. INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DELLA NORMATIVA VIGENTE

In Lombardia la normativa vigente in materia di invarianza idraulica è il Regolamento Regionale 19 aprile, 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 territorio lombardo è diviso in ambiti territoriali di applicazione, in funzione del grado di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua recettori (Allegato C). In base alla classe di intervento e alla superficie interessata dall'intervento, disciplina le modalità di calcolo. Il comune di Bergamo sul quale insistono le opere in progetto ricade nell'area omogenea A, che corrisponde ad aree ad alta criticità idraulica, con scarico consentito su corpo idrico recettore di 10 l/s ha di superficie scolante impermeabile.

Dal punto di vista del tempo di ritorno, la normativa citata individua in 50 anni l'evento critico da prendere in considerazione.

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

I dettami della normativa sono stati realizzati con la realizzazione di una vasca di accumulo temporaneo di volume pari a circa 602 mc nel piazzale TE. La portata di 4.5 l/s corrispondente ai 10 l/s ha impermeabile è recapitata attraverso un impianto di sollevamento il cui dimensionamento, descrizione e verifica è riportata nella specifica relazione allegata al progetto.

Il recapito nella Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso avviene con una tubazione in pressione DN90 in PE100 della lunghezza pari a circa 135.80 m. La presenza di un punto di minimo impone la realizzazione di un manufatto di scarico in cui è alloggiata una saracinesca DN100 in ghisa sferoidale.

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.

- V_{OUT} , volume di pioggia in uscita dal sistema nello stesso intervallo di tempo grazie al funzionamento dell'impianto di sollevamento.

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 invaso V in favore di sicurezza, non tenendo conto degli effetti di laminazione nella rete di drenaggio.

La vasca ha la funzione di invasare durante il periodo di pioggia il volume eccedente il volume scaricato, a mezzo dell'impianto di sollevamento, nella rete fognaria esistente. Si riporta di seguito la pianta della vasca.

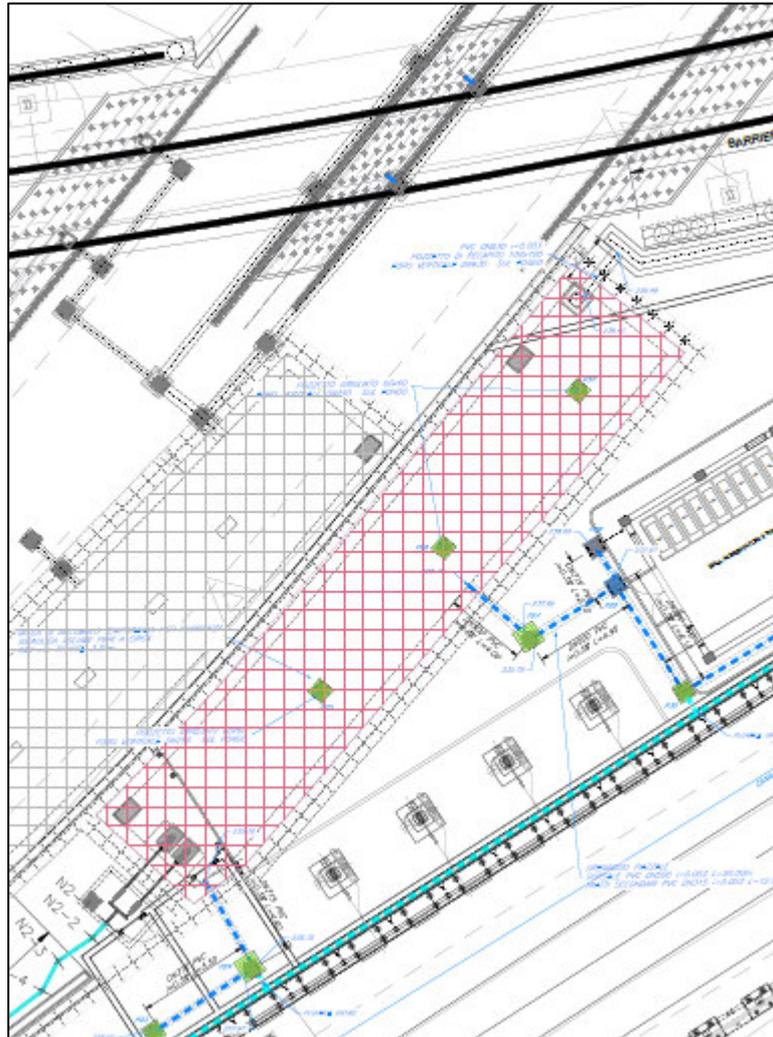


Figura 9.1 – Stralcio planimetria vasca ferroviaria.

La pianta e le sezioni della vasca sono riportate nell'elaborato NB1R09D26BBFA06B0001A; per gli impianti di sollevamento e il dimensionamento dello stesso si rimanda alla relazione specialistica NB1R09D17WCIT0002001A.

10. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA

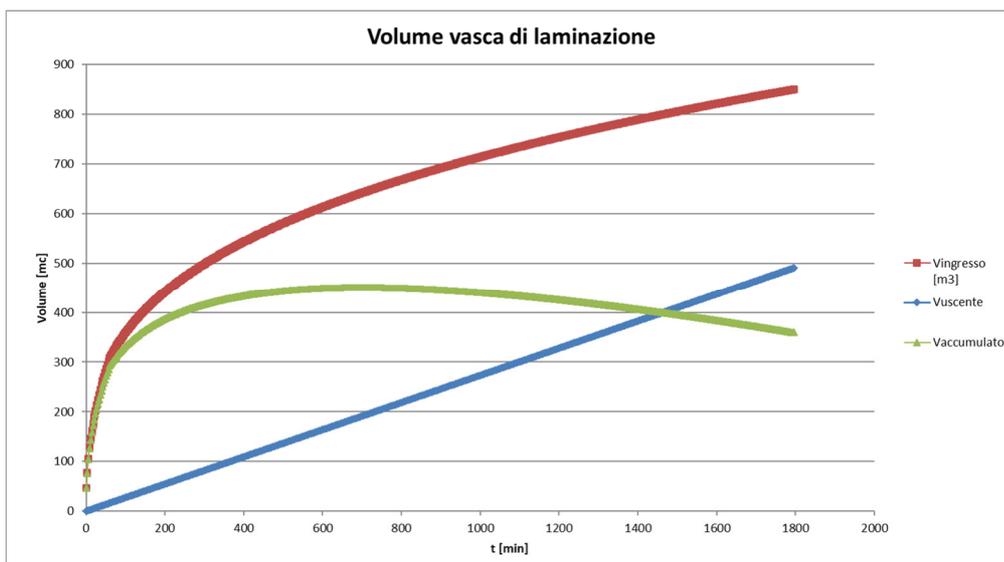
In questo capitolo conclusivo si riportano le tabelle contenenti le verifiche delle opere di drenaggio ferroviario.

INVARIANZA IDRAULICA - VASCA

S [m ²]	Tr [anni]	a [m/h ⁿ]	n [-]	Φ [-]	u [l/s, ha]	Q _{out} [m ³ /h]	Vvasca richiesto [m ³]	t _{cr} [h]
5060	100	0.0678	0.298	0.9	10	16.39	450.63	11.65

Moltiplicando il volume minimo richiesto per un coefficiente pari a 1.30 si ottiene un Volume della vasca pari a 585.80 m³.

B [m]	b [m]	h _{utile} [m]	V _{vasca} progetto [m ³]	t _{cr} [h]
8.48	22.20	3.20	602.56	36.75



SISTEMA DI DRENAGGIO

N. canaletta	Superfici tratto							φ				Volumi piccoli invasi specifici			Elementi del tratto							Calcolo della portata				Caratteristiche idriche		
	Superficie TRADA	Superficie Rilevati/sponde Stradali	Superficie ESTERNA	Sup FERROVIA (inclusi i rilevati) TOTALE	Superficie STRADA - TOTALE	Superficie ESTERNA - TOTALE	Superficie sponde TOTALE	φ FERROVIA_STRADA	φ ESTERNA	φ RILEVATO	φ MEDIO	Vol.specifico piccoli invasi FERROVIA	Vol.specifico piccoli invasi STRADA	Vol.specifico piccoli invasi ESTERNO - SPONDE	Superficie TOTALE	Volumi piccoli invasi TOTALE	Lunghezza	Pendenza calcolo	Volume proprio d'invaso	Volume totale d'invaso	Invaso specifico	a	n	U	Portata Pluviale	Tipo CANALETTA	Velocità	Tirante idrico
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha					m³/ha	m³/ha	m³/ha	ha	m³	m	m/m	m³	m³	m	m/h ⁿ		lt/s/ha	m³/s		m/s	m
DCN01	--	--	--	0,066	0	0	0	0,9	0,5	0,5	0,9	50	30	50	0,066	3,3	68,66	0,01	2,48466	5,785	0,0088	0,0678	0,464	577,185	0,038	R40	1,05	0,09
																										CLS		23%
PT01	--	--	--	0,066	0	0	0	0,9	0,5	0,5	0,9	50	30	50	0,066	3,3	13,5	0,003	0,56352	6,348	0,0096	0,0678	0,464	518,417	0,034	DN400	0,82	0,15
																										CLS		40%
DCN02	--	--	--	0,071	0	0	0	0,9	0,3	0,5	0,9	50	30	50	0,071	3,55	73,4	0,01	2,76058	6,311	0,0089	0,0678	0,464	567,930	0,040	R40	1,07	0,09
																										CLS		24%
PT02	--	--	--	0,071	0	0	0	0,9	0,5	0,5	0,9	50	30	50	0,071	3,55	15,4	0,003	0,66606	6,977	0,0098	0,0678	0,464	505,773	0,036	DN400	0,83	0,16
																										CLS		41%
PCN01	--	--	--	0,347	0	0	0	0,9	0,3	0,5	0,9	50	30	50	0,347	17,35	115,15	0,01	13,4633	32,043	0,0092	0,0678	0,464	543,412	0,189	R60x110	1,61	0,19
																										CLS		18%
PCN01 recapito	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,003	--	--	--	--	--	--	0,189	DN630	--	0,32
																										PVC		54%
Piazzale	0,105	--	--	--	0,105	0	0	0,9	0,3	0,5	0,9	50	30	50	0,105	3,15	50	0,003	3,98483	7,135	0,0068	0,0678	0,464	774,473	0,081	DN500	1,02	0,22
																										PVC		47%
DCN03	--	--	--	0,048	0	0	0	0,9	0,3	0,5	0,9	50	30	50	0,048	2,4	74,65	0,0026	2,986	5,386	0,0112	0,0678	0,464	433,885	0,021	R20x30	0,56	0,20
																										CLS		67%