



Regione Lombardia

Direzione Generale Infrastrutture, Trasporti e Mobilità sostenibile



FERROVIENORD

FNMGROUP



NORD\_ING

FNMGROUP

CODICE  
COMMESSA

F 3 1

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D

D.P.R.  
207/10

f

PROGRESSIVO  
ELABORATO

0 0 8

CATEGORIA  
OPERA

I D

NUMERO  
OPERA

- -

REVISIONE

R 0

SCALA

-

LINEA MILANO - VARESE - LAVENO  
RADDOPPIO SELETTIVO GEMONIO - CITTIGLIO  
*Progetto Definitivo*

CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI  
Relazione idrologica e di compatibilità idraulica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Ott. 2022	PRIMA EMISSIONE		

NORD\_ING

NORD\_ING Srl  
IL DIRETTORE TECNICO  
*Ing. Luca Erba*

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.  
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA  
IL DIRETTORE (a.i.)  
*Dott. Enrico Belavita*

Progettista

NORD\_ING  
FNMGROUP

INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI LECCO  
Ing. Luca Erba  
a) civile e ambientale  
b) industriale  
c) dell'informazione  
n° A 639

Collaborazione

50 NET ENGINEERING  
years

Via Squero, 12 - 35043 Monselice (PD)

iDea  
INFRASTRUCTURE DESIGN, ENERGY AND ARCHITECTURE  
www.idea-eng.it - info@idea-eng.it  
Via Sommacampagna, 63H Scala D - 37137 - Verona  
Telefono/fax: 045 653768 - e-mail: tecnico@ideaeng.it - www.idea-eng.it

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
V. Corsini	F. Pescarolo	S. Citin	Ott. 2022
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.
1265D03			

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
1.1. OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	3
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>4</b>
2.1. ENTI COMPETENTI .....	5
<b>3. ELABORATI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. DATI IDROLOGICI DI BASE .....</b>	<b>7</b>
<b>5. OPERE IDRAULICHE DI PROGETTO .....</b>	<b>8</b>
<b>6. ANALISI IDRAULICA.....</b>	<b>9</b>
6.1. METODO RAZIONALE.....	9
6.2. METODO DELLE PIOGGE.....	11
6.3. SISTEMA DI ACCUMULO E DISPERSIONE DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA.....	16
6.3.1. <i>Aspetti normativi</i> .....	16
6.3.2. <i>Aspetti morfologici della rete idrica di superficie</i> .....	18
6.3.3. <i>Misure di conducibilità idraulica</i> .....	18
6.3.4. <i>Stima della portata di infiltrazione</i> .....	19
6.3.5. <i>Sistemi a dispersione con materasso drenante</i> .....	22
6.4. SISTEMA DI DRENAGGIO ACQUE DA BANCHINE FERROVIARIE.....	23
<b>7. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>25</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce l'analisi idraulica e la verifica delle opere previste nell'ambito del progetto definitivo del raddoppio della linea ferroviaria Varese – Laveno tra i comuni di Gemonio e Cittiglio e riporta la metodologia di calcolo e i risultati dello studio idrologico/idraulico condotto al fine di valutare la compatibilità idraulica dell'intervento e definire le misure di mitigazione da intraprendere lungo la tratta stessa e l'interazione della stessa con il reticolo idrografico di superficie; nello specifico il documento riporta il dimensionamento e le verifiche idrauliche effettuate sulle opere idrauliche previste a servizio della piattaforma ferroviaria in allargamento di sede. La lunghezza totale del raddoppio è di circa 2.315 m, ovvero tra la progressiva 65+540 e la progressiva 67+855 e coinvolgerà anche i due piazzali di stazione dei rispettivi Comuni.



Figura 1.1: Localizzazione territoriale dell'area di intervento su base Ortofoto di Google Earth

La linea attualmente risulta quasi totalmente a singolo binario: fanno eccezione i tratti relativi alle due stazioni citate (a Gemonio è presente un tronchino, mentre la stazione di Cittiglio è dotata di due banchine). La tratta è stata interessata da indagini geognostiche pregresse a monte di un

progetto preliminare di fattibilità tecnica ed economica per l'adeguamento della stazione di Cittiglio condotto da FERROVIENORD e NORD\_ING. Sulla scorta delle indagini condotte nel 2021 a base del progetto preliminare di fattibilità tecnica ed economica indicato si sviluppa il presente progetto che nello specifico si riferisce al raddoppio del tratto tra i Comune di Gemonio e Cittiglio in provincia di Varese.

Scopo della presente è stato il dimensionamento idraulico delle opere di gestione delle acque di piattaforma con valutazione del funzionamento idraulico delle stesse e modalità di scarico in ossequio alle norme consentite e in riferimento ai principi di invarianza idraulica secondo il R.R. 7 del 2017 aggiornato al R.R. 8 del 2019 della Regione Lombardia.

In generale, 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, e che le acque di drenaggio della piattaforma siano rispettose del principio di invarianza idraulica secondo R.R. 7 del 2017 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 e rispettoso del tema dell'invarianza idraulica, se necessario adeguando le opere esistenti con le norme vigenti.

In accordo con la committenza e al Manuale di Progettazione RFI, nonché il rispetto delle linee guida della Regione Lombardia secondo R.R. 7 del 2017 i dispositivi idraulici di smaltimento delle acque meteoriche zenitali ricadenti sulla piattaforma ferroviaria verranno calcolati considerando eventi meteorologici caratterizzati da tempi di ritorno pari a 50 anni, ma saranno comunque analizzati anche per eventi caratterizzati da frequenza di accadimento pari a 100 anni per una verifica finale delle opere di drenaggio in termini di prevenzione del rischio di allagamento così come richiesto dal R.R. 7 del 2017.

### **1.1. OBIETTIVI DELLO STUDIO**

Obiettivo della presente relazione è la verifica idraulica delle opere di drenaggio a servizio della sede ferroviaria prevista in allargamento sulla scorta delle elaborazioni idrologiche per piogge intense di breve durata per la verifica idraulica dei sistemi di drenaggio, di lunga durata per il dimensionamento dei dispositivi di laminazione, condotte nel documento F31Db003ID-R0 che fa parte integrante della presente trattazione.

Sono state effettuate, pertanto, le verifiche idrauliche delle opere di scolo della piattaforma della tratta ferroviaria in oggetto al fine di poter assicurare lo stato di officiosità idraulica del sistema di drenaggio nell'ambito di influenza dell'ingombro del tracciato.

Per la visione delle elaborazioni idrologiche si rimanda alla consultazione del documento summenzionato dove sono altresì riportate le informazioni di base di inquadramento e descrizione generale del territorio su cui insiste il tracciato di progetto.

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- 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);
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 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), aggiornato al 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", aggiornato al 2020;
- 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")".
- Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi nel Bacino del Adda dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

## **2.1. ENTI COMPETENTI**

L'area interessata dal raddoppio ferroviario presenta diversi organismi competenti in materia di gestione e pianificazione. In particolare, è possibile individuare i seguenti enti:

1. Regione Lombardia:
  - 1.1. Provincia di Varese.
2. Autorità di bacino:
  - 2.1. Autorità di bacino distrettuale del fiume Po.
3. Consorzi di bonifica:
  - 3.1. Consorzio di bonifica Est Ticino Villoresi.
4. Comuni (da Ovest):
  - 4.1. Gemonio (VA);
  - 4.2. Cittiglio (VA);
  - 4.3. Caravate (VA) solo parzialmente.

### 3. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito gli elaborati di riferimento per il presente progetto nello specifico del tema dell'idrologia e dell'idraulica:

Idrologia e Idraulica	Codice dell'elaborato
Relazione idrologica e di compatibilità idraulica	F31Db003ID-R0
Relazione idraulica di sede e calcolo opere idrauliche (presente documento)	F31Df007ID-R0
Inquadramento P.G.R.A. – P.A.I.	F31Dd089ID-R0
Planimetria idraulica - Tav.1/3	F31Dd091ID-R0
Planimetria idraulica - Tav.1/3	F31Dd092ID-R0
Planimetria idraulica - Tav.1/3	F31Dd093ID-R0
Particolari costruttivi - Tipologici	F31Dd090ID-R0

Tabella 3.1: Elenco degli elaborati di riferimento per l'analisi idraulica del progetto



#### 4. DATI IDROLOGICI DI BASE

Sulla scorta delle indagini idrologiche condotte al documento F31Db003ID-R0 sono state individuate le linee segnalatrici di possibilità pluviometria (LSPP) utilizzate alla base delle verifiche idrauliche proposte in questa analisi.

Di seguito si riportano le elaborazioni relativamente alle precipitazioni orarie.

- $h = 61.82 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 50$  anni
- $h = 68.33 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 100$  anni
- $h = 74.88 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 200$  anni

Le curve a due parametri ben si adattano a rappresentare eventi di precipitazione di durata superiore alle 2-3 ore, mentre risultano spesso troppo alte se si volesse riprodurre un evento di breve durata e forte intensità dell'ordine di pochi minuti, come peraltro avviene per superfici scolanti di piccole dimensioni. Si possono adottare allo scopo diverse formulazioni di adattamento quale quella di Bell o altre e tutte riconducono ad un ridimensionamento del coefficiente "n" verso valori prossimi a 0.4-0.5; in particolare nell'Allegato B del R.R. 8 2019 si consiglia di utilizzare le LSPP di Arpa Lombardia valide per piogge orarie, assumendo il coefficiente n pari a 0.5.

Pertanto, nella presente analisi, per il dimensionamento di opere interessate da precipitazioni di breve durata, si farà esplicitamente riferimento a questa indicazione ottenendo quindi le seguenti curve di pioggia riconducibili ad eventi di forte intensità e a rapido esaurimento.

- $h = 61.82 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 50$  anni –  $t < \text{ora}$
- $h = 68.33 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 100$  anni –  $t < \text{ora}$
- $h = 74.88 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 200$  anni –  $t < \text{ora}$



## **5. OPERE IDRAULICHE DI PROGETTO**

Sostanzialmente sono individuabili cinque distinti interventi:

- Intervento in rilevato che comporta sostanzialmente la messa in opera al piede dello stesso di un fosso drenante con fondo a dispersione delle dimensioni standard di 50x50x50 cm con possibilità di scarico nella rete idrografica esistente tramite opera di modulazione e regolazione delle portate in ottemperanza al principio di invarianza idraulica;
- Intervento in trincea che comporta la messa in opera ai lati di canalette in cls 50x50 cm con fondo aperto e sistema di infiltrazione al fondo realizzato da un materasso in materiale lapideo con possibilità di scarico nella rete idrografica esistente tramite opera di modulazione e regolazione delle portate in ottemperanza al principio di invarianza idraulica;
- Intervento come al precedente caso con estremità della trincea sostenute da muro in cls, in questi tratti le canalette sono previste con fondo chiuso e il contributo idrico viene scaricato a monte e/o a valle delle stesse attraverso le linee di infiltrazione o recapitate in reti esistenti tramite opera di modulazione e regolazione delle portate in ottemperanza al principio di invarianza idraulica;
- Intervento in rilevato con muro di contenimento con la messa in opera di canalette come al precedente;
- Intervento con la messa in opera di linee di drenaggio da porsi al di sotto delle banchine delle stazioni/fermate oggetto di riqualificazione e sistemazione, pensiline alla fermata di Gemonio.

Tutte le opere di drenaggio saranno poggiate alla base di un materasso in materiale lapideo in modo da agevolare la dispersione nel sottosuolo alla stregua di una subirrigazione.

Il sistema di drenaggio di progetto garantirà l'efficiente raccolta e smaltimento delle acque dalla piattaforma ferroviaria nel tratto in sistemazione, evitando di caricare ulteriormente le linee idrografiche esistenti, anzi proponendo una sistemazione complessiva su tutti i fronti oggetto di intervento risulterà un intervento di perfezionamento dell'efficientamento idraulico del contesto.

## 6. ANALISI IDRAULICA

Il calcolo delle portate e dei volumi idrici indotti dalle modificazioni superficiali di progetto relativamente ai tratti interessati da interventi sul corpo ferroviario, con sistemazione superficiale attraverso uno strato di supercompattato e copertura di ballast, è stato effettuato con il metodo razionale per la verifica idraulica e capacità di smaltimento delle opere di drenaggio con TR = 100 anni e per precipitazioni di breve durata massimizzando in questo caso le portate. Allo stesso modo per il dimensionamento di tutti i dispositivi di drenaggio si è calcolata anche la precipitazione in concomitanza della quale si verificasse il massimo volume d'invaso relativamente al tempo critico di pioggia con il metodo delle sole piogge per il quale si considerano solitamente precipitazioni di durate orarie; in questo caso, come prevede la normativa regionale in tema di invarianza idraulica, è stato preso a riferimento l'evento caratterizzato da TR = 50 anni per la determinazione dei volumi di laminazione, TR = 100 anni per il calcolo dei dispositivi di drenaggio come da manuale RFI, TR = 200 anni per la verifica dei sistemi di infiltrazione.

### 6.1. METODO RAZIONALE

In via cautelativa, per i calcoli idraulici di eventi a rapido esaurimento è stato adottato il metodo cinematico. Il metodo proposto è largamente usato per il calcolo della portata conseguente ad una assegnata precipitazione, è detto metodo cinematico o del ritardo di corrivazione (D. Turazza, 1880). Esso si presta ad essere utilizzato in molti casi ma viene generalmente applicato a bacini scolanti di estensione limitata come il caso in esame. Questo metodo considera che la portata sia proporzionale alla durata dell'evento. Si considera che la portata massima si realizza quando in una sezione giungono i contribuenti di tutte le porzioni di bacino e quindi anche quello della particella liquida posta più lontano; questo intervallo di tempo è definito tempo di corrivazione  $T_c$ . Il metodo postula che la portata nella sezione terminale cresca in modo lineare nel tempo fino ad un valore massimo e che decresca in maniera lineare nella fase di esaurimento. Il valore della portata massima e l'avvio dell'esaurimento sono legati al rapporto esistente tra la durata  $T$  della precipitazione ed il tempo di corrivazione: rapporto che dà origine ai seguenti casi  $T < T_c$ ,  $T = T_c$  e  $T > T_c$ .

Si giunge al picco di piena quando il tempo di precipitazione eguaglia il tempo di corrivazione. A partire da questa imposizione si calcolano la portata e il volume come segue:

$$Q_{\max} = \varphi \cdot S \cdot h / T_c$$

$$V = \varphi \cdot S \cdot h$$

- $V$  è il volume d'acqua precipitato;
- $S$  è la superficie del bacino considerato;
- $\varphi$  è il coefficiente di deflusso;
- $h$  è l'altezza della precipitazione per dato tempo di ritorno;
- $T_c$  è il tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione  $T_c$ , vista la morfologia e le dimensioni ridotte delle aree di sgrondo può essere calcolato con diverse formulazioni che possono pesare in maniera differenziata le caratteristiche geometriche del bacino a seconda della pendenza, dell'estensione, della lunghezza dell'asta principale, se non la differenza tra la quota massima e la minima, altre ancora più sofisticate mettono in gioco anche parametri climatici quali  $a$  e  $n$  delle linee segnalatrici di

possibilità pluviometrica. In ogni caso, dato che si tratta dello smaltimento di acque di piattaforma che sgronda ai fianchi di un rilevato o di una trincea stretti e lunghi, dovendo far ricorso a sistemi di infiltrazione nel terreno per il drenaggio, si è fatto riferimento a tempi di corrivazione brevi di 5 minuti ricavabili anche da formulazioni empiriche quali quella di Horton e di Ongaro.

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso  $\phi$  è stato impostato al valore costante pari a 0.9 in ragione della natura del supercompattato previsto sotto il ballast.

Nel presente capitolo si espongono i criteri generali attuati nella progettazione in merito alle scelte relative al drenaggio delle acque meteoriche dei tronchini ferroviari (fossi, canalette, condotte, pozzetti, ecc.) e dei binari oggetto di modifiche.

Allo stato attuale il corpo ferroviario lungo il tratto di interesse non presenta un sistema di drenaggio delle acque meteoriche definito, se non alcuni tratti di canaletta in cls in pochi punti, pertanto il presente progetto, oltre a non modificare significativamente l'area di interesse dal punto di vista dell'impermeabilizzazione, ha anche valenza di sistemazione idraulica laddove al momento risulta assente.

Tutte le opere di drenaggio saranno poggiate alla base di un materasso in materiale lapideo in modo da agevolare la dispersione nel sottosuolo alla stregua di una subirrigazione.

Il sistema di drenaggio di progetto garantirà l'efficiente raccolta e smaltimento delle acque dalla piattaforma ferroviaria nel tratto in sistemazione, evitando di caricare ulteriormente le linee idrografiche esistenti, anzi proponendo una sistemazione complessiva su tutti i fronti oggetto di intervento risulterà un intervento di perfezionamento dell'efficientamento idraulico del contesto.

Per un dimensionamento della rete di drenaggio occorre preventivamente definire, sulla base degli elementi idrologici, idraulici e geometrici disponibili, le portate generate da un evento meteorico, di preassegnata frequenza probabile, assunto come sollecitazione di progetto.

Come già illustrato in precedenza, le ipotesi alla base del progetto sono quelle di considerare un evento corrispondente ad un tempo di ritorno cautelativo pari a 200 anni, dovendo scaricare per mezzo di sistemi di infiltrazione e proporzionare la rete di drenaggio in modo che tutti gli elementi della rete raggiungano un grado di riempimento accettabile.

Viste le limitate dimensioni dell'area di intervento si è proceduto al calcolo dei volumi e delle portate in gioco attraverso il metodo cinematico cercando un approccio cautelativo teso a massimizzare il volume di invaso, non potendo fare considerazioni in merito alla capacità di smaltimento delle acque delle linee idrografiche esistenti.

La presente analisi quindi si prefigge di massimizzare il volume prodotto da un evento di riferimento piuttosto che la portata al colmo, in quanto non potendo fare affidamento sulla capacità di portata della rete esistente è preferibile poter contare su un intervento atto a mitigare dal punto di vista idraulico con la dotazione di un volume di invaso opportunamente dimensionato, in modo da non creare ulteriore carico alla condotta ove scarica attualmente il fosso in indagine e contemporaneamente infiltrare le acque in sottosuolo. Pertanto, piuttosto di considerare un tempo di corrivazione che nella configurazione proposta potrebbe variare dai 5 ai 15 minuti a seconda dei vari tratti di sistemazione idraulica, si andrà a valutare un tempo critico di pioggia in corrispondenza del quale si genera il massimo volume meteorico.

## 6.2. METODO DELLE PIOGGE

Per il dimensionamento degli elementi di drenaggio si è calcolata la precipitazione in concomitanza della quale si verifica il massimo volume d'invaso relativamente al tempo critico di pioggia. A partire dall'equazione del metodo cinematico si ricava il volume entrante in rete:

$$V_{in} = \varphi \cdot S \cdot h = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t^n$$

Il volume in uscita dal sistema nello stesso intervallo di tempo  $t$  sarà:

$$V_{out} = Q_{imp} \cdot t = S \cdot u_{imp} \cdot t$$

con  $Q_{imp}$  la portata imposta all'uscita e  $u_{imp}$  il coefficiente udometrico imposto all'uscita. Il volume di invaso sarà dato dalla differenza tra  $V_{in}$  e  $V_{out}$

$$V = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot t^n - Q_{IMP} \cdot t$$

Derivando la precedente per massimizzare il volume si perviene alla determinazione del tempo critico di pioggia

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

Il tempo critico di pioggia a differenza del tempo di corrivazione non è in alcun modo correlato alla dimensione della superficie di drenaggio, ma al coefficiente di deflusso e al coefficiente udometrico imposto alla sezione di chiusura, nondimeno ai parametri della curva di possibilità pluviometrica e quindi al tempo di ritorno dell'evento considerato. In riferimento alla curva di pioggia caratterizzata da  $Tr = 200$  anni, imposto in via cautelativa  $\varphi = 0.9$  e un coefficiente udometrico allo scarico (pari alla portata massima scaricabile per infiltrazione per unità di superficie) si perviene al calcolo del  $t_{cr}$  ottenendo:

$$t_{cr} \sim 1 \text{ ora}$$

La superficie di infiltrazione è stata considerata pari alla sola proiezione orizzontale del materasso drenante posto sotto i fossi di guardia e sotto le canalette a fondo aperto della larghezza di 1.50 m per i fossi e 1.0 m per le canalette; complessivamente si può contare su una superficie di drenaggio di oltre 800 m<sup>2</sup> potenzialmente in grado di smaltire fino a 80 l/s. La portata uscente dal sistema sarà pari alla portata di infiltrazione stimata al capitolo successivo e che viene considerata nel calcolo precedente per la determinazione del tempo critico di pioggia.

Nell'arco di un'ora il volume totale entrante nel sistema diviene:

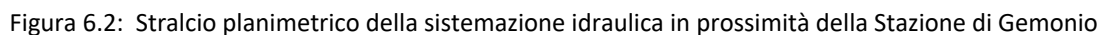
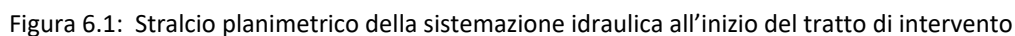
$$V_{in} = \varphi \cdot S \cdot h = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t^n = 563 \text{ m}^3$$

corrispondente ad una portata entrante distribuita sull'intera superficie in trasformazione ( $A = 8.483 \text{ m}^2$ ) di 161 l/s mentre, nell'arco di tempo di sviluppo dell'evento meteorico i sistemi di infiltrazione sono in grado di scaricare al suolo circa 281 m<sup>3</sup>, pertanto, sarà necessario che i sistemi di drenaggio quali fossi e canalette possano invasare la differenza tra il volume entrante e il volume uscente pari ad almeno 282 m<sup>3</sup>.

Nel caso dei fossi di guardia filtranti 50x50x50 cm con bauletto di pietrame al fondo largo 1.5 m e spessore 50 cm si garantiscono 0.5 m<sup>3</sup> di invaso per metro lineare di opera, allo stesso modo una canaletta in cls 50x50 cm con bauletto di pietrame al fondo largo 1.0 m e spessore 50 cm offre 0.25 m<sup>3</sup> di invaso; senza tener conto del volume che si può stoccare all'interno del materasso lapideo sottostante i corpi ricettori per porosità, la rete idraulica proposta offre ben oltre 400 m<sup>3</sup> di potenziale volume invasabile.

Gli interventi di progetto consistono quindi nella realizzazione di fossi drenanti con bauletto al fondo in materiale lapideo e allo stesso modo canalette in cls con fondo aperto posate su bauletto drenante. Alcuni fossi e canalette potranno scaricare nelle reti idrografiche esistenti, tuttavia, al fine di non recapitare direttamente gli afflussi e laminare le portate meteoriche, si realizzeranno, appena a valle dei tratti di fosso o canaletta, manufatti con setto a stramazzo e foro al fondo. Ad ogni modo si tiene a ribadire che tutte le opere di drenaggio sono state dimensionate per scaricare per sola infiltrazione nel terreno; solo in alcuni casi sarà possibile effettuare il collegamento alla rete idrica esistente per quei singoli tratti dove non è possibile realizzare la condotta a fondo aperto e per poter avere un margine ulteriore di garanzia di funzionamento in casi veramente eccezionali, che vanno al di là del tempo di ritorno considerato alla base della presente analisi. In buona sostanza tutti i dispositivi di drenaggio previsti possono ottemperare allo scarico idraulico per sola infiltrazione nel terreno, dimensionati per eventi caratterizzati da tempo di ritorno duecentennale.

Per ottimizzare la capacità di invaso e sfruttare al massimo i volumi di detenzione offerti dai corpi di drenaggio sarà altresì opportuno realizzare opere di sostegno dei livelli idrici con setti a stramazzo sia per le fossature quanto per le canalette in cls, compartimentandole in settori laddove altrimenti le pendenze di taluni tratti lunghi non garantirebbero l'eventuale riempimento dell'opera nella sua intera estensione, allo stesso modo i vari tratti dovranno essere realizzati a bassa pendenza per agevolare l'infiltrazione rallentando quindi il deflusso lungo le livellette. Si propongono alcuni stralci planimetrici dell'intervento delle opere di drenaggio in oggetto.





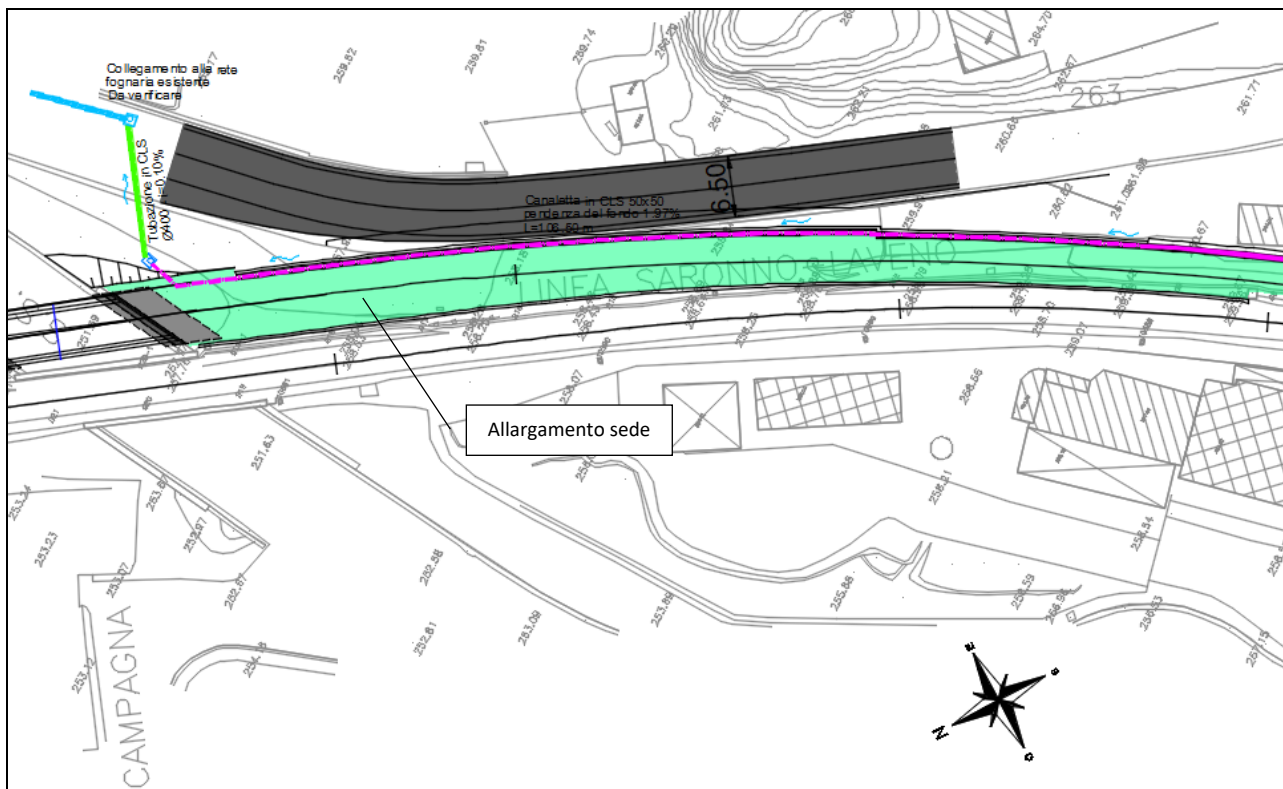


Figura 6.3: Stralcio planimetrico delle sistemazioni idrauliche in prossimità di via Battisti

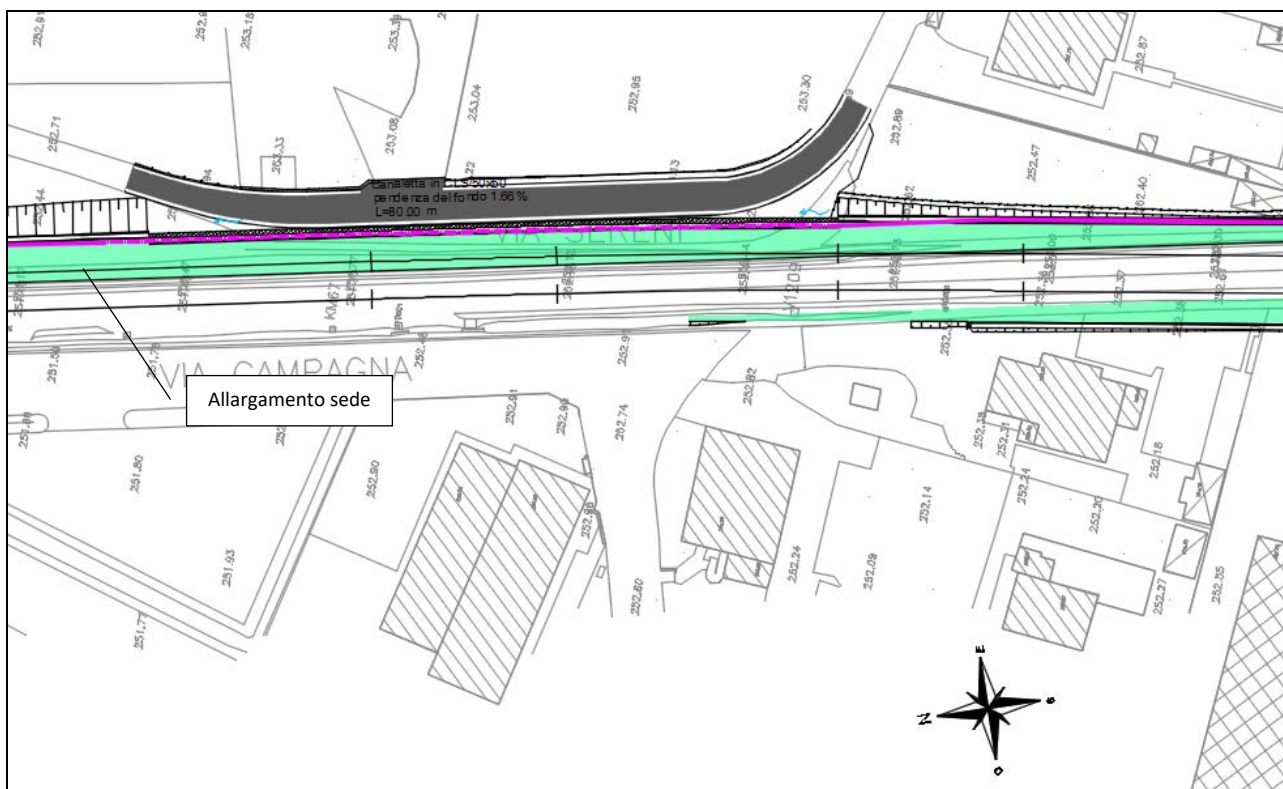


Figura 6.4: Stralcio planimetrico delle sistemazioni idrauliche in prossimità di via Sereni



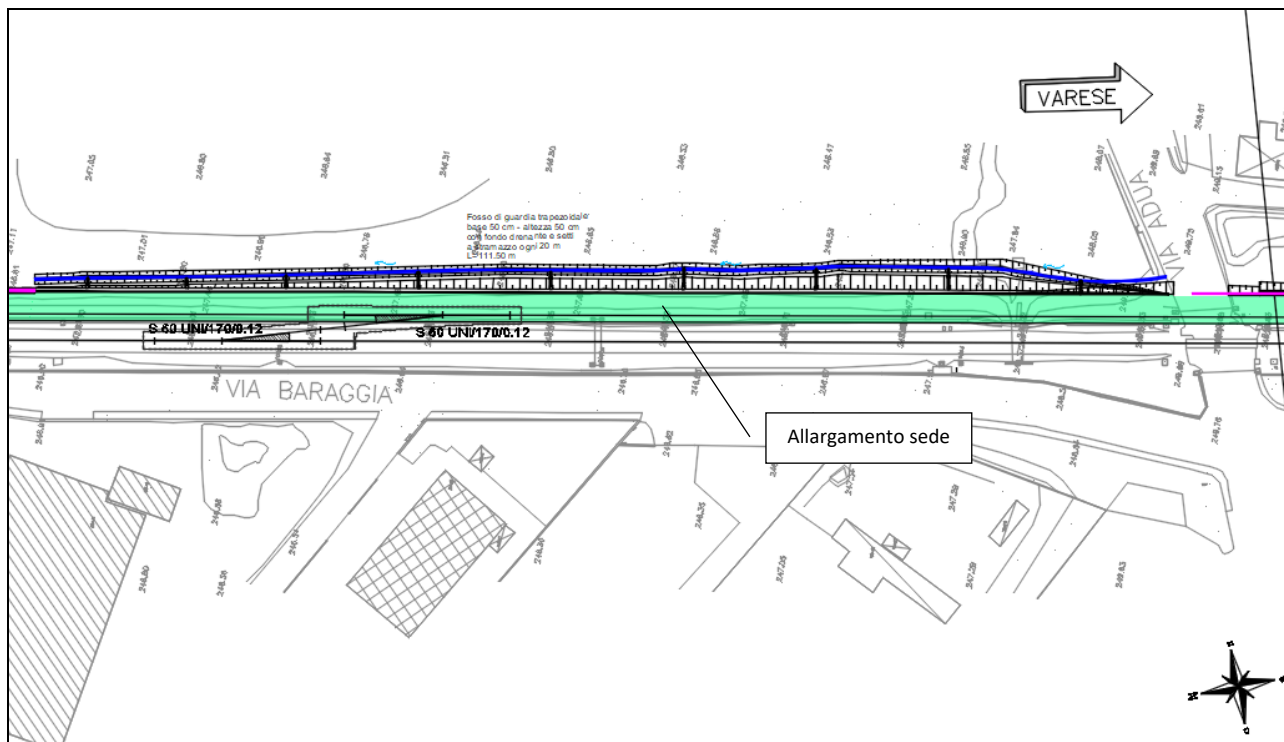


Figura 6.5: Stralcio planimetrico della sistemazione idraulica dopo PL di via Adua

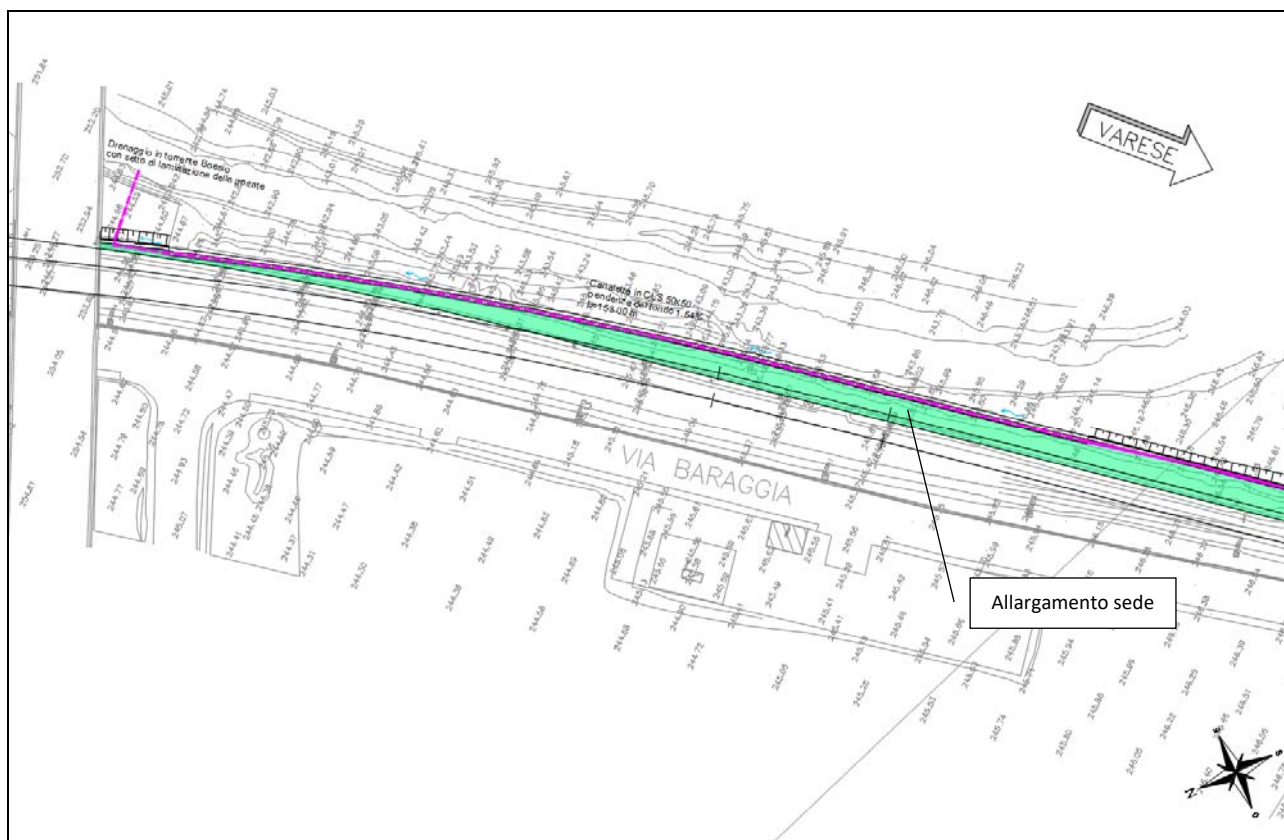
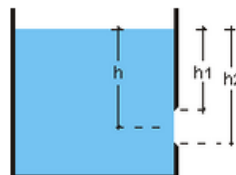


Figura 6.6: Stralcio planimetrico della sistemazione al termine del tratto di intervento

Per il dimensionamento dei manufatti di laminazione si calcola la massima portata effluente, imposto il coefficiente udometrico allo scarico, nella fattispecie si è scelto 10 l/s/ha, e considerando la superficie del tratto di piattaforma ferroviaria che sversa alla sezione di interesse.

Scegliendo un manufatto con setto a stramazzo per il troppopieno e foro passante nell'ipotesi di efflusso libero le formulazioni che portano al dimensionamento del foro strozzato sono:

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{C_d * \pi * \sqrt{2 * g * h}}}$$



con  $CQ = 0.61$ ,  $D$  = diametro condotta,  $Q$  = portata e  $h$  = battente a monte. Viste le ridotte estensioni delle superfici in questione si ottengono fori di diametro dell'ordine di 20-30 mm; tuttavia, per ragioni operative al fine di evitare intasamenti è consigliabile optare per diametri almeno del DN60 mm. Tale soluzione garantisce la laminazione e l'officiosità idraulica al tempo stesso del manufatto e risulta la più comunemente adottata e condivisa con gli Enti e i Consorzi di competenza in analoghe applicazioni.

Si tiene ancora a precisare che l'eventuale connessione delle linee di drenaggio alle reti idrografiche esistenti è prevista solo laddove ci sono le quote morfologiche per consentire tale configurazione, nondimeno per garantire il drenaggio per quei singoli tratti dove non è possibile sfruttare la sola infiltrazione. Pertanto, la possibilità di scarico modulato verso i ricettori esistenti potrà essere valutata con più dettaglio nell'ambito di una progettazione esecutiva, di concerto con gli Enti gestori delle reti quali Provincia o consorzi di competenza, in ogni caso, tutte le linee di drenaggio previste in affiancamento al corpo ferroviario sono state dimensionate al fine di risultare officiose dal punto di vista idraulico attraverso la sola laminazione e infiltrazione nel terreno, senza la necessità di dover scaricare in corpi idrici superficiali se non per limitate aree localizzate a tratti di canaletta chiusa al fondo.

### **6.3. SISTEMA DI ACCUMULO E DISPERSIONE DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA**

#### **6.3.1. Aspetti normativi**

Il territorio in esame è sottoposto alla legislazione prevista dalla Regione Lombardia, che recentemente ha diffuso una serie di linee guida atte a definire le buone pratiche sul tema dell'invarianza idrologica e/o idraulica: 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, successivamente modificato dal RR n.8 del 19/04/2019.

Nella Legge Regionale è specificato che le misure di compensazione per la salvaguardia dell'invarianza idraulica devono essere applicate anche per "la realizzazione di infrastrutture e di impianti, anche per pubblici servizi, che comporti la trasformazione in via permanente di suolo ineditato" (Art. 27.1 lett. E.3) quale la fattispecie.

All'articolo 4.3 inoltre viene precisato quanto segue:

L'infiltrazione rappresenta, se la situazione idrogeologica locale lo consente (v. art. 5.2.2), una 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).

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

Non essendo possibile il riutilizzo né lo scarico in fognatura, verranno analizzati nella presente nota, i punti 2 e 3 dell'elenco sopra riportato. Il punto 2 avendo una maggiore priorità rispetto al 3 viene preso in considerazione come soluzione progettuale per lo smaltimento delle acque meteoriche afferenti alla nuova piattaforma ferroviaria.

Per quanto riguarda i tempi di ritorno, il Regolamento (Art.11.2 lett. A) definisce quanto segue:

- TR=50 anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di laminazione o anche infiltrazione con un adeguato grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani;
- TR=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.

Anche se la regolamentazione proposta a livello regionale prevede un  $Tr=50$  anni, mentre il manuale di progettazione ferroviaria impone un  $Tr=100$  anni, per lo smaltimento delle acque meteoriche afferenti alla piattaforma ferroviaria le opere di infiltrazione sono state direttamente dimensionate in base ad un tempo di ritorno duecentennale come suggerito e prescritto da diverse normative regionali e nazionali per questo tipo di opere.

### **6.3.2. Aspetti morfologici della rete idrica di superficie**

Il territorio in esame è caratterizzato dalla presenza di alcuni canali corpi idrici naturali e linee di drenaggio e fognatura che si sviluppano a fianco della linea ferroviaria. Tuttavia, la mancanza di informazioni di dettaglio sulla capacità di smaltimento di tali corpi idrici, la criticità idraulica di taluni ambiti a ridosso dell'idrografia principale, nonché la presenza di lunghi tratti di trincea del tracciato ferroviario, non consentono di poter contare su un drenaggio a gravità superficiale rapido ed efficace.

Stessa problematica si riscontrerebbe per un sistema di recapito a valle di vasche di laminazione, che per far fronte a bassi valori di portata in uscita e ad altezze di invaso limitato (per garantire lo scarico a gravità nei canali anche quando pieni d'acqua), necessiterebbero di un grande ingombro areale. Vi è quindi una difficoltà tecnica (oltre che autorizzativa) nel perseguire la soluzione con vasche di laminazione e recapito in canali irrigui.

Si opta dunque per un sistema dispersione per infiltrazione negli strati superficiali del suolo.

### **6.3.3. Misure di conducibilità idraulica**

Per definire la fattibilità di un sistema ad infiltrazione negli strati superficiali del suolo e per poterne effettuare il dimensionamento, la conducibilità idraulica  $k$  del terreno è un parametro fondamentale. Dalle indagini geognostiche condotte in sito si evince che il terreno risulta, mediamente abbastanza permeabile, con valori del coefficiente di permeabilità variabili tra  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  m/s. In particolare, sono state effettuate 2 prove Lefranc in località Cittiglio dalle quali sono stati stimati i valori di permeabilità del terreno:

- Prova nr. 1 con  $K = 7.42 \cdot 10^{-5}$
- Prova nr. 2 con  $K = 2.79 \cdot 10^{-4}$

con valore medio pari a  $k = 1.70 \cdot 10^{-4}$ .

Potendo comunque contare su un rivestimento del fondo dei dispositivi di drenaggio in materiale lapideo drenante per uno spessore di 50 cm in via semplificativa si assume in ogni caso cautelativamente un grado di permeabilità pari a  $10^{-4}$  m/s per tutta la tratta, valori prossimi a terreni di natura sabbiosa.

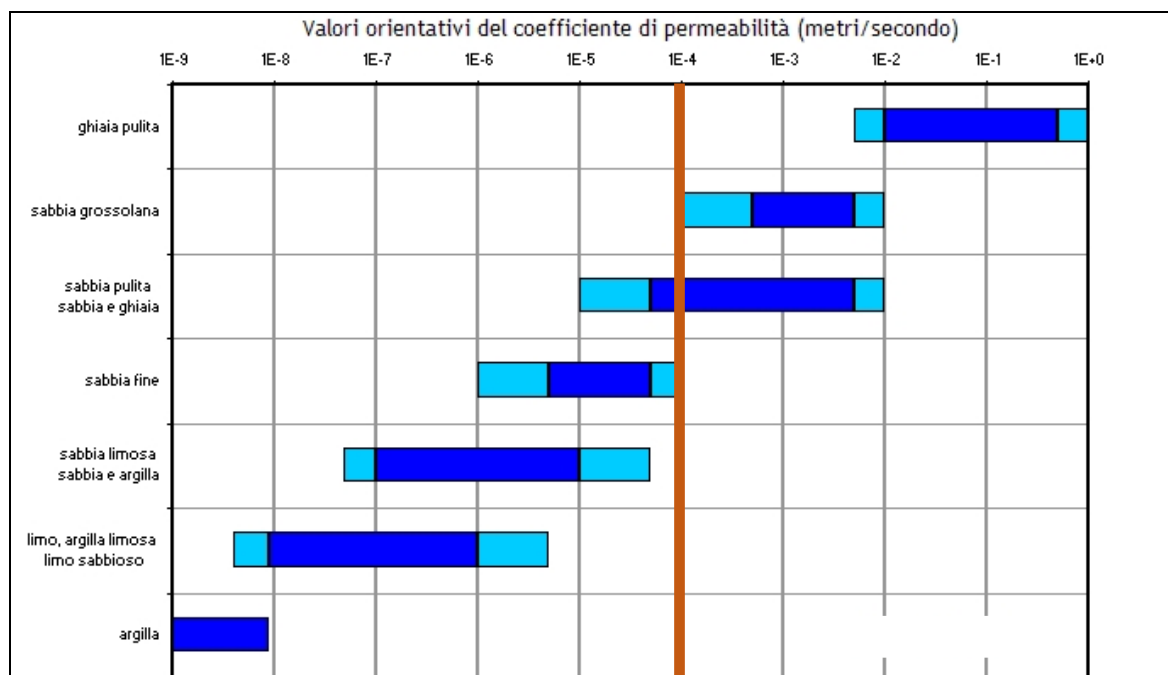


Figura 6.7: Valori indicativi per la scelta del coefficiente di permeabilità del terreno

#### 6.3.4. Stima della portata di infiltrazione

La portata dispersa da sistemi per infiltrazione è stata stimata in funzione delle dimensioni geometriche dell'invaso (superficie netta d'infiltrazione) e dalla capacità di permeabilità del terreno presente in sito. La capacità di infiltrazione viene stimata con la legge di Darcy mediante la seguente formula:

$$Q_{inf} = K \cdot J \cdot A_{inf}$$

con:

$Q_{inf}$  : portata d'infiltrazione [ $m^3/s$ ];

$K$  : permeabilità (o coefficiente di permeabilità) [ $m/s$ ];

$J$  : cadente piezometrica [ $m/m$ ];

$A_{inf}$  : superficie netta d'infiltrazione considerata pari alla larghezza del materasso lapideo per la lunghezza della tratta di interesse [ $m^2$ ].

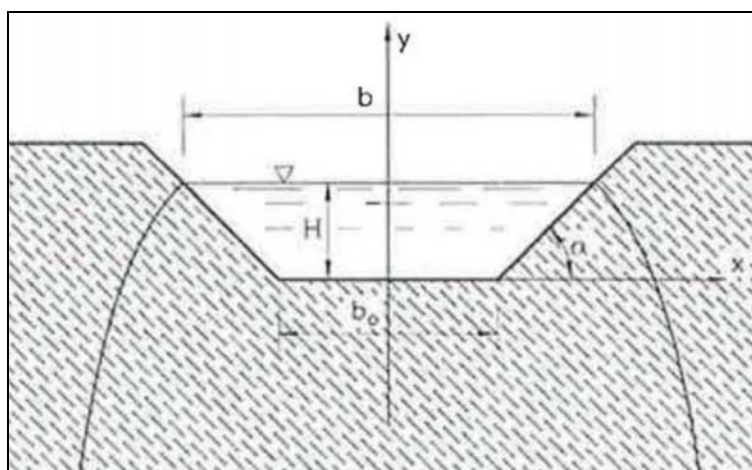


Figura 8: Schema di funzionamento sistema disperdente

Per la stima della cadente piezometrica si è fatto uso della formula di Sieker che mette in relazione il tirante d'acqua sul sistema di invaso con il percorso che deve fare la stessa per giungere in falda:

$$I = \left( \frac{L+z}{L+z/2} \right)$$

L: distanza dal fondo bacino alla quota falda;

z: Tirante d'acqua in fosso o canaletta (H come da figura).

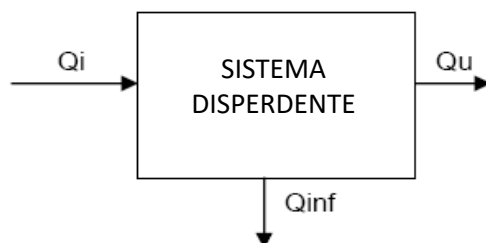
La portata di infiltrazione pertanto diviene:

$$Q_{inf} = K \cdot \left( \frac{L+z}{L+z/2} \right) \cdot A_{inf}$$

La dimensione del bacino drenante è stata valutata tenendo conto sia della capacità disperdente che della capacità d'invaso (metodo delle sole piogge). I volumi di invaso sono calcolati sottraendo al volume in arrivo, determinato a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, le portate disperse nel sottosuolo. Il calcolo del volume di laminazione  $\Delta W$  necessario per laminare la portata in arrivo dalla piattaforma è effettuato risolvendo, con riferimento ad un bacino scolante con superficie  $A_{inf}$ , al variare del tempo di pioggia  $t_p$  (espresso in ore), l'equazione di bilancio dei volumi valida nell'ipotesi semplificativa che inizi la dispersione contestualmente all'inizio dell'evento piovoso.

Per laminare e disperdere il volume meteorico in ingresso al sistema, calcolato con i dati sopra riportati, è stata dimensionata una superficie di infiltrazione pari alla larghezza del materasso lapideo per la lunghezza di ogni singolo tratto di fosso o canaletta a fondo aperto. Il bacino disperdente deve essere in grado di ricevere e mantenere al suo interno i volumi in arrivo per svolgere la sua funzione di laminazione e dispersione della portata. La dimensione del bacino è stata stimata parallelamente alla capacità di infiltrazione della superficie filtrante fissando come riferimento un tirante massimo pari a 25 cm pari all'altezza media del corpo ricettore in modo iterativo per giungere all'optimum; in via cautelativa il tirante considerato per la stima della capacità di infiltrazione è stato considerato come media del massimo tirante e il percorso dell'acqua di infiltrazione pari a  $L = 8$  m, distanza del fondo bacino dalla quota stimata della falda.

Per il dimensionamento del dispositivo di dispersione è necessario fare un bilancio tra le portate in ingresso e in uscita dal sistema.



In generale, la portata  $Q_i$  in ingresso viene in parte dispersa dal fondo permeabile del sistema ( $Q_{inf}$ ) e in parte rilasciata al sistema fognario ( $Q_u$ ). Il sistema disperdente funge da vasca di laminazione e l'acqua al suo interno comincia a salire di livello nel momento in cui la portata in ingresso è maggiore di quella in uscita. Ciò succede durante gli eventi meteorici eccezionali.

Nel caso in esame, poiché la totalità dell'afflusso meteorico verrà dispersa nel terreno, si avrà che  $Q_u = 0$  e pertanto:

$$(Q_i - Q_{inf}) \times \Delta t = \Delta W \quad [1]$$

dove:

- $Q_i$ : portata in ingresso pari a  $Q_{max} = 161$  l/s calcolata sulla base di un tempo critico di pioggia;
- $Q_{inf}$ :  $k \times i \times S_{inf}$  = portata d'infiltrazione;
- $S_{inf}$ : superficie disperdente dei sistemi con fondo in materiale lapideo;
- $k$ : coefficiente di permeabilità del terreno ( $1 \cdot 10^{-4}$  m/s);
- $i$ : cadente piezometrica calcolata con la formula di Sieker = 1.015;
- $\Delta t$ : intervallo di tempo (1 ora);
- $\Delta W$ : variazione di volume invasato.

Considerando come incognita nell'equazione [1] la superficie drenante, la risoluzione dell'equazione conduce a stimare una superficie di infiltrazione minima pari a  $660 \text{ m}^2$ .

Contando su una superficie di infiltrazione di almeno  $800 \text{ m}^2$  la portata dispersa per infiltrazione è stimata in 80 l/s.

Il volume totale di invaso necessario allo stoccaggio temporaneo delle acque meteoriche che non si infiltrano nell'arco di un'ora di pioggia è stimato in  $282 \text{ m}^3$ .

La rete di drenaggio a terra prevede l'utilizzo di fossi e canalette per uno sviluppo complessivo tale da garantire almeno  $400 \text{ m}^3$  di invaso. In via cautelativa non si considera l'ulteriore volume offerto dal materasso ghiaioso di fondo delle opere di drenaggio. Con un riempimento massimo stimato pari al 70 % il sistema è in grado di scaricare e invasare le portate e i volumi corrispondenti ad un evento caratterizzato da  $Tr = 200$  anni.

Volendo fare una verifica di drenaggio puntuale per un evento a rapido sviluppo con tempo di corrivazione pari a 5 minuti, considerando una superficie per metro lineare di intervento pari al massimo allargamento di sede di circa 5 m, relativamente ai tratti serviti da canaletta con fondo drenante si ottiene:

$$Q_{max} = 0.32 \text{ l/s}$$

La portata filtrante massima per metro lineare di canaletta risulta 0.1 l/s.

Nei 5 minuti di precipitazione di forte intensità si genera un volume pari a  $0.1 \text{ m}^3$ , mentre la capacità di detenzione del dispositivo di drenaggio è  $0.25 \text{ m}^3$ ; il sistema quindi è in grado di essere officioso dal punto di vista idraulico consentendo di offrire un margine di sicurezza con un volume residuo di invaso pari a  $0.15 \text{ m}^3$ . Il sistema è in grado di gestire l'evento con un grado di riempimento della canaletta pari al 40%. La verifica risulta oltremodo onorata nei tratti serviti dai fossi di guardia che offrono maggiore superficie di infiltrazione e notevole volume di invaso.

Come si evince dai calcoli sopra le verifiche condotte con l'approccio del metodo delle sole piogge atto a massimizzare il volume di invaso risulta più conservativo rispetto al dimensionamento delle opere di drenaggio e dispersione per infiltrazione relativamente agli eventi di rapida evoluzione rappresentati con il metodo cinematico.



Secondo normativa nazionale, le indicazioni generali circa i tempi di vuotamento dei sistemi di laminazione si allineano alle direttive di altri paesi europei secondo le quali si presume che la probabilità che un evento meteorologico significativo possa ripetersi nell'arco delle 48 ore successive al primo. O meglio, per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati il tempo di svuotamento dei volumi calcolati non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all'interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato. Il volume di laminazione calcolato deve quindi essere incrementato della quota parte che è ancora presente all'interno dell'opera una volta trascorse 48 ore.

Il tempo di vuotamento in via cautelativa si calcola rispetto a tutto il volume dell'apporto meteorico e pari a  $594 \text{ m}^3$ , giungendo al calcolo:

$$T_v = V / Q_{\text{inf}} = 594 \text{ m}^3 / 76 \text{ l/s} \sim 2 \text{ ore (verificato)}$$

È verificato che nell'arco di circa 2 ore il sistema di drenaggio è in grado di scaricare l'intero apporto meteorico e pertanto in ottemperanza a quanto sopra citato si garantisce che i tempi di vuotamento dei sistemi di drenaggio e degli invasi sono rispettosi della normativa.

#### **6.3.5. Sistemi a dispersione con materasso drenante**

Le trincee (cassonetti) drenanti saranno riempite di materiale inerte di granulometria 25-70 mm dello spessore minimo di 50 cm separato dal terreno circostante da uno strato di geotessuto, sormontate da fossi di raccolta delle acque, a sezione trapezia e realizzati con uno strato di 10 cm di ghiaia a pezzatura 10-25 mm, altrimenti da canalette in cls con fondo fessurato o senza fondo della sezione di 50x50 cm poggiate sulla trincea. Per agevolare ulteriormente il processo di infiltrazione i vari tratti di trincea o fosso saranno disposti con basse pendenze se non per linee suborizzontali, rallentando di fatto il deflusso all'interno dei corpi ricettori e favorendo quanto più possibile la subirrigazione.

La portata che afferisce alla trincea dipende dall'area del tracciato ferroviario servita; il volume in ingresso alla trincea sarà dato dall'integrale nel tempo delle portate. Il sistema fosso-trincea o canaletta-trincea può dunque accogliere un determinato volume, che al passare del tempo si infila; per semplicità di calcolo e a favore di sicurezza è stata considerata la sola proiezione orizzontale della superficie filtrante quindi il fondo trincea, trascurando la parte laterale.

Note la capacità d'invaso e la velocità d'infiltrazione, il tempo critico è quello a cui corrisponde il massimo volume invasato, cioè la massima differenza tra volume in ingresso e in uscita.

Per quanto riguarda invece i tempi di svuotamento è stato verificato che, una volta terminato l'evento critico di pioggia, il sistema mantenga una capacità residua tale da poter invasare un secondo evento che si verifica a 48 ore di distanza dal precedente in ottemperanza all'art.11 comma f punto 2.

Come verificato in precedenza, nell'arco di circa 2 ore poco più il sistema di drenaggio è in grado di scaricare l'intero apporto meteorico e pertanto in ottemperanza a quanto sopra citato si garantisce che i tempi di vuotamento degli invasi sono rispettosi della normativa.

Si propongono alcune immagini di sezioni tipologiche degli interventi di gestione e smaltimento delle acque meteoriche.

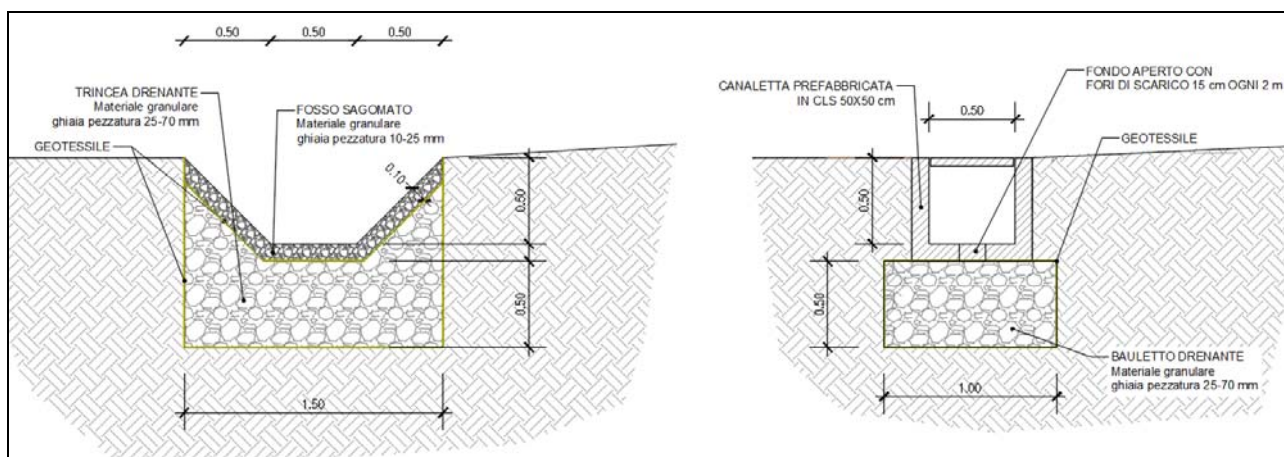


Figura 6.9: Sezioni tipologiche dei dispositivi di drenaggio e infiltrazione ai lati del corpo ferroviario

#### 6.4. SISTEMA DI DRENAGGIO ACQUE DA BANCHINE FERROVIARIE

Alla stazione di Gemonio sono previsti interventi di sistemazione delle banchine esistenti e ampliamento di quella lato ovest. I lavori prevedono inoltre la realizzazione di nuove pensiline. Il progetto ha l'obiettivo della messa a norma delle banchine di accesso ai treni e delle pensiline di copertura in un'ottica di riqualificazione dell'intero complesso di fermata.

Sulla scorta delle coperture di progetto e delle superfici di nuova realizzazione e di sistemazione dell'esistente sono state condotte le verifiche idrauliche di dimensionamento delle opere di drenaggio e smaltimento delle acque meteoriche zenitali.

Il calcolo delle portate indotte dalle modificazioni superficiali di progetto relativamente ai tratti interessati dall'intervento di pensiline e banchine, è stato effettuato con il metodo razionale per la verifica idraulica e capacità di smaltimento delle opere di drenaggio con  $TR = 50$  anni e per precipitazioni di durata pari ai tempi di corrivazione massimizzando in questo caso le portate.

$$\bullet \quad h = 61.82 \cdot t^{0.50} \quad \text{per } Tr = 50 \text{ anni} - t < \text{ora}$$

Per i calcoli idraulici è stato adottato il metodo cinematico.

$$Q_{\max} = \varphi \cdot S \cdot h / T_c$$

$$V = \varphi \cdot S \cdot h$$

- $V$  è il volume d'acqua precipitato;
- $S$  è la superficie del bacino considerato;
- $\varphi$  è il coefficiente di deflusso;
- $h$  è l'altezza della precipitazione per dato tempo di ritorno;
- $T_c$  è il tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione  $T_c$ , può essere stato calcolato con diverse formulazioni che possono pesare in maniera differenziata le caratteristiche geometriche del bacino a seconda della pendenza, dell'estensione, della lunghezza dell'asta principale, se non la differenza tra la quota massima e la minima, altre ancora più sofisticate mettono in gioco anche parametri climatici quali  $a$  e  $n$  delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

Per una rete come quella in progetto il tempo di corrivazione  $T_c$  può essere determinato facendo riferimento al percorso idraulico più lungo della rete fognaria fino alla sezione di chiusura considerata. In particolare, dopo aver individuato la rete fognaria sottesa dalla sezione di chiusura e aver delimitato i sottobacini contribuenti in ogni ramo della rete, per determinare il tempo di corrivazione  $T_c$  si deve far riferimento alla somma:

$$T_c = T_a + T_r$$

dove  $T_a$  è il tempo d'accesso alla rete relativo al sottobacino drenato dal condotto fognario posto all'estremità di monte del percorso idraulico più lungo, e  $T_r$  è il tempo di rete.

Il tempo d'accesso  $T_a$  varia con la pendenza dell'area, la natura della stessa e il livello di realizzazione dei drenaggi minori, nonché dell'altezza della pioggia precedente l'evento critico di progetto; tuttavia, il valore normalmente assunto nella progettazione è sempre compreso entro l'intervallo di 5÷15 minuti; i valori più bassi per le aree di minore estensione, più attrezzate e di maggiore pendenza e i valori più alti nei casi opposti.

Il tempo di rete  $T_r$  è dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singola canalizzazione seguendo il percorso più lungo della rete fognaria.

In definitiva, assunte le seguenti ulteriori ipotesi:

- che il funzionamento dei collettori sia autonomo, trascurando quindi eventuali rigurgiti indotti sui singoli rami da parte dei collettori che seguono a valle,
- che il deflusso dei singoli rami avvenga in condizioni di moto uniforme,
- che il comportamento della rete nel suo complesso sia sincrono, cioè che i diversi collettori raggiungono contemporaneamente il massimo valore della portata,

la massima portata al colmo di piena  $Q_{50}$  viene calcolata alla sezione di chiusura secondo le formulazioni di cui sopra. Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso  $\varphi$  è stato impostato al valore costante pari a 0.9 in ragione della natura impermeabile delle superfici pavimentate.

Per il calcolo delle condutture è stata utilizzata la formula di Chezy adottando il coefficiente di scabrezza nella notazione di Gauckler-Strikler pari a  $70 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  per i tubi in materiale cementizio, nell'ipotesi di libero deflusso a moto uniforme e in stato di esercizio:

$$v = k \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$Q = k \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

- $v$  = velocità della corrente in  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- $k = 70 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  coefficiente di scabrezza;
- $R_h$  = raggio idraulico in m;
- $i$  = pendenza del tratto di interesse 0.1%;
- $Q_{50}$  = la portata di progetto con  $y/D$  il rispettivo grado di riempimento del tubo;
- $Q_{\max}$  = la massima portata transitabile in condizione di critiche.

Condotta DN400 CLS										
DN	Di	Area	Tc	Ks	i	y/D	V <sub>50</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>50</sub>	Tratto
mm	mm	m <sup>2</sup>	minuti	m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>	.	% riemp	m/s	l/s	l/s	banchina
400	400	370	5	70	0.001	0.40	0.43	65	19.7	est
400	400	978	12	70	0.001	0.56	0.50	65	33.7	ovest
400	400	267	4	70	0.001	0.27	0.40	65	16.0	ovest

Tabella 6.1: Verifica condotte in CLS DN400 mm linee di drenaggio in banchina

## **7. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'INTERVENTO**

Le piogge di forte intensità che cadono su un bacino idrografico subiscono due tipi di processi che determinano l'entità delle piene nei corsi d'acqua riceventi: l'infiltrazione nei suoli e la laminazione superficiale. Il primo processo controlla i volumi di acqua restituiti, e viene descritto in via speditiva mediante un "coefficiente di deflusso" il quale rappresenta la percentuale della pioggia che raggiunge il corpo recettore. Il secondo processo, influenzato dalle caratteristiche del reticolo drenante e dalla morfologia delle aree contermini, agisce trattenendo i volumi che scorrono in superficie, facendoli transitare attraverso i volumi disponibili e determinandone una restituzione rallentata.

Un bacino naturale presenta la caratteristica di lasciare infiltrare una certa quantità di acqua durante gli eventi di piena, e di restituire i volumi che non si infiltrano in modo graduale. L'acqua ristagna nelle depressioni superficiali, segue percorsi tortuosi, si espande in aree normalmente non interessate dal deflusso, ed in questo modo le piene hanno un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando un bacino subisce un'artificializzazione, i deflussi vengono canalizzati e le superfici vengono regolarizzate, di modo che il deflusso viene accelerato. Ciò comporta un aumento dei picchi di piena e può portare a situazioni di rischio idraulico. Inoltre, l'impermeabilizzazione dei suoli provoca un aumento dei volumi che scorrono in superficie, aggravando ulteriormente le possibili criticità. Maggiori volumi che scorrono in superficie rappresentano, oltre ad un aggravio dei possibili rischi idraulici, anche un più rapido esaurimento dei deflussi e una riduzione di apporti alla falda, e in definitiva una riduzione delle risorse idriche utilizzabili. L'urbanizzazione degli ultimi decenni ha configurato situazioni di rischio idraulico significative conseguentemente alla perdita di capacità di invaso del territorio connessa alla sensibile riduzione dei volumi del drenaggio minuto (scoline, fossi...).

Alla luce di quanto descritto, si pone il problema, nella pianificazione, sia di bacino che non, di adottare strumenti che garantiscano la sostenibilità di lungo periodo di un assetto idrografico. In particolare, è necessario limitare in futuro possibili effetti di aggravio delle piene legati alla progressiva urbanizzazione e all'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle trasformazioni di uso del suolo. Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve invece prevedere azioni correttive volte a mitigarne gli effetti, e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di "invarianza idraulica" delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi, 2001).

A tal fine come espressamente dichiarato nel capitolo precedente si è provveduto a recapitare tutte le acque delle superficie concernenti la nuova piattaforma ferroviaria in sistemi di infiltrazione nel suolo senza alcun recapito alla rete esistente. Tale soluzione scongiura ogni eventuale incremento delle portate di picco e dei volumi verificabili in situazione ante-operam in ottemperanza 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, successivamente modificato dal RR n.8 del 19/04/2019.

Oltre alla capacità di invaso e infiltrazione sono stati rispettati anche i limiti presenti sui i tempi di svuotamento del sistema di drenaggio per infiltrazione. È stato verificato che, una volta terminato l'evento critico di pioggia, il sistema mantenga una capacità residua tale da poter invasare un secondo evento con tempo di ritorno  $TR = 50$  anni che si verifica a 48 ore di distanza dal precedente in ottemperanza all'art.11 (Metodologia di calcolo delle misure di invarianza idraulica

e idrologica per il rispetto dei limiti allo scarico in caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta) comma f punto 2. Art.11

*“Per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati il tempo di svuotamento dei volumi calcolati non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d’invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all’interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato secondo quanto indicato alla lettera “e”. Il volume di laminazione calcolato secondo quanto indicato alla lettera “e” deve quindi essere incrementato della quota parte che è ancora presente all’interno dell’opera una volta trascorse 48 ore.*

*Si è proceduto allo sviluppo di tale verifica che si svolge su più livelli di approfondimento atta a valutare la pericolosità presente e potenziale sull’area e le possibili alterazioni del regime idraulico.”*

Nel caso in oggetto relativo ad interventi infrastrutturali di trasporto nastriforme quali ferrovia si è proceduto con la realizzazione di fossi adiacenti e paralleli al tracciato con capacità tale da soddisfare i requisiti di volume di compensazione richiesti. Potenziando la capacità di laminazione del territorio si compensa la perdita di capacità di infiltrazione.

A seguito di quanto sopra esposto la rete di drenaggio a servizio della piattaforma ferroviaria (collettori e fossi di guardia) con eventuale recapito nei fossi di accumulo piogge e successiva infiltrazione è stata dimensionata secondo quanto riportato e indicato dalla normativa regionale in materia di invarianza idraulica e idrologica.

Il progetto del raddoppio ferroviario della tratta Varese–Laveno tra i comuni di Gemonio e Cittiglio, per quanto riguarda il sistema di drenaggio delle acque di piattaforma è idrologicamente e idraulicamente compatibile con il territorio in cui si inserisce rispettando il principio dell’invarianza idraulica e idrologica.