

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

## S.O. IDRAULICA

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

### VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA

### QUADRUPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA

### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale

SCALA:

-

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

I Q 0 1    0 1    R    1 1    R H    I D 0 0 0 2    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	E.Pacitti	Dicembre 2023	C. Cesali 	Dicembre 2023	L. Martinelli	Dicembre 2023	F. Cabas Dicembre 2023

ITALFERR S.P.A.  
Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Roma al n. 15744  
Ing. Fabrizio Cabas

File: IQ0101R11RHID0002001A

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
3	INQUADRAMENTO FISICO E IDROGRAFICO .....	8
4	ANALISI PLUVIOMETRICA .....	9
5	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA .....	11
6	OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO .....	16
7	SISTEMA DI ACCUMULO E DISPERSIONE PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE DI PIATTAFORMA .....	21
7.1.	ASPETTI NORMATIVI .....	21
7.2.	ASPETTI MORFOLOGICI DELLA RETE IDRICA DI SUPERFICIE .....	23
7.3.	MISURE DI CONDUCEBILITÀ IDRAULICA .....	24
7.4.	FOSSO A DISPERSIONE CON BAULETTO DRENANTE E MODULI DRENANTI .....	25
8	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	33

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 – Localizzazione dell'Intervento .....</i>	8
<i>Figura 2 –Fosso a dispersione con bauletto drenante .....</i>	26
<i>Figura 3 –Dettaglio moduli drenanti .....</i>	26
<i>Figura 4 –Sezione sistema di laminazione-infiltrazione moduli drenanti.....</i>	27

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Parametri LSPP di progetto opere stradali e ferroviarie.....</i>	10
<i>Tabella 2 – Valori di r e z al variare dell'esponente n della CPP. ....</i>	14
<i>Tabella 3 – Valori di permeabilità del terreno lungo il tracciato ferroviario .....</i>	24
<i>Tabella 4 – Ubicazione delle prove di permeabilità in pozzetto lungo il tracciato.....</i>	25

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## 1 PREMESSA

Il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera si inserisce nel quadro complessivo degli interventi previsti nello scenario di potenziamento dell'offerta ferroviaria delle direttrici Milano-Genova e Torino-Alessandria-Piacenza.

Nell'ambito dei Progetti per il Piano Lombardia ed al fine di dare continuità all'attivazione del Terzo Valico dei Giovi, RFI ha valutato l'opportunità di effettuare un potenziamento infrastrutturale del corridoio Milano – Genova, includendo negli interventi da realizzare anche il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera.

Il quadruplicamento tra Tortona e Voghera permetterà di disporre della capacità necessaria per soddisfare gli incrementi di traffico sulle due direttrici. Il layout infrastrutturale di progetto consentirà una separazione dei flussi di traffico tra i collegamenti Torino/Alessandria - Piacenza e le relazioni Milano – Genova garantendo una riduzione delle interferenze negli impianti, a beneficio di un incremento complessivo della regolarità di circolazione.

In particolare, è prevista in progetto la realizzazione di un'opera di scavalco che consentirà di instradare i treni provenienti da Genova (via TVG)/Alessandria e diretti verso Piacenza sulla "linea Piacenza" senza interferire con i treni provenienti da Milano e diretti verso Genova (via TVG)/Alessandria, che costituiscono il flusso principale secondo il nuovo modello di esercizio. Con quest'opera, da un lato si eliminano le interferenze sulla "linea Milano" in stazione di Tortona, dall'altro si consente una più equa ripartizione dei flussi sui quattro binari.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova coppia di binari tra le stazioni di Tortona e di Voghera, in affiancamento a quella esistente, per un'estesa di circa 16 km.

Le caratteristiche di progetto della linea sono le seguenti:

- modulo linea 750 m
- peso assiale D4
- Codifica per Trasporto Combinato P/C 80
- velocità di progetto 200 km/h in rango C, salvo riduzioni puntuali
- tipologia di traffico: misto (passeggeri e merci)
- profilo minimo degli ostacoli: PMO 5

È previsto un sistema di distanziamento a 5' tra due treni a seguito. La gestione ed il comando della circolazione dell'insieme della linea quadruplicata, avverrà dal Posto Centrale di Milano Greco Pirelli.

Il regime di circolazione previsto è ERTMS L2 sovrapposto al segnalamento laterale.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Il perimetro dell'intervento riguarda la tratta Tortona (esclusa) – Voghera (esclusa). Gli interventi previsti negli impianti di Tortona e Voghera sono minimali e atti ad accogliere i nuovi binari di quadruplicamento. È previsto l'adeguamento della fermata di Pontecurone per l'inserimento dei due nuovi binari e di conseguenza saranno adeguati a STI i marciapiedi a servizio viaggiatori (altezza pari a H=55 cm e lunghezza utile di 250 m). Inoltre, il sottopasso della fermata dovrà essere opportunamente adeguato per garantire la piena accessibilità anche alle PRM. Le periferiche laP installate nella fermata dovranno essere adeguate per caratteristiche e quantitativi allo standard RFI.

Il Piano di Committenza del progetto prevede un unico appalto multidisciplinare e trattative private singole per le riconfigurazioni tecnologiche degli apparati esistenti.

Inoltre, la progettazione prevede la risoluzione delle interferenze viarie extralinea con la nuova linea ferroviaria di progetto, nello specifico all'interno del PFTE del quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera sono previsti i seguenti interventi di risoluzione delle interferenze viarie:

- Adeguamento via Pernigotti a Tortona;
- Adeguamento strada comunale Tegoretto;
- Adeguamento strada Cavallerezza (sterrata);
- Adeguamento strada Castelnuovo Scriveria a Pontecurone;
- Adeguamento strada Crocetta - Pasqua a Voghera (sterrata)
- Adeguamento strada della Castagna a Voghera.

Maggiori dettagli sulle viabilità in progetto saranno riportati nei successivi capitoli della presente relazione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto, per quanto concerne l'idraulica, nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo Unico delle disposizioni di Legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. "Norme in materia ambientale";
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30 "Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento";
- DM Ambiente 16 giugno 2008, n. 131 "Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici";
- DM Ambiente 12 giugno 2003, n. 185 "Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue";
- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132 "Protezione delle acque sotterranee";
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) versione aggiornata;
- 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 Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; "Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua";

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

- 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.3 - Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della Legge Regionale 12 dicembre 2003, n. 26 e relative "Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell'articolo 3, comma 1 del Regolamento reg. 2006, n.3".
- 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 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)".

### 3 INQUADRAMENTO FISICO E IDROGRAFICO

Il tracciato si sviluppa approssimativamente in direzione NE – SO attraversando il confine tra Piemonte e Lombardia su un terreno pianeggiante o sub-pianeggiante.

Il suolo è utilizzato prevalentemente a scopi agricoli, e il tracciato incontra il centro urbano di Pontecurone oltre alle città ai capilinea.

I principali corsi d'acqua della zona sono i torrenti Curone, Calvenza e Grue, il primo affluente in destra del fiume Po, gli altri affluenti in destra del fiume Scrivia

L'area oggetto dell'Intervento è riportata nella figura seguente:



Figura 1 – Localizzazione dell'Intervento



## 4 ANALISI PLUVIOMETRICA

Nell'ambito dello studio idrologico sviluppato nella "Relazione idrologica bacini minori e piattaforma" IQ0101R26RHID0001001, 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
Deviazioni stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazioni stradali	25

- Manufatti di attraversamento:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	200
Deviazioni stradali	200

- Inalveazioni:

	Tr [anni]	
Tratti a monte e valle della linea ferroviaria	200	Per S < 10 Km <sup>2</sup>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Per l'area oggetto d'intervento, con riferimento a tempi di ritorno di 25, 50, 100, 200 anni, secondo lo studio di Arpa Piemonte e con l'applicazione del metodo di Bell, si ottengono i seguenti valori per  $a \cdot K_T$  ed  $n$  e le seguenti leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata inferiore e superiore all'ora:

Tratta ferroviaria di riferimento		$t \leq 1$ ora				$t > 1$ ora			
	Tr [anni]	25	50	100	200	25	50	100	200
Tortona-Pontecurone	a	30.43				30.43			
	n	0.464				0.250			
	KT	2.33	2.80	3.40	4.10	2.33	2.80	3.40	4.10
Pontecurone-Voghera	a	28.57				28.57			
	n	0.464				0.260			
	KT	2.22	2.70	3.20	3.90	2.22	2.70	3.20	3.90

Tabella 1 – Parametri LSPP di progetto opere stradali e ferroviarie

Per le verifiche degli elementi idraulici che compongono il sistema di drenaggio della piattaforma stradale si considera un tempo di ritorno di 25 anni; per i punti di recapito costituiti tutti da sistemi ad infiltrazione si considera un TR=50 anni, con una curva di possibilità pluviometrica relativa a durate di pioggia inferiori all'ora:

Tratta Tortona-Pontecurone

- $a(\text{TR}=25 \text{ anni}) = 70.90 \text{ (mm/h)}$       $a(\text{TR}=50 \text{ anni}) = 85.20 \text{ (mm/h)}$
- $n'(\text{TR}=25-50 \text{ anni}) = 0.464$
- $n(\text{TR}=25-50 \text{ anni}) = 0.250$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Tratta Pontecurone-Voghera

- $a(\text{TR}=25 \text{ anni}) = 63.43 \text{ (mm/h)}$       $a(\text{TR}=50 \text{ anni}) = 77.14 \text{ (mm/h)}$
- $n'(\text{TR}=25-50 \text{ anni}) = 0.464$
- $n(\text{TR}=25-50 \text{ anni}) = 0.260$

## 5 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

Il calcolo della portata di afflusso nelle opere di raccolta viene eseguito mediante il metodo del volume di invaso. In particolare si fa riferimento al metodo dell'invaso italiano sviluppato da Puppini (1932) e Supino (1933) e alle formule che esprimono direttamente il coefficiente udometrico (portata per unità di area), in quanto adatte al calcolo diretto piuttosto che la verifica.

Le ipotesi del metodo italiano dell'invaso lineare sono le seguenti:

- funzionamento autonomo di tutti i collettori: nessun rigurgito o richiamo
- regime di moto uniforme in ogni collettore: pelo libero parallelo al fondo del collettore; volume invasato pari al prodotto della lunghezza del collettore per l'area bagnata
- funzionamento sincrono: tutti i collettori raggiungono contemporaneamente il massimo volume invasabile.

Il metodo italiano dell'invaso lineare è un modello concettuale che schematizza il funzionamento del bacino con un invaso lineare; esso utilizza un legame lineare fra la portata  $Q(t)$  nella sezione di chiusura e il volume  $W(t)$  immagazzinato dal sistema bacino-rete a monte della sezione nel medesimo istante  $t$ :

$$W(t) = KQ(t)$$

con  $K$  = costante dell'invaso lineare [T].

Il comportamento dell'invaso è descritto dall'equazione di continuità:

$$P(t) - Q(t) = \frac{dW(t)}{dt} = K \frac{dQ(t)}{dt}$$

dove  $P(t) = i_n(t)A$  è la portata di afflusso meteorico netto (pioggia netta  $i_n(t)$  per area bacino  $A$ ).

Se  $P(t)$  è costante (ietogramma costante) si può integrare analiticamente l'equazione di continuità per ricavare l'idrogramma  $Q(t)$ .

Se  $P(t) \neq$  costante può risultare necessario ricorrere all'integrazione numerica.

L'integrazione dell'equazione di continuità per separazione delle variabili per il caso di portata di afflusso meteorico netto costante  $P(t) = P = \text{cost.}$  è così sviluppata:

$$\int_0^t \frac{1}{K} dt = \int_{Q_0}^Q \frac{1}{P-Q} dQ \quad \frac{t-t_0}{K} = -\ln \frac{P-Q}{P-Q_0} \quad P-Q = (P-Q_0)e^{-\frac{(t-t_0)}{K}}$$

Specificando le condizioni al contorno  $Q_0=0$  (invaso vuoto) per  $t=t_0=0$  si ha:

$$Q(t) = P(1 - e^{-\frac{t}{K}}) \quad \text{per} \quad 0 \leq t \leq t_p$$

Essendo la durata  $t_p$  la durata della pioggia ( $P \neq 0$  per  $0 \leq t \leq t_p$ ).

Terminata la pioggia ( $t > t_p$ ) si integra con  $P=0$  e condizione al contorno  $Q_0 = Q_M = Q(t_p)$  per  $t_0 = t_p$ :

$$Q(t) = Q_M e^{-\frac{(t-t_p)}{K}} \quad \text{per} \quad t > t_p$$

Dove la portata al colmo per pioggia costante di durata  $t_p$  è pari a  $Q_M$ .

$$Q_M = Q(t_p) = P(1 - e^{-\frac{t_p}{K}})$$

Fissando il tempo di ritorno  $Tr$  si determinano i coefficienti  $a$  e  $n$  della curva di possibilità climatica:

$$i(t_p) = a \cdot t^{n-1}$$

Assunto uno ietogramma costante e un metodo proporzionale delle perdite con coefficiente di afflusso  $\omega$  si ricava la portata al colmo per qualsiasi durata di pioggia  $t_p$ :

$$Q_M = \varphi \cdot a \cdot t_p^{n-1} A \cdot (1 - e^{-\frac{t_p}{K}})$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Per le ipotesi assunte, la costante di invaso K può essere scritta così:

$$K = \frac{W(t)}{Q(t)} = \frac{W_M}{Q_M}$$

Dove:

- $W_M$  = massimo volume invasato dal sistema bacino-rete a monte della tratta da dimensionare
- $Q_M$  = massima portata al colmo della tratta da dimensionare

La procedura esposta per il metodo dell'invaso fornisce la portata al colmo in funzione del tempo di pioggia  $t_p$ . Posto  $K = W_M/Q_M$ , la  $Q_M$  si riscrive:

$$Q_M = \varphi \cdot a \cdot t_p^{n-1} A \cdot \left(1 - e^{-t_p \frac{Q_M}{W_M}}\right)$$

La determinazione del tempo di pioggia che rende massimo  $Q_M$  si trova eguagliando a zero la derivata rispetto a  $t_p$ .

Posto  $r = \frac{t_p}{K}$  nel caso di curva di probabilità a 2 parametri il massimo della portata al colmo si avrà per

$$n = 1 - r \frac{e^{-r}}{1 - e^{-r}}$$

Si potrà dunque scrivere:

$$Q_M = \varphi \cdot a \cdot A \cdot K^{n-1} \cdot r^{n-1} \cdot (1 - e^{-r})$$

Considerando  $z = \frac{1}{n} \left[ r^{\frac{n-1}{n}} (1 - e^{-r})^{\frac{1}{n}} \right]$  si può scrivere:

$$Q_M = n \cdot (\varphi \cdot a \cdot A)^{n-1} \cdot W_M^{\frac{n-1}{n}} z$$

Poiché i valori di z riportati nella seguente tabella non variano molto al variare di n si potrà fargli assumere un valore costante senza commettere apprezzabile errore nel campo di n compreso tra 0.30 e 0.60.

**Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	14 di 35

$n$	0.30	0.40	0.50	0.60
$r$	0.67	0.95	1.26	1.62
$z$	0.78	0.79	0.81	0.84
$r^{n-1}(1-e^{-r})$	0.65	0.63	0.64	0.66

Tabella 2 – Valori di  $r$  e  $z$  al variare dell'esponente  $n$  della CPP.

Se si considera  $z=0.78$  si può scrivere il coefficiente udometrico secondo la seguente relazione:

$$u = 2168n \frac{(K a)^{1/n}}{W^{(1/n)-1}} \quad (\text{l/s x ha})$$

Nella quale:

- $K$  coefficiente di deflusso;
- $W$  volume specifico d'invaso ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ )
- $a$  coefficiente della curva di possibilità climatica ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- $n$  esponente della curva di possibilità climatica.

In particolare si avrà:

- $K = 0,9$  coefficiente di deflusso aree impermeabili;
- $K = 0,7$  coefficiente di deflusso scarpate e stradello;
- $K = 0,4$  coefficiente di deflusso del bacino esterno alla recinzione;
- $W^1_1 = 0,005 \text{ m}$  volume specifico d'invaso della piattaforma stradale;
- $W^{11}_1 = 0,003 \text{ m}$  volume specifico d'invaso per il bacino esterno alla piattaforma stradale;
- $W_2 = A/L$  volume specifico d'invaso del fosso o del canale ( $A =$  area bagnata in  $\text{m}^2$ ,  $L =$  larghezza in  $\text{m}$  del bacino scolante);

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

$$W_m = W_1^1 + W_1^{11} + W_2 \quad \text{volume medio ponderale in metri.}$$

I parametri  $a$  (in metri) ed  $n$  sono quelli della curva di probabilità climatica per  $Tr = 100$ .

Determinato il coefficiente udometrico  $u$ , la portata affluente per metro di lunghezza ( $D$ ) è pari a:

$$q = \frac{u}{10.000} L \quad (\text{l/s x m})$$

La portata defluente viene calcolata in moto uniforme con l'espressione:

$$Q_d = 1/n A R^{2/3} i^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

- $A$  = area bagnata dell'elemento idraulico ( $\text{m}^2$ )
- $R$  = Raggio idraulico dell'elemento idraulico (m)
- $i$  = pendenza dell'elemento idraulico (-)
- $n$  coefficiente di scabrezza che varia per i vari materiali utilizzati:
  - $n = 0.014$  calcestruzzo
  - $n = 0.011$  materia plastiche (PEAD, PVC)
  - $n = 0.033$  terra, gabbioni e materassi tipo reno

Normalmente la pendenza di fondo "i" non deve essere inferiore a 0,001.

Uguagliando la portata del metodo dell'invaso,  $q_D$  (in cui  $D$  è lo sviluppo longitudinale del fosso/canale in metri), con quella del moto uniforme,  $Q_d$ , si ricava il tirante idrico dell'elemento idraulico  $h$ .

In base a quanto sopra riportato è possibile verificare le differenti opere idrauliche, tenendo conto dei seguenti vincoli di progetto:

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a  $0,4 \div 0,5$  m/s, ove possibile, al fine di evitare fenomeni di sedimentazione sul fondo che necessiti di una manutenzione più frequente dell'ordinaria;

- la velocità massima non deve essere maggiore di 5 m/s, al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- la verifica è soddisfatta quando h all'interno delle tubazioni è inferiore all'altezza associata al riempimento massimo pari al 70% della sezione totale.
- nel caso di elementi aperti quali canali rettangolari e trapezoidali si richiede un tirante che dia origine ad un franco minimo di 5cm sul bordo dell'elemento idraulico.

Verranno descritte nel seguito le reti di drenaggio delle acque meteoriche afferenti le zone in progetto con le relative verifiche idrauliche.

## 6 OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO

Il sistema di drenaggio previsto è costituito da un sistema di intercettazione, collettamento e smaltimento delle acque meteoriche afferenti la piattaforma che hanno recapito fossi a dispersione sul terreno per infiltrazione. Per alcune viabilità per le quali è previsto un mero ripristino non si prevede una nuova rete di drenaggio acque meteoriche. Tra queste strade annoveriamo l'adeguamento di via Pernigotti a Tortona (NV01), l'adeguamento strada locale sterrata al km 56+800 (NV03), l'adeguamento Strada Cavallerezza (sterrata) (NV06), l'adeguamento Strada Crocetta - Pasqua a Voghera (sterrata) (NV09) e l'adeguamento Strada della Castagna a Voghera (NV10).

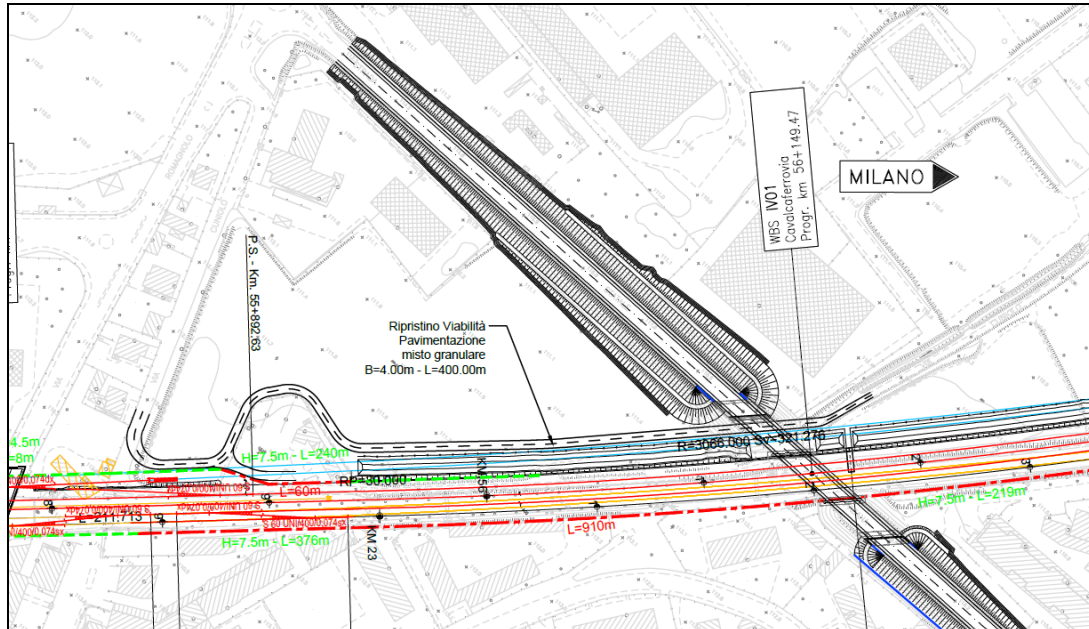
Per le restanti viabilità si è reso necessario prevedere una nuova rete di drenaggio di piattaforma.

- NV02 - ADEGUAMENTO STRADA S. SISTO A TORTONA

Il progetto di quadruplicamento interferisce con la strada locale S. Sisto a Tortona parallela alla linea pertanto è stato necessario prevedere uno spostamento della viabilità in altro sedime parallelo all'esistente. L'adeguamento della nuova viabilità prevede una larghezza complessiva di 4.00m. con pavimentazione in misto granulare stabilizzato.

La viabilità ha funzione di collegamento tra i campi e di ripristino accessi alle cascine lungolinea, la stessa sottopassa il cavalcaferrovia IV01 nella prima campata nord.





Nel tratto in viadotto is prevedono bocchettoni che bucano l'impalcato con pluviali in PVC DN160 con passo 15 m che fanno capo ad un tubo in PVC DN315 che convoglia le acque fino alla spalla per poi recapitare nel fosso a dispersione con bauletto previsto al piede del rilevato.

Sulle rampe di approccio al viadotto data la presenza del marciapiede si è scelto di inserire caditoite costituite da pozzetot in cls pref. 0.70x0.70 con griglia carrabile in ghisa sferoidale classe D400; da ogni pozzetto parte un tubo in PEAD che seguendo il rilevato scarica nel fosso a dispersione con bauletto previsto al piede del rilevato.

A ridosso della spalla sud si prevede in sinistra un muro di sottoscarpa sulla cui sommità si inserisce una canaletta in cls 0.50x0.50 che raccoglie le acque provenienti dalle caditoite del tratto interessato per poi scaricare nel consueto fosso a dispersione.

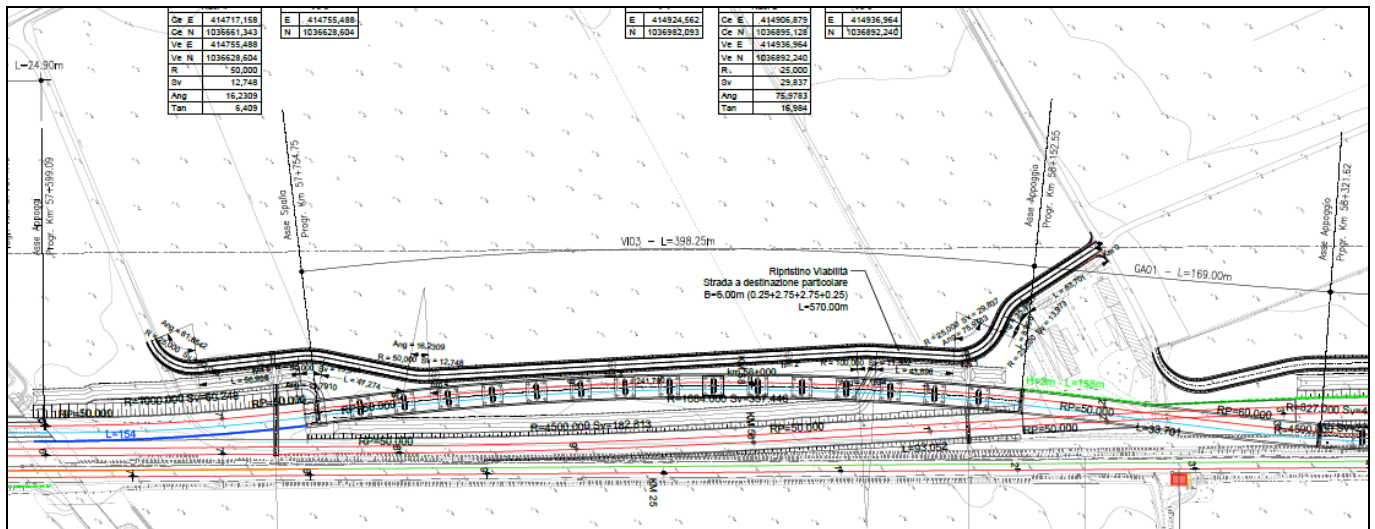
- NV04 – PRIMO TRATTO ADEGUAMENTO STRADA COMUNALE TEGORETTO

Il progetto di quadruplicamento interferisce con la strada comunale Tegoretto parallela alla linea pertanto è stato necessario prevedere uno spostamento della viabilità in altro sedime parallelo all'esistente. La viabilità ha funzione di collegamento tra i campi e di ripristino accessi alle cascate lungolinea. La wbs in oggetto è relativa all'intervento dal km 57+700 fino al km 58+200 con sviluppo

**Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	18 di 35

pari a 570m e si prevede con falda unica verso l'esterno con embrici con passo 10m che scaricheranno in un fosso a dispersione con bauletto previsto al piede del rilevato.

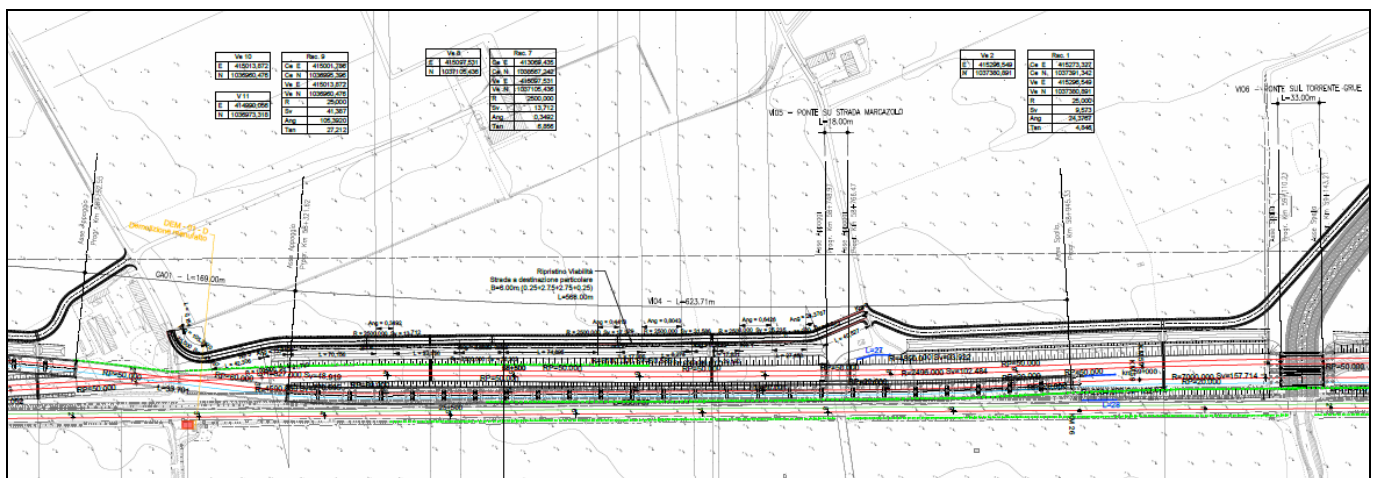


- NV05 – SECONDO TRATTO ADEGUAMENTO STRADA COMUNALE TEGORETTO**

La viabilità ha funzione di collegamento tra i campi e di ripristino accessi alle cascate lungolinea.

La wbs in oggetto è relativa all'intervento dal:

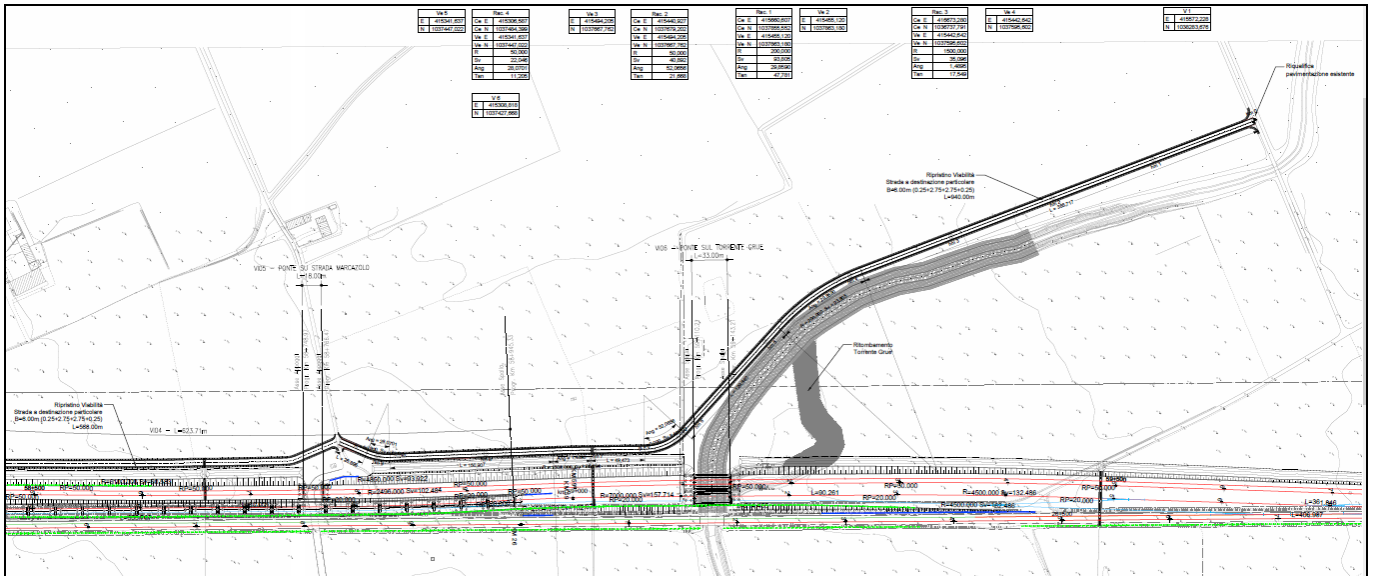
- dal km 58+250 fino al km 58+784 sviluppo intervento 568m



**Relazione idraulica di drenaggio piattaforma  
stradale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	19 di 35

2. dal km 58+790 fino alla connessione con l'attuale viabilità di accesso alle cascina posta in corrispondenza del km 59+700



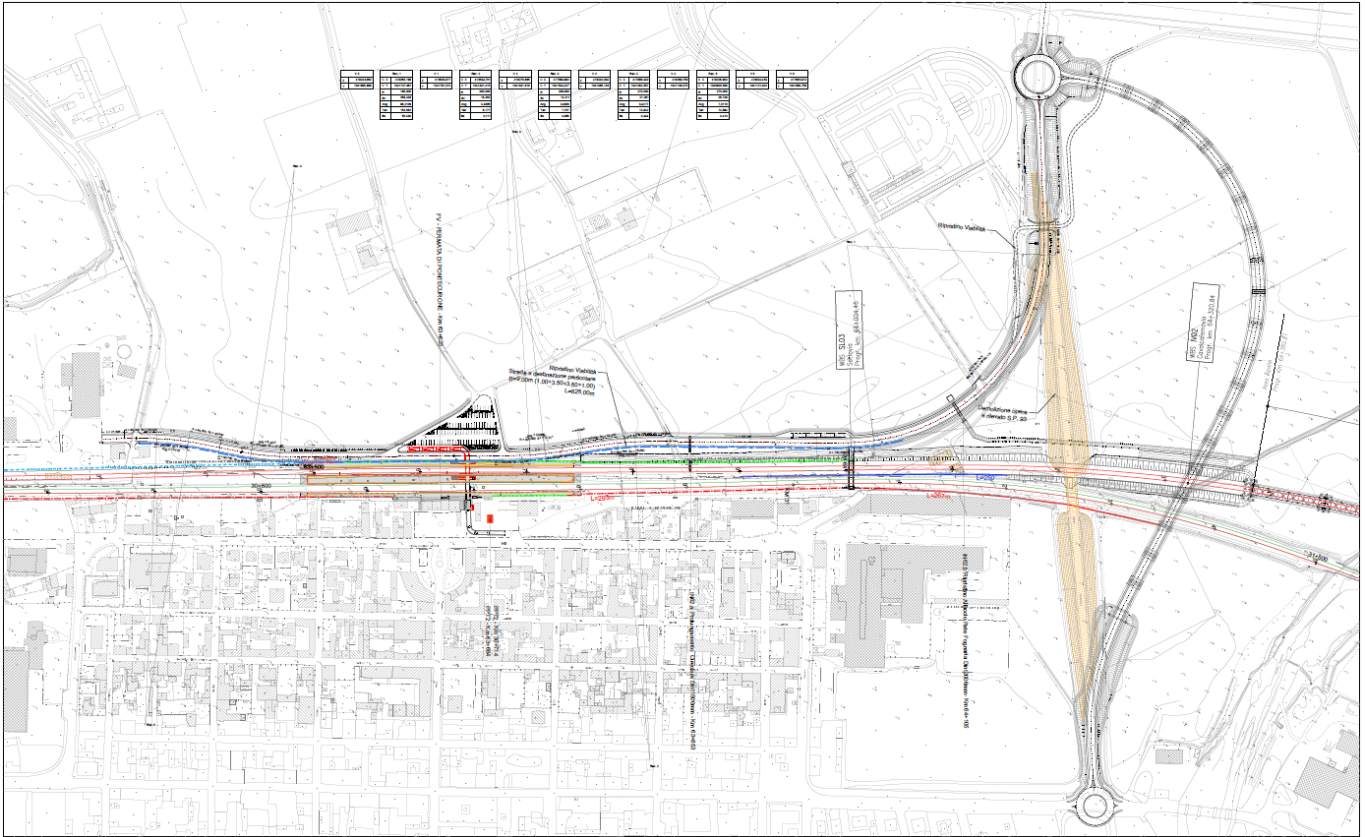
Analogamente a quanto previsto nel primo tratto si prevede con falda unica verso l'esterno con embrici con passo 10m che scaricheranno in un fosso a dispersione con bauletto previsto al piede del rilevato. Altimetricamente tutti i ripristini sono posti ad una quota pari a circa +0.50m dal piano campagna.

- **NV07 - ADEGUAMENTO STRADA CASTELNUOVO SCRIVIA A PONTECURONE**

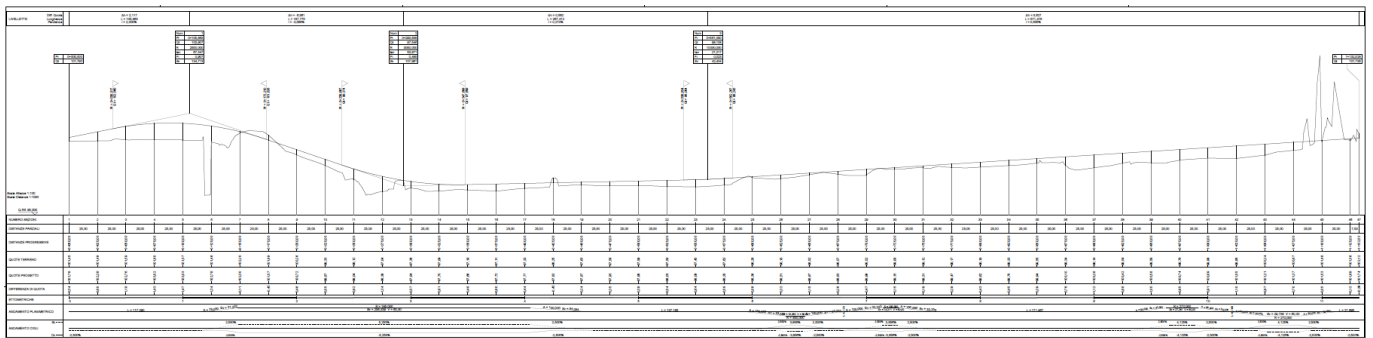
Il progetto di quadruplicamento interferisce con una porzione della strada Castelnuovo Scrvia a Pontecurone che è attualmente in affincamento alla linea pertanto è stato necessario prevedere uno spostamento della viabilità in altro sedime parallelo all'esistente.

L'adeguamento della nuova viabilità prevede una larghezza complessiva di 10.50m composti da due corsie (una per ogni senso di marcia) di larghezza 3.50, banchine laterali di 1.00m e marciiede in destra di 1.50m. La pavimentazione è in conglomerato bituminoso.

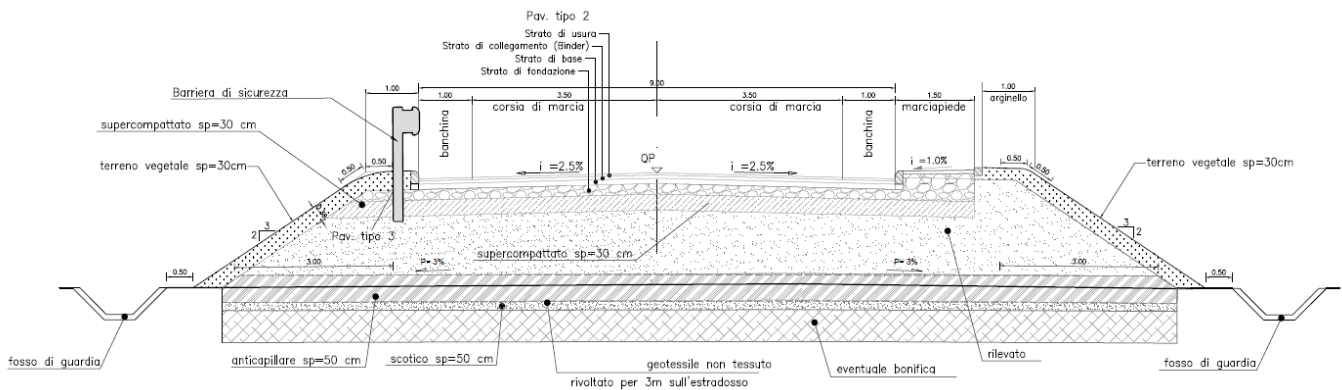
La viabilità ha funzione di accesso al parcheggio della stazione e accesso all'area industriale posta in adicenza alla linea intorno al km 63+300



In corrispondenza della stazione si pavimenta e ridefinisce l'area di parcheggio esistente; essa sarà servita da un sistema di caditoie carrabili e tubi in PEAD con recapito in 3 diversi sistemi di drenaggio per infiltrazione indipendenti costituiti da moduli drenanti in materiale plastico interrati sotto gli stalli.



SEZIONE TIPO STRADA LOCALE A DESTINAZIONE PARTICOLARE



Nel tratto in affiancamento alla ferrovia il recapito delle acque è sempre un fosso a dispersione posto al piede del rilevato; l'intrecciatura delle acque avviene tramite embrici sul lato del fosso e tramite caditoie e tubo in PEAD sul lato opposto.

Nei punti dove è presente il marciapiede si utilizzano le caditoie con tubo anche su lato fosso; allontanandosi dalla linea si prevedono embrici fino alla rotatoria compresa e alla rampa di approccio al viadotto. Sul viadotto si prevedono bocchettoni con pluviali in PVC DN160 con passo 20m collegati tramite tubi in PVC DN315/400 fino alla pila/spalla più vicina dove tramite discendente in PVC DN160 si scaricano le acque nel fosso a dispersione parallelo dell'opera e posto in corrispondenza della stessa e proseguito lungo il rilevato di approccio alla spalla nord. Sul rilevato relativo alla spalla sud si prevedono embrici con recapito in un fosso a dispersione.

Per tutti i particolari idraulici si rimanda allo specifico elaborato grafico.

## 7 Sistema di accumulo e dispersione per la gestione delle acque meteoriche di piattaforma

### 7.1. 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 inedificato" (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), un'utile e opportuna modalità di smaltimento delle acque pluviali. Peraltro, poiché nella generalità dei casi la capacità di infiltrazione dei suoli è inferiore, talora in modo significativo, rispetto all'intensità delle piogge più intense, il contenimento delle portate allo scarico richiede necessariamente la trattenuta temporanea delle acque pluviali in eccesso rispetto all'infiltrazione in invasi di laminazione.*

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

*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).*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

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 la nuova piattaforma stradale.

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

- $T_R=50$  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;
- $T_R=100$  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.

Il sistema proposto prevede un  $T_r=50$ , in ottemperanza al manuale di progettazione ferroviaria che impone un  $T_r=25$  per lo smaltimento delle acque meteoriche afferenti la piattaforma stradale; le opere di infiltrazione a cielo aperto come i fossi ad infiltrazione saranno quindi dimensionati in base ad un  $T_r=50$ . Le opere chiuse come i moduli drenanti interrati sotto gli stalli del parcheggio saranno verificati a 100 anni affinché non vadano in pressione.

## 7.2. Aspetti morfologici della rete idrica di superficie

Il territorio in esame è caratterizzato da una maglia molto fitta ed estesa di canali irrigui e di scolo, con solo tre corpi idrici maggiori, a carattere torrentizio. Data la funzione agricola nei canali vengono immesse, con manovre su organi meccanici, portate di diversa entità in funzione del periodo dell'anno e della necessità produttiva. Tale circostanza fa sì che la predisposizione di un sistema di recapito delle acque di piattaforma a gravità in suddetti canali, attraverso fossi di guardia rivestiti al piede del rilevato, sia poco fattibile ed efficiente. 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

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

### 7.3. 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. Sono state effettuate otto misurazioni distribuite lungo il tracciato, all'esterno dei tratti urbani; nella tabella di seguito sono riportati i valori:

Pozzetto di prova	km	K (m/s)
P1	57+400	3.43E-06
P2	58+800	6.47E-07
P3	60+450	3.84E-06
P4	62+200	1.17E-06
P5	64+400	2.84E-06
P6	66+700	2.23E-06
P7	67+400	4.53E-06
P8	68+400	7.84E-07

Tabella 3 – Valori di permeabilità del terreno lungo il tracciato ferroviario

Data la vicinanza tra loro dei vari elementi del sistema d'infiltrazione, e la loro maggiore permeabilità rispetto a quella del terreno, è possibile definire un valore medio di conducibilità per ciascun sub-tratto in oggetto e il numero di binari la cui superficie deve essere servita:

km	Pozzetto	k(m/s)	Tratto	$k_{\text{medio}}$ (m/s)	$k_{\text{prog}}$ (m/s)
57+400	P1	3.43E-06	Tortona-Pontecurone TP	2.64E-06	2.64E-06
58+800	P2	6.47E-07			
60+450	P3	3.84E-06			
62+200	P4	1.17E-06			
64+400	P5	2.84E-06	Pontecurone-Voghera PV	2.31E-06	
66+700	P6	2.23E-06			



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

km	Pozzetto	k(m/s)	Tratto	k <sub>medio</sub> (m/s)	k <sub>prog</sub> (m/s)
67+400	P7	4.53E-06			
68+400	P8	7.84E-07			

Tabella 4 – Ubicazione delle prove di permeabilità in pozzetto lungo il tracciato

L'utilizzo di pozzi o pozzetti a dispersione non è ritenuta la scelta ottimale, considerando la prossimità dello Zero piezometrico della falda al piano campagna: si può concludere che sistemi di trincee/fossi disperdenti siano la soluzione più adatta alla dispersione delle acque di piattaforma nel territorio in oggetto.

Per il dimensionamento dei sistemi ad infiltrazione sono inoltre considerati coefficienti dimezzati, ad ulteriore tutela rispetto alle fluttuazioni di falda:

- da km 57+400 a km 60+450  $k_{prog}=1.32 \cdot 10^{-6}$  m/s
- da km 60+450 a km 68+400  $k_{prog}=1.16 \cdot 10^{-6}$  m/s

#### 7.4. Fosso a dispersione con bauletto drenante e moduli drenanti

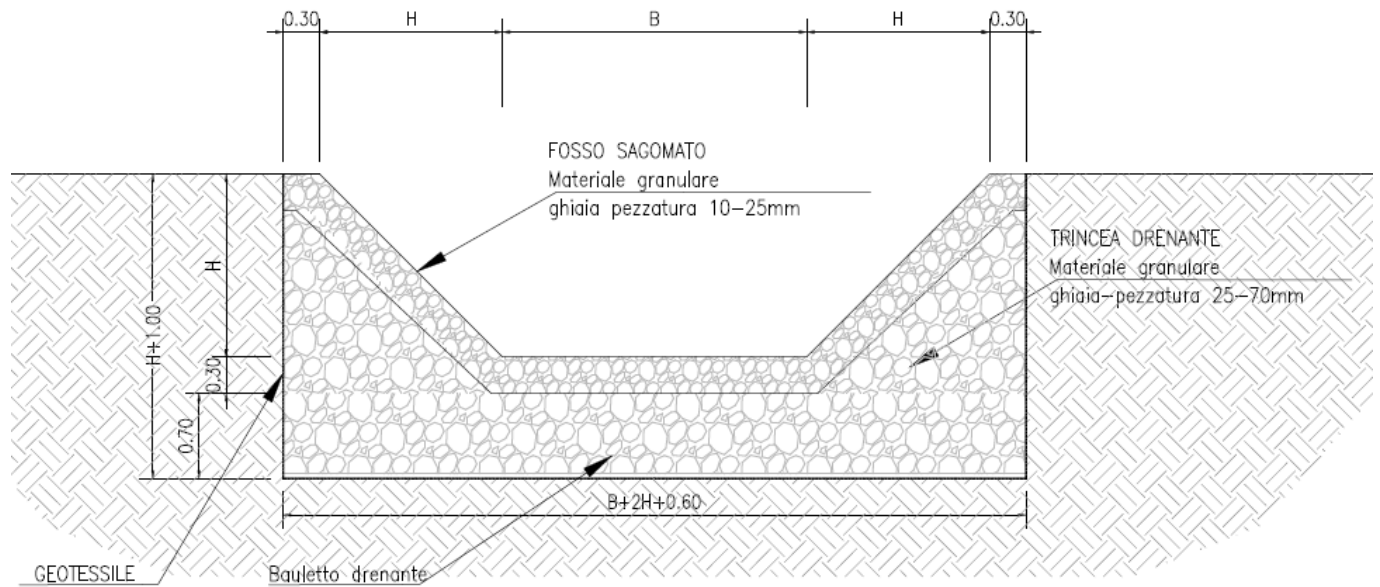
Le trincee (cassonetti) drenanti saranno riempite di materiale inerte di granulometria 25-70mm separato dal terreno circostante da uno strato di geotessuto, e sormontate da fossi di raccolta delle acque, a sezione trapezia e realizzati con uno strato di 30cm di ghiaia a pezzatura 10-25mm.

La portata che afferisce alla trincea dipende dall'area del tracciato stradale servita; il volume in ingresso alla trincea sarà dato dall'integrale nel tempo delle portate. A tale quantità va sottratto un volume intercettato dalla superficie drenata stessa, per uno spessore di 5mm.

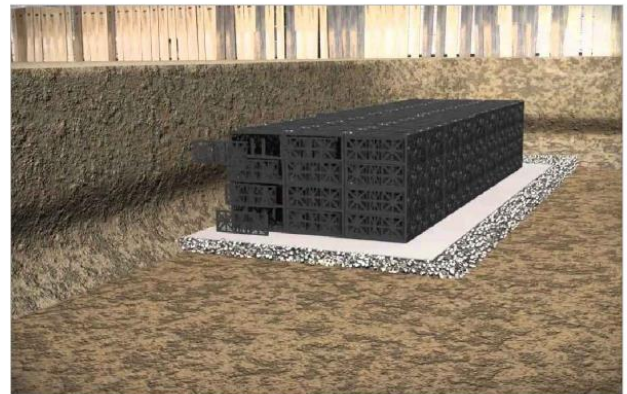
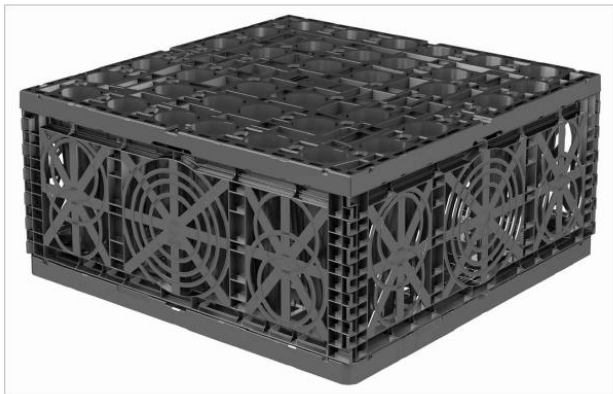
Il sistema fosso-trincea può dunque accogliere un determinato volume, che al passare del tempo si infiltra; per semplicità di calcolo e a favore di sicurezza si considera come superficie drenante la sola interfaccia terreno/cassonetto al di sotto del livello del fosso.

In maniera analoga in corrispondenza del parcheggio ci si è avvalsi di sistema drenante interrato per fornire volume di lamiinazione e superficie di infiltrazione per l'ampia zona occupata.

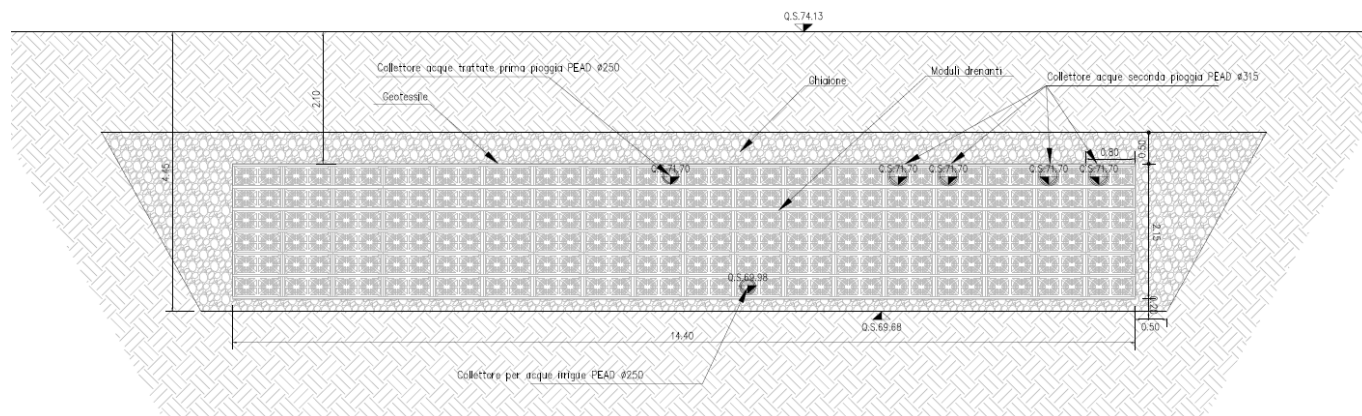
Esso è costituito da un sistema componibile e interrato che tramite l'assemblamento di moduli parallelepipedi in materia plastica mette a disposizione un volume sufficiente a contenere il volume di laminazione minimo richiesto.



*Figura 2 –Fosso a dispersione con bauletto drenante*



*Figura 3 –Dettaglio moduli drenanti*



*Figura 4 – Sezione sistema di laminazione-infiltrazione moduli drenanti*

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. Il primo è dato dal prodotto -dato che per semplicità si considerano ietogrammi rettangolari- dell'altezza di pioggia, calcolata di volta in volta con i parametri relativi al particolare intervallo considerato e a cui sono tolti 5mm di ritenute superficiali, e l'area afferente. Il secondo dipende dall'estensione della superficie drenante, che cresce al crescere del volume invasato, e dunque dal livello idrico  $Y$  all'interno del cassonetto (fintantoché non si raggiunge il fondo del fosso soprastante).

Al crescere del tempo diminuisce l'intensità di pioggia e di conseguenza la portata in ingresso, ma fino al raggiungimento della durata critica l'aumento dell'intervallo di tempo fa crescere la portata cumulata in ingresso più che quella in uscita; in corrispondenza della durata critica si ha pertanto il massimo volume invasato, dopodiché la componente di filtrazione prevale sull'accumulo.

Per quanto 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 con tempo di ritorno  $TR=50$  anni che si verifica a 48 ore di distanza dal precedente in ottemperanza all'art.11 comma f punto 2.

La verifica del tempo di svuotamento è stata effettuata attraverso il calcolo indicato al capitolo 4 dell'allegato G delle Linee Guida del Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n.7 della Regione Lombardia:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

$$t_{\text{svuotamento}} = \frac{W_{\text{lam}}}{(Q_u + q_{\text{inf}})} t_{\text{svuotamento}} = W_{\text{lam}} / (Q_u + q_{\text{inf}})$$

dove:

- $W_{\text{lam}}$  è il volume massimo raggiunto nella vasca corrispondente cioè ad un evento di durata critica;
- $Q_u$  è il valore di portata effluente in uscita e pari a 0;
- $q_{\text{inf}}$  è la portata infiltrata ed è stata valutata con il prodotto tra la permeabilità  $k$  e la superficie drenante del sistema (contorno bagnato del cassonetto, escludendo eventuali porzioni a livello del fosso).

Sono di seguito riportate le tabelle riassuntive con i dati geometrici e di verifica per ciascuno dei fossi.

Relazione idraulica di drenaggio piattaforma  
stradale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	29 di 35

### Geometria fossi

ID	b <sub>fosso</sub> [m]	H <sub>fosso</sub> [m]	b <sub>cassonetto</sub> [m]	h <sub>cassonetto</sub> [m]	Lunghezza [m]	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]
FV01	1.00	0.75	2.50	1.00	228.00	299.25
FV02	0.75	0.75	2.25	1.00	255.00	286.88
FV03	2.00	1.00	4.00	1.00	105.00	315.00
FV04	1.00	0.50	2.00	1.00	233.00	174.75
FV05	0.50	0.50	1.50	1.00	66.00	33.00
FV06	0.50	0.50	1.50	1.00	340.00	170.00
FV07	0.50	0.50	1.50	1.00	94.00	47.00
FV08	0.50	0.50	1.50	1.00	433.00	216.50
FV09	0.50	0.50	1.50	1.00	719.00	359.50
FV10	0.50	0.50	1.50	1.00	235.00	117.50
FV11	0.50	0.50	1.50	1.00	698.00	349.00
FV12	0.50	1.00	2.50	1.00	24.00	36.00
FV13	0.50	1.00	2.50	1.00	316.00	474.00
FV14	0.50	1.00	2.50	1.00	148.00	222.00
FV15	0.50	1.00	2.50	1.00	266.00	399.00
FV16	0.50	1.00	2.50	1.00	19.00	28.50
FV17	0.50	1.00	2.50	1.00	86.00	129.00
FV18	0.50	1.00	2.50	1.00	76.00	114.00
FV19	1.00	0.50	2.00	1.00	180.00	135.00
FV20	0.50	1.00	2.50	1.00	60.00	90.00

Relazione idraulica di drenaggio piattaforma  
stradale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	30 di 35

### Geometria fossi

ID	b <sub>fosso</sub> [m]	H <sub>fosso</sub> [m]	b <sub>cassonetto</sub> [m]	h <sub>cassonetto</sub> [m]	Lunghezza [m]	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]
FV21	0.50	1.00	2.50	1.00	550.00	825.00
FV22	0.50	1.00	2.50	1.00	153.00	229.50
FV23	0.50	1.00	2.50	1.00	78.00	117.00

### Verifica fossi

ID	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]	t <sub>crit</sub> [min]	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Tirante max [m]	Q <sub>filt,fosso</sub> [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h [m <sup>3</sup> ]	Acqua in vasca a 48h [m <sup>3</sup> ]	V disp. a 48h [m <sup>3</sup> ]
FV01	299.25	1781	248.52	0.66	0.0014	50.99	233.94	14.58	284.67
FV02	286.88	1771	268.33	0.72	0.0014	52.12	247.11	21.23	265.65
FV03	315.00	2552	244.18	0.82	0.0008	81.59	143.65	100.53	214.47
FV04	174.75	1439	167.48	0.48	0.0012	37.83	212.50	0.00	174.75
FV05	33.00	1044	25.39	0.42	0.0003	23.14	52.67	0.00	33.00
FV06	170.00	1044	130.79	0.42	0.0016	23.14	271.33	0.00	170.00
FV07	47.00	1044	36.16	0.42	0.0004	23.14	75.02	0.00	47.00
FV08	216.50	1044	166.57	0.42	0.0020	23.14	345.55	0.00	216.50
FV09	359.50	1044	276.59	0.42	0.0033	23.14	573.79	0.00	359.50

Relazione idraulica di drenaggio piattaforma  
stradale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	31 di 35

**Verifica fossi**

ID	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]	t <sub>crit</sub> [min]	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Tirante max [m]	Q <sub>filt,fosso</sub> [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h [m <sup>3</sup> ]	Acqua in vasca a 48h [m <sup>3</sup> ]	V disp. a 48h [m <sup>3</sup> ]
FV10	117.50	1044	90.40	0.42	0.0011	23.14	187.54	0.00	117.50
FV11	349.00	1044	268.51	0.42	0.0032	23.14	557.03	0.00	349.00
FV12	36.00	1417	12.59	0.52	0.0001	28.02	21.56	0.00	36.00
FV13	474.00	1417	165.74	0.52	0.0016	28.02	283.91	0.00	474.00
FV14	222.00	1417	77.62	0.52	0.0008	28.02	132.97	0.00	222.00
FV15	399.00	1417	139.51	0.52	0.0014	28.02	238.98	0.00	399.00
FV16	28.50	1417	9.97	0.52	0.0001	28.02	17.07	0.00	28.50
FV17	129.00	1336	38.77	0.47	0.0004	24.08	77.27	0.00	129.00
FV18	114.00	1336	34.26	0.47	0.0004	24.08	68.28	0.00	114.00
FV19	135.00	1583	120.03	0.46	0.0008	40.08	143.75	0.00	135.00
FV20	90.00	2392	84.71	0.96	0.0003	75.43	53.91	30.80	59.20
FV21	825.00	2331	745.91	0.94	0.0029	72.46	494.14	251.77	573.23
FV22	229.50	1956	155.20	0.79	0.0008	54.19	137.46	17.74	211.76
FV23	117.00	1520	48.21	0.57	0.0004	33.02	70.08	0.00	117.00

Relazione idraulica di drenaggio piattaforma  
stradale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 11	RH	ID0002 001	A	32 di 35

### Geometria sistema con moduli drenanti

ID	Altezza [m]	Lunghezza [m]	Lunghezza [m]	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]
MD01	1.00	5.00	77.00	385.00
MD02	1.00	4.00	45.00	180.00
MD03	1.00	5.00	17.40	87.00

### Verifica moduli drenanti Tr=50 anni

ID	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]	t <sub>crit</sub> [min]	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Tirante max [m]	Q <sub>filt, fosso</sub> [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h [m <sup>3</sup> ]	Acqua in vasca a 48h [m <sup>3</sup> ]	V disp. a 48h [m <sup>3</sup> ]
MD01	385.00	2850	224.73	0.58	0.0004	140.33	76.87	147.86	237.14
MD02	180.00	2581	95.35	0.53	0.0002	127.35	35.94	59.41	120.59
MD03	87.00	2243	39.76	0.46	0.0001	109.87	17.37	22.39	64.61

### Verifica moduli drenanti Tr=100 anni

ID	Capacità max invaso [m <sup>3</sup> ]	t <sub>crit</sub> [min]	V max invasato [m <sup>3</sup> ]	Tirante max [m]	Q <sub>filt, fosso</sub> [m <sup>3</sup> /s]	t <sub>svuot</sub> [h]	Volume disperso a 48h [m <sup>3</sup> ]	Acqua in vasca a 48h [m <sup>3</sup> ]	V disp. a 48h [m <sup>3</sup> ]
MD01	385.00	3559	283.49	0.74	0.0004	177.03	76.87	206.62	178.38
MD02	180.00	3220	120.27	0.67	0.0002	160.64	35.94	84.34	95.66
MD03	87.00	2802	50.19	0.58	0.0001	138.68	17.37	32.82	54.18



	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## 8 Analisi di compatibilità idraulica

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).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

A tal fine come espressamente dichiarato nel capitolo precedente si è provveduto a recapitare tutte le acque delle superficie concernenti la piattaforma stradale 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.

E' 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

f) 1....

2. per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati(14), il tempo di svuotamento dei volumi calcolati secondo quanto indicato alla lettera e) 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.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>Relazione idraulica di drenaggio piattaforma stradale</b>	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Nel caso in oggetto relativo ad interventi infrastrutturali di trasporto nastriforme quali strade 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 stradale (collettori e fossi di guardia) con 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 quadruplicamento ferroviario della tratta Tortona-Voghera, per quanto riguarda il sistema di drenaggio delle acque di piattaforma stradale annessa è idrologicamente e idraulicamente compatibile con il territorio in cui si inserisce rispettando il principio dell'invarianza idraulica e idrologica.